prof. dr hab. inż. Leszek R. Jaroszewicz
członek korespondent PAN
Instytut Fizyki Technicznej
Wojskowa Akademia Techniczna
jarosz@wat.edu.pl

8 września 2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafała Kukołowicza
pt.: "Holografic content generation for wide-angle near-eye displays"

Przedmiotem recenzji jest w/wym. rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Kukołowicza, której Promotorem jest prof. dr hab. inż. Tomasz Kozacki. Recenzję przygotowano na podstawie informacji z dnia 28.06.2024 r. Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej o wyznaczeniu mnie na recenzenta w oparciu o uchwałę tejże Rady nr 784/II/2024 z dnia 25.06.2024 r.

Zgodnie z obecnie obowiązującymi przepisami, ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r (Dz.U. z 2023 r. poz. 742), rolą recenzenta jest stwierdzenie czy osoba ubiegająca się o stopień naukowy doktora posiada wymagany dorobek naukowy (wymóg Art. 186), oraz czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie jak i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej (wymóg Art. 187 ust. 1) a przede wszystkim czy przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (wymóg Art. 187 ust. 2).

Po przestudiowaniu rozprawy nie mam żadnych wątpliwości co do poniższych faktów:

1. Rozprawa dla przewodu wszczętego w dniu 23 października 2023 r. dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych mieści się w całości w powyższej dyscyplinie tj. automatyce, elektronice, elektrotechnice i technologiach kosmicznych.
2. Rozprawa ma charakter konstrukcyjno-eksperymentalny z elementami niezbędnej teorii, co znajduje odzwierciedlenie w grupie sześciu rozwiązań służących do generowania treści holograficznej dla szerokokątnych wyświetlaczy bliskoocznych. Tym samym zawartość rozprawy, pomimo braku sformułowania przez Doktoranta klasycznej tezy i celów pracy, jest w pełni zgodna z jej tytułem mającym wybitnie aspekt inżynieryjno-techniczny zgodnie z dziedziną wiedzy.
3. Oparcie rozprawy na **jedenastu** publikacjach, znajdujących się w bazie JCR o średniej wartości IF 3,64 oraz **pięciu** publikacjach na międzynarodowych konferencjach przynoszących łącznie 64 cytowań (gdzie w 5 Doktorant występuje jako pierwszy współautor) stanowi podstawę do stwierdzenia spełnienia ustawowego wymogu Art. 186 z nawiązką, jak i przesłankę do stwierdzenia rozwiązania oryginalnego problemu naukowego.
4. Jednocześnie uważam, za niecelowe umieszczenie w tej grupie prac pozycji [P11], która w dniu publikacji rozprawy (10.06.2024 r.) była w procesie recenzyjnym. Obecnie jest to

pełnowartościowa publikacja ukazująca się w *Optics and Laser Technology* vol. **18** Part **A**, luty 2025 r., 111610 https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.111610.

Recenzowana rozprawa została przedstawiona w formie zwartej jako 236 stronicowe anglojęzyczne omówienie wspomnianego cyklu publikacji, gdzie w/wspomniane publikacje są załączone jako reprinty od strony 86. Wymagane analiza źródeł, w tym stanu literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle jest prawidłowo przedstawiona w pierwszej części monografii w rozdziale 1.2 (strony 13-26) jak i w przewodniku po publikacjach własnych znajdującym się w rozdziale 2 (strony 27-85) gdzie przeplata się z omówieniem własnych wyników. Część literaturowa odwołuje się do 102 prawidłowo wybranych pozycji literaturowych.

Celem wypełnienia tematu rozprawy jakim jest według recenzenta *Generacja zawartości holograficznej dla szerokokątnych wyświetlaczy bliskoocznych* Doktorant przedstawił zbiór licznych rozwiązań, popartych wspomnianymi szesnastoma publikacjami, syntetycznie zgrupowanych w sześć (strona15/16 rozprawy) lub pięć (streszczenie polskie lub anglojęzyczne) zagadnień, których opracowanie cechuje wysoki walor naukowy i praktyczny. Tym samym, jak wspomniałem powyżej, publikacje te nie tylko spełniają wymogi oryginalności przedstawionego rozwiązania naukowego, ale także stanowią podstawę stwierdzenia rozwiązania postawionego zagadnienia z użyciem właściwej do tego metody.

