



**AGH**

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej**

**KATEDRA FIZYKI MEDYCZNEJ I BIOFIZYKI**

Kraków, 18.12.2023

Dr hab. inż. Aleksandra Jung  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica  
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
Katedra Fizyki Medycznej i Biofizyki

**Recenzja pracy doktorskiej  
mgr Faranak Tayefi Ardebili  
„Evaluation of the NEMA characteristics for the Modular J-PET  
scanner”**

Praca doktorska pani mgr Faranak Tayefi Ardebili „Evaluation of the NEMA characteristics for the Modular J-PET scanner”, wykonana pod kierunkiem promotora prof. dr hab. Pawła Moskala oraz promotora pomocniczego dr Szymona Niedźwieckiego, dotyczy oceny własności Modułarnego Tomografu Emisji Pozytonowej J-PET zgodnie ze standardami Amerykańskiego Narodowego Stowarzyszenia Producentów Aparatury Elektrycznej (National Electrical Manufacturers Association – NEMA). Do analizy rozdzielczości przestrzennej oraz oceny czułości i frakcji rozproszeniowej posłużyły dane eksperymentalne oraz wyniki symulacji uzyskane przy użyciu programu GATE.

Praca składa się z dziesięciu rozdziałów, wykazu tabel i rysunków oraz spisu literatury zawierającego 130 pozycji bibliograficznych.

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie do tematyki badawczej oraz cel pracy, którym było opracowanie charakterystyki modułarnego J-PET z dużym polem widzenia na podstawie pomiarów doświadczalnych, porównywanych z wynikami symulacji. Szkoda, że Autorka nie wymieniła celów szczegółowych, które przybliżyły ją do zrealizowania tego zadania. Rozdział kończy opis wkładu własnego mgr Faranak Tayefi Ardebili w prowadzone badania, co biorąc pod uwagę udział w pracach wieloosobowego zespołu badawczego jest istotne w ocenie dorobku. Doktorantka podkreśliła swój udział w zakresie zapoczątkowania symulacji geometrycznych, które stopniowo rozszerzały się na kompleksową charakterystykę J-PET zgodną z wytycznymi NEMA, a także swój wkład w opracowanie algorytmów zastosowanych do obliczania frakcji



## Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

### KATEDRA FIZYKI MEDYCZNEJ I BIOFIZYKI

rozproszonej i czułości, niezbędnych w ocenie wydajności modułowego J-PET. Autorka odegrała także wiodącą rolę w opisywanych pracach doświadczalnych. Kolejnym ważnym elementem pracy było przygotowanie protokołów analizy danych, obejmujących kryteria selekcji, a następnie ich analiza.

Rozdział drugi obejmuje podstawy teoretyczne obrazowania Pozytonowej Tomografii Emisyjnej (PET), w tym opis oddziaływań promieniowania gamma z materią oraz zasadę działania tomografu PET opartą na detekcji dwóch kwantów gamma pochodzących z anihilacji pozytonów z elektronami w ciele pacjenta, a także przybliży rodzaje koincydencji i metody rekonstrukcji.

W rozdziale trzecim opisano budowę i działanie modułowego J-PET. Opisane urządzenie wykorzystuje zamiast tradycyjnie stosowanych kryształów scyntylacyjnych, plastikowe modułowe scyntylatory z dwustronnym odczytem, co daje szansę na zauważalną redukcję kosztów nawet przy istotnym zwiększeniu osiowej długości pola widzenia (AFOV). W opisanym rozwiązaniu do rekonstrukcji pozycji interakcji fotonu z materiałem scyntylatora wykorzystuje się różnice czasu detekcji impulsów z przeciwnych końców długiego scyntylatora.

W rozdziale czwartym przedstawiono szczegóły dotyczące standardów NEMA, w szczególności takie parametry jak czułość, rozpraszanie i rozdzielczość przestrzenną.

Rozdział piąty dotyczy symulacji detektora J-PET przy wykorzystaniu oprogramowania GATE, wraz z opisem zastosowanej geometrii, materiałów, źródeł, fantomów oraz kryteriów selekcji wykorzystanych w analizie.

Rozdział szósty zawiera charakterystykę, według standardów NEMA, wydajności modułowego J-PET w oparciu o przeprowadzone symulacje, pozwalające na szczegółową ocenę czułości, rozdzielczości przestrzennej i frakcji rozproszenia.

Rozdział siódmy to prezentacja wyników pomiarów eksperymentalnych dla punktowych i liniowych źródeł promieniotwórczych, wyjaśnienia dotyczące kalibracji energetycznej oraz procedury i warunki wstępnej selekcji zastosowane do analizy uzyskanych danych.

W rozdziale ósmym przedstawiono charakterystykę modułowego J-PET na podstawie wyników pomiarów eksperymentalnych zgodnych ze standardem NEMA.



## Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

### KATEDRA FIZYKI MEDYCZNEJ I BIOFIZYKI

W rozdziale dziewiątym zestawiono i porównano charakterystykę J-PET uzyskaną podczas badań własnych z charakterystyką najnowocześniejszych, komercyjnych skanerów PET całego ciała.

Wnioski wynikające z uzyskanej charakterystyki działania modułowego J-PET i perspektywy rozwoju tego układu jako tomografu PET całego ciała opisano w ostatnim, dziesiątym rozdziale.

Praca ma pewne niedociągnięcia od strony edytorskiej i językowej: są błędy w postaci zdublowania tego samego, albo podobnego tekstu, wynikające z robionej zapewne w pośpiechu korekty i nie skreśleniu poprzedniej wersji (np. str.57), przejęzyczenia (*gravity* zamiast *density*), są puste miejsca na kilku stronach, brak rysunku 3.3, nagłówki rozdziałów są w języku polskim chociaż praca jest w języku angielskim, nie wszystkie równania i rysunki są opisane w tekście czy właściwie w nim zacytowane, układ rysunków i tekstu nie jest optymalny, opisy bibliograficzne są czasem niejednorodne lub niekompletne. Z drugiej jednak strony praca jest bogato ilustrowana, najważniejsze parametry są stabelaryzowane, a od strony merytorycznej jest wartościowa, zatem wspomniane niedociągnięcia nie wpływają na moją pozytywną ocenę końcową.

Z obowiązku recenzenta przytaczam poniżej kilka pytań, które nasunęły mi się podczas lektury pracy:

- dlaczego w pracy, w rozdziale drugim, nie wymieniono wszystkich rodzajów rozpraszania koherentnego;
- dlaczego aktywności źródeł zaprezentowane w tabeli 5.1 i wykorzystane do celów symulacji nie są takie same jak wartości eksperymentalne;
- czy aktywność była dodatkowo mierzona, czy tylko szacowana na podstawie specyfikacji;
- skąd wynikają różnice w czułości wyznaczonej na drodze eksperymentalnej i w wyniku przeprowadzonych symulacji;
- czy w przyszłości byłoby możliwe przeprowadzenie i skonstruowanie hybrydy PET-NMR opartej o system J-PET;
- jakie jest wyjaśnienie braku symetrii profilu na rys. 6.7;
- z jakiego wzoru były liczone niepewności z prawa przenoszenia niepewności (np. równanie 6.7 i 6.23);
- jaka była czystość źródeł promieniotwórczych i ich pochodzenie;





**AGH**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

## Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

### KATEDRA FIZYKI MEDYCZNEJ I BIOFIZYKI

- dlaczego na rysunku 7.24 są widoczne tak duże niepewności w zakresie 3000-4000 [ns\*mV];
- dlaczego tylko 0.42% danych, pochodzących z oryginalnego sygnału, było analizowanych (str. 106);
- jakