

Bydgoszcz, 12.07.2019 r.

dr hab. inż. Dariusz Boroński, prof. nadzw. UTP
Zakład Podstaw Konstrukcji Maszyn
Instytut Mechaniki i Konstrukcji Maszyn
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
w Bydgoszczy

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Malowanego
nt.: „System cyfrowej korelacji obrazu do badań złożonych obiektów inżynierskich”**

Podstawą formalną opracowania recenzji jest uchwała Rady Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej z dnia 29 maja 2019 roku i pismo Dziekan Wydziału z dnia 30 maja 2019 roku.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgra inż. Krzysztofa Malowanego dotyczy problematyki analizy przemieszczeń i odkształceń z zastosowaniem cyfrowej korelacji obrazu. W ostatnich latach ta technika pomiarowa stała się jedną z najczęściej stosowanych metod w analizie własności i właściwości mechanicznych różnorodnych obiektów technicznych, począwszy od próbek materiałowych po złożone struktury wielkogabarytowe. Głównym powodem jej szerokiego upowszechnienia jest rozwój optoelektroniki (megapikselowe kamery, telecentryczne obiektywy o mikronowej rozdzielczości optycznej), który umożliwił uzyskanie czułości pomiarowych na poziomie pozwalającym na jej zastosowanie w badaniach przemieszczeń i odkształceń z wysoką rozdzielczością. Innym ważnym czynnikiem sprzyjającym poszerzeniu zakresu zastosowania metody cyfrowej korelacji obrazu jest rozwój technik komputerowych, w szczególności w zakresie szybkości transmisji (np. poprzez interfejsy CoaXPress) i przetwarzania dużych zbiorów danych (np. z zastosowaniem GPU), pozwalający na realizację pomiarów w warunkach obciążeń dynamicznych. Równie ważnym czynnikiem sprzyjającym wzrostowi zainteresowania cyfrową korelacją obrazu jest rozwój metod analizy obrazu, w tym na bazie naturalnej niejednorodności powierzchni obiektu. Wiele z algorytmów analizy obrazu jest udostępnianych nieodpłatnie, także przez producentów systemów pomiarowych.

Ważnym kierunkiem rozwoju metody cyfrowej korelacji obrazu jest jej zastosowanie w analizie przemieszczeń w strukturach wielkogabarytowych. W takim przypadku konieczne stają się stosowanie algorytmów bazujących na obrazach obiektu pozyskiwanych z wielu różnych ujęć. W przypadku badań w warunkach statycznych mogą one być pozyskiwane z jednej kamery umieszczonej w różnych pozycjach względem obiektu lub w przypadku badań w warunkach obciążeń dynamicznych z wielu kamer jednocześnie rejestrujących obraz obiektu.

Autor zaprezentował w pracy trzy zagadnienia, w których mieszczą się rozwiązania będące osiągnięciem stanowiącym podstawę do ubiegania się o stopień doktora. Pierwsze z nich obejmuje rozszerzenie zakresu stosowalności metody cyfrowej korelacji. Drugie zagadnienie dotyczy opracowania wielokamerowego systemu cyfrowej korelacji obrazu z rozproszonymi polami pomiarowymi. Ostatnim problemem podjętym w pracy jest kalibracja i walidacja modeli numerycznych na bazie danych eksperymentalnych pozyskiwanych z zastosowaniem opracowanego systemu cyfrowej korelacji obrazu oraz opracowanej metody analizy danych pomiarowych.

Postęp w zakresie każdego z nich wpływa na rozwój metody cyfrowej korelacji obrazu i możliwości jej zastosowań praktycznych, w tym głównie w analizie przemieszczeń i odkształceń w obiektach

technicznych.

W świetle powyższych stwierdzeń można uznać podjęcie tematu rozprawy za celowe i uzasadnione, a podejmowaną tematykę aktualną zarówno pod względem poznawczym, jak i praktycznym.

