

Recenzja rozprawy doktorskiej pt. *System cyfrowej korelacji obrazu do badania złożonych obiektów inżynierskich* autorstwa mgr. inż. Krzysztofa Malowanego

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Natalii Golnik (L.dz. WMT.521.18.2019) z dnia 30.05.2019 (data doręczenia 03.06.2019) informujące o powierzeniu mi przez Radę Wydziału obowiązków recenzenta i opracowania opinii rozprawy doktorskiej jak to sformułowano powyżej.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiot recenzji stanowi rozprawa doktorska przedstawiona w postaci spójnego tematycznie zbioru 12 artykułów opublikowanych w czasopiśmie naukowych z listy JCR (11 publikacji) oraz jednej publikacji zamieszczonej w materiałach międzynarodowej konferencji zorganizowanej przez Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, SPIE „Optics for Arts, Architecture and Archeology”. Jest to forma przewidziana w art. 13, ust. 1, pkt 4 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 r. Cykl publikacji został poprzedzony jednostronicowym streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz 49 stronicowym dokumentem bez tytułu. Dokument ten składa się zasadniczo z dwóch rozdziałów: *Wstępu* (rodz. 1.), w tym *Wstępu teoretycznego* (1.3) oraz *Przewodnika po publikacjach* (rodz. 2.). Można zauważyć brak tytułu cyklu w języku angielskim, co wydaje się istotne, jako że wszystkie treści rozprawy są przedstawione w tym

języku. Promotorem w przewodzie doktorskim jest prof. dr hab. inż. Małgorzata Kujawińska, a promotorem pomocniczym dr inż. Marcin Malesa.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

11 publikacji cyklu ukazało się w wysoko renomowanych czasopismach legitymujących się dużymi wartościami $IF=1,1\div 4,1$, a jedna publikacja w materiałach prestiżowej konferencji SPIE. Publikacje powstały w latach 2011-2019. Są to wszystko publikacje zespołowe o liczbie autorów 2-8, a udział autorski zadeklarowany przez Kandydata wynosił od 10 do 75%. Kandydat w przypadku 4 publikacji (A4, A7, A10 i A12) jest pierwszym (wiodącym) autorem, wskazanym również do korespondencji, a jednocześnie w tych przypadkach jego udział autorski przekracza 50%. W tej sytuacji Ustawa (art. 13 ust. 1 pkt 4) przewiduje, że rozprawę doktorską stanowi **samodzielna i wyodrębniona** część pracy zbiorowej.

To potwierdzenie *samodzielności i wyodrębnienia* zapewne znajduje się w oświadczeniach współautorów, które Kandydat – zgodnie z par. 1 ust. 1 pkt 1 *Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora z dnia 19.01.2018 r.* (Dz. U. z 30.01.2018 poz. 261) przedłożył promotorowi. Przedłożenie tych oświadczeń recenzentowi nie jest wymagane, jednakże ich brak utrudnia ocenę spełnienia tych kryteriów. Okolicznością wysoce łagodzącą jest fakt, że w 11 publikacjach współautorem jest promotor, a w 10 również promotor pomocniczy; ich obecność bezpośrednio zaświadcza dotrzymania wymagań ustawowych. Rozporządzenie przewiduje, że *te samodzielne i wyodrębnione części pracy zbiorowej będą wykazywać indywidualny wkład Kandydata przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowywaniu i interpretacji wyników*. Na podstawie analizy treści przedstawionych przez Kandydata w Przewodniku, a w szczególności oświadczeń na str. 41 i 42 należy uznać, że oczekiwany wkład w powstanie publikacji w zakresie wykonywania eksperymentów, opracowania i interpretacji wyników został spełniony, a w odniesieniu do opracowania koncepcji był szczególnie zaznaczony w odniesieniu do 4 publikacji, w których Kandydat był autorem wiodącym. Z obowiązku recenzenckiego należy jednak zwrócić uwagę, że rozumienie tych pojęć pomiędzy autorami może być odmienne. Otóż w odniesieniu do artykułu (A12) w *Applied Science* Kandydat stwierdza (str. 41): „jestem wiodącym autorem, odpowiedzialnym za strukturę artykułu”, co można by uznać za bliskie ustawowego wymagania (art. 13, ust. 1, p.4): **indywidualny wkład przy opracowywaniu koncepcji**. W notce kończącej ten artykuł –

*Author Contribution*¹ – znajdujemy jednak określenie „conceptualization” przypisane Małgorzacie Kujawińskiej.

