

Oponentní posudek disertační práce

Téma disertační práce: **Electrical Resistance Measurement for Structural Health Monitoring of Composite Materials**

Disertant: **Ing. Nikola Schmidová**, ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Oponent: doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Letecký ústav

K hodnocení byla dodána disertační práce v anglickém jazyce v rozsahu 97 číslovaných stran a navazujících 20 stran referencí, seznamu publikací a číslování obrázků.

Dle zadání bylo hodnoceno:

1. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Disertační práce je definována na zajímavé a aktuální téma rozvíjející možnosti monitorování kompozitních konstrukcí s využitím elektrických veličin.

Práce si vytyčuje z pohledu oponenta relativně hodně cílů, které dělí do tří oblastí. První oblast se zaměřuje na vývoj metody detekce nárazu (impaktu) pomocí senzorů z CF (uhlíkových vláken). Dílčí části pak představovaly ověření detekce pomocí rovingu (*tow*), ověření cyklického zatěžování, teploty umístění senzoru ve skladbě na schopnost detekce, návrh snímače, vliv jeho délky na elektrický odpor. Finálně pak bylo cílem popsání vztahu mezi odezvou senzoru a odezvou konstrukce na náraz.

Druhou oblastí cílů bylo navržení metodiky pro detekci delaminace pomocí měření elektrického odporu. Opět dílčí části pak představovaly stanovení postupu pro měření odporu v podélném směru a napříč tloušťky laminátu, určení vlivu termoplastických a termosetických matic, a specifikaci vlivu teploty, odporu materiálu a uspořádání kontaktu senzor-vodič.

Třetí oblastí cílů práce pak bylo experimentální ověření metody na úrovni komponenty, konkrétně pak prověření způsobu elektrické izolace CF senzoru implementovaných do struktury laminátu z uhlíkových vláken, a ověření metody přípravy kontaktu pro metodu ERCM (Electrical resistance change measurement).

Z pohledu oponenta je vnímáno definování cílů jako velmi rozsáhlé zadání, které je místy nekompaktní, či nesystematicky uspořádané. Takticky by stačilo definovat si za cíl metodiku SHM s využitím ERCM s rozvinutím v některé oblasti na základě výstupu řešerše. Takto v rámci práce jsou místy nesourodě řešeny jednotlivé body cílů disertační práce. Obecně však lze konstatovat, že studentka splnila všechny cíle, které si deklarovala.

2. Úroveň rozboru současného stavu

Rozbor současného stavu oblasti zkoumání je opravdu velmi rozsáhlý, o čemž svědčí 28 stran textu i celkem 87 citací. V rámci práce je popsán úvod do náročné problematiky NDT metod kompozitů s hodnocení jejich výhod a nevýhod. Dále je naznačen skromný teoretický úvod s navazujícím popisem elektrických vlastností uhlíkových vláken.

K rozboru mám výhrady v nevyváženosti jednotlivých sledovaných stavů, tj například delaminace, impakt, porucha (rupture), měření přetvoření, únava, rozlepení (debonding). Doporučoval bych oddělit

zatížení a následné poruchové stavy, tj. například cyklické zatížení i impakt jsou zatěžující stavy, které oba vyvolávají delaminaci či jiné poruchy ve struktuře bez ohledu na příčinu.

Dále se studentka od kap. 2.6 věnuje měřicí metodě ER (electric resistance) a jejími popisem. Zde místy zůstává v obecné rovině (pravděpodobně proto, že i původní vědecké články často zůstávají v obecnější formě) a neuvádí například rozsahy užitých proudů a napětí atp. Obdobně některé obrázky (např. Fig. 22) postrádají ve schématech zdroj napájení. Následně rešerše uvádí možné konfigurace měření a jejich výsledky.

Sumárně pak autorka v závěru kapitoly 2 shrnuje závěry rešerše, a to do dvou částí. Nejprve hodnotí oblast užití senzorů z uhlíkových vláken, kde potvrzuje změnu vlastností senzoru s vlivem vlhkosti a teploty. Upozorňuje na nejednoznačnost vztahu poškození vlákna vs. poškození konstrukce, a vyzívá k ověření možností senzoru v konstrukci. Druhá část závěrů hodnotí ERCM metodu, kdy je konstatována řada vlivů ovlivňující měření, včetně kontaktů. Dále je konstatována potřeba úprav metody s ohledem na praktickou aplikaci.

Oponent pozitivně hodnotí shrnutí problematiky, uvítal by však více kritický závěr vyvozující úzkou oblast navazujícího výzkumu.

