

**Dr hab. Jacek Pniewski**

Wydział Fizyki

Uniwersytet Warszawski

**Recenzja pracy doktorskiej mgr Eweliny Pijewskiej,  
z tytułem „Phase-based methods in optical coherence tomography for estimation selected  
physical parameters of biological tissues” (w j. polskim: “Metody fazowe w optycznej tomografii  
koherencyjnej do wyznaczania wybranych parametrów fizycznych tkanek”).**

Praca doktorska p. Pijewskiej została wykonana na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika w Toruniu, pod kierunkiem dra hab. Macieja Szkulmowskiego, prof. UMK.

Przedstawione osiągnięcie naukowe jest udokumentowane serią pięciu publikacji naukowych, w których p. Pijewska jest pierwszą (publikacje 1–4) lub drugą (publikacja 5) autorką. Spełnione są zatem warunki stawiane w Art. 186, pkt. 1.3a) („posiada w dorobku co najmniej [...] 1 artykuł naukowy [...]”) oraz Art. 187, pkt. 3 („Rozprawę doktorską może stanowić [...] zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, [...]”) Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dn. 20 lipca 2018 r. Tematyka publikacji należy w mojej ocenie zarówno do obszaru badań podstawowych, jak i badań aplikacyjnych, w rozumieniu Art. 4, pkt 2. ww. Ustawy. Publikacje 1, 2, 4 i 5 zostały opublikowane w latach 2019–2022 w recenzowanym czasopiśmie naukowym *Biomedical Optics Express* o współczynniku wpływu (ang. *impact factor*) równym 3,732 (na 2021 rok), zaś publikacja 3 jest komunikatem konferencyjnym (SPIE), przedstawionym w ramach konferencji SPIE Photonics Europe w 2020 r.

Analiza rozprawy przedstawionej jako seria publikacji istotnie różni się od analizy rozprawy w formie monograficznej, albowiem głównym zadaniem recenzenta jest w istocie nie weryfikacja już zrecenzowanych zwykle publikacji, ale ocena czy wkład autorki w ich powstanie zasługuje na pozytywną ocenę, udowadniając tym samym ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W tym duchu będę prowadzić dalsze rozważania.

Praca doktorska dotyczy nowoczesnej diagnostyki, głównie biologicznej i medycznej tkanek, opartej o działanie optycznej tomografii koherencyjnej (OCT), której ogromny rozwój możemy obserwować w ostatnich dekadach. Mimo dostępności na rynku wielu gotowych urządzeń, nowe zastosowania i funkcje oraz poprawiająca się dokładność uzyskiwanych wyników wymagają nieustającego rozwiązywania pojawiających się problemów. Praca p. Pijewskiej koncentruje się na analizie fazy sygnału OCT, która pozwala na m.in. ilościowe wyznaczenie: przepływu krwi, właściwości elastycznych, czy zmian pod wpływem bodźca świetlnego w żywych tkankach, w szczególności poszukując rozwiązań problemów: obliczeniowego, zakresu i lokalizacji mierzonych przesunięć osiowych, wpływu geometrii i ruchu obiektu na pomiar, a także artefaktów wynikających z analizy danych OCT w dziedzinie liczb zespolonych.

Autorka w przedstawionej rozprawie przyporządkowała publikacje do 4 kategorii, wyznaczonych przez rodzaj analizowanego zastosowania: 1. Redukcja artefaktów wynikających z analizy fazy sygnału OCT, w szczególności z zastosowanych autorskich algorytmów odwijania fazy (*phase unwrapping*); 2. Pomiar parametrów przepływu krwi w naczyniach siatkówki; 3. Pomiar aktywności siatkówki pobudzonej bodźcem świetlnym; 4. Pomiar własności biomechanicznych modeli i tkanek biologicznych, poddanych kompresji.