4. Ocena celowości podjęcia tematu, trafności sformułowania problemu i celów badawczych

W lutym bieżącego roku w *Applied Science* ukazało się pod redakcją J.N. Perie i J-Ch. Passieux z Uniwersytetu w Tuluzie *Special Issue* zatytułowane *Advances in Digital Image Correlation, DIC*. We wprowadzeniu do tego zbioru stwierdza się, że DIC staje się jedną z najbardziej uniwersalnych metod badania w wielkiej skali zachowania materiałów i konstrukcji. Powstają równocześnie nowe wyzwania odnośnie do efektywności i ograniczania niepewności tych pomiarów, jak i relacji pomiędzy wynikami pomiarów i symulacjami zachowań obiektów na ich podstawie. Zestawiając przedstawioną rozprawę z opublikowanymi w *Applied Science* 15 artykułami stanowiącymi swoisty *state-of-the-art*, należy przyznać, że rozprawa przynosi wartości dodane i stanowi autorską odpowiedź na podnoszone wyżej zagadnienia. Wiele współcześnie ukazujących się publikacji już w swoim tytule stawia problem „obliczeniowe a doświadczalne” – „numerical modelling versus experimental methods” i w ten nurt wpisuje się rozprawa K. Malowanego. Należy przy tym zauważyć, że prezentowany przez Kandydata **system cyfrowej korelacji obrazu do badania złożonych obiektów inżynierskich** jest – jak to trafnie zaznaczono w tytule publikacji (A9) – *nieniszczący* (a nawet *bezkontaktowy*) dla badanego obiektu „non-destructive testing of industrial structures”. Pozwala objąć duży zakres skali przestrzeni i czasu zachowania obiektu oraz jest stosunkowo mało kosztowny.

Kandydat nie formułuje wprost problemu naukowego, który zamierza rozwiązać. Problem do rozwiązania jest sformułowany przez cel pracy – rozszerzenie stosowalności/użyteczności **metody CKO do pomiaru złożonych obiektów inżynierskich**. Traktując technologię jako naukę stosowaną o procesach wytwarzania wyrobów, należałoby cel ten zaliczyć jako poszukiwanie oryginalnego rozwiązania problemu technologicznego – tak jak jest to przewidziane w art. 13 ust. 1 Ustawy. Tytuł rozprawy i jej cel definiują jedynie przedmiotowy zakres „złożone obiekty inżynierskie” (ZOI). Brak natomiast przedmiotowego ujęcia w jakim zakresie ZOI będą badane. Dopiero pośrednio dowiadujemy się, że przedmiotem pomiarów będą przemieszczenia i odkształcenia elementów. Kandydat nie przytacza własnej definicji ZOI, co byłoby ważne o tyle, że tytułem przykładu (str. 3.) są przywołane „obrazy olejne na podłożu płóciennym” (por. również A1 i A4).

¹ *Applied Science* jest jedynym czasopismem spośród wchodzących w skład rozprawy, które stosuje tego rodzaju notki poprzedzające stwierdzenie o nie występowaniu konfliktu interesów między autorami.

Przedstawienie rozprawy doktorskiej w formie zbioru artykułów wymaga (art. 13, ust. 1, pkt 2 Ustawy) zachowania „spójności tematycznej”. Ta spójność jest zachowana, gdyż myślą przewodnią we wszystkich publikacjach jest *Digital Image Correlation* zaadresowana do różnych obiektów. Pewne wątpliwości budzi jedynie artykuł *Measurements of geometry from time-of-flight laser scanning* (A7), w którym to artykule znajdujemy jedynie jednozdaniowe odniesienie do *Digital Image Correlation* – we Wprowadzeniu i odpowiednią pozycją przytoczoną w referencjach. Oczywiście zarówno ToF jak i DIC należą do optycznych metod pomiaru, jednakże utożsamianie ich bez dodatkowego komentarza wyjaśniającego wydaje się nadmiarowe. Ponadto odniesienia do DIC są całkowicie pominięte we wnioskach tej publikacji, a właśnie rozszerzenie zastosowań DIC było celem podjętych studiów.

Publikacje w rozprawie zostały uszeregowane chronologicznie (w kolejności ich powstawania). Zapewne czytelniej byłoby je pogrupować obiektowo, np. łukowe przekrycia stalowe, obrazy malarskie itp. Wówczas artykuły “Non-destructive testing of industrial structures with the use of multi-camera Digital Image Correlation method” (A9) i “Multi-camera digital image correlation method with distributed fields of view” (A10) mogłyby odpowiednio pełnić rolę artykułu wprowadzającego i podsumowującego cykl tematyczny. Pozostałe artykuły są zaadresowane do przykładowo wybranych, jak to określono, złożonych obiektów inżynierskich. Są to:

- obrazy olejne na podłożu płóciennym (A1, A4);
- łukowe przekrycia stalowe (A2, A5, A8, A10 i A12);
- stalowe rozpory głębokich wykopów (A3);
- rurociągi mediów gazowych (A3, A9, A11);
- zwierciadła teleskopów astronomicznych (A6);
- wysokociśnieniowe zbiorniki gazów (A7).

