

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Kusia
pt.: "Aktywny tomograf holograficzny do pomiaru mikroobektów biologicznych"**

Przedmiotem recenzji jest w/wym. rozprawa doktorska mgra inż. Arkadiusza Kusia. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Małgorzata Kujawińska, promotorem pomocniczym dr hab. inż. Michał Józwik, zaś przewód doktorski prowadzony jest przez Radę Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Recenzję przygotowano na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Mechatroniki, prof. dr hab. Natalii Gołnik wydanego zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Mechatroniki PW z dnia 25 października 2017 r.

Recenzowaną pracę zgodnie z zapisami art. 13 ust. 1 a zwłaszcza ust. 2 pkt 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595, z późn. zmianami) stanowi spójny tematycznie cykl publikacji. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r. (Dz.U. poz. 1586 z 30 września 2016 r.) obok szczegółowo uzasadnionej oceny spełnienia przez rozprawę doktorską warunków określonych w art. 13 ust. 1 ustawy (§6 ust. 4) recenzja musi zawierać ocenę indywidualnego wkładu Kandydata w powstanie prac zbiorowych (§6 ust. 5). Recenzent stwierdza, że warunek ten, pomimo zawartych w przedłożonej rozprawie wyjaśnień Kandydata – część opisowa Rozdział 2 str. 17-39 a zwłaszcza Podrozdział 2.6 str. 36-37, byłby łatwiejszy do oceny, gdyby dokumentacja zawierała dodatkowo oświadczenia współautorów przedłożone przez Kandydata promotorowi zgodnie z zapisami §5 ust. 2 przywołanego rozporządzenia ministra.

Ze względu na fakt, iż rozprawę stanowi zbiór ośmiu artykułów (7 opublikowanych plus 1 przyjęty do druku) w czasopismach z listy A wykazu MNiSW posiadających IF od 0.9 do 3.337 o łącznym współczynniku wpływu 18,94 oraz dwie prace opublikowane w recenzowanych materiałach konferencji międzynarodowych (Proc. of SPIE) znajdujących się na liście B wykazu ministerialnego, recenzent stwierdza, że kwestia oryginalnego rozwiązania problemu naukowego z zastosowaniem właściwej do tego metody, stanowiąca istotę doktoratu jest na wstępie spełniona w całości. Z powyższego powodu recenzent nie podejmuje polemiki w zakresie czy przyjęte rozwiązania są prawidłowe z naukowego punktu widzenia albowiem zostały one zweryfikowane w sposób tajny przez zespół co najmniej 20 niezależnych recenzentów a także zaakceptowane przez odpowiednich redaktorów czasopism JCR. Na tej podstawie recenzent stwierdza także, iż w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł świadcząca o dostatecznej wiedzy autora, zaś wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący. Tym samym elementem niniejszej recenzji pozostaje jedynie stwierdzenie następujących faktów:

1. istoty rozwiązania problemu naukowego zawartego w temacie rozprawy oraz jego kompletnego dowodu poprzez realizację przyjętego celu pracy na bazie przedłożonych publikacji,
2. określenia charakteru pracy jak i jej umocowania w dyscyplinie naukowej reprezentowanej przez Radę Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej,

3. określenia oryginalnego, indywidualnego dorobku Kandydata w przedmiotowej pracy,
4. wykazania zauważanych błędów rozprawy,
5. ustosunkowania się do przydatności pracy dla nauk technicznych.

