

prof. dr hab. Marek Pajek
Instytut Fizyki
Uniwersytet Jana Kochanowskiego
w Kielcach

Kielce, dn. 6.08.2016

Opinia o rozprawie doktorskiej Pana mgr. Bartosza Leszczyńskiego pt.:

***Optimalizacja procedur badawczych w biomedycznych zastosowaniach
mikrotomografii komputerowej***

Rozprawa doktorska Pana mgr. Bartosza Leszczyńskiego, wykonana w Zakładzie Fizyki Medycznej Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie pod opieką naukową dr hab. Romana Pędrysa, poświęcona jest wykorzystaniu rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej (μ CT) w badaniach biomedycznych. Tematyka ta wchodzi w zakres szeroko rozumianej fizyki medycznej, gdzie szczegółowa znajomość procesów fizycznych oraz zaawansowane metody analizy danych umożliwiają wykorzystanie metody rentgenowskiej tomografii komputerowej do badania struktury niewielkich obiektów biologicznych mających istotne znaczenie dla rozwoju wiedzy medycznej. W mikrotomografii rentgenowskiej stosowanej do obiektów *ex vivo* wykorzystuje się znacznie większe intensywności promieniowania x, w porównaniu z klasyczną tomografią kliniczną, co umożliwia osiągnięcie wysokiej przestrzennej zdolności rozdzielczej rzędu mikrometrów. W konsekwencji mikrotomografia rentgenowska daje możliwość badania wewnętrznej mikrostruktury obiektów biomedycznych w dwóch (2D) lub trzech wymiarach (3D). W praktycznym aspekcie, rzeczywiste warunki eksperymentalne stosowania metody μ CT wprowadzają ograniczenia i efekty dystorsyjne w otrzymywanych obrazach badanych obiektów, co wymaga stosowania różnych metod korekcji i optymalizacji, zarówno w pomiarach jak i w analizie danych, w celu właściwej interpretacji wyników.

Temu problemowi poświęcona jest rozprawa doktorska Pana mgr. Bartosza Leszczyńskiego pt.: *Optimalizacja procedur badawczych w biomedycznych zastosowaniach mikrotomografii komputerowej*, w której Doktorant przedstawia sposoby optymalizacji mikrotomografii rentgenowskiej zastosowanej do systematycznego badania mikrostruktury trzech rodzajów próbek biomedycznych: kości kurcząt, ludzkich kosteczek słuchowych oraz świńskich gałek ocznych. Badania te miały charakter wieloaspektowy. Dotyczyły one właściwej selekcji i metod preparatyki próbek, doboru parametrów i warunków fizycznych pomiarów, metod

analizy i interpretacji danych – ze szczególnym uwzględnieniem potencjalnych źródeł pojawiania się artefaktów w obserwowanych obrazach oraz statystycznej analizy wyników i ich interpretacji. Cennym aspektem rozprawy jest pokazanie, na przykładach badanych próbek, jak trudnym i zindywidualizowanym zagadnieniem jest właściwa optymalizacja metody μ CT stosowanej do badania mikrostruktury różnorodnych próbek biomedycznych. W rozprawie szeroko są dyskutowane aspekty biomedyczne badanych mikrostruktur, co jest jej istotną wartością. Należy odnotować, że recenzowana rozprawa wnosi wiele nowych i cennych aspektów stosowania mikrotomografii rentgenowskiej do badania próbek biomedycznych i jest dobrym przykładem uprawiania fizyki medycznej.

Rozprawa doktorska Pana mgr. Bartosza Leszczyńskiego pt.: *Optymalizacja procedur badawczych w biomedycznych zastosowaniach mikrotomografii komputerowej* przygotowana została pod opieką naukową dr. hab. Romana Pędrysa. Rozprawa, licząca 130 stron, ma przejrzysty układ i została napisana jasnym i poprawnym językiem. Struktura rozprawy, poza wstępem i podsumowaniem, obejmuje główne aspekty prowadzonych przez Doktoranta badań: opisuje metodę mikrotomografii komputerowej i wykorzystywany w badaniach mikrotomograf SkyScan 1172 oraz przedstawia w trzech kolejnych rozdziałach eksperymenty i wyniki badań dyskutowanych próbek biomedycznych. Bibliografia prac cytowanych w rozprawie obejmuje 95 pozycji dobrze oddających aktualny stan wiedzy z zakresu mikrotomografii komputerowej. Rozprawa zawiera również spis publikacji i doniesień konferencyjnych Autora, przy czym 3 artykuły z 9 są na etapie recenzowania.