Powstaje pytanie na ile obiekty te są reprezentatywne dla przewidywanych kierunków rozszerzenia stosowania metody DIC oraz na ile pozyskana – na podstawie tych przykładów – nowa wiedza i sformułowane wnioski mają walor uogólnienia. Zdaje się brakować kryteriów, na podstawie których właśnie te przykłady zostały wybrane jako obiecujące dla rozszerzenia zastosowań metody DIC, a to było podstawowym celem rozprawy (str. 3.).

Ogółem w rozprawie zacytowano ponad 300 referencji, w tym blisko 80% są to publikacje z XXI wieku (metoda datuje się od lat 70. ubiegłego stulecia), co również formalnie świadczy o aktualności podjętego tematu. Wśród cytowanej literatury zwraca uwagę pominięcie prac

polskich, które być może pomogłyby we właściwym zorientowaniu na kierunki zastosowań wymagających rozszerzenia, w tym prac prof. prof. L. Dietricha i Z. Kowalewskiego z IPPT PAN np. „Metoda cyfrowej korelacji obrazu w badaniach materiałów i elementów” (*Dozór Techniczny* 4/2016) czy „Nowoczesne systemy optyczne w badaniach mechanicznych” (XXII seminarium „Nieniszczące badania materiałów”, 2016), a także prac prowadzonych w innych ośrodkach np. w Politechnice Gdańskiej – J. Kozicki, J. Tejchman: „Application of DIC technique to concrete” (*Experimental Mechanics*, 2013) czy też L. Wojner i inni: „Praktyka analizy obrazu” (2002).

Zawarte w rozprawie publikacje zostały przedstawione w bardzo zróżnicowanym asortymencie czasopism, a mianowicie:

- *Optics for Arts, Architecture, and Archaeology III* (Proceedings);
- *Experimental Mechanics*;
- *Computers in Industry*;
- *Applied Optics*;
- *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*;
- *Experimental Astronomy*;
- *Measurement*;
- *Archives of Civil and Mechanical Engineering*;
- *Engineering Failure Analysis*;
- *Optics and Lasers in Engineering*;
- *Composite Structures*;
- *Applied Science*.

Tytuły tych czasopism wskazują, że badany obiekt nie był jedyną (ani też główną) przesłanką wyboru czasopisma. Zróżnicowanie tytułów czasopism korzystnie dokumentuje jak wielowektorowy jest dorobek badawczy zawarty w rozprawie.

5. Ocena oryginalności rozwiązania problemu

Podstawowe wymaganie ustawowe w odniesieniu do rozprawy doktorskiej to *oryginalne rozwiązanie problemu naukowego* lub (jak to ma miejsce w tym przypadku) – *technologicznego*. Kandydat problem do rozwiązania sformułował poprzez cel pracy: „rozszerzenie aplikacyjności metody cyfrowej korelacji obrazu do pomiarów złożonych

obiektów inżynierskich”. Realizacja tego celu została uzyskana – jak to wykazuje mgr inż. K. Malowany w Przewodniku – przez opracowanie trzech zagadnień:

1. Modyfikacje w metodyce przetwarzania wyników DIC w odniesieniu do przykładów złożonych obiektów inżynierskich

Tu można wyróżnić autorskie wskazania zawarte we wnioskach opracowań omawiających poszczególne zastosowania DIC; „Application of DIC for ...” powtarza się w tytułach większości artykułów. W dalszej części recenzji wymieniono przykładowe modyfikacje zaadresowane „punktowo” do rozwiązania problemu. W świetle tych stwierdzeń wątpliwość recenzenta budzi jedynie nadmierne używanie w tym kontekście terminu *metodyka*. *Metodyka* to *zbiór zasad* dotyczących trybu postępowania prowadzącego do określonego celu. Zdaniem recenzenta część tych modyfikacji przez konkretność stwierdzeń, to raczej modyfikacja *metody* – czyli *zespołu celowych czynności i środków*.

2. Opracowanie wielokamerowego systemu DIC 3D umożliwiającego pomiary wielu pól pomiarowych w przestrzeni we wspólnym układzie współrzędnych

Tworzenie systemu i przykłady jego wybranych zastosowań w warunkach polowych do monitorowania instalacji gazowej oraz wielogabarytowej hali z blach stalowych opisano w artykułach A10 i A9, a także w nieujętych w cyklu artykule w *Procedia Engineering* (2015), również współautorstwa Kandydata. Jest to oryginalne osiągnięcie autorskie. Jako cechę szczególną chciałbym wymienić umożliwienie długoterminowej, bezstykowej kontroli zachowania obiektów, w tym w różnych warunkach pogodowych.