W publikacji 1 (P1) zaproponowano prostszą, a przez to szybszą, dwu- i trójwymiarową implementację procedury odwijania fazy, która może być zastosowana w różnego typu obrazach, uzyskanych m.in.



metodą dopplerowskiego OCT. Wkład p. Pijewskiej jest istotny – obejmuje praktycznie całą część implementacji numerycznej, która jest kluczowa dla rozwiązywanego problemu naukowego. Nie jest do końca dla mnie jasne jak szeroka była pomoc p. Sylwestrzaka, wymienionego w sekcji 7 rozprawy doktorskiej („...with the help of Marcin Sylwestrzak”), ale bazując na faktach: 1. p. Sylwestrzak nie jest współautorem publikacji, 2. opis jego zadania wskazuje na kwestię techniczną przystosowania kodu do pracy w architekturze CUDA, należy przyjąć, że p. Pijewska wykonała samodzielnie główną część pracy, na której bazuje publikacja. Ta interpretacja jest także zgodna z oświadczeniami pozostałych współautorów (Gorczyńska, Szkulmowski). Praca, wg bazy Scopus, doczekała się 4 cytowań (wyłączając autocyтовania), co uważam za dobry wynik.

Publikacja 2 (P2) jest bardzo silnym punktem w pracy doktorskiej p. Pijewskiej. Metody numeryczne rozwijane przez autorkę są zastosowane do analizy doświadczalnej przepływu krwi zarówno w modelu, jak i u żywych organizmów (osób). Rozmiar pracy wykonanej przez zespół autorów, w tym p. Pijewską, jest doprawdy imponujący i obejmuje zarówno pokaźną część numeryczną, jak i *stricte* eksperymentalną. Nie mam wątpliwości, że praca p. Pijewskiej jest kluczowa dla publikacji, która jest cytowana już przez 2 inne prace, wg Scopus (wyłączając autocyтовania), co zważywszy na bardzo specjalistyczny temat, jest również dobrym wynikiem, szczególnie że wiele problemów dotyczących tematyki OCT, podejmowanych przez producentów urządzeń, nie jest publikowana, a stanowi tajemnicę przedsiębiorstw. Jestem pewien, że funkcjonalność nowych metod diagnostyki będzie wykorzystywać osiągnięcia p. Pijewskiej oraz współautorów.

Publikacja 3 (P3) to pokłosie komunikatu konferencyjnego na konferencji SPIE. Stanowi pewną „wariację” na temat wyznaczania przepływu krwi w naczyniach siatkówki, w tym przypadku wokół tarczy nerwu wzrokowego. To niewątpliwie najważniejszy obszar siatkówki, którego poprawne działanie warunkuje prawidłowe funkcjonowanie narządu wzroku. Moje doświadczenie wskazuje, że publikacje pokonferencyjne mogą być, ale nie zawsze są, recenzowane. Warto w tym miejscu zatem wspomnieć, że niezależnie od samej metodologii związanej z pomiarami, w publikacjach nie ma precyzyjnego opisu badanych grup uczestników. Nie znajdują kryteriów włączenia i wyłączenia, a także charakterystyki narządu wzroku, w tym biometrii. Prawdopodobnie nie wpłynęłoby to znacząco (a być może wcale) na opublikowane wyniki, skoncentrowane na samej metodzie pomiarowej, ale ułatwiłoby wskazanie jej ograniczeń. Jako analogię można tu podać np. układy obrazowania siatkówki, wykorzystujące optykę adaptacyjną (np. RTX-1), które świetnie działają w przypadku badania osób młodych, o dobrze przezieranych strukturach rogówki, soczewki i ciała szklistego, ale dające wyraźnie gorsze wyniki w grupach osób z zaćmą nawet na bardzo wczesnym etapie, z powodu rozpraszania światła.

Publikacja P4 to drugi bardzo silny, moim zdaniem, punkt doktoratu p. Pijewskiej. Stanowi wkład zespołu do nowoczesnej diagnostyki siatkówki, opartej o tzw. optoretinogramy, czyli analizę funkcjonowania fotoreceptorów. Wykazuje, że nawet urządzenia o ograniczonej szybkości działania mogą posłużyć do analizy odpowiedzi fotoreceptorów na światło. Trzeba zauważyć w tym miejscu, że specjalnością autorki jest analiza numeryczna, która niezależnie od trudności doświadczalnych, jest podstawą publikacji, a także samej metody fazowej. W przypadku tej publikacji mam podobną obserwację jak wcześniej, że wyniki uzyskane dla dobrze zdefiniowanej genetycznie myszy (B6-albinos (B6(Cg)-Tyrc-2J/J)) mogą nie być łatwo przekładalne na populację ludzi o dość szerokim rozrzucie anomalii widzenia barw, która daje w wyniku inną charakterystykę działania fotoreceptorów. Stąd, uważam za precyzyjną charakteryzację uczestników za ważną dla dalszych badań.

