

## POSUDOK

na doktorandskú dizertačnú prácu:

**Ing. Karel SLOBODNÍK**

### „NEDESTRUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ VODIVÝCH MATERIÁLŮ S VYUŽITÍM VÍŘIVÝCH PROUDŮ“

**študijný program: Elektrotechnika a informatika**

**Odbor: Elektrotechnika**

**školiteľ: prof. Ing. Pavel Karban, Ph.D.**

#### Aktuálnosť zvolenej témy

Predložená dizertačná práca pojednáva o **aktuálnej** problematike využitia metódy vírivých prúdov s impulzným budením, pre účely nedeštruktívneho vyšetovania vodivých materiálov. Autor sa v práci zaoberá návrhom, matematickým modelovaním a realizáciou vírivoprúdovej sondy, ktorej funkčnosť je následne overená na reálnych materiáloch s prítomnosťou definovaných defektov. Pre naplnenie stanovených piatich cieľov práce autor využíva inovatívne prístupy spočívajúce v aplikácii súčasných trendov z oblasti numerického modelovania a verifikačných meraní, pri impulznom budení vírivých prúdov.

V práci sú uvedené teoretické východiská pre samotné modelovanie, ako aj súčasný stav v tejto problematike. Autor práce preukázal, že ovláda princípy tvorivej vedeckej práce. Téma je nosná a z hľadiska použitých metód a postupov jednoznačne prínosná pre vedu aj pre prax. Zároveň, dizertačná práca je aplikačného charakteru, s priamym využitím v oblasti elektrotechniky.

#### Splnenie cieľov dizertačnej práce

Na str. 3 je uvedených päť cieľov práce:

1. predstaviť metódu nedeštruktívneho testovania s využitím vírivých prúdov: cieľ možno považovať za **splnený**
2. definovať a numericky riešiť matematický model EMP v okolí defektoskopické sondy pracujúcej na princípe vírivých prúdov: cieľ možno považovať za **splnený**

3. experimentálne overiť technológiu NDE založenej na princípe vírivých prúdov: cieľ možno považovať za **splnený**
4. preskúmať možnosti impulzného budenia EMP a vyhodnotenie rozdielového signálu: cieľ možno považovať za **splnený**
5. na základe predchádzajúcich krokov uskutočniť úpravu tvaru cievok a celkového usporiadania meracieho reťazca: cieľ možno považovať za **splnený**

Pozn. Cieľ práce I je podľa môjho názoru uvedený samoúčelne, keďže logicky musí byť premietnutý v ostatných cieľoch.

### **Zvolené metódy spracovania práce**

Práca je napísaná v českom jazyku, na 75 stranách a je rozdelená do 8 kapitol. Autor čerpal z 29 literárnych zdrojov. Uvádza vlastné publikácie v impaktovaných časopisoch, zborníkoch z medzinárodných konferencií a ostatných publikácií v počte **12** (priamy súvis s DP) + **6** (ostatné). Zároveň konštatujem, že zákonná podmienka z hľadiska kvality výstupov je splnená. Rozdelenie práce je logické a dobre štruktúrované. Práca pôsobí dobrou vyjadrovacou a prezentačnou formou, aj v pomerne náročných teoretických pasážach. Jej prehľadnosť zvyšuje uvedený zoznam obrázkov a tabuliek. V úvodnej časti práca oboznamuje čitateľa s motiváciou a súčasným stavom problematiky. Následne je uvedená časť formulácie problému, matematického modelu, spolu s jeho riešením a kapitoly 6+7, ktoré sú venované experimentom. Záverom je uvedené zhodnotenie výsledkov a ďalšie možné smerovanie. Po záverečnej kapitole sú doložené zoznamy literatúry a publikácie autora.

Za **ťažiskové** považujem kapitoly 4 ~ 7, nakoľko prezentujú vlastné dosiahnuté výsledky vedeckej práce počas doktorandského štúdia.

### **Pripomienky k práci:**

V práci sa na veľmi málo miestach vyskytujú malé formálne nedostatky vo forme preklepov - vyznačené v práci. Z hľadiska obsahu kapitoly 3 je podľa môjho názoru zbytočné uvádzať v takom rozsahu ďalšie metódy NDE, rovnako ako špeciálne druhy snímacích prvkov (SQUID, AMR, GMR...), pokiaľ s nimi autor v práci priamo ďalej nepracuje. Pre čitateľa je to však samozrejme užitočné dotvorenie pohľadu na problematiku.