Ad. 1 Zrealizowana rozprawa doktorska Arkadiusza Kusia wpisuje się bezpośrednio w dynamiczny rozwój Zakładu Inżynierii Fotonicznej, Instytutu Mikromechaniki i Fotoniki Wydziału Mechatroniki PW. Piszę „w rozwój” mając na uwadze zarówno prawidłowe czerpanie z doświadczeń tego zakładu jak i przynoszenie nowych rozwiązań naukowych o praktycznym znaczeniu. Za takie rozwiązanie uważam przedkładałą do oceny rozprawę pod tytułem *Aktywny tomograf holograficzny do pomiaru mikroobiektów biologicznych*, która to w pełni realizuje ambitny cel jakim było cyt. (str. 10 rozprawy): „zaprojektowanie i zbudowanie tomografu holograficznego, który dzięki systematycznemu podejściu do zagadnień związanych z układem pomiarowym dostarczy możliwie największy zakres danych, ograniczy błędy rekonstrukcji, a także rozszerzy użyteczność techniki dzięki zastosowaniu przyjaznej użytkownikowi konfiguracji urządzenia.” Uważam, że syntetyczny temat rozprawy zawiera niezwykle ważne elementy. Po pierwsze jest to świadome wykorzystanie doświadczenia Zakładu Inżynierii Fotonicznej odnośnie budowy i oprzyrządowania tomografu holograficznego jako układu pomiarowego obiektów rzeczywistych. Po drugie przeznaczenie układu do pomiaru mikroobiektów biologicznych narzuca konieczność rozwiązania dwu istotnych problemów – uzyskania odpowiedniej rozdzielczości w zakresie wyznaczania trójwymiarowego rozkładu współczynnika załamania obiektu adekwatnego do struktury biologicznej jak i uzyskania wystarczającej dokładności przestrzennej charakterystycznej dla mikroobiektów. W końcu przystosowanie układu do pomiarów biologicznych stawia istotne wymagania co do czasu pomiaru, co znajduje odzwierciedlenie w tytule rozprawy jako budowę układu aktywnego. Trudno sobie wyobrazić bardziej syntetyczny opis zrealizowanych prac niż podany temat rozprawy, zaś dobór publikacji autorstwa lub współautorstwa Doktoranta pokazuje kolejne przemyślane kroki prowadzące do jego realizacji. W pierwszej kolejności było to dokonanie próby realizacji badań w oparciu o układy tomograficzne z obrotem próbki poprzez uproszczenie budowy układu pomiarowego do integracji z mikroskopem biologicznym [publikacje A1-A3]. Uzyskane na tej bazie doświadczenia pozwoliły Doktorantowi na pierwsze pomiary żywych obiektów biologicznych jak i dostarczyły referencyjnych danych pomiarowych dla rekonstrukcji w ograniczonym kącie projekcji. Choć Doktorant tego bezpośrednio nie wskazuje w omówieniu cyklu publikacji, powyższy zakres doświadczenia pozwolił mu na obranie docelowej drogi realizacji pracy jakim było przejście na układ z ograniczonym zakresem kątowym projekcji [publikacje A4, A6]. W tym zakresie końcowy sukces wiąże się z oryginalnymi pracami co do nowego spiralnego scenariusza oświetlenia [publikacja A9], poprawy rekonstrukcji poprzez optyczne przeogniskowanie [publikacja A10] jak i w końcu wykorzystanie tzw. aktywnego oświetlenia na bazie zastosowania ciekłokrystalicznego przestrzennego fazowego modulatora światła [publikacja A7] czyli uzyskania zmiany kierunku oświetlenia bez udziału elementów mechanicznych. Istotnym elementem zrealizowanych badań pokazującym jego walory praktyczne są zagadnienia dotyczące błędów jakie wnosi zastosowany docelowy układ optyczny. W tym zakresie poprawna ich analiza obok możliwej korekcji numerycznej [publikacje A3, A6] została przeprowadzona najpierw w odniesieniu do klasycznego układu oświetlającego z wykorzystaniem obiektywu mikroskopowego bądź kondensatora [publikacja A8] jak i w końcu dla zastosowanego oświetlenia aktywnego [publikacja A5].

Ad. 2 Zgodnie z określonym przez Doktoranta wkładem w przedstawione do oceny jako doktorat publikacje naukowe Jego udział dotyczył konstrukcji układu optycznego w różnej konfiguracji do realizacji tomografu holograficznego z obrotem próbki oraz z ograniczonym zakresem kątowym projekcji. Tym samym zdaniem recenzenta rozprawa mieści się w zakresie dyscypliny naukowej budowa i eksploatacja maszyn. Jako kompletne zagadnienie naukowe, samodzielnie rozwiązane przez Doktoranta, praca ma charakter eksperymentalno-konstrukcyjny albowiem Doktorant zaproponował odpowiednie koncepcje układowe, dokonał analizy błędów noszonych przez układ optyczny jak i dokonał weryfikacji poprawności konstrukcji poprzez realny pomiar wybranych mikroobektów biologicznych. We wszystkich tych zagadnieniach Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą i umiejętnościami pretendującymi go do uzyskania tytułu doktorskiego.

Ad. 3 Rozprawa zawiera zwięzłe, jasno i niezwykle poprawne ze strony redakcyjnej przedstawienie oryginalnego wkładu Doktoranta w cykl publikacji ukierunkowanych na konstrukcję podanego w tytule aktywnego tomografu holograficznego do pomiaru mikroobektów biologicznych. W tym zakresie samodzielny i oryginalny dorobek Autora stanowi:

- przeprowadzenie badań żywych komórek z wykorzystywaniem udoskonalonego układu z obrotem próbki [wkład do publikacji A1] jak i pozyskanie danych referencyjnych do rozwoju algorytmów obliczeniowych tomografów [wkład do publikacji A2] ,
- wstępne prace nad fantomami kalibracyjnymi dedykowanymi do tomografii z obrotem próbki [wkład do publikacji A3] jak i ze skanowaniem oświetlenia [wkład do publikacji A9],
- projekt, budowa oraz oprogramowanie układu tomografu z ograniczonym zakresem kątowym projekcji [wkład do publikacji A4, A6],
- zaproponowanie i budowa aktywnego układu skanowania, który zmienia kierunek oświetlenia bez użycia elementów mechanicznych co pozwala korygować zidentyfikowane źródła błędów systematycznych [wkład do publikacji A5],
- opracowanie metodyki i przeprowadzenie systematycznej analizy wpływu konstrukcji układu optycznego na jakość rekonstrukcji tomograficznej, ze szczególnym uwzględnieniem błędów układu oświetlającego zwłaszcza błędów skanowania (niewłaściwego kierunku wektora k projekcji) [publikacja A8],
- opracowanie koncepcji układu realizującego dowolny scenariusz oświetlenia z wykorzystaniem tylko jednego zespołu zwierciadeł galwanicznych zapewniającego stałość okresu i orientacji prążków nośnych [wkład do publikacji A9],
- opracowanie koncepcji pomiaru zwiększającego sprzętowo głębię ostrości rekonstrukcji oraz budowa modułu opto-mechanicznego umożliwiającego jego realizację [wkład do publikacji A10],
- pomiary przestrzennego rozkładu współczynnika załamania żywych komórek z wykorzystaniem tomografii ze zmianą kierunku oświetlenia [wkład do publikacji A6, A10].

