

Prof. dr hab. inż. Leonard Ziemiański  
Katedra Mechaniki Konstrukcji  
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska  
i Architektury

Rzeszów, 28.03.2019

### **OPINIA**

o rozprawie doktorskiej mgr inż. Marcina Tekieli, pt.

*„A Vision-Based Measurement System for the Analysis of Structural Element  
Deformation Fields”.*

Podstawę do oceny stanowi pismo dziekana prof. Andrzeja Szaraty z dnia 25 lutego 2019 roku dotyczące powierzenia mi przez Radę Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej wykonania niniejszej opinii. Podstawę merytoryczną stanowi dostarczona praca doktorska.

W opiniowanej pracy pt. *„A Vision-Based Measurement System for the Analysis of Structural Element Deformation Fields”* mgr Marcin Tekiel (dalej nazywany Autorem) zajmuje się ciekawym i aktualnym problemem zastosowania technik wizyjnych do analizy pola deformacji elementów konstrukcyjnych (w literaturze przedmiotu techniki te najczęściej określa się angielskim terminem DIC – Digital Image Correlation). W pracy skupiono się głównie na zagadnieniu budowy i weryfikacji poprawności zaproponowanego systemu wizyjnego. Autor podjął trudny temat, który wymaga starannego przygotowania z dziedziny zastosowania metod pomiarowych, wykonania, nie waham się użyć słowa, **ogromnej** pracy związanej z budową systemu do zastosowań praktycznych i przeprowadzenie wielu badań doświadczalnych. Ważność tematu którym zajął się Autor wynika z obszaru potencjalnego zastosowania rezultatów pracy (mam na myśli zbudowany i przetestowany system) w badaniach naukowych oraz w analizie układów konstrukcyjnych. Tak więc wybór tematu jak i zakres opiniowanej pracy należy uznać za aktualny i w pełni uzasadniony.

Podejmowane zadanie precyzujące cel, zakres oraz metodykę rozwiązania problemu przedstawione w pracy jest sformułowane jasno i poprawnie.

## **Omówienie pracy**

Rozprawa mgr Marcina Tekieli składająca się z 229 stron podzielona jest na siedem rozdziałów. Wykaz literatury obejmuje 120 pozycji.

Zakres i cel rozprawy zostały przedstawione w wprowadzeniu. Sformułowano cel główny pracy jako : „zaprojektowanie i zbudowanie systemu pomiarowego bazującego na technikach analizy obrazu dla zagadnień opisanych polami deformacji ...”, jak i cele narzędziowe i aplikacyjne. Cele te można określić jako analiza różnych podejść i możliwości zastosowania technik analizy obrazu w pomiarach doświadczalnych. Zadania do rozwiązania zostały określone przez Autora w sposób prawidłowy.

W rozdziale drugim omówione zostały podstawy pomiarów optycznych, przedstawiono formalne definicje związane z cyfrowym przedwarzaniem obrazów. Autor przytoczył podstawy i genezę stosowania metod DIC, podał zalety i wady stosowania metod optycznych. Zwrócono także uwagę na potencjalne zagrożenia występujące w systemach pomiarowych : i) dystorsje i zniekształcenia występujące w pomiarach optycznych, ii) odpowiednie przygotowanie powierzchni obserwowanego obiektu. Autor przedstawił też metody postępowania w celu eliminacji tego typu zagrożeń. Zostały też zdefiniowane miary kryteriów podobieństwa podobszarów analizowanego obiektu, które są wykorzystywane w pracy (cross-correlation, sum of squared differences). Omówił także podstawy teorii sprężystości w odniesieniu do pola odkształceń. Rozdział trzeci poświęcony jest omówieniu zasad i podstaw, projektowanego systemu wizyjnego, sformułowania kryteriów i funkcjonalności działania systemu oraz zdefiniowano interfejs tworzonego systemu.