Nie ma sensu omawiania tych prac z punktu widzenia spełnienia wymogu rozwiązania postawionego zagadnienia, użycia właściwej do tego metody jak i uzasadnienia poprawności przyjętych założeń, gdyż zrobili to co najmniej dwaj niezależni i ukryci recenzenci w tych pismach. Stąd recenzent skupi się wyłącznie na określeniu elementów oryginalności rozwiązania problemu naukowego przez Doktoranta mających cechy dysertacyjne. Według recenzenta elementami tymi są:

- Opracowanie stabilnej metody aktualizacji hologramu o wysokiej dokładności z uwzględnieniem wyświetlania szerokokątnego, która wykorzystuje koncepcję ponownego wykorzystania już istniejących danych holograficznych do naśladowania ciągłego ruchu punktu widzenia obserwatora [P6, *App. Sciences* **12**, 293, (2022) - Doktorant jest pierwszym autorem]. Wynikiem proponowanej metody jest skrócenie czasu obliczania hologramu i wysiłku obliczeniowego. W tej, cytowanej 6-krotnie, pracy wkład Doktoranta dotyczył sformułowania teorii, badania optymalnych warunków aproksymacji, zaproponowania i przeprowadzania testów numerycznych, generowania danych hologramowych oraz ich numerycznej rekonstrukcji.
- Opracowanie i optymalizacja wydajnej metody usuwania okluzji opartej na stereogramach z dodaną fazą (PAS - Phase Added Stereogram) wykorzystującej właściwości próbkowania częstotliwości, dla algorytmów holografii generowanej komputerowo (CGH – Computer-Generated Hologram). Opracowanie to opublikowane jako [P3, *Photonics*, **8,** 298, (2021)] ma 12 powołań literaturowych, zaś główny wkład Doktoranta dotyczył optymalizacji metody usuwania okluzji, badania optymalnych warunków rozmiaru segmentu, testów numerycznych szybkości i dokładności opracowanej metody jak i generacji danych holograficznych oraz numerycznej rekonstrukcji.
- Opracowanie szybkich, dokładnych i niewymagających dużych zasobów algorytmów CGH do generowania hologramów szerokokątnych dla źrenicowych i nie źrenicowych holograficznych wyświetlaczy bliskoocznych (HNED - Holographic Near-Eye Display) z oświetleniem

laserowym i LED. Najistotniejsza jest tu praca [P7, *Opt. Express*, **30**, 43551, (2022)] mająca 8 powołań literaturowych, w której Doktorant opisał sposób optymalizacji i modyfikacji algorytmu CGH z zastosowaniem obliczeń równoległych, przedstawił numeryczny test szybkości działania jak i generowanie danych hologramowych. Rozwiązanie to było przedstawione przez Doktoranta jako pierwszego autora na flagowej konferencji międzynarodowej [K5, *Fronties in Optics,* JW4A.79 (2023)], zaś efektywność wytwarzania danych holograficznych opublikowano w pracach [P8, *Opt. Express*, **31**, 20965, (2023)] – 6 powołań literaturowych oraz w [P11, *Optics and Laser Techn.*, **18 part A**, 11610, (2025)].