Przedstawiona do oceny praca doktorska ma formę dopuszczoną Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia z dnia 14 marca 2003 r. wraz z późniejszymi zmianami, która w §13 p. 2 stanowi, że „Rozprawa doktorska może mieć formę (...) 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 (...)”.

W przypadku mgr inż. Krzysztofa Malowanego, spójny tematycznie zbiór publikacji obejmuje 12 współautorskich prac opublikowanych jako artykuły w czasopiśmie naukowych (11) oraz materiały międzynarodowej konferencji naukowej (1).

Oceniana rozprawa została zawarta na 197 stronach, a jej treść została podzielona na 3 rozdziały, które zostały poprzedzone streszczeniami w języku polskim i angielskim oraz spisem treści.

W pierwszym rozdziale pracy Doktorant scharakteryzował swoją aktywność naukową i zawodową oraz zamieścił uzasadnienie podjęcia tematu. Na tym tle określił cel pracy jako: rozszerzenie aplikacyjności metody cyfrowej korelacji obrazu do pomiaru złożonych obiektów inżynierskich, poprzez opracowanie nowych metodyk pomiarowych i ścieżek przetwarzania danych oraz rozbudowę układu pomiarowego o nowe konfiguracje pomiarowe i moduły obliczeniowe.

W dalszej części rozdziału Autor w dużym skrócie omówił podstawy teoretyczne dwu i trójwymiarowej metody cyfrowej korelacji obrazu, wskazując na jej ograniczenia i możliwości rozwoju.

Szkoda, że w tej części pracy Autor nie zamieścił szerszego odniesienia do aktualnego stanu wiedzy w zakresie podjętego celu pracy, który wskazywałby na oryginalność podejmowanej tematyki badawczej.

Należy zwrócić uwagę, że aktywność naukowa Doktoranta, obejmująca m.in. udział projektach badawczych NCBiR (w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka i Programu Badań Stosowanych), przekłada się na jego aktywnością zawodową, w której wdraża wyniki badań i prac z zakresu cyfrowej korelacji obrazu do praktycznych zastosowań przemysłowych w ramach utworzonej firmy spin-off.

W drugim rozdziale rozprawy Autor podał podstawowe informacje na temat publikacji stanowiących podstawę rozprawy oraz omówił opisane w nich osiągnięcia. Pogrupował je na trzy wcześniej wskazane obszary, tj.:

- rozszerzenie aplikacyjności tradycyjnych układów 3D CKO,
- wielokamerowy system CKO 3D, umożliwiający pomiary rozproszone we wspólnym układzie współrzędnych,
- metodyka kalibracji i walidacji modeli numerycznych blachy łukowej z wykorzystaniem eksperymentalnych danych polowych.

Ogólna charakterystyka 12 prac wskazanych jako spójny tematycznie zbiór publikacji prezentuje się imponująco: 11 z nich zamieszczonych jest w czasopiśmie z JCR (część A wykazu czasopism ogłaszanego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego), w czterech z nich Doktorant jest pierwszym Autorem z udziałem od 55 do 75 %. Sumaryczny impact factor wykazanych prac wynosi 23,6, liczba cytowań jest równa 109, a indeks Hirscha (wg bazy Scopus) wynosi 6.

Zgodnie z zamieszczonym w punkcie 2.5 omówieniem wkładu Autora w publikacje, w większości z nich był „... odpowiedzialny za konstrukcję i budowę układów pomiarowych oraz opracowanie danych eksperymentalnych ...”, a także był autorem metodyk pomiarów i analizy ich wyników z punktu widzenia głównych celów badań omawianych w artykułach. Można zatem przyjąć, że stanowi on wyraźnie odrębną część większości z prac, które w wielu przypadkach mają silnie interdyscyplinarny charakter.

W artykule A1 zatytułowanym „Application of Digital Image Correlation (DIC) for Tracking

Deformations of Paintings on Canvas” zaprezentowana została opracowana przez Doktoranta metodyka śledzenia globalnych i lokalnych deformacji płótna (podobrazia) obrazów (dzieł sztuki), wywołanych zmianami wilgotności.