W rozdziałach 2-3 omówiono więc zasady, koncepcje i założenia przyjęte w celu zaprojektowania systemu do analiz wizyjnych pola odkształceń. Na podstawie przyjętych wytycznych zaprojektowano i zbudowano system DIC. W pracy nie omówiono technicznych aspektów realizacji i budowy tegoż systemu. W pozostałych rozdziałach pracy przedstawiono przykłady weryfikacji i zastosowań zbudowanego systemu do analizy różnych zadań mechaniki konstrukcji.

W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki sprawdzenia poprawności otrzymanych wyników pomiarowych otrzymanych z zaprojektowanego systemu. Weryfikacji dokonano korzystając z benczmarkowych testów: dane dostarczone przez Society for Experimental Mechanics dla celów analizy korelacyjnej obrazów, testy porównawcze pomiarów przemieszczeń wykonanych za pomocą mikrometru i maszyny wytrzymałościowej. Testy te wykazały poprawność pomiarów proponowanego systemu optycznego.

W następnych rozdziałach (piątym i szóstym) przedstawiono i omówiono zastosowanie zbudowanego systemu analiz optycznych do badania różnego rodzaju materiałów wykorzystywanych w inżynierii lądowej ; beton, drewno, szkło itp., jak również do testowania różnego rodzaju ustrojów i elementów konstrukcji. Rozdziały te zawierają pełne teksty 4 współautorskich artykułów opublikowanych (czyli zrecenzowanych) w czasopismach JCR których IF wynosi =4.52, 2.94, 2.47, 2.22, jak również części innych artykułów i prac doktorskich w których został wykorzystany do pomiarów przemieszczeń i odkształceń system mgr inż. Marcina Tekieli. Publikacje te pokazują szerokie możliwości zastosowań systemu optycznego do prowadzenia badań pomiarowych w wielu obszarach prac badawczych. Przedstawione w publikacjach zagadnienia to ; i) zastosowanie DIC do badań wytrzymałościowych próbek kompozytowych (ścieżki  $\sigma - \epsilon$ , poślizg próbek), ii) badanie wytrzymałości wzmocnienia cegły taśmami kompozytowymi, iii) zastosowanie metod wizyjnych do badań wytrzymałościowych belek szklanych i drewniano-szklanych, iv) badania doświadczalne połączeń stalowych łączonych na kleju.

Rozprawę kończy rozdział siódmy gdzie Autor podsumował wyniki pracy, podał wnioski z przeprowadzonych badań oraz przedstawił możliwości dalszego rozwoju opracowanego systemu.

Celem głównym rozprawy było zaprojektowanie i konstrukcja systemu pomiarowego bazującego na pomiarach optycznych oraz sprawdzenie możliwości zastosowania tego systemu w badaniach mechaniki konstrukcji i materiałów.

**Uważam, że cel pracy postawiony przez Autora został osiągnięty, że użyte w pracy metody pomiarowe są poprawne i świadczą o przygotowaniu Autora do samodzielnej pracy naukowej w dziedzinie mechaniki i metod doświadczalnych konstrukcji. Uważam ponadto, że przedstawiona praca, w sposób jasny i klarowny omawia analizowane zagadnienie, gdzie Autor wykazał dojrzałość badawczą i odpowiednie przygotowanie do prowadzenia badań naukowych.**

Najistotniejszym efektem pracy jest, w mojej opinii, wykazanie efektywności i przydatności zastosowanych metod analizy obrazu do rozwiązania zadań mechaniki konstrukcji. Prowadząc również badania eksperymentalne, wiem jak bardzo trudne i pracochłonne jest stworzenia odpowiedniego zestawu aparaturowego do przeprowadzenia wymaganych pomiarów. Wiem również jak cenna jest wybranie odpowiedniej metodyki pomiarowej. Wiedza ta umożliwia mi sformułowanie wniosku, że zaprezentowany w pracy system do analiz optycznych stanowi oryginalne rozwiązanie projektowe systemu pomiarowego. **Uważam ponadto, że projekt i realizacja takiego systemu może być przedmiotem rozprawy doktorskiej.**

## **Uwagi formalne**

Opiniowana praca doktorska w swojej konstrukcji odbiega od przeważającej liczby prac doktorskich które do tej pory opiniowałem. Dlatego też poddałem analizie zgodność pracy z wymogami Ustawy i Rozporządzeń Ministra.