- Opracowanie i optymalizacja szybkiego algorytmu CGH dla hologramów o szerokim kącie widzenia (HPO – Horizonatal Parallax-Only). Podany algorytm może być wykorzystany do wstępnego renderowania dużych danych holograficznych, które mogą być później wykorzystane do wyświetlania obiektów pod różnymi kątami bez konieczności obliczania nowych danych. W tym zakresie w ramach pracy [P2, *Opt. Express,* **29**, 18173, (2021)], cytowanej 12-krotnie, Doktorant dokonał implementacji i optymalizacji (wykorzystanie obliczeń równoległych) algorytmy CSW-AS (Compact Space Bandwidth Angular Spectrum) i SA-PAS (Spherical Acurate Phase Added Stereogram) – recenzent z premedytacją nie podaje ich polskich nazw. Rozwiązania te zostały uwiarygodnione na bazie przeprowadzenia licznych testów dokładności i szybkości poprzez komputerowe generowanie hologramów o szerokim kącie widzenia (HPO-CGH) oraz numerycznej rekonstrukcji hologramów zarówno optycznych jak i generowanych komputerowo.
- W rozwinięciu powyższego zagadnienia Doktorant zajmował się numeryczną rekonstrukcją zarówno powyższych hologramów o szerokim kącie widzenia oraz szerokokątnych jak i opracowaniem dokładnej nieparaksjalnej rekonstrukcji numerycznej ze zoptymalizowanymi podczas procesu obliczeniowego schematami zerowania. Tutaj obok wspomnianej pracy [P2] już w początkowym okresie, rok 2020, w ramach [P1, *Appl. Opt*, **59**, 8450, (2020)] – 6 powołań literaturowych, zajmował się numeryczną implementacją schematów wypełniania z wykorzystaniem do rekonstrukcji hologramu metody mFFT-AS oraz przeprowadził testy i badał rekonstrukcję numeryczną HPO-OH. Wyniki te przedstawił także na dwu istotnych konferencjach z serii Fronties in Optics [K1, *Fronties in Optics,* FW5A.2 (2020); K2, *Proc. SPIE,* **11353**, 113530O, (2020)], które posiadają łącznie 4 powołania literaturowe. Istotny jest tu jego udział w przeprowadzonym eksperymencie optyczny i numeryczna rekonstrukcja zarejestrowanych danych holograficznych w konfiguracji szerokokątnego hologramu cyfrowego (WADH – Wide-Angle Digital Holographic).
- Opracowanie uniwersalnej metody manipulacji hologramami, która poprzez dokładną transformację geometryczną zawartości holograficznej umożliwia adaptację paraksjalnych hologramów optycznych (OH) bądź generowanych komputerowo (CGH) do szerokokątnych holograficznych wyświetlaczy bliskoocznych (HNED) oraz wielokrotnie szybsze generowanie nowych ramek holograficznych danej geometrii. W tym zakresie istota jest praca [P10, *Opt. Express*, **32**, 14556, (2024)], której jest pierwszym autorem, poprzedzona wystąpieniem konferencyjnym [K4, *Fronties in Optics,* FW6D.4 (2023)]. Doktorant koordynował tu pracę całego zespołu, sformułował odpowiedną teorię jak i badał warunki jej zmian z punktu widzenia uzyskiwanej dokładności na bazie generowania danych holograficznych.
- Niezwykle praktyczny wydźwięk ma opracowanie pierwszego szerokokątnego układu OH umożliwiającego rejestrację bez aliasingu z pełną ścieżką przetwarzania rejestrowanego hologramu i korekcją aberracji powodowanej przez układ optyczny. W dwu publikacjach, w których Doktorant jest pierwszym autorem, [P9, Photon. Res., **12**, 1098, (2024); K3, *Fronties in Optics*, FM5C.1, (2021)] przedstawił On: projekt układu i sformułował zasadę działania

takiej konfiguracji WADH, opracował proces kalibracji układu. Istotnym jest tu badanie aberracji krzywizny pola oraz opracowanie algorytmu jej korekcji. Uwiarygodnieniem uzyskanych wyników jest przeprowadzanie eksperymentów optycznych, w tym rekonstrukcji numerycznych.

- W końcu oryginalnym osiągnięciem Doktoranta jest rozwój pomiaru zniekształceń w szerokokątnym systemie projekcji holograficznej. Wdrożona metoda korekcji zniekształceń, może być potencjalnie stosowana na hologramach wyświetlanych w szerokokątnych systemach HNED, co zostało przedstawione w dwu publikacjach [P4, *Opt. Lett.*, **46**, 4956, (2021); P5, *Photonics Lett. Pol.*, **13**, 79, (2021)] przynoszących autorowi łącznie 9 cytowań.