Artykuł A2 „Application of Hybrid FEM-DIC Method for Assessment of Low Cost Building Structures” poświęcono hybrydowej eksperymentalno-numerycznej analizie wpływu zewnętrznego obciążenia środowiskowego na wytrzymałość hangaru wykonanego z samonośnych metalowych płyt. Doktorant był Autorem metody pomiarów analizowanej struktury trójwymiarową metodą cyfrowej korelacji obrazu, który umożliwił kalibrację jej modelu MES.

W kolejnym artykule (A3) zatytułowanym „Application of 3D digital image correlation in maintenance and process control in industry” przedstawiona została modyfikacja standardowej metody DIC, która umożliwia jej zastosowanie do monitorowania i kontroli procesów w przemyśle w pozalaboratoryjnych warunkach otoczenia. W pracy omówiono opracowane modyfikacje oprogramowania wprowadzające nowe metody wizualizacji i automatycznego łączenia danych pozyskiwanych w różnym czasie. Omówiono także modyfikacje w zakresie instrumentarium badawczego, pozwalające na jego pracę w trudnych warunkach środowiskowych. W pracy przedstawione zostały wyniki badań wybranych obiektów (rozpieraczy i ścian przegród budowlanych oraz węzłów instalacji ciepłowniczych) z zastosowaniem zmodyfikowanego systemu 3D DIC.

Artykuł „Application of 3D digital image correlation to track displacements and strains of canvas paintings exposed to relative humidity changes” (A4) poświęcono opracowanej przez Doktoranta metodzie śledzenia przemieszczeń w obrazach narażonych na zmiany wilgotności względnej. Opracowana metoda pozwala na oddzielenie lokalnych przemieszczeń od przemieszczeń globalnych, co z kolei umożliwia ocenę metod konserwacji stosowanych do naprawy płótna obrazu.

W artykule „Stability and bearing capacity of arch-shaped corrugated shell elements: experimental and numerical study” oznaczonym jako A5, omówiono modelowanie numeryczne profilowanych blach stalowych stosowanych jako samonośne konstrukcje łukowe pokrycia dachu. Ocenę modeli prowadzono na bazie wyników badań eksperymentalnych prowadzonych metodą cyfrowej korelacji obrazu na bazie metodyki badawczej zaproponowanej przez Doktoranta.

W kolejnym artykule (A6) zatytułowanym „3D DIC tests of mirrors for the single-mirror small-size telescope of CTA”, omówiono badania jakości kształtu powierzchni lustrzanych powierzchni teleskopu. Mierzone zwierciadła wykonane są z materiałów kompozytowych. Do oceny procesów projektowania, wytwarzania i oceny funkcjonalności lusterek w warunkach operacyjnych, zastosowano podobnie jak we wcześniejszych przypadkach trójwymiarową metodą cyfrowej korelacji obrazu. W pracy omówiono oryginalną procedurę pomiaru kształtu lustra dla różnych temperatur otoczenia.

Nieco odbiegającą tematycznie od wcześniejszych artykułów jest praca zatytułowana „Measurements of geometry of a boiler drum by time-of-flight laser scanning” (A7), w której analizowano parametry geometryczne bębna kotła wykorzystywanego w linii technologicznej elektrowni. W tym przypadku pomiary kształtu i deformacji walczaka w miejscu uszczelnienia strefy separacji pary wodnej i wody po jego obróbce cieplnej prowadzone były z zastosowaniem skanera laserowego, a osiągnięciem Doktoranta było opracowanie metody transformacji danych pomiarowych uzyskanych ze skanera (chmury punktów w kartezyjańskim układzie współrzędnych) do cylindrycznego układu współrzędnych, znacznie łatwiejszego w interpretacji wyników pomiarów obiektów o charakterze brył obrotowych. W pracy nie jest stosowana metoda cyfrowej korelacji obrazu.

