

POLITECHNIKA POZNAŃSKA		
WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I FIZYKI TECHNICZNEJ		
DNIA	18-04-2023	DNIA
WPLYNĘŁO		

Katowice 20 lutego 2023

DF-63/51/2023

**Recenzja rozprawy doktorskiej  
mgra Bartosza Pawałowskiego**

**pt. „Wpływ materiałów nieorganicznych o różnych gęstościach na  
obrazowanie medyczne oraz poprawność obliczeń rozkładów dawki  
w procesie radioterapii”**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi syntetyczny opis i analizę cyklu trzech artykułów naukowych, w których analizowano wpływ materiałów nieorganicznych o różnych gęstościach na obrazowanie medyczne oraz poprawność obliczeń rozkładów dawki w procesie radioterapii.

W cykl pracy wliczają się następujące artykuły:

Artykuł 1 (IF: 2.485; MNiSW: 70.000): Pawałowski B, Szweda H, Dudkowiak A, Piotrowski T. Quality evaluation of monoenergetic images generated by dual-energy computed tomography for radiotherapy: a phantom study. Phys Med 2019;63:48–55. doi:10.1016/j.ejmp.2019.05.019.

Artykuł 2 (IF: 2.685; MNiSW: 70.000): Pawałowski B, Panek R, Szweda H, Piotrowski T. Combination of dual-energy computed tomography and iterative metal artefact reduction to increase general quality of imaging for radiotherapy patients with high dense materials. Phantom study. Phys Med. 2020; 77:92-99. doi:10.1016/j.ejmp.2020.08.009

Artykuł 3 (IF: 4.379; MNiSW: 140.000): Pawałowski B, Ryczkowski A, Panek R, Sobocka- Kurdyk U, Graczyk K, Piotrowski T. Accuracy of the doses computed by the Eclipse treatment planning system near and inside the metal elements. Sci Rep. 2022; 12(1):5974. doi: 10.1038/s41598-022-10072-8

Wszystkie prace znajdują się na tzw. „liście filadelfijskiej” i posiadają indeks cytowań (IF) o wysokich wartościach, odpowiednio 2,485, 2,685 oraz 4,379.

**Przedstawiona poniżej analiza pracy doktorskiej (dzieła składającego się z wymienionych powyżej trzech artykułów) zawiera wypunktowane i zaznaczone pytania do Doktoranta.**

Autor w swojej pracy skupił się na bardzo istotnym problemie znanym w diagnostyce obrazowej przy czym jednakże w tym przypadku jest on analizowany pod kątem wpływu, stosowanych powszechnie jako np. protezy, materiałów o różnych gęstościach na obrazowanie medyczne i przez to wpływającego na poprawność obliczeń rozkładów dawki w procesie radioterapii. Szeroko w świecie obserwuje się od kilku dekad istotny i dynamiczny wzrost zwiększającej się liczby pacjentów posiadających różne metalowe elementy w swoim ciele, które w sposób istotny wpłynęły na radioterapię poprzez artefakty jakie powodują w diagnostyce obrazowej.

Autor w swojej pracy napisał, iż

„Obecność metalowych elementów ze względu na ich dużą gęstość zaburza obraz tomografii komputerowej pacjenta, który jest niezbędny w celu określenia obszaru napromienianego oraz narządów krytycznych. Ze względu na bardzo dużą absorpcję promieniowania jonizującego oraz dodatkowe rozproszenie w obrazie tomografii komputerowej pojawiają się zaburzenia nazywane artefaktami. Pojawiające się artefakty od metalowych elementów w skrajnych sytuacjach uniemożliwiają nie tylko zdefiniowanie zmiany nowotworowej, ale także wpływają na rozkłady liczonych dawek. Wpływa to na możliwość pojawienia się niedokładności zarówno anatomicznych jak i dozymetrycznych podczas realizacji planu leczenia na aparacie terapeutycznym.”

