



Oponentní posudek doktorské disertační práce

Ing. Nikoly Schmidové

## ELECTRICAL RESISTANCE MEASUREMENT FOR STRUCTURAL HEALTH

### MONITORING OF COMPOSITE MATERIALS

(Monitorování a lokalizace poškození kompozitních materiálů pomocí měření změny elektrického odporu)

Práce se zabývá metodami vyšetřování poruch založených na snímání elektrického odporu u kompozitů s uhlíkovými vlákny a částicemi a také nevodivými vlákennými kompozity s vodivými částicemi v pryskyřicové matrici. Dále se zabývá skupinou snímačů z uhlíkových vláken integrovaných přímo v kompozitu.

#### Úroveň rozboru současného stavu dané problematiky

Rozboru současného stavu dané problematiky je věnována druhá kapitola, která je zpracována na 26 stranách a čerpá z dostatečného počtu zdrojů sepsaných v referencích. Zdroje jsou zaměřeny na měření různých porušení kompozitních materiálů. Autorka zde sleduje několik typů snímačů pro měření různých typů porušení, podává přehled některých používaných snímačů a zaznamenává je do tabulek s uvedením jejich výhod a nevýhod pro použití. Zdroje jsou systematicky rozčleněny a kriticky vyhodnoceny.

#### Dosažení stanovených cílů dizertační práce

Cíle dizertační práce byly stanoveny ve třech oblastech a inspiroují se v provedené rešeršní části:

- 1) Vývoj metody, při které dojde k poškození tzv. impaktem a detekce poruchy pomocí CF senzorů, byla rozdělena do několika oblastí výzkumu – nalezení vhodného materiálu pro pramen z CF, sledování vlivu cyklického mechanického zatěžování konstrukce, teploty, umístění senzoru ve vrstvách kompozitu, návrh inspekce CF snímačů a jeho ověření. Vyšetření vlivu délky snímače na změnu elektrického odporu po předchozím impaktu.



- 2) Vývoj metodiky měření elektrického odporu u CFRP kompozitů.
- 3) Experimentální verifikaci reálného kompozitního dílu.

Stěžejní kapitolou je čtvrtá kapitola. Plnění prvního cíle bylo rozděleno do tří postupně navazujících dílčích oblastí vyšetřování detekce impaktu u kompozitů. V této kapitole je zkoumáno možné použití CF senzorů zhotovených z několika různých typů pramenů z uhlíkových vláken pro detekci poškození impaktem. Byla popsána odezva vyrobených senzorů na mechanické namáhání, poškození a teplotu. Poškození impaktem bylo kvantifikováno měřením elektrického odporu snímače CF před a po zatížení. Dále byl zkoumán vliv délky CF senzoru a také velikost impaktu na jeho odezvu. Byla nalezena korelace mezi velikostí poškození impaktem, odezvou CF senzoru a mechanickou odezvou vzorků. Na výsledky z první části je navázána druhá a třetí část, ve kterých bylo prokázáno, že po 1000 cyklech mechanického zatížení nedochází k poškození CF senzoru. Byla provedena kontrola porušení pomocí termokamery.

V kapitole 5 je zkoumána detekce delaminace u CFRP a CFR s termoplastickou matricí. Simulační model růstu delaminace byl sestaven a byly porovnány výsledky z numerické simulace s experimentem.

Šestá kapitola demonstruje praktické aplikace CF snímačů a ERCM metodu poškození na profilech z CF filamentu.

Všechny 3 stanovené cíle byly splněny.

#### Přínos dizertační práce

Dizertační práce se zabývá monitorováním a nalezením poškozených oblastí kompozitních materiálů na principu změny elektrického odporu. Z názvu práce je zřejmé, že téma je experimentálně zaměřeno. Autorka vyvíjí metody způsobu měření a vhodnost jejich použití. Zkoumá řadu vlivů a podmínek použití, které mohou ovlivnit výsledky měření nebo funkci snímače. Velmi detailně je sestavena metodika vyšetřování CF snímačů a CFRP kompozitů. U kompozitů byla provedena numerická simulace delaminace a výsledky byly porovnány s experimentálními daty pro dva typy CF kompozitu. Zejména zvolené metody měření a metodika jsou velmi cenným přínosem v teoretické a praktické oblasti sledování porušení kompozitů a účinnosti použitých snímačů. Na základě množství provedených experimentů realizovaných v průběhu řešení dizertační práce a jejich následné interpretace lze konstatovat, že práce je vědeckým přínosem s praktickým dopadem.



### Vhodnost použitých metod řešení a jejich aplikace

V práci je použita řada inovativních experimentálních přístupů použitých na detekci možných poruch. Byly vyvinuty metodiky pro výzkum porušení CF snímačů i CFRP kompozitů. V 6. kapitole jsou představeny dvě aplikace na reálných dílech pro ověření CF snímačů a CFRP kompozitů. Lze konstatovat, že pro řešení dané problematiky byly uvedené metody a přístupy použity správně.

### Formální úroveň práce

Práce je členěna do 9 kapitol včetně referencí a přehledu publikací autorky. Kapitoly jsou řazeny v logickém sledu a formálně správně. Některé grafy znázorněné na základě výsledků měření a fotografie by měly být přehlednější s přesnějším popisem obrázků, některé grafy jsou s těžko čitelnými popisky os a legend. Na fotografiích experimentu také v některých případech nelze rozeznat, co přesně mají ukázat. Dizertace je sepsána v angličtině. Text je dobře srozumitelný.

Otázky:

- 1) Kap. 4.3.3 Active thermography... str. 51 a dále: Co obr. 66 a 67 zobrazují?
- 2) Jaké měřítko patří k fotografiím na obr. 93 (str.73) zobrazujícím delaminaci? Vysvětlete, co je zobrazeno na obrázku 94 (FE simulace) a souvislost s výsledky na obr. 95 vlevo i vpravo.
- 3) Který z použitých typů snímačů detekujících poruch u kompozitů vyšetřovaných v práci považujete za nejvíce spolehlivý, eventuálně kterou metodu měření byste doporučila.

### **Vyjádření oponenta**

Práce Ing. Nikolý Schmidové představuje přínos v posouzení spolehlivosti vybraných senzorů nebo metod vyšetřování vybraných typů poškození kompozitů. V předložené práci doktorandka prokázala odborné znalosti v oblasti experimentálních metod, kompozitních materiálů a numerických simulací. Práce je napsána srozumitelně a jasně. Na dané téma doktorandka publikovala řadu článků na konferencích a jeden článek v recenzovaném časopise. Cíle disertační práce byly v celém rozsahu splněny. Vzhledem k výše uvedenému po úspěšné obhajobě disertační práce doporučuji udělení titulu

„ **doktor** “

V Liberci, dne 9. března 2024

Prof. Ing. Iva Petříková, Ph.D.