

Wrocław, 20.08.2023

dr hab. inż. Dorota Szczęsna-Iskander
Katedra Optyki i Fotoniki
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechnika Wroclawska
Wybrzeże St. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Zielińskiej

p.t. “Metoda pobudzania oka ludzkiego w eksperymentach psychofizycznych z widzeniem dwufotonowym”

zrealizowanej pod kierunkiem

dr hab. Macieja Szkulmowskiego i dr inż. Katarzyny Komar

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 7 czerwca 2023r. oraz zlecenia Przewodniczącego Rady prof. dr. hab. Ireneusza Grabowskiego.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska (w formie monografii) napisana jest w języku polskim, liczy 186 ponumerowanych stron i składa się z pięciu głównych rozdziałów. Rozprawa rozpoczyna się krótkim wstępem, który w sposób zwięzły wprowadza czytelnika w problematykę podjętego zagadnienia naukowego i strukturę pracy. Po nim zamieszczona została lista ważniejszych oznaczeń i skrótów stosowanych w rozprawie. Następnie, znajduje się 60. stronicowa część literaturowa podzielona na dwa rozdziały. W części praktycznej pracy przedstawiono metodologię przeprowadzonych eksperymentów, uzyskane wyniki oraz syntetyczne podsumowanie. W pracy zamieszczono również dodatek zawierający listę podstawowych wielkości radiometrycznych, konwersji jednostek oraz wyjaśnienie jednostki *troland* stosowanej w badaniach siatkówki. W końcowej części opracowania Doktorantka zamieściła swój aktualny dorobek naukowy obejmujący 6 artykułów naukowych i 10 materiałów konferencyjnych deklarując, że 3 z tych publikacji i 4 materiały konferencyjne stanowią podstawę do napisania niniejszej rozprawy. W sumie w pięciu z wyróżnionych pozycji pani mgr inż. Agnieszka Zielińska jest pierwszą autorką. Ponadto, Doktorantka nadmieniła w dysertacji doświadczenie w pracy w zespołach badawczych m.in. w ramach projektów naukowych (4 zatrudnienia) oraz udziałem w konferencjach naukowych (10 konferencji). Rozprawa kończy

się spisem literatury zawierającym 173 pozycje, przy czym pozycje 5 i 6 zostały powielone na pozycji odpowiednio 64 i 15, a publikacji cytowanej na stronie 78, Stachowiak i wsp. (2022), w spisie literatury nie ma.

Rozdziały 1 i 2 stanowią wprowadzenie do poruszanych zagadnień i teorii widzenia. Autorka osobno omawia dobrze poznane widzenie jednofotonowe – rozdział 1 i od niedawna badane widzenie dwufotonowe – rozdział 2. Rozdział 1 rozpoczyna od omówienia budowy oka ze szczególnym uwzględnieniem siatkówki i podstaw optyki oka, następnie szczegółowo zostaje opisana biochemia widzenia. Te trudne procesy są omówione przejrzysto i wystarczająco szczegółowo. Na krytykę zasługuje jednak dobór niektórych źródeł, np. przy omawianiu optyki oka można było powołać się na bardziej odpowiednie i ugruntowane pozycje literatury, uniknęłoby się wtedy braku jednostek w tabeli 1.2-2, czy błędnego przedstawienia astygmatyzmu oka i jego korekcji (rys. 1.2.9).

Z dużą znajomością tematu zostały opisane podstawy widzenia dwufotonowego poczynając od klarownego wytłumaczenia czym jest absorbcja dwufotonowa. Doktorantka zaprezentowała wnikliwy przegląd historii badań i pierwszych interpretacji widzenia dwufotonowego, kończąc na syntetycznym przeglądzie badań naukowych z ostatnich lat. Doktorantka powołuje się m.in. na serię czterech publikacji 122-125, które później szerzej omawia (niestety w innej kolejności niż są wymienione w spisie literatury). Szkoda, że w spisie literatury podano tylko pierwszego autora tych pozycji, szczególnie, że w jednej z nich współautorem jest autorka dysertacji. Nasuwa się tutaj dodatkowo pytanie, czy ominięcie omówienia pozycji 123 było celowe?

W części literaturowej Doktorantka powołuje się na wiele ilustracji, które, co prawda, są zapożyczone, jednak stanowią trafne dopełnienie tekstu pracy. Dwa pierwsze rozdziały mają dużą wagę dydaktyczną i odwoływanie się do odpowiednich ich podrozdziałów w dalszej części pracy stanowi pomoc w zrozumieniu protokołów eksperymentów i analizy otrzymanych wyników, jak również są dowodem na dobre przygotowanie i dojrzałe podejście Doktorantki do pracy naukowej.