- v zozname symbolov a skratiek je nesprávne uvedený pojem rezistivita, pre danú elektrickú veličinu

- niektoré obrázky v kapitole 3 (3.2, 3.3, 3.6 a pod.) by bolo vhodné precíznejšie graficky spracovať, v zmysle korektného uvedenia a doplnenia popiskov. V takejto práci sú až príliš ilustratívneho charakteru.
- str.21 – „ECT metóda ma obmedzenú hĺbku vniku, obvykle menšiu ako 7mm“. Na trhu sú sondy (napr. Rohmann PKA 109-6) , pri ktorých výrobca uvádza hĺbku vyšetrenia až 16mm v hliníku.
- str. 23 – „vady ležiace paralelne s vinutím cievky sú obtiažne detekovateľné“. Toto je možné vyriešiť použitím viacerých cievok s triangulovaným multiplexovaním.
- str. 41, obr. 5.1 – chýbajúce popisky obrázku, konkrétne pre budenie, polom-riadený tranzistor a topologická správnosť schémy zapojenia – chýbajúci uzol.
- str. 43, obr. 5.4 – je tu znázornené rozloženie magnetického poľa v okolí cievky. Ide o  $B_{mod}$  alebo niektorý z priestorových komponentov  $B$ ?
- str. 62 – pre budenie sondy bol použitý obdĺžnikový signál s hodnotou frekvencie  $f = 1\text{kHz}$ . Čo presne znamená tento údaj pri neharmonickom signáli?
- akým spôsobom bol modelovaný obdĺžnikový impulz v prostredí COMSOL? Išlo o kubické splajny, resp. ako bola vyriešená nespojitosť 1. derivácie signálu pri nábehu/dobehu hrany.

### **Výsledky dizertačnej práce, význam pre vedu a ďalší rozvoj**

Predložená dizertačná práca prináša nové hodnotné výsledky a poznatky, ako dôsledok tvorivej vedeckej práce autora. Je potrebné vyzdvihnúť náročnosť riešenia tohto prístupu – použitia impulzne budených vírivých prúdov. Z praxe je možné uviesť príklad (defektoskopický prístroj PULSEC, Olympus), ktorý po krátkej dobe uvedenia na trh bol pozastavený, z dôvodu časovej náročnosti spracovania a vyhodnotenia neharmonických odozvových signálov. Preto autor tejto práce bol postavený pred neľahkú úlohu, najmä v súvislosti s filtrovaním a matematickým spracovaním užitočného signálu. Autor na podklade uskutočneného matematického modelovania demonštruje opodstatnenosť použitia PEC metódy, s príslušným zhodnotením a porovnaním s uskutočnenými experimentami. Praktický význam tejto práce je preto jednoznačný a priamo vyplýva z množstva uskutočnenej práce autora, ktorá na niektorých miestach práce mohla byť „predaná“ vhodnejším spôsobom. Dosiahnuté výsledky a poznatky možno považovať za vlastné a na ich

základe možno pokračovať v ďalších témach rozvíjajúcich túto dizertačnú prácu nielen na poli elektrotechniky, ale aj ďalších odvetví najmä strategického priemyslu.

### Otázky do diskusie, na ktoré prosím reagovať

1. Je opodstatnené (pre budenie vírivých prúdov) použitie nepárnych antisymetrických funkcií, s ohľadom na možnú vyššiu informačnú hodnotu odozvočných signálov?
2. Aké druhy matematických metód riešenia boli použité pre riešenie „transient“ úlohy pomocou programu COMSOL?
3. Aké časové relácie boli použité pri simuláciách? (napr. ak šírka obdĺžnikového impulzu je 1ms a celkové trvanie priebehu 5ms, do akého času prebiehala numerická simulácia a s akým časovým rozlíšením?)
4. Zdôvodnite rozdiel vo vlastných indukčnostiach cievok sondy v diferenciálnom zapojení, obr. 6.2? Nebolo možné precíznejšie navinúť cievky, aby rozdiely boli minimálne?
5. Používal sa pri experimentoch režim „burst“, pri posunoch sondy v diskretných krokoch, resp. koľko impulzov bolo generovaných, pri pohybe sondy o jeden krok?
6. Bol okrem metódy korelácie použitý aj číslicový filtračný prvok, pre elimináciu šumu pri meraní?