Następnym artykułem zamieszczonym w rozprawie jest „Comparative analysis of numerical models of arch-shaped steel sheet sections” (A8). W pracy przeprowadzono analizę porównawczą przemieszczeń i odkształceń w strukturze budowlanej wyznaczonych z zastosowaniem uproszczonego i kalibrowanego eksperymentalnie (metodą triangulacji laserowej) modelowania numerycznego. Wyniki badań realizowanych opracowaną przez Doktoranta metodyką opartą na trójwymiarowej metodzie cyfrowej korelacji obrazu posłużyły głównie do weryfikacji eksperymentalnej wyników obliczeń numerycznych.

W dziewiątym artykule zbioru (A9) o tytule „Non-destructive testing of industrial structures with the use of multi-camera Digital Image Correlation method”, zaprezentowano metodę przestrzennego skalania wyników pomiarów uzyskiwanych metodą cyfrowej korelacji obrazu z wielu układów pomiarowych umieszczonych w różnych układach odniesienia. Opracowana metoda pozwala na

transformację wyników pomiarów zarówno dla przypadku zachodzenia na siebie pól pomiarowych, jak i niezależnych obszarów obserwacji.

Podobnej tematyce poświęcono artykuł A10 zatytułowany „Multi-camera digital image correlation method with distributed fields of view”. Jednak tym przypadku w celu uzyskania wysokiej dokładności transformacji układów odniesienia poszczególnych kamer obserwujących rozproszone (nie zachodzące na siebie) pola pomiarowe zastosowano dodatkowo tracker laserowy. Systemy cyfrowej korelacji obrazu są łączone za pomocą algorytmu, który wykorzystuje do tego celu pozycje znaczników wyznaczone jednocześnie przez poszczególne układy kamer i tracker laserowy. Proponowana metoda kalibracji umożliwia wiarygodną transformację między lokalnymi i globalnym układem współrzędnych.

W kolejnym artykule (A11) o tytule „Application of complementary optical methods for strain investigation in composite high pressure vessel” metodę cyfrowej korelacji obrazu zastosowano do analizy rozkładów przemieszczeń i odkształceń w ujęciu lokalnym i globalnym w wysokociśnieniowych zbiornikach kompozytowych na paliwa gazowe (wodór i metan) z celowo wprowadzonymi rozwarstwieniami i karbami. Wyniki pomiarów umożliwiły analizę porównawczą z wynikami pomiarów z zastosowaniem światłowodowych czujników pomiarowych z siatkami Bragga umieszczonymi bezpośrednio w zbiorniku w trakcie jego wytwarzania. W pracy wykazano, że cyfrowa korelacja obrazu może być z powodzeniem zastosowana jako metoda identyfikacji defektów w pełnym polu widzenia i że może wspierać optymalizację lokalizacji czujników Bragga i ich kalibrację.

Ostatni ze zbioru publikacji (A12) nosi tytuł „Application of 3D Digital Image Correlation for Development and Validation of FEM Model of Self-Supporting Arch Structures”. W artykule zaprezentowano eksperymentalno-numeryczną metodę analizy i optymalizacji struktur łukowych stosowanych w budowie lekkich struktur budowlanych. Zaproponowana metodyka opiera się na trzech etapach opracowywania i walidacji modeli numerycznych metody elementów skończonych z zastosowaniem metody cyfrowej korelacji obrazu, począwszy od sekcji o małych rozmiarach, przez kilka powiązanych segmentów, aż do pełnowymiarowych obiektów. W efekcie wieloetapowego procesu badań opracowano skuteczny model numeryczny, który umożliwia analizę profilowanych blach stalowych w kształcie łuku o zróżnicowanej geometrii i dowolnych warunkach obciążenia. Przedstawiona w artykule metodyka badań może posłużyć do określenia wytrzymałości i właściwości funkcjonalnych tego typu struktur, co jest wymagane w procesie wdrażania produktu do stosowania w budownictwie.

W dalszej części tego rozdziału Autor zamieścił podsumowanie, w którym zestawiał najważniejsze rezultaty prowadzonych badań oraz ich praktyczne zastosowanie w licznych jednostkach naukowych i gospodarczych.

