

HODNOTENIE HABILITAČNEJ PRÁCE

POSUDOK OPONENTA PRÁCE

Názov práce: **Vývoj metodík pre deformačno-napät'ové a pohybové analýzy s využitím digitálnej obrazovej korelácie**

Autor: **Ing. Martin Hagara, PhD.**

Odbor habilitačného konania *aplikovaná mechanika*

Akad. rok: *2020/2021*

a inauguračného konania:

Oponent: **Dr.h.c. prof. Ing. Milan Žmindák, CSc.**

Pracovisko oponenta: *Žilnská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta*

KOMENTÁR OPONENTA HABILITAČNEJ PRÁCE

AKTUÁLNOŠŤ ZVOLENEJ TÉMY HABILITAČNEJ PRÁCE:

Digitálna obrazová korelácia (v angličtine Digital Image Corelation-DIC) je inovatívne bezkontaktné meranie posunutí poskytujúce povrchové deformácie porovnaním digitálnych snímkov na povrchu vzorky pred a po deformácii. DIC je teda vcelku jednoduchý a cenovo výhodný experimentálny postup na zisťovanie deformácií inžinierskych materiálov a konštrukcií.

Riešenie uvedenej problematiky je veľmi aktuálna téma z teoretického aj praktického hľadiska. Dokumentuje to množstvo publikovaných článkov v renomovaných časopisoch. Pochopenie teoretických princípov DIC a jej aplikácie vyžaduje hlboké teoretické znalosti z fotogrametrie, počítačového videnia, počítačovej grafiky a pružnosti a pevnosti materiálov. Preto tému habilitačnej práce (HP) považujem za veľmi aktuálnu a zodpovedajúcu odboru habilitácie. Niet pochýb o tom, že táto téma patrí medzi perspektívne metódy v oblasti aplikovanej, výpočtovej a experimentálnej mechaniky.

METÓDY SPRACOVANIA HABILITAČNEJ PRÁCE:

Keď vychádzame z obsahu práce, potom môžeme konštatovať, že členenie práce na kapitoly a podkapitoly je logické. Metódy spracovania sú správne z teoretického aj aplikatívneho hľadiska. Spracovanie teórie počítačového videnia v kapitole 2 a DIC v kapitole 3 je na vynikajúcej úrovni. Kapitola 4 a kapitola 5 sú zamerané aplikatívne na riešenie praktických úloh.

Z obsahu práce je zrejme, že pochopenie DIC metódy vyžaduje zvládnutie náročného matematického aparátu čo prispieva získaniu vierohodných nameraných výsledkov. Po posúdení obsahovej úrovne HP môžem konštatovať, že HP vyhovuje požiadavkám kladeným na habilitačné konanie. Predložená HP nie je opakovaním dizertačnej práce.

Prezentované výsledky sú cenným nástrojom pre ďalší vývoj vedného odboru. Je pochopiteľné, že zahrnutie všetkých efektov pri meraní použitím DIC nie je možné. Ide hlavne o uvažovanie nelineárnych efektov s ohľadom na mechaniku kontinua vrátane veľkých deformácií, posunutí a rotácií. Preto je potrebné kombinovať experimentálne metódy s numerickými metódami ako je napríklad metóda konečných prvkov (MKP), ale tiež aj s inými experimentálnymi metódami ako je akustická emisija, experimentálna modálna analýza, atď.

Na záver tohto odstavca chcem poznamenať, že HP s počtom strán 163 je veľmi rozsiahla. Veľa výsledkov z tejto práce už bolo publikovaných, takže v budúcnosti odporúčam citovať tieto články. Väčšina z nich je dostupná na WOS a SCOPUS.

DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY HABILITAČNEJ PRÁCE A NOVÉ POZNATKY:

Uchádzač vo svojej práci preukázal, že má veľmi dobré teoretické aj praktické znalosti z oblasti DIC a iných experimentálnych metód. Získané experimentálne výsledky dokáže profesionálne vyhodnotiť a aplikovať v praxi. Za hlavný vedecký prínos HP považujem vývoj metód pre skúšanie vzoriek aj praktických problémov z praxe s použitím vlastného softvéru MOSTRAN. Pozitívne hodnotím vývoj metodiky pre meranie zvyškových napätí v kombinácii s metódou odvrátavania. Veľmi cenná je citlivostná analýza, kde sa skúmal vplyv pootočenia kamier voči referenčnej snímke na dosiahnuté výsledky.

V budúcnosti bude potrebné získané výsledky podrobiť hlbšej kritike a verifikovať vytvorené postupy inými experimentálnymi metódami. Výskum v tejto oblasti zaručene prinesie nové vedecké poznatky, pomocou ktorých sa dosiahne lepšia zhoda medzi numerickými a experimentálnymi výsledkami. Z didaktického hľadiska je HP je napísaná na požadovanej úrovni. HP obsahuje množstvo matematických vzťahov a odvodení, ktoré sú vysvetlené a okomentované. Použitá terminológia je správna.

PRÍNOS PRE ĎALŠÍ ROZVOJ VEDY A TECHNIKY (UMENIA):

Zo zoznamu pôvodných publikovaných prác je zrejme, že Ing. Martin Hagara, PhD. počas pôsobenia na Strojníckej fakulte TU v Košiciach ma bohatú pedagogickú a vedeckú činnosť. Ide o mladšieho uchádzača s perspektívnou vedeckou orientáciou na experimentálne metódy v mechanických sústavách. Veľmi kladne hodnotím jeho publikácie v karentovaných časopisoch evidovaných v databáze CC citácie evidované v databáze WOS alebo SCUPUS a jeho vystúpenia na vedeckých a odborných konferenciách doma, ale hlavne v zahraničí. Hlavné výsledky jeho HP sú publikované na potrebnej pedagogickej a vedeckej úrovni. Uchádzač požiadavky kladené na vymenovanie na docenta splňuje a tie hlavné prekračuje.