### Záver

Predložená dizertačná práca spĺňa podmienky samostatnej tvorivej vedeckej práce a obsahuje pôvodné, autorom publikované výsledky. Z tohto dôvodu ju **odporúčam k obhajobe**. V súlade s platnými ustanoveniami navrhujem, aby po úspešnej obhajobe bola **Ing. K. Slobodníkovi** v odbore **elektrotechnika** udelená akademická hodnosť

**„p h i l o s o p h i a e d o c t o r“ /Ph. D./**

V Žiline 25.06.2019

doc. Ing. Milan Smetana, PhD.

**ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**  
**A INFORMAČNÝCH TECHNOLOGIÍ**  
**KATEDRA TEORETICKEJ ELEKTROTECHNIKY**  
**A BIOMEDICÍNSKEHO INŽINIERSTVA**  
**Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina**

# POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Assessment of the Doctoral Thesis

Titul, jméno a příjmení studenta:

Title, name, surname of student

Ing. Karel Slobodník

Doktorský studijní program:

Doctoral study programme

Elektrotechnika a informatika

Studijní obor:

Study branch

Elektrotechnika

Téma disertační práce:

Topic of the dissertation

Nedestruktivní testování vodivých materiálů  
s využitím vířivých proudů

Školitel:

Supervisor

Prof. Ing. Pavel Karban, Ph.D.

Oponent:

Opponent

doc. Ing. Vladimír Kindl, Ph.D.

## Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Evaluation of the importance of the dissertation for the field

Disertační práce Ing. Karla Slobodníka se zabývá metodou nedestruktivního testování vodivých materiálů, která díky svým výhodám nachází široké uplatnění nejen v oblasti elektrických strojů při testování strukturální integrity hutních polotovarů, ale také např. v letectví nebo automobilovém průmyslu. Jedná se o metodu univerzální a využitelnou napříč všemi technickými obory. Z tohoto důvodu se domnívám, že význam a přínos předkládané disertační práce je značný, a to nejen pro elektrotechnické obory.

## Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Evaluation of the the problem-solving process, the methods used and the goal to be met

Motivací a hlavním cílem práce bylo analyzovat a experimentálně ověřit technické možnosti pulzně buzené měřicí sondy pro nedestruktivní defektoskopii založené na fyzikálních principech vířivých proudů.

Autor ve své práci provedl pečlivou rešerši průmyslem používaných metod defektoskopie a řádně komentoval jejich konkrétní schopnosti a možné oblasti nasazení. Následně se podrobně věnoval zejména vybrané metodě založené na bázi vířivých proudů. Student sestavil konečno-prvkový matematický model a formuloval důležité závěry. Tyto následně experimentálně ověřil. Stanovené cíle práce považuji za splněné.

## Stanovisko k výsledkům disertační práce a

### k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

Statement to the results of the dissertation and on the original contribution of the submitter of the dissertation

Práce přehledně demonstruje rozlišovací schopnosti nedestruktivního testování s využitím vířivých proudů. Za původní výsledek považuji tvorbu algoritmu založeného na korelaci matice naměřených dat se sadou referenčních pulzů a realizaci testovacího standu. Z mého pohledu jsou hlavní výsledky práce inovativní a přinášejí nové poznatky technickému oboru.

### Vyjádření k systematice, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Statement to the systematics, clarity, formal adaptation and language level of the dissertation

Práce je dělená do 8 kapitol (+literatura a seznam obrázků), které na sebe logicky navazují, a tvoří tak ucelené technické dílo. Text práce je čtivý a obsahuje jen minimum technických nepřesností, či jiných prohřešků vůči zásadám psaní závěrečných prací. Grafická i stylistická úroveň práce je na velmi slušné úrovni, díky čemuž se čtenář v textu velmi snadno orientuje. Celkově tedy hodnotím práci jako zdařilou, kombinující jak teoretickou diskusi a simulační analýzu, tak i experimentální ověření a formulaci důležitých závěrů. Jedná se tedy o „úplné“ technické dílo se všemi potřebnými náležitostmi.