**Pytanie 1:**

Artefakty o których Autor pisze to tzw. „streak artifacts” powodowane obecnością metalu w ciele, pojawiające się w tomografii komputerowej jako bardzo charakterystyczne „smugi” o różnej gęstości optycznej na obrazie. **Proszę Autora o próbę krótkiego wyjaśnienia wpływu tego typu obrazu na planowanie leczenia w radioterapii.**

**Pytanie 2:**

**Czy w innych technikach diagnostycznych takich jak MR oraz USG takie elementy w ciele pacjenta również mają znaczenie z punktu widzenia jakości obrazu? A może też bezpieczeństwa?**

**Pytanie 3:**

**Proszę Autora o krótkie omówienie możliwości znaczenia implantów o różnej gęstości w kontekście ich wpływu na dawkę pochłoniętą podczas radioterapii.**

W ramach przeprowadzonych pomiarów i analiz Autor zweryfikował jedną z dostępnych metod redukujących artefakty - tomografię dwuenergetyczną. Pozwoliło to na określenie parametrów skanowania pozwalających na uzyskanie jakościowo najlepszych obrazów. W kolejnych badaniach

W kolejnej pracy z cyklu Autor ocenił efektywność wykorzystania dwóch różnych metod redukcji artefaktów (tomografii dwuenergetycznej oraz metod algorytmicznych) jak i ich kombinacji w celu poprawy jakości obrazu tomograficznego obszaru, w którym znajduje się element metalowy.

Z kolei w zamykającej cykl pracy Doktorant podjął się próby weryfikacji wpływu elementów o dużej gęstości (tytan, stal, wolfram) na poprawność obliczeń dawek przy użyciu algorytmów zaimplementowanych w systemie planowania leczenia umożliwiającym przygotowanie komputerowego planu leczenia zawierającego rozkłady dawek

Jako Recenzent dostrzegam i podkreślam znaczenie samego pomysłu badań jak i przeprowadzonych pomiarów, symulacji i analiz w odniesieniu do dokładności planowania leczenia a więc w kontekście leczenia pacjentów przy wykorzystaniu radioterapii. Wydaje się, iż ze względu sporą różnorodność posiadanych urządzeń, systemów planowania leczenia i dostępności algorytmów, a także ich różnych wersji w różnych klinikach/szpitalach onkologicznych ośrodki realizujące radioterapię nie zawsze muszą korzystać z pewnych zunifikowanych algorytmów czy też opracowanych naukowo najnowszych i najbardziej dokładnych rozwiązań. Dlatego też prowadzenie takich badań i rozwój technologii pozwalającej na najdokładniejszą i tym samym najbardziej efektywną metodę leczenia u pacjentów z różnymi implantami (a takich znacząco przybywa w ostatnich latach) wydaje się wręcz konieczny. Zatem badania nad metodami redukującymi występujące podczas diagnostyki obrazowej artefaktami i ich wzajemne porównanie w odniesieniu do konkretnych rodzajów implantów w kontekście ich dalszego wpływu na obliczenia wydaje się być istotne z punktu widzenia zdrowia i życia pacjentów onkologicznych.

Badania jakie Doktorant prowadził nasuwają jeszcze jeden istotny wniosek – badania w tym zakresie powinny być prowadzone w różnych placówkach klinicznych gdyż otrzymane wyniki mogą dać lepsze poznanie zarówno możliwości jak i ograniczeń zastosowania konkretnych algorytmów w przypadku napromieniania nowotworów znajdujących się blisko metalowych elementów oraz do nich przylegających, gdyż zachodzące na granicy ośrodków o niskiej i wysokiej gęstości, różnice w absorpcji i rozproszeniu promieniowania w metalu ma znaczący wpływ na rozkład dawki.

Podsumowując, celem ogólnym rozprawy była analiza wpływu materiałów nieorganicznych o różnych gęstościach na obrazowanie medyczne oraz poprawność obliczeń rozkładów dawki w procesie radioterapii. Wyniki badań określone zakresem zadań szczegółowych opisano w trzech publikacjach naukowych. W Artykule 1 opublikowanym w czasopiśmie *Physica Medica*, Autorzy wykazali, że dla serii obrazów pseudo monoenergetycznych najlepsza jakościowo jest seria zrekonstruowana dla 70 keV. Również