PRIPOMIENKY A POZNÁMKY K HABILITAČNEJ PRÁCI:

K HP nemám zásadne pripomienky ani otázky. Uvádzam iba pripomienky a otázky ktoré majú vysvetliť nejasnosti pri preštudovaní tejto práce.

- Chýba zoznam použitých označení s príslušnými jednotkami a zoznam skratiek. Prispelo by to k lepšej orientácii v HP.
- Nevieť prečo autor používa pojem pomerná deformácia. Používame pojmy premiestnenia alebo posunutia (mm), deformácia (mm/mm) je bezrozmerná hodnota.

OTÁZKY K RIEŠENEJ PROBLEMATIKE:

- Chýbajú bližšie špecifikácie použitých MKP modelov. Sú to 2D modely a preto by bolo vhodné uviesť či ide o rovinnú napätosť či rovinnú deformáciu? Napríklad v modeli na obr.51 sa neuvažuje kontakt. Ako ukazujú výsledky DIC a MKP, zhoda je výsledkov je veľmi dobrá, aj keď model MKP je dosť zjednodušený.
- Áno vruby sú koncentrátoary napätosti. Iné koncentrátoary sú trhliny. V čom je rozdiel?
- Háč na obr.64 je zrejme plochý háč a zrejme je to iba testovací príklad. V skutočnosti je potrebné uskutočniť 3D DIC?
- Str. 67, prečo rovinná deformácia?
- Obr. 123 a rovnica (53). Je rozdiel medzi matematickým a fyzikálnym kyvadlom. Prosím upresniť tieto pojmy a aj príslušné pohybové rovnice. Pojem koeficient útlumu je nesprávny. Z obrázkov nie je zrejme kde je smer x a smer y. Ako sa prejavilo tlmenie?
- Na str. 133 sa na výpočet deformácií používa deformačný gradient. Prosím vysvetliť tento pojem.
- Kvôli nutnosti použiť nástrek skúšobného vzorku, zaznamenanie snímkov pomocou digitálnych kamier, vyrezávanie snímkov, ich úprava, je DIC oproti konvenčným metódam časovo náročnejšia a pracnejšia. Je výhodné ju použiť tam, kde je realizácia konvenčných metód merania deformácií veľmi komplikovaná alebo nie je vôbec možná. Kedy použiť DIC?
- Je známe, že hodnoty pozdĺžnych deformácií z DIC analýz snímkov získaných pri testoch čistým šmykom vykazujú pomerne veľké odchýlky od skutočných pozdĺžnych deformácií. Pre použitie by bolo v tomto prípade potrebné uskutočniť ďalšie testy a dopracovať sa k optimálnym podmienkam skúšok. Testoval sa tento efekt?
- Na obr. 122 je frekvenčné spektrum posunutí. Čo môžeme neho získať?

SPLNENIE SLEDOVANÝCH CIEĽOV HABILITAČNEJ PRÁCE:

Autor HP nedefinuje ciele explicitne. Z textu je však zrejme, že ide o aplikácie DIC na riešenie rôznych problémov mechaniky elastických telies zaťažovaných staticky aj dynamicky. Pre vyhodnotenie výsledkov meraní autor vytvoril a otestoval program MOSTRAN v.1 umožňujúci napät'ové analýzy aj analýzy pohybu. Ako príklad pohybujúceho sa objektu je meranie posunutí pohybujúceho sa ramena manipulátora. Prezentované výsledky sú cenným nástrojom pre ďalší vývoj vedného odboru. Veľmi cenné sú výsledky získané v podkapitole 4.1. Ide hlavne o vytváranie spectle vzorov na plochých vzorkách s koncentrátormi napätia. Kalibrácia kamier má veľký vplyv na presnosť DIC. Nové poznatky sú získané pri využití DIC analýze rázových dejov.

CELKOVÉ ZHODNOTENIE HABILITAČNEJ PRÁCE A ZÁVER:

Predložená HP Ing. Martina Hagaru, PhD., ako aj jeho doterajšie vedecké a pedagogické výsledky spĺňujú podmienky kladené na vypracovanie habilitačnej práce v zmysle vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 246/2019 Z. z. o postupe získavania vedecko-pedagogických titulov a umelecko-pedagogických titulov docent a profesor. Výsledky HP jednoznačne dokazujú, že ide o popredného odborníka v oblasti aplikovanej mechaniky v oblasti rozvoja experimentálnych metód. Po vyjadrení sa k pripomienkam, resp. odpovediam na uvedené otázky a v prípade úspešnej obhajoby odporúčam Ing. Martinovi Hagarovi, PhD udeliť vedecko-pedagogický titul

docent.

Predloženú habilitačnú prácu na základe predchádzajúceho hodnotenia

ODPORÚČAM prijať k obhajobe

a po jej obhájení navrhujem udeliť vedecko-pedagogický titul "docent (doc.)"

Podpisom na tomto posudku zároveň súhlasím s licenčnými podmienkami obsiahnutými v licenčnej zmluve na použitie posudku záverečnej práce, ktorá je súčasťou tohto posudku.

Dátum: 20.04.2021

podpis autora posudku