### Vyjádření k publikacím studenta

Statement to student's publications

V seznamu vlastních publikací předkladatel uvádí 12 položek, které úzce souvisejí s řešeným tématem DP. Nosná část publikační činnosti je tvořena příspěvky ve sbornících významných mezinárodních konferencí.

Dvě položky z uvedeného seznamu pak reprezentují články v recenzovaném časopise, přičemž jeden z nich má nenulový IF. Kromě těchto publikací autor uvádí dalších šest doplňkových výstupů, které zřejmě vznikly během jeho tvůrčího studia. Z uvedeného vyplývá, že se student neomezil pouze na své téma, ale angažoval se a aktivně publikoval i v dalších oblastech elektrotechniky.

### Celkové zhodnocení a otázky k obhajobě

Total evaluation

K práci mám jen velmi málo připomínek formálního charakteru:

- 1) Špatně značená rezistivita (včetně jednotek) v seznamu symbolů,
- 2) nestandardní řazení referencí v textu (ani podle výskytu, ani podle abecedy),
- 3) občasné „chybějící/nesedící“ odkazy na obrázky.

Dotazy k práci:

- 1) str. 43: Z obrázku 5.3 mi vyplývá, že se celá hloubka vniku odehrává pouze na vrstvě jednoho elementu, nebylo by přesnější síť upravit?
- 2) Na str. 48 píšete, že v průběhu řešení práce se ukázalo stávající experimentální stanoviště jako nevyhovující, a proto byl zbytek testů proveden v Žilině. Prosím o vysvětlení, proč jste stanoviště nepřepočítal. Dále prosím odhadněte míru Vaší práce provedené na stanovišti v Žilině.
- 3) Na str. 62 píšete, že pro budící pulz byla zvolena frekvence 1 kHz. Na základě jakých předpokladů se tato hodnota zvolila? Jak by se postupovalo v případě magnetické oceli?

Doporučuji disertační práci k obhajobě  
I recommend the dissertation for the defence

ano  
yes

x

~~ne  
no~~

Datum  
Date

11.9.2019

Podpis oponenta:  
Signature of opponent





# POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Assessment of the Doctoral Thesis

Titul, jméno a příjmení studenta:

Title, name, surname of student

Ing. Karel Slobodník

Doktorský studijní program:

Doctoral study programme

Elektrotechnika a informatika

Studijní obor:

Study branch

Téma disertační práce:

Topic of the dissertation

Nedestruktivní testování vodivých materiálů  
s využitím vířivých proudů

Školitel:

Supervisor

Prof. Ing. Pavel Karban, Ph.D.

Oponent:

Opponent

Doc. Ing. Lubomír Ivánek, CSc.

## Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Evaluation of the importance of the dissertation for the field

Potřeba nedestruktivního zkoumání různých vad materiálu je podstatnou částí prevence poruch nebo i závažných havárií na zařízeních, používajících kovové konstrukční prvky - například v jaderném, energetickém, petrochemickém, automobilovém, leteckém a strojírenském průmyslu. Hledání a zdokonalování metod nedestruktivní diagnostiky je tedy velmi závažné aktuální téma. Tato disertační práce se spíše než objevováním nových metod zabývá zdokonalováním jedné z těchto metod, konkrétně využitím vlivu vad materiálu na vířivé proudy, indukované ve zkoumaném materiálu.

Metoda vířivých proudů je nejpoužívanější metodou elektromagnetického zkoušení elektricky vodivých materiálů. Snadno a jednoznačně odhalí v materiálu velmi jemné povrchové trhliny, různá korozní napadení, mechanické deformace, záměnu materiálu a těsné podpovrchové vady. Metoda je založena na principu vzniku vířivých proudů na povrchu vodivého materiálu, který je skrze sondu schopen detekovat vadu na povrchu materiálu.