3. Teoretický přínos disertační práce

Teoretický přínos práce je velmi omezený. Autorka práce se primárně věnovala experimentálnímu výzkumu.

4. Praktický přínos disertační práce

Autorka postupně prošla jednotlivými etapami užití uhlíkových vláken pro potřeby RRM metody, identifikovala problematické oblasti a aplikovala metodu na kompozitní díly. V rámci kapitol 4 a 5 zpracovala výsledky několika měřících kampaní v oblasti detekce poškození s využitím uhlíkového vlákna, a detekce delaminace. Kapitola 6 pak popisuje implementaci metody na reálný díl. Jednotlivé kapitoly reagují na vymezené cíle práce.

Z pohledu oponenta se vlastní obsah disertační práce spíše zaměřuje na popis vzorků a dílčích výsledků experimentů než na jednoznačnou definici metodiky, dávající odpověď na otázky, jak aplikovat, za jakých podmínek, jaké parametry nastavit a jaká je věrohodnost výsledků. Závěry jednotlivých dílčích kapitol jsou až příliš obecné bez významnější analýzy výsledků a následné syntézy pro potřeby zobecněného, ale exaktního závěru.

Uvedené dílčí závěry pak evokují řady dotazů, např. k závěrům kap 4: Proč nebyla, případně s jakými závěry by bylo měření prokázáno na dlouhém vzorku, např. 5m? Podobně lze například diskutovat zjištěnou korelaci mezi změnou odporu a poklesem tuhosti konstrukce po impaktu, protože se jedná o vcelku logický a očekávatelný závěr. Na druhou stranu by bych uvítal vyjádření této závislosti.

Podobně závěry z experimentů popsaných v kap 5 (str 81) by si zasloužily jisté matematické vyjádření.

Přínos lze také spatřovat ve zmíněné technologii pokovování uhlíkových vláken mědí. V rámci práce však tato technologie není dále rozvinuta.

5. Vhodnost použitých metod řešení a způsob, jakým byly metody aplikovány

Experimentální výzkum představený autorkou je jednou z možností vědecké práce a v tomto případě, kdy navazuje na publikované závěry je metoda považována za vhodnou. Významnější benefit by pak plynul při více kritickém srovnání publikovaných vědeckých výsledků s vlastními experimenty.

6. Prokázání odpovídající znalosti v daném oboru

Autorka prokázala svojí širokou experimentální prací orientaci v dané problematice, souběh se světovým výzkumem a tomu odpovídající mírou znalostí v oboru.

7. Formální úroveň práce

Po formální stránce nejsou významné výtky. Práce je psána srozumitelnou formou v anglickém jazyce. Jako drobný nedostatek je vnímáno relativně malé písmo a místy ještě menší popisky obrázků. Objevují se občasné nedůslednosti v terminologii, např. užití electric resistance a jindy electrical resistance. Obrázky 21 a 2a jsou shodné.

Místy autorka užívá osobní formu textu, případně vyjádření „my“, např. str 67.

Doplňující dotazy:

- 1) Vysvětlíte termíny a rozdíly v jejich užití: roving vs. Tow.
- 2) Jak přesně a jakou metodou byl stanoven počet vláken uváděný na str 36?
- 3) Jak se projeví několik impaktních poškození na jednom snímáči?
- 4) Do jaké míry považujete umístění senzoru na reálném výrobku (stra 84, obr. 105) za vhodné? Byla provedena úvodní MKP analýza?
- 5) Pokuste se interpretovat výsledky experimentu popsaného na str. 90, obr .113. Čím si vysvětlujete odchylky mezi jednotlivými vzorky? Jaká z měření plyne závislost mezi M_0 a ΔR ?

Závěrečné hodnocení:

Předložená disertační práce představuje rozsáhlou experimentální činnost autorky, která postupně prozkoumala jednotlivá úskalí aplikace metody měření změny elektrického odporu vláken pro potřeby monitorování konstrukce. Pozitivně je hodnocen rozsah experimentálních prací. Hodnotu vlastního zpracování do formy disertační práce daný rozsah devaluje (forma několika komentovaných článků by byla asi vhodnější), společně se slabší schopností interpretace výsledků, například uvedením jednotlivých funkčních závislostí.

Pozitivně je hodnocena i publikační činnost autorky. S ohledem na odkazy článků bez účasti autorky, je doporučeno během obhajoby vymezit vlastní podíl na výzkumných aktivitách.

S ohledem na výše uvedené považuji obsah práce za disertabilní a **práci doporučuji k obhajobě**, a po úspěšné obhajobě doporučuji udělení titulu „doktor“ dle zákona č. 111/1998 Sb.