Odnosząc się do strony redakcyjnej rozprawy stwierdzam, że nie jestem kompetentny do oceny poprawności językowej pracy, albowiem język angielski nie jest mym językiem ojczystym. Jednakże w odniesieniu do cyklu publikacyjnego, uważam, iż ranga czasopism w których ukazały się te prace zapewnia odpowiedni poziom zarówno redakcyjny jak i naukowy. Natomiast odnośnie omówienia tych prac (pierwsza część rozprawy) stwierdzam, iż:

- tłumaczenie w polskojęzycznym streszczeniu anglojęzycznego tytułu *Holografic Content Generation for Wide-Angle Near-Eye Displays* na *Generacja kontentu holograficznego przeznaczonego do displeji szerokkątnej projekcji bliskoocznej*, jest co najmniej toporne – powinno być *Generacja zawartości (treści) holograficznej dla szerokokątnych wyświetlaczy bliskoocznych*;
- w przypadku pojawiania się wzorów zawsze konieczne jest objaśnienie wszelkich symboli, choć dla niektórych czytelników może być to trywialne. Doktorant nie zawsze to respektuje, patrz: wz. 1.4 – k, wz. 1.7 – f_x, f_y, wz. 2.12 - a_p, wz. 2.13 - θ;
- w przypadku podawania literatury, obok autorów, tytułu pracy czasopisma, jego rocznika i roku, konieczne jest określenie strony, na której dana praca się znajduje lub podania jej identyfikatora DOI. Razi mnie brak takiego przedstawienia w odniesieniu do 71 z 102 prac wymienionych w spisie na stronach 76-85, a zwłaszcza w odniesieniu do omawianych prac własnych – pozycje od P4 do P11 (strony 28 – 29);
- w tej części pracy pozycja 103 na stronie 85 zacytowana w treści na stronie 70 jest niepoprawna. Powinna być tu przytoczona praca [P1];
- w przypadku wykorzystywania akronimów konieczne jest zachowanie daleko idącej ostrożności by nie tworzyć lapsusów językowych – patrz strona 72 omówienie pozycji [P3] jest „CGH holograms", czyli „hologramy Komputerowo-Generowany Hologram".

Rozprawa stanowi udokumentowanie posiadania pogłębionej wiedzy z zakresu nauk inżynieryjno-technicznych przez Doktoranta dotyczących istoty budowy i optymalizacji optycznych i komputerowo generowanych hologramów mających zastosowanie dla biskoocznych wyświetlaczach szerokokątnych. Tym samym stwierdzam, że Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą i umiejętnościami pretendującymi go do uzyskania tytułu doktorskiego.

Uwaga dyskusyjna:

- ze względu na praktyczny wydźwięk opracowanego modelu szerokokątnego układu OH umożliwiającego rejestrację bez aliasingu z pełną ścieżką przetwarzania rejestrowanego hologramu i korekcją aberracji powodowanej przez układ optyczny, uprzejmie proszę o przedstawienie na publicznej obronie pracy, jak Doktorant widzi jego praktyczną realizację.

Jako podsumowanie niniejszym stwierdzam, iż przedłożona rozprawa spełnia z nadmiarem wymogi zawarte w Art. 186 i 187 ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z 20 lipca 2018 r. (Dz.U. z 2023 r. poz. 742), zarówno co do wymaganego dorobku naukowego, zaprezentowania przez Doktoranta ogólnej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne jak i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a przede wszystkim jako oryginalnego rozwiązania problemu naukowego. W tym ostatnim zakresie, najistotniejszym z punktu widzenia obecnie obowiązujących przepisów, stwierdzam, iż praca reprezentuje wybitne osiągnięcie naukowe jakim jest udokumentowana publikacyjne generacja zawartości holograficznej dla szerokokątnych wyświetlaczy, za co **wnoszę o wyróżnienie niniejszej rozprawy** oraz stawiam wniosek o jej przyjęcie jako rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie do publicznej obrony.