Na zakończenie rozdziału Autor wskazał kierunki swojej dalszej swojej aktywności naukowej i zawodowej, koncentrując się głównie na zamierzeniach związanych z wdrożeniem opracowanych metodyk i instrumentarium do praktyki.

Trzeci rozdział pracy stanowią kopie prac stanowiących podstawę rozprawy.

Nietypowym rozwiązaniem zastosowanym przez mgra inż. Krzysztofa Malowanego jest zamieszczenie bibliografii pomiędzy dwoma numerowanymi rozdziałami 2 i 3. Należało raczej zamieścić ją na końcu pracy lub kopie publikacji zamieścić w załączniku, a nie w kolejnym rozdziale następującym po wykazie literatury.

Z zaprezentowanego omówienia wynika, że przedstawiona do oceny rozprawa pod względem formalnym spełnia z nadmiarem wymagania stawiane pracom stanowiącym spójny tematycznie zbiór artykułów.

Analiza treści rozprawy pozwala stwierdzić, że Doktorant wykazał się właściwymi dla realizacji postawionych celów kompetencjami w zakresie mechaniki eksperymentalnej i jej zastosowania w zagadnieniach modelowania, konstruowania i diagnozowania złożonych obiektów poddawanych zróżnicowanym obciążeniom (termicznym, mechanicznym), a także w zakresie opracowania i analizy otrzymywanych wyników badań. Metody badawcze użyte przez Doktoranta w mojej opinii są odpowiednie dla przyjętych celów pracy, a sposoby przedstawienia wyników badań i ich analizy zgodne z przyjętymi standardami w tym zakresie, czego potwierdzeniem jest ich opublikowanie

w recenzowanych czasopismach o określonym współczynniku wpływu „impact factor”.

Biorąc pod uwagę charakter prac zrealizowanych przez Doktoranta oraz potencjalny zakres zastosowania ich rezultatów, ocenianą rozprawę i przedstawione w niej osiągnięcia można zakwalifikować do dyscypliny inżynieria mechaniczna, pomimo tego, że znaczna część publikacji stanowiących merytoryczną podstawę rozprawy zostało wydanych w czasopismach wykazujących inne dyscypliny (wg. Web of Science: chemistry, materials science, physics, computer science, optics, civil engineering, astronomy, astrophysics). Jest to w dużej mierze wynikiem tego, że Doktorant rozwijał metodyki badawcze będące celem rozprawy w interdyscyplinarnych zespołach, pod specyficzne potrzeby badawcze. Jednak analiza wkładu Autora w poszczególne prace pozwala stwierdzić, że jest on zgodny z tematyką określoną w tytule rozprawy.

W tym miejscu należy jednak zwrócić uwagę na sam tytuł rozprawy. Jego ogólne sformułowanie: „System cyfrowej korelacji obrazu do badania złożonych obiektów inżynierskich”, mogłoby sugerować, że rozprawa dotyczy opracowania układu pomiarowego, podczas gdy z analizy treści artykułów, jak i ich omówienia zaprezentowanego w rozdziale drugim, wynika że koncentruje się ona bardziej na zastosowaniu cyfrowej korelacji obrazu w pomiarach złożonych obiektów, wymagającego opracowania nowych metodyk realizacji pomiarów i analizy ich wyników, w tym nowych instrumentarium badawczych.

2. Ocena rozprawy

Jednym z pierwszych spostrzeżeń nasuwających się po lekturze rozprawy jest rozpiętość tematyczna zagadnień, w których realizację, z dobrym skutkiem, zaangażował się Doktorant. Wymagało to w pierwszej kolejności dobrego rozpoznania analizowanego problemu, aby opracowana metodyka analizy przemieszczeń i odkształceń dawała satysfakcjonujące wyniki. Taka różnorodność tematyczna wpłynęła oczywiście na wybór formy przygotowania rozprawy doktorskiej. W mojej opinii przyjęte rozwiązanie, to jest przygotowanie rozprawy w formie zbioru publikacji jest dobrym rozwiązaniem i pozwala w pełnijszy sposób ocenić kompetencje i merytoryczne przygotowanie Doktoranta.