z punktu widzenia lekarza seria wygenerowana dla 70 keV została oceniona jako najlepsza przy czym ocena była oparta o analizę jakościową. W drugim Artykule 2, opublikowanym również w czasopiśmie Physica Medica Autorzy w oparciu a analizę ilościową wykazali, iż zastosowanie algorytmu iMAR znacznie zredukowało absolutną różnicę jednostek HU pomiędzy obrazem referencyjnym, a obrazem po redukcji artefaktów. W tym przypadku wykonane analizy pokazały, iż najlepiej odtworzony obraz został dla kombinacji skanów monoenergetycznych dla 70 energii keV z algorytmem iMAR. Z kolei ostatni Artykuł cyklu opisuje, iż algorytmem najlepiej obliczającym rozkłady dawek w obecności metali jest Acuros XB – dose to medium, który uwzględnia promieniowanie wstecznie rozproszone. Ponadto pewnym ograniczeniem jest niemodyfikowalna biblioteka materiałów, tryb pracy dose to water przeszacowuje dawkę w metalu, aczkolwiek poprawnie realizuje obliczenia w wodzie. Algorytm AAA ze względu na skalowanie dawki i obliczenia gęstości elektronowej, oblicza dawkę lokalnie i nie uwzględnia promieniowania wstecznie rozproszonego, jednakże przypisanie do całej struktury wartości HU wynikającej z tomografii komputerowej poprawia obliczenia za metalowym wkładem.

Wniosek wynikający w przeprowadzonych i opublikowanych wyników badań jest wniosek w którym można stwierdzić, że najlepszą strategią przygotowania pacjentów do radioterapii jest wykonanie dwuenergetycznej tomografii komputerowej z wykorzystaniem algorytmu iMAR oraz wygenerowanie serii pseudo monoenergetycznej dla 70 keV. To skojarzenie tych metod pozwala na uzyskanie najlepszej jakości obrazów tomograficznych na których znajdują się elementy metalowe, co daje możliwości fizykowi medycznemu na przygotowanie najlepszego klinicznie planu leczenia, który zapewni uzyskanie najlepszych zgodności pomiędzy obliczonym i rzeczywistym rozkładem dawek.

**Recenzent pragnie zaznaczyć, że temat badań podjętych przez Doktoranta jest bardzo wartościowy i ważny, ponieważ zagadnienie ma wymiar praktyczny w kwestii efektywności jak i dokładności leczenia w radioterapii.**

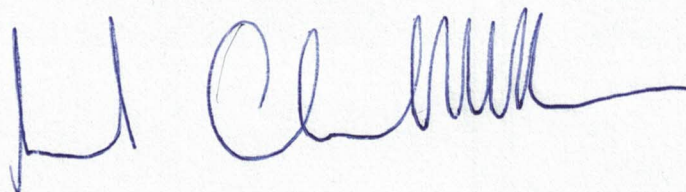
**Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r., poz. 1189) , dlatego wnoszę do Rady Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Doktoranta pana mgra Bartosza Pawałowskiego do dalszych etapów postępowania o nadanie tytułu doktora nauk fizycznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.**

Jednocześnie mając na uwadze iż, dorobek Doktoranta składający się na dzieło jakim jest rozprawa doktorska Recenzent uznaje za godny wyróżnienia, zwłaszcza, że pan Bartosz Pawałowski jest pierwszym Autorem w każdej z trzech prac, a czasopisma, w których prace te zostały opublikowane są wysoko notowane w dziedzinie fizyki medycznej.

Ponadto, Recenzent pragnie podkreślić, że temat przeprowadzonych przez Doktoranta badań i analiz jest z klinicznego punktu widzenia bardzo ważny, a zaproponowane przez Doktoranta wnioski mają istotne znaczenie w praktyce planowania radioterapii.

Dlatego też wnoszę do Rady Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej o wyróżnienie pracy doktorskiej Pana Bartosza Pawałowskiego.

**Dr n. fiz. Hab. n. med. Armand Cholewka prof. UŚ**



z-ca Dyrektora Instytutu Inżynierii Biomedycznej UŚ  
v-ce Prezes Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej  
Kierownik Grupy Badawczej Inżynieria Biomedyczna  
Prezes Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Termowizyjnej w Medycynie