Rozdział 3 poświęcony jest szczegółowemu opisowi i wytłumaczeniu poszczególnych części układu pomiarowego oraz procedur pomiarowych. Układ optyczny jest bardzo rozbudowany, zatem Doktorantka przedstawiła najpierw ideowy schemat układu, aby następnie objaśnić każdą część składową poczynając od scharakteryzowania źródeł światła, a kończąc na opisie procedur kalibracji wraz z obliczeniami i modelowaniem. Tory wiązek zostały opisane z dbałością o szczegóły – Doktorantka wytłumaczyła celowość zastosowania każdego elementu układu. Na tle tak precyzyjnego wyjaśnienia zbudowanego układu optycznego opis autorskiego oprogramowania do jego obsługi wydaje się być powierzchowny.

W drugiej części rozdziału Metodologia Doktorantka opisała procedury pomiarowe. Ten opis stanowi uzupełnienie przebiegu eksperymentów omawianych w dalszej części pracy. Opisane tu zostały również przygotowania do ostatecznego przebiegu docelowych badań podając wyniki wstępnych pomiarów i uzasadniając dobrane parametry bodźców świetlnych tj. kształtu, jasności

i czasu trwania. Należy podkreślić, że zarówno układ pomiarowy, jak i procedury pomiarów oraz procedurę analizy reakcji źrenicy Doktorantka opisała w sposób przejrzysty, kompletny i merytorycznie poprawny.

Bardzo ważnym, z punktu widzenia osób badanych, jest podrozdział 3.2.10 o normach bezpieczeństwa w pomiarach widzenia dwufotonowego. Doktorantka w sposób ścisły oszacowała maksymalne dopuszczalne moce średnie promieniowania padającego na siatkówkę w czasie prowadzonych eksperymentów z wykorzystaniem różnych długości fal przytaczając przykładowe obliczenia.

W czwartym rozdziale dysertacji Autorka przedstawia przeprowadzone cztery eksperymenty, które stanowią próbę odpowiedzi na postawione we wstępie pytania badawcze. Odpowiedzi na te pytania stanowią cel recenzowanej pracy doktorskiej. Doktorantka przyjęła konsekwentny i uporządkowany sposób omówienia przeprowadzonych badań. Każdy opis eksperymentu rozpoczyna się od przedstawienia motywacji w większości popartej literaturą i klarownego sformułowania celu jego przeprowadzenia. Następnie, krótko opisana jest grupa badawcza, omówiona metodologia badania, oraz przedstawione wyniki i wyciągnięte wnioski. Postawione przez Doktorantkę pytania badawcze są ciekawe i poparte przeglądem literatury, a zaproponowane metody prowadzące do ich odpowiedzi są zrealizowane w sposób nowatorski. Omówienie wyników jest wnikliwe, przedstawione na przejrzystych i adekwatnie dobranych wykresach, i poparte dyskusją odnoszącą się do literatury naukowej, czym Autorka pokazała dobre rozeznanie w literaturze przedmiotu.

Pierwszym pytaniem badawczym było zbadanie reakcji źrenicy na postrzeganą wiązkę dwufotonowo, którą Doktorantka zbadała u 14 ochotników. Dzięki zaproponowanej autorskiej metodzie pomiarowej odpowiedziała twierdząco na postawione pytanie i określiła jasność bodźca dwufotonowego w odniesieniu do jednofotonowego. Doktorantka potwierdziła również nieliniowy charakter postrzegania wiązki podczerwonej. Ważną częścią tego eksperymentu było zbadanie powtarzalności dopasowania jasności bodźców. Pomimo pilotażowego charakteru doświadczeń, przeprowadzenie jedynie dwóch prób dla pięciu pacjentów wydaje się zbyt małe. Na przykład wytyczne FDA zalecają co najmniej 5 powtórzeń do obliczenia odchyleń standardowych w badaniach medycznych.

Bardzo interesujące jest dodatkowe zbadanie wybranych ochotników celem sprawdzenia mocy bodźca z zakresu światła widzialnego wywołującego podobną reakcję źrenicy do tej wywołanej światłem z zakresu IR. Mam jednak zastrzeżenia odnośnie stwierdzenia o słabej ujemnej korelacji mocy ekwiwalentnej z wiekiem. Dla tak małej liczby zbadanych osób ($n=14$) nie ma uzasadnienia dla rozważania korelacji. Aby mówić o potwierdzeniu hipotezy o korelacji na tym poziomie, przy założeniu normalności danych, poziomu istotności $\alpha=0,05$ i pomocy testu 80% ($\beta=0,20$), należałoby zbadać 91 osób ($n=91$).