3. Wykazanie przydatności wyników pomiarów metodą DIC 3D (A2, A5)

Pracując w Instytucie Techniki Budowlanej, miałem okazję obserwować przebieg tych prac na przykładzie hali z blach stalowych. Jestem przekonany, że trudno przecenić znaczenie tych prac dla oceny stateczności i nośności obiektu oraz bezpieczeństwa użytkowania.

Przykłady „punktowych” modyfikacji zastosowania DIC to:

- Kontrola jakości prac konserwatorskich obrazów olejnych na płótnie, wskazania (A1, A4) w zakresie doboru materiałów konserwatorskich; tu użycie terminu metodyka jest uzasadnione;
- Tworzenie map położenia obiektu – nawet w czasie rzeczywistym – w ocenie skuteczności działania stalowych rozpór wykopów (A3);

- Obserwacja i pomiar deformacji zwierciadeł astronomicznych w komorze temperaturowej jako podstawa ulepszeń w procesie wytwarzania (A6).

Te wszystkie osiągnięcia praktyczne znajdują zdaniem recenzenta swoje uogólnienie w opracowywaniu przestrzenno-czasowej analizy danych DIC – w postaci mapowania profili przemieszczeń / deformacji w funkcji czasu, a w razie potrzeby z uwzględnieniem wpływu temperatury. Oryginalność rozwiązania problemu uważam za wystarczająco wykazaną, a nierzadko mającą znamiona działań pionierskich.

Zdanie Kandydata (str. 3.), będące elementem podsumowującej samooceny osiągnięć, rozpoczynające się od słów „Udowodniłem, że udoskonalenia metody 3D CKO oraz opracowane w ramach pracy metodyki pomiaru mogą w przyszłości stanowić (...)” podzielam co do intencji, natomiast uważam za zbyt mocno stanowiące. Czy przyszłość można udowodnić?

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Byłem recenzentem ponad 40 rozpraw doktorskich. Niemniej obecna recenzja jawi mi się jako szczególna i to nie ze względu na meritum, ale ze względu na sposób prezentacji rozprawy. Rozprawa to zbiór artykułów opublikowanych w anglojęzycznych czasopismach; są to publikacje wieloautorskie, liczące nawet 8 współautorów. Jest to bardzo przekonujący dowód umiejętności współpracy badawczej Kandydata. W naukach technicznych jest to nie tylko zaleta, ale wręcz konieczność. Niemniej sytuacja taka nie ułatwia opracowania recenzji. Dlatego też wiele uwagi poświęciłem legislacyjnym uwarunkowaniom rozprawy.

Wykazałem, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu technologicznego (pkt 5. recenzji). Zweryfikowałem także *spójność* tematyczną zbioru artykułów zawartych w rozprawie (pkt 4.), a także analizowałem wkład Kandydata w opracowywanie koncepcji, wykonywanie części eksperymentalnej oraz opracowanie i interpretację wyników (pkt 3.). Rozprawa doktorska powinna stanowić *samodzielną i wyodrębnioną część* pracy zbiorowej (Rozporządzenie par. 6 pkt. 5). Uważam, że zarówno obecność promotora, jak i promotora pomocniczego wśród współautorów znakomitej większości publikacji zawartych w rozprawie oraz oświadczenia współautorów, którymi zgodnie z postanowieniami Rozporządzenia (par. 5 pkt. 2) dysponują promotorzy, upoważnia Radę Wydziału do podjęcia stosownej decyzji. Ze swej strony, przeprowadzając ocenę wkładu Kandydata, kierowałem się stwierdzeniami przedstawionymi w jego autorskim *Przewodniku*. Zakres przeprowadzonych badań i

opracowanych procedur badawczych, autorski udział w przygotowywaniu publikacji do znakomitych czasopism naukowych, umiejętność wypracowania spójnego profilu badawczego, a zarazem zróżnicowanie innowacyjnych aplikacji świadczą, że Kandydat wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną, a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W odniesieniu do inżynierii lądowej, która jest mi bliska, można się pokusić o stwierdzenie, że prace z udziałem mgr. inż. K. Malowanego zapoczątkowały nowy obszar diagnostyki bezdotykowej konstrukcji, szczególnie cenny ze względu na walor ciągłości i sprzężenia pól pomiarowych.

Zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 roku rozprawa doktorska powinna stanowić *oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub technologicznego, wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata, a także umiejętność prowadzenia pracy naukowej* – stwierdzam, że rozprawa pt. „System cyfrowej korelacji obrazu do badania złożonych obiektów inżynierskich” przedłożona przez mgr. inż. Krzysztofa Malowanego spełnia te wymagania.