Odpowiednie przepisy Ustawy dotyczące prac doktorskich są sformułowane w: Art 13 pkt 1. który mówi: „*Rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora albo pod opieką promotora i promotora pomocniczego, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub **oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne**, lub oryginalne dokonanie artystyczne, oraz **wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej** lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej*”. Pkt. 2 natomiast „*Rozprawa doktorska może mieć formę maszynopisu książki, książki wydanej lub spójnego tematycznie zbioru rozdziałów w książkach wydanych, **spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopiśmie naukowych**, określonych przez ministra właściwego do spraw nauki na podstawie przepisów dotyczących finansowania nauki, jeżeli odpowiada warunkom określonym w ust. 1*”. Również, w przypadku tej pracy ma zastosowanie pkt. 4 „*Rozprawę doktorską może także stanowić **samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej, jeżeli wykazuje ona indywidualny wkład kandydata przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej**, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy, odpowiadający warunkom określonym w ust. 1*”.

W odniesieniu do opiniowanej pracy **zdecydowanie mogę stwierdzić**, że praca spełnia wymogi ustawy sformułowane w Art. 13., tzn :

- 1) stanowi oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne oraz
- 2) Autor wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie naukowej mechanika w obszarze metod eksperymentalnych, a także
- 3) przedstawia, w części, spójny tematycznie zbiór artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopiśmie naukowych, ponadto
- 4) jest samodzielną i wyodrębnioną częścią pracy zbiorowej, z wykazaniem indywidualnego wkładu kandydata przy wykonywaniu części eksperymentalnej. Do pracy dołączone są dokumenty, podpisane przez wszystkich współautorów, potwierdzające procentowy wkład Autora w przygotowanie publikacji, który wynosi odpowiednio ; 30%, 20%, 35%, 15%. Zakres wykonanych badań przez magistra Tekielę został określony jako:

przygotowanie stanowiska badawczego dla pomiarów wizyjnych, przygotowanie badanych elementów do pomiarów wizyjnych, zastosowanie autorskiego systemu pomiarowego w celu uzyskania wyników pomiarowych prezentowanych w artykule, przedstawienie i opis rezultatów badań doświadczalnych w artykule.

### **Wnioski końcowe**

Na zakończenie tej opinii pragnę sformułować kilka wniosków ogólnych.

1. Rozprawa napisana jest poprawnie, kontynuowane jest logiczne rozwinięcie tezy i celu pracy.
2. Autor wykazał szeroką wiedzę w zakresie metod eksperymentalnych oraz zastosował ją do stworzenia profesjonalnego systemu „CivEng Vision System”.
3. Rozprawa zawiera części oryginalne, dotyczy to zwłaszcza wytycznych i zasad projektowania systemów optycznych i projekt własnego systemu do analiz wizyjnych obrazów,
4. Wykazano przydatność i efektywność zaproponowanego systemu optycznego do rozwiązywania złożonych problemów mechaniki,
5. Cele pracy oraz zadania wynikające z tezy zostały zrealizowane. Wskazane zostały także obszary dalszych badań.

Opierając się na powyższych wnioskach stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca mgr inż. Marcina Tekiela pt. „*A Vision-Based Measurement System for the Analysis of Structural Element Deformation Fields*”, stanowi twórczy wkład do nauki w dyscyplinie mechanika w obszarze metod eksperymentalnych oraz **spełnia wszystkie warunki stawiane rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązujące przepisy** - (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku - Dz. U. Z 2017 r., poz. 1789, Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora) i **wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**