Drugie pytanie badawcze związane było z określeniem zależności progu widzenia od średnicy wiązki wchodzącej do oka i zbieżności wiązki pobudzającej. Doktorantka opisała dwa

eksperymenty: w pierwszym pobudzano siatkówkę w dołku środkowym u czterech ochotników, w drugim eksperymencie pobudzana była nie tylko siatkówka w dołku, ale również 5° skroniowo, u trzech ochotników. Podobnie, jak wyżej, wyniki zostały omówione z należytą wnikliwością. Eksperyment doprowadził do bardzo praktycznego wniosku, że progi widzenia silniej zależą od rozmiaru bodźca świetlnego w płaszczyźnie źrenicy i jego zbieżności w widzeniu dwufotonowym, niż jednofotonowym, co może mieć zastosowanie w precyzyjniejszej stymulacji siatkówki. Tym samym Doktorantka potwierdziła postawioną na początku hipotezę badawczą.

Trzecim pytaniem było „czy względne odpowiedzi czopków i pręcików wywołane widzeniem dwufotonowym różnią się od wywołanych widzeniem jednofotonowym?” Postawiona hipoteza zakładała odpowiedź twierdzącą. Doktorantka zaproponowała dwie funkcje wykładnicze do zamodelowania otrzymanych przebiegów aktywności czopków i pręcików podczas adaptacji do ciemności. W tej części pracy nie jest jasne jak wyznaczono moment załamania pręcikowo-czopkowego? Czy funkcje wykładnicze były dopasowywane do przebiegów automatycznie w procedurze iteracyjnej metodą najmniejszych kwadratów i punkt załamania określany obiektywnie? Na podstawie tabeli 4.3.1 mogę wywnioskować, że celem modelowania przebiegów było jedynie orientacyjne określenie czasu wystąpienia załamania pręcikowo-czopkowego. Brakuje w pracy komentarza wyznaczania szukanego progu aktywności czopków i pręcików podczas adaptacji do ciemności.

W eksperymencie wzięło udział dwóch krótkowzrocznych ochotników o różnej wadzie refrakcji ($\Delta=2D$), co, zgodnie z dyskusją Autorki, mogło mieć wpływ na otrzymane wyniki. Stąd nasuwa się pytanie, jakie stosowano kryteria doboru ochotników w poszczególnych eksperymentach?

Wyraźnie różne wyniki otrzymane dla dwóch ochotników mogły być spowodowane korekcją wady refrakcji w układzie pomiarowym, która wpływała na zmianę rozmiaru kąтового bodźca i miejsca pobudzania siatkówki. Doktorantka oświadcza w dyskusji, że te różnice nie wydają się być znaczące, jednak, przy tak małej liczbie zbadanych osób, są to jedynie przypuszczenia. Dlaczego do pilotażowych badań nie wybrano osób emotropowych i nie zbadano ich podobną ilość razy, aby wyeliminować kolejną prawdopodobną przyczynę różnic w wynikach – doświadczenie badanego? Autorka pisze również o różnicy w anatomicznej budowie siatkówki pomiędzy osobami z wadą wzroku. Mozaika czopków jest rozciągnięta w oczach krótkowzrocznych, jednak ma to związek głównie z osiową krótkowzrocznością, nie zaś z refrakcyjną, więc dyskusja byłaby pełniejsza, gdyby zbadano dodatkowo biometrię badanych oczu. Doktorantka jest świadoma ograniczeń tego eksperymentu i podaje w dyskusji oraz wnioskach propozycje jego ulepszenia w przeszłych badaniach.

Ostatnim pytaniem badawczym było „dla jakiego zakresu długości fal zachodzi percepcja dwufotonowa?” Do wykreślenia krzywych czułości Doktorantka badała pojedyncze progi widzenia dla wybranych długości fal metodą dopasowania (MoA) zarówno od góry, jak i od dołu. Wyniki są potraktowane przez Autorkę jako wstępne, gdyż obarczone są dużą niepewnością, ze względu na prawdopodobnie różne strategie określania progu dwufotonowego

przyjęte przez trzech badanych ochotników. Mogła mieć na to wpływ m.in. zmiana postrzeganego koloru podczas badania zależnego od mocy wiązki. Nasuwa się pytanie, jakie instrukcje przed rozpoczęciem eksperymentu otrzymywali ochotnicy? W pomiarach opartych na analizie subiektywnej oceny osoby badanej bardzo ważne jest przekazywanie tych samych informacji przed rozpoczęciem pomiaru, aby zminimalizować wpływ indywidualnej interpretacji. Wykonane badania są wstępne i Autorka podaje szereg pomysłów na ich rozwinięcie w przyszłości, warto jednak podkreślić, że Doktorantka jako pierwsza podjęła się określenia krzywej czułości dwufotonowej.