2.1. Osiągnięcie Doktoranta

Podstawowym celem badań realizowanych przez Doktoranta było opracowanie metod badawczych wykorzystujących technikę cyfrowej korelacji obrazu do analizy skutków różnorodnych oddziaływań na wybrane obiekty o zróżnicowanej właściwościach mechanicznych.

Szczegółowa analiza zbioru publikacji stanowiących podstawę ocenianej monografii pozwala stwierdzić, że postawiony cel badań został osiągnięty, a liczne przykłady badań szerokiego spektrum obiektów, których wyniki zamieszczono w artykułach są tego potwierdzeniem.

W mojej opinii podstawowym osiągnięciem mgr inż. Krzysztofa Malowanego jest zatem skuteczna modyfikacja i adaptacja systemów cyfrowej korelacji obrazu do analizy przemieszczeń i odkształceń dla zróżnicowanych obiektów i zróżnicowanych warunków obciążeń. Opracowane metody badań skutkowały wprowadzeniem nowych, oryginalnych rozwiązań w zakresie konfiguracji sprzętowej, jak i oprogramowania systemów.

Cennym osiągnięciem jest także opracowanie metody scalania wyników pomiarów uzyskiwanych metodą cyfrowej korelacji obrazu z wielu układów pomiarowych umieszczonych w różnych układach odniesienia i to zarówno dla obrazów zachodzących na siebie, jak i dla niezależnych obszarów obserwacji.

2.2. Uwagi o charakterze merytorycznym

Biorąc pod uwagę fakt, że osiągnięcia Doktoranta zostały poddane szczegółowej ocenie recenzentów w procesie wydawniczym w czasopismach o uznanym poziomie naukowym, przedstawione poniżej uwagi mają bardziej charakter spostrzeżeń i pytań, niż uwag krytycznych. Ponadto dotyczą one przede wszystkim zagadnień obejmujących merytoryczny wkład Doktoranta, a nie całości prac.

- Stosunkowo mało miejsca w rozprawie Doktorant poświęcił algorytmom przetwarzania obrazu w samej metodzie cyfrowej korelacji obrazu. Dotyczy to zarówno przewodnika po publikacjach, jak i samych publikacji. Co prawda w rozdziale 1 zostały omówione teoretyczne podstawy metody, jednak brakuje informacji, czy prace Doktoranta dotyczyły także opracowania lub modyfikacji stosowanych w tym celu algorytmów.

W części artykułów można odnaleźć informację, że analiza obrazów odbywała się z zastosowaniem komercyjnego oprogramowania VIC-3D. Czy w pozostałych przypadkach stosowano inne narzędzia ?

- W opisie systemu cyfrowej korelacji obrazu do analizy rozproszonych pól pomiarowych (A10) nie odnalazłem informacji, czy umożliwia on pracę w warunkach obciążeń dynamicznych. Jeśli tak, to jaką osiągnięto częstość próbkowania w procesie pomiarowym ? Podobne pytanie dotyczy pomiarów opisanych w pracy A9. Czy obydwie opisane metodyki pomiarowe różnią się w tym zakresie ?
- W pracy A3 została podana informacja, że analiza pól przemieszczeń może odbywać się w czasie rzeczywistym. Jaka zatem była częstotliwość próbkowania obrazów ?
- W większości prowadzonych badań, na badane obiekty наносono losowy wzór plamek. Czy prowadzono także badania, w których do analizy przemieszczeń wykorzystywano naturalną niejednorodność obrazu powierzchni badanych obiektów ?
- W publikacji dotyczącej hybrydowej analizy lekkich struktur budowlanych (A2), wyniki analiz eksperymentalnych stosowano do kalibracji modelu numerycznego poprzez modyfikację właściwości mechanicznych używanych w modelu, tak aby uzyskać minimalne różnice pomiędzy wynikami analiz numerycznych i badań eksperymentalnych. Czy prowadzono także badania, w których wyniki pomiarów przemieszczeń wykorzystywano by jako warunki brzegowe w analizie numerycznej ? Takie podejście bardziej odpowiada idei hybrydowej analizy pól mechanicznych.
- Omówiona w pracy A7 metoda transformacji wyników pomiarów z kartezjańskiego układu współrzędnych do układu współrzędnych cylindrycznego dotyczyła danych pomiarowych uzyskanych ze skanera laserowego. Czy opracowana metoda może być lub może była stosowana w transformacji wyników pomiarów uzyskanych metodą cyfrowej korelacji obrazu ?