Elementy te stanowią niewątpliwe oryginalne osiągnięcie naukowe Autora w świetle stanu techniki reprezentowanego w literaturze światowej.

Ad. 4 Wymagana od recenzenta krytyczna analiza rozprawy jest w tym wypadku znacznie uproszczona, gdyż może odnosić się wyłącznie do syntetycznej części opisowej pracy zawierającej zaledwie 39 stron. Ocena zasadniczego jądra publikacyjnego pracy została już dokonana przez recenzentów oraz redakcje międzynarodowych istotnych czasopism, zatem re-

cenzent nie widzi potrzeby ich komentowania zgodnie z jego uwagą na wstępie tej recenzji. Uwagi, prawdę mówiąc przyczynkowe, zostały podzielone na trzy zasadnicze części. Pierwszą z nich są uwagi redakcyjne związane z nieprecyzyjnym językiem lub formą – w tym zakresie recenzent nie widzi potrzeby na głębsze ustosunkowanie się Doktoranta do jego opinii. Drugim elementem jest uwaga natury merytorycznej, które zdaniem recenzenta stanowi błąd pracy. W końcu ostatnią grupę stanowi uwaga typu dyskusyjnego. Odpowiedź na poniżej zamieszczoną trzecią grupę, powinna być źródłem konstruktywnej dyskusji z Doktorantem w trakcie obrony publicznej. Jednocześnie ze względu na dążenie do ograniczenia objętości recenzji, uwagi nie są poprzedzone wprowadzeniem i w konsekwencji mogą być zrozumiałe jedynie w kontekście pracy.

- uwagi redakcyjne:

1. (str. 13 – pierwsze zdanie poniżej wz. 1.11) – powinno być „...oznacza odpowiednio trójwymiarową (lewa strona) i dwuwymiarową (prawa strona) transformatę Fouriera,”.
2. (str. 33 – Rys. 2.15) – przyjęcie na wykresach a) oraz b) różnych skali oraz różnej formy obrazowania zmian (skala szarości oraz skala RGB) utrudnia analizę i interpretację wyników.

- uwaga merytoryczna:

1. (str. 12 - wz. 1.4) – niepoprawna forma równania na pole rozproszone u_s w kontekście wyżej podanej formy pola propagującego się w ośrodku jako sumy pola rozproszonego oraz pola oświetlającego.

- uwaga dyskusyjna:

1. (str. 27 – Rys. 2.9). Proszę o określenie co jest przyczyną widocznego różnego rozmycia przestrzennego wyników dla przekrojów X-Y oraz Y-Z.

Ad. 5 Opracowana w ramach rozprawy metodyka pomiaru wraz z udoskonalonymi układami tomografów holograficznych tworzą podstawę do zaprojektowania zoptymalizowanego pod kątem funkcji pomiarowych systemu tomograficznego do zastosowań biologicznych a nawet medycznych. Praca jasno określa kolejne kroki milowe w tym zakresie za które zgodnie z postulatami Autora należy przyjąć: dokonanie analizy metrologicznej układów tomograficznych w oparciu o fantomy kalibracyjne, implementację modułu przeogniskowania optycznego do układu z aktywną korekcją frontu falowego, opracowanie układu tomografu do badań zjawisk dynamicznych. Na takiej bazie systematyczne prace w zakresie interpretacji wyników pomiarów stanowić będą bezpośrednią drogę do wdrożenia aktywnego tomografu holograficznego co najmniej do zastosowań biologicznych. Jest to istotny element rozwoju badań w zakresie dyscypliny naukowej budowa i eksploatacja maszyn do której niewątpliwie niniejsza praca należy.

Podsumowując stwierdzam, że oceniana praca doktorska mgr inż. Arkadiusza Kusia **spełnia wymagania z nadmiarem** jakie Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zmianami) przewiduje dla rozpraw doktorskich. W recenzowanej pracy zostało sformułowane, a następnie rozwiązane z zastosowaniem metod naukowych oryginalne zagadnienie naukowe z dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn, stąd stawiam wniosek o jej przyjęcie jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie do publicznej obrony. Ponadto biorąc pod uwagę uzyskane wyniki jak i sposób ich prezentacji w postaci istotnych publikacji naukowych stawiam **wniosek o jej wyróżnienie**.