Wszystkie przeprowadzone badania, w ramach recenzowanej rozprawy, miały charakter pilotażowych stanowiąc wstęp i inspirację do ewentualnych dalszych eksperymentów i zastosowań proponowanych metod pomiarowych. Tytuł pracy sugeruje, że praca skupia się na opracowaniu metody pobudzania oka ludzkiego w widzeniu dwufotonowym, zatem tytuł rozprawy jest zgodny z treścią pracy doktorskiej, w której te metody są opisane i wstępnie sprawdzone. Badania eksperymentalne, jak również prace przygotowawcze układu pomiarowego, wymagały od Doktorantki cierpliwości i precyzyjności. Rozprawa wykazała, że Autorka ma dobre rozeznanie w literaturze naukowej, swobodnie posługuje się zróżnicowanymi narzędziami badawczymi, potrafi syntetycznie przedstawić uzyskane wyniki badań i przeprowadzić ich analizę.

Rozprawa doktorska została przygotowana starannie i przejrzyście. Pisząc pracę, Doktorantka nie ustrzegła się jednak błędów natury redakcyjnej. W całej treści pracy dopatrzyłam się kilku literówek i pomyłek w symbolach literowych, np. rys. 3.1.6 vs. jego omówienie w tekście, czy w numerze rysunku, np. na str. 99, 160. Te drobne usterki nie mają jednak wpływu na komfort czytania i zrozumienie tekstu. Ponadto w pracy brakuje przecinków, w wielu miejscach myślnik jest mylony z łącznikiem, jak również łącznik jest stosowany zamiast znaku ujemnego (np., zamiast -2 D, powinno być -2 D). Praca została napisana starannym i poprawnym językiem z wykorzystaniem właściwej terminologii. Jednak tutaj też dopatrzyłam się nieścisłości, np. sformułowanie „głębokość akomodacji” powinno być zastąpione „amplitudą akomodacji”, zamiast „pomierzenia” czegoś, powinno być „zmierzenia” oraz niepotrzebnie zastosowano angielskie określenia, zamiast zastosowania ich polskich odpowiedników, np. perifovea, zamiast obszar okołodołkowy, parafovea – obszar przydołkowy.

Na podkreślenie zasługuje strona edycyjna pracy, w szczególności podpisy pod licznymi i trafnie dobranymi rysunkami z kompletnym wyjaśnieniem, co przedstawiają. Doktorantka dopełniła starań, aby zapożyczone rysunki przetłumaczyć na język, w którym napisana jest rozprawa (poza rys. 2.5.1) oraz szczegółowo podała źródło. Brakuje jednak odniesień pod rysunkami w podrozdziałach 3.2 i 4.1. Pomimo tego, że artykuł Zielińska et al., IOVS, 2021 jest pracą Autorki, to jednak rysunki przedstawione w pracy doktorskiej, które zostały tam opublikowane, powinny mieć stosowne odniesienie do artykułu. Mam również zastrzeżenia odnośnie zapisu literatury, który jest niespójny (uwaga dotyczy jedynie wymieniających współautorów).

Podsumowując, rozprawa doktorska pt. „Metoda pobudzania oka ludzkiego w eksperymentach psychofizycznych z widzeniem dwufotonowym” jest wartościowym dziełem wnoszącym wkład w rozwój dyscypliny Nauki Fizyczne. Przedstawione wyniki wyróżniają się oryginalnością zastosowanych metod i narzędzi badawczych, mają dużą wagę naukową, która jest potwierdzona opublikowaniem większości przedstawionych wyników w renomowanych czasopismach naukowych z listy JCR. Na tej podstawie, zgodnie z uchwałą nr 31/2019 Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 11 grudnia 2019 r., zgłaszam rozprawę do wyróżnienia. Z pełnym przekonaniem stwierdzam również, że rozprawa spełnia wymagania odpowiednich przepisów prawnych stawianych pracom doktorskim i na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o dopuszczenie Pani mgr inż. Agnieszki Zielińskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Donata Szarym-Głębka