Profesionálně již provádí diagnostiku pomocí vířivých proudů řada firem, u nás například firma Jiří BRUS - BVD: <http://www.bvd-ndt.cz/cz/virivky.php>. Vyrobená byla spousta měřicích přístrojů, pracujících na tomto principu, například ELOTEST PL 600. Jiný návrh snímače vířivých proudů, tentokrát pro uhlíkové kompozity byl řešen pomocí analyticko-experimentální metody v disertační práci: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=159943](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=159943). Při použití vyhledávače google lze nalézt ještě daleko více materiálů, svědčících o závažnosti této problematiky, a o stavu poznatků o této diagnostické metodě. Téma disertační práce je tedy aktuální. Aplikace metod optimalizace čidla detekujícího změnu vířivých proudů má pro rozvoj oboru teoretická elektrotechnika rozhodně význam.

## Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Evaluation of the the problem-solving process, the methods used and the goal to be met

Autor si v disertační práci stanovil několik cílů:

- *Představit metodu nedestruktivního testování s využitím vířivých proudů.*

Tento cíl byl splněn až příliš obsáhle. Strany 5 až 20 bylo možno vyřešit na dvou až tří stránkách. Představování různých možností diagnostiky materiálových vad končí až na straně 33. Jedná se v podstatě o výpisy z různých běžně dostupných materiálů.

- *Definovat a numericky řešit matematický model elektromagnetického pole v okolí defektoskopické sondy pracující na principu vířivých proudů.*

Formulace problému je provedena ve čtvrté kapitole, v podstatě ji tvoří opět výpis z použité literatury. Byl bych rád, kdyby autor při obhajobě podrobněji vysvětlil souvislost tří obrázků pod jedním označením Obr. 4.2 a blíže objasnil polohy maxim v závislosti na hodnotách označených na vodorovné ose. V páté kapitole je nejprve nastíněn model magnetického pole uvedením Maxwellových rovnic a z nich odvozených všeobecně známých rovnic pro časově proměnné magnetické pole. Pro celkové vyznění této práce by byl zajímavější popis vkládání modelu do programu COMSOL a postup při nastavení programu pro sdružené úlohy řešení magnetického pole a řešení přechodových jevů v napájecích obvodech. Nastavení parametrů obvodových prvků pro schéma Obr. 5.1

zde nenajdeme. Uvítal bych alespoň uvedení základních výpočetních parametrů jako je počet rovnic, počet iterací, výpočetní čas apod. Kapitulu uzavírá naprosto nečitelný Obr. 5.4. Z tohoto obrázku nelze vyvodit téměř nic, a už vůbec ne, zda je tvar sondy optimální. Obecně lze konstatovat, že práce není příliš přátelská vůči čtenáři, řadu souvislostí si musí domýšlet. Občas není zřejmé, zda se jedná o výsledky výpočtu v Comsolu nebo o naměřená data (str.58<sup>2</sup>).

- *Experimentálně ověřit technologii nedestruktivní defektoskopie založené na principu vířivých proudů.*

Tento cíl je definován příliš obecně, experiment je proveden pouze na dvou sondách. Opět zde chybí podrobnější informace o postupech, vedoucích k získání optimálního tvaru cívek. Autor pro první cívku pouze konstatuje, že „Nevýhodou tohoto zařízení je jeho velikost...“ A dále, že cívka má „poměrně nízkou citlivost na drobné povrchové vady“.

Průběh a výsledky experimentů jinak splňují tento zadaný cíl. Snad by tato část zasloužila pasáž o možné verifikaci výsledků a o vlivu chyb měření na výsledky.

- *Prozkoumat možnosti pulzního buzení elektromagnetického pole a vyhodnocení výstupního rozdílového signálu.*

Experimenty ukázaly, že zde použitá metoda korelace výstupního signálu s referenčním impulzem je vhodným nástrojem pro úpravu rušeného a samostatně neprůkazného výstupního signálu PEC sondy. Tento stanovený cíl byl splněn.

- *Na základě předchozích kroků provést úpravu tvaru cívek a celkového uspořádání měřicího řetězce.*

Tento cíl byl splněn s tím, že autor navrhl i další směry dalšího výzkumu použité metody a zařízení, potřebného pro realizaci metody.

V této disertační práci je problematická absence podrobnějšího rozboru implementace numerického modelu do programu COMSOL, dále postrádám hlubší diskuse o získání referenčního impulzu a o metodě korelace signálu apod. Autor v těchto případech uvádí pouze výsledky.