W przypadku publikacji 1–4 należy docenić duży wkład p. Pijewskiej w powstanie samych manuskryptów, co wynika zarówno z jej oświadczenia, jak i oświadczeń współautorów. Objętość finalnych publikacji jest ponadstandardowa i godna szacunku.

Publikacja 5 (P5) ma nieco inny charakter niż poprzednie i dotyczy elastografii, rozumianej jako ogólna diagnostyka/analiza rozkładu naprężenia, nie tylko w tkankach biologicznych. Wg oświadczeń wkład dwóch autorek/autorów jest jednakowy, przy czym praca p. Pijewskiej dotyczy w głównym stopniu



samej metody odwijania fazy. Mimo, że wg bazy Scopus P5 nie jest jeszcze cytowana, to Google Scholar podaje 2 inne publikacje (pochodzące z jednej grupy badawczej), które się do niej odwołują. Niestety są to artykuły w czasopiśmie wydawnictwa MDPI, zdaniem wielu badaczy stosującego nieuczciwe praktyki wydawnicze, na co – oczywiście – p. Pijewska nie ma żadnego wpływu.

Ocenie podlega także przedstawiona rozprawa jako całość. W moim głębokim przekonaniu zawiera wszystkie elementy, niezbędne do właściwego zaprezentowania osiągnięcia. Po streszczeniach, we wprowadzeniu (sekcja „Introduction”) zostały przedstawione: zarówno szeroka motywacja do prowadzenia badań w zakresie obrazowania tkanek biologicznych metodami OCT, jak i cel, którym jest **rozwój metod fazowych OCT, umożliwiających ilościowy pomiar wybranych parametrów tkanek biologicznych do diagnostyki medycznej** („devising OCT phase methods allowing for quantitative examination of selected parameters of biological tissues for medical diagnostics”). Cel ten został w wysokim stopniu zrealizowany, czego dowodzą omówione wyżej publikacje, przedstawione przez autorkę. Kolejny rozdział (4) złożonej rozprawy zawiera syntetyczne wprowadzenie do optycznej tomografii spójnościowej (koherencyjnej). Mimo naturalnej skrótowości, wprowadzenie dobrze się czyta i w jasny sposób pokazuje istotę zagadnienia. W rozdziale 5 zamieszczono listę publikacji stanowiących przedstawione osiągnięcie, zaś kolejny rozdział (6) omawia te publikacje. W rozdziale 7 dodatkowo został sprecyzowany udział p. Pijewskiej w publikacjach, zgodny z deklaracjami pozostałych współautorów. Podsumowanie dopełnia całości swoistego autoreferatu. Jako dodatek autorka dołączyła kod, jaki implementowała. Do tej części trudno mi się odnieść, albowiem mimo wielu lat programowania w różnych językach, nie czuję się specjalistą w tym zakresie. W dalszej części zamieszczono opublikowane artykuły, po których następują deklaracje współautorskie. Uważam, że przedstawiona rozprawa jest bardzo dobrze skonstruowana jako całość i czytelna, wskazując na dużą staranność opracowania.

### Podsumowanie

Uważam, że praca doktorska p. Eweliny Pijewskiej spełnia, a nawet znacznie przewyższa, wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez obowiązujące przepisy.

Wnioskuje o:

- dopuszczenie do dalszych etapów postępowania doktorskiego;
- wyróżnienie pracy, to jest przedstawionego osiągnięcia, udokumentowanego publikacjami naukowymi. *Uzasadnienie: 1. wzorowe metodologicznie przeprowadzenie całości procesu badań naukowych: od analizy teoretycznej i zaproponowania metody numerycznej, rozwiązującej problem analizy fazy sygnału OCT, do zastosowania na modelach laboratoryjnych oraz żywych ludziach, 2. znaczne przekroczenie wymagań ustawowych wobec prac doktorskich.*

Jacek Pijewski