2.3. Uwagi redakcyjne

Doktorant dołożył niezbędnych starań, aby strona redakcyjna rozprawy nie budziła zastrzeżeń, jednak chciałbym zwrócić uwagę na kilka drobnych kwestii:

- Do pracy załączone są kopie artykułów, które w oryginale przygotowywane są w większym formacie niż wydrukowana rozprawa, co sprawia że są one słabo czytelne. Można by rozważyć, czy nie byłoby dobrym rozwiązaniem dołączanie ich do rozprawy także w formie elektronicznej. Co prawda, można je odnaleźć w bazach danych, ale trzeba też brać pod uwagę fakt, że nie wszyscy zainteresowani muszą mieć do nich dostęp.
- Autor z trudnych do wyjaśnienia przyczyn zamieścił poszczególne artykuły w rozprawie w dość przypadkowej kolejności, co nie ułatwia lektury pracy, tym bardziej, że ich nie oznaczył zgodnie ze sposobem podanym w tabelach zamieszczonej w rozdziałach 2.1 i 2.5.
- Mały rozmiar użytej czcionki i słaba czytelność rysunków utrudniają zapoznanie się z treścią pracy. Rysunki zamieszczone w części opisowej pracy powinny być dostosowane do jej formatu, nawet wówczas jeśli zostały zaczerpnięte z załączonych artykułów.
- W części opisowej pracy zostały zastosowane angielskie opisy rysunków.
- Autor nie był konsekwentny w zakresie oznaczeń tablic: w jednym przypadku została zatytułowana i oznaczona numerem, w pozostałych - nie.
- Należy też zwrócić uwagę na wskazane wcześniej nietypowe umiejscowienie wykazu literatury.
- W tytule rozdziału 2.2.4 Autor używa nazwy walcowy układ współrzędnych, a w jego treści stosuje określenie cylindryczny układ współrzędnych – nie jest to oczywiście błędem, ale lepiej byłoby stosować takie samo nazewnictwo w całej pracy.

Powyższe uwagi nie wpływają jednak na ogólnie pozytywny obraz redakcyjnej strony pracy.

3. Wniosek końcowy

Oceniając całość pracy w kontekście wymagań stawianych pracom doktorskim można stwierdzić, że podjęte w niej zamierzenie naukowo-badawcze zostało przez Doktoranta osiągnięte. Rozprawa zawiera oryginalne osiągnięcia o silnym zastosowaniu praktycznym, a Doktorant wykazał się właściwymi kompetencjami w zakresie prowadzenia analiz teoretycznych i doświadczalnych oraz

w zakresie budowy instrumentariów badawczych. Wykazał się także niezwykle cenną umiejętnością pracy w interdyscyplinarnych zespołach badawczych, wnosząc istotny wkład merytoryczny i praktyczny w realizowane przedsięwzięcia z bardzo odmiennych obszarów (od prac konserwatorskich obrazów, poprzez analizę instalacji bloków energetycznych, po badania obiektów budowlanych).

Można zatem stwierdzić, że rozprawa doktorska mgra inż. Krzysztofa Malowanego spełnia wymogi określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i może być dopuszczona do publicznej obrony przed Radą Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej.

Biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny rozprawy, w tym oryginalność przeprowadzonych prac w interdyscyplinarnych zespołach i sposób ich udokumentowania w formie licznych publikacji w czasopismach o światowym zasięgu, a także praktyczne wykorzystanie wyników badań, proponuję pracę Pana mgra inż. Krzysztofa Malowanego wyróżnić.