Další připomínky k práci:

Obr. 3.15 a 3.17 – modré a zelené kružnice jsou zavádějící, jde o snižování amplitudy nebo zmenšování jejich objemu směrem od povrchu?

28<sub>5</sub> co je to absolutní změna impedance cívky, jak přináší informaci o namáhání?

36<sup>1</sup> termín „maximální odezva“ není příliš vhodný

42<sup>7</sup> Obr. 5.3 má být Obr. 5.2

46<sup>10</sup> Obr. 6.1 má být asi Obr. 6.4

48<sup>1</sup> v čem konkrétně spočívala nevhodnost původního stanoviště?

Obr. 6.7 vyžaduje podrobnější popis - není vypovídající

7.1 první experiment je prováděn se sondou, která je podle str. 46 nevyhovující

Obr. 7.5-7.8 by vyžadovaly podrobnější informace o ose x, označené Vzorky; zatím co zde jsou označeny jako bezrozměrné, v Obr. 7.12 a 7.16 je v závorce rozměr n

Obr. 7.12 je kladné maximum signálu zhruba u vzorku 240, záporný u vzorku 330, na Obr. 7.18 kladný u 1400, záporný 2000; je mezi signály nějaká souvislost?

### **Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce**

**Statement to the results of the dissertation and on the original contribution of the submitter of the dissertation**

Disertační práce nepřináší nové poznatky z oblasti hledání nebo vývoje metody samotné, ale směřuje spíše k modifikaci diagnostických postupů, k návrhu měřicího zařízení, využívajícího pulzní napájení budících obvodů. Přináší teoretickou přípravu pro výpočet tvaru sondy a její implementaci v programu COMSOL. Podstatná část disertační práce je věnována návrhu a uskutečnění praktických měření s vyrobenou sondou, respektive se sondami. V tomto směru lze považovat za prospěšnou pro další rozvoj nedestruktivní diagnostiky.

### **Vyjádření k systematické, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce**

**Statement to the systematics, clarity, formal adaptation and language level of the dissertation**

Grafická úroveň disertační práce je přijatelná, čtenáře ovšem značně ruší neúměrně velké množství překlepů a gramatických chyb. Prameny u obrázků jsou řádně označeny buď u jejich popisů, nebo lze jejich původ snadno zjistit z textu v příslušné kapitole. V seznamu použitých symbolů a zkratk jsou uvedeny všeobecně známé symboly, chybí zde ale například symbol  $R_{xy}$  (z obr. 7.22 až 7.28), symboly z tabulek 7.6 až 7.9 apod. Označení jednotek u veličin v grafech je někde v hranaté, jinde v kulaté závorce. V seznamu literatury by měly být jednotlivé položky uvedeny formálně stejně.



## Vyjádření k publikacím studenta

Statement to student's publications

Výběr použité literatury je vhodný, odkazy na použitou literaturu v textu disertační práce vyhovují zásadám pro citace cizích pramenů. Autor publikoval hlavní část své práce na mezinárodních konferencích. Na WoS je uvedeno 5 jeho publikací, zatím bohužel s nulovými citacemi. Počet příspěvků autora odpovídá požadavkům na udělení titulu Ph.D.

## Celkové zhodnocení a otázky k obhajobě

Total evaluation and questions for defence

Protože předložená disertační práce splňuje po odborné i formální stránce normativně daná kritéria, **doporučuji ji k obhajobě** a bude-li práce úspěšně obhájena, k následnému udělení akademického titulu Ph.D.

Otázky k obhajobě:

1. Na str. 46 uvádíte, že „Geometrické rozložení této sondy bylo navrženo na základě numerického řešení ...“. Upřesněte, prosím, které parametry sondy byly při hledání optimální podoby měněny a jak změny proměnných parametrů ovlivnily vaše rozhodnutí, že sonda zachytí poruchy v materiálu nejlépe.
2. V závěru tvrdíte, že pulzní metoda „...překonává možnosti běžných harmonických metod.“ Tento závěr vychází ze srovnání výsledků převzatých z jiných publikací nebo z vašeho měření?

Doporučuji disertační práci k obhajobě

I recommend the dissertation for the defence

ano

Datum

Date

20.7.2019

Podpis oponenta:

Signature of opponent