Mocnym stroną rozprawy doktorskiej Pana mgr. Bartosza Leszczyńskiego jest szeroka dyskusja wielu aspektów metodycznych stosowania mikrotomografii rentgenowskiej, które - jak pokazuje Doktorant – mają istotny wpływ na otrzymywany obraz mikrostruktury badanych obiektów i w konsekwencji na jego interpretację medyczną. W szczególności w rozprawie dyskutowane są efekty „stwardnienia” promieniowania rentgenowskiego penetrującego próbkę, pojawiania się koncentrycznych pierścieni w rekonstruowanych obrazach spowodowanych niedoskonałościami detekcji promieniowania x, pojawiania się artefaktów w obrazach wywołanych silnie absorbującymi mikroskładnikami w próbce (tzw. „wysokie Z”), czy też naturalny efekt „szumów” związany w μ CT z minimalnym rozmiarem obszaru analizy (tzw. wokselem) oraz efekt binaryzacji obrazów związany z wyborem wartości progowej dla procesu binaryzacji. Rola omawianych efektów była weryfikowana z wykorzystaniem odpowiednio dobranych fantomów, co nadaje rozprawie duże znaczenie

praktyczne. W rozprawie dyskutowano również wpływ wymienionych efektów na charakterystyki liczbowe badanych obrazów μ CT mających strukturę porowatą takich jak parametry względnej objętości i względnej powierzchni czy też zwartości (connectivity), wskaźnika struktury (SMI) oraz porowatości. Szeroko omówione w rozprawie i stosowane w interpretacji zmierzonych obrazów badanych próbek były parametry grubości struktury (St.Th.) i separacji struktury (St.Sp.). Parametry te, z uwzględnieniem ich rozkładów i ich charakterystyk liczbowych, były wykorzystywane w analizie porównawczej badanych obiektów, w tym w analizie statystycznej wykorzystującej nieparametryczny test Manna-Whitneya.

Rozprawa doktorska Pana mgr. Bartosza Leszczyńskiego pt.: *Optymalizacja procedur badawczych w biomedycznych zastosowaniach mikrotomografii komputerowej* wnosi wiele cennych rezultatów badawczych związanych z zastosowaniami biomedycznymi mikrotomografii rentgenowskiej, w szczególności w zakresie optymalizacji i indywidualizowania stosowanych procedur badawczych. Determinuje to moją jednoznacznie pozytywną ocenę całości rozprawy, ze szczególnym podkreśleniem jej walorów aplikacyjnych w zastosowaniach biomedycznych. Oceniając całościowo rozprawę muszę odnotować również, z obowiązku recenzenta, zauważone w niej niedostatki i błędy. W mojej ocenie część wstępna rozprawy, opisująca podstawy fizyczne rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej winna być bardziej pogłębiona, na przykład, opisując dokładniej istotę tomografii komputerowej i jej aspekty matematyczne. Opisane w rozprawie procesy fizyczne wymagają drobnych korekt i poprawek. I tak stwierdzenie (str. 18) że cechy promieniowania hamowania nie zależą od materiału katody nie jest zasadne, podobnie (str. 23, wiersz 5) jak przeoczenie faktu że natężenie wiązki przechodzącej przez próbkę zależy również od energii promieniowania rentgenowskiego (!). W tej części rozprawy razi brak referencji do prac źródłowych. Dodatkowo, czy równanie 2.1.1.3 na intensywność promieniowania generowanego w lampie rentgenowskiej nie wynika z równania 2.1.1.2. Czy jest ono poprawne? Inna niejasność: co oznacza parametr u w równaniu 2.1.2.3 ?

Przechodząc do podsumowania oceny rozprawy doktorskiej Pana mgr. Bartosza Leszczyńskiego pt.: *Optymalizacja procedur badawczych w biomedycznych zastosowaniach mikrotomografii komputerowej* stwierdzam że przedłożona mi do oceny rozprawa wnosi wiele nowych i istotnych aspektów naukowych w zastosowaniach rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej w badaniach biomedycznych. Przedstawione badania są

szerokie w aspekcie metodycznym i mają istotne medyczne znaczenie aplikacyjne. Pomimo drobnych wskazanych niedociągnięć, przedłożoną rozprawę oceniam zdecydowanie pozytywnie. Spełnia ona wszelkie wymagania stawiane formalnie i zwyczajowo rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. Bartosza Leszczyńskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Krzysztof Popko', written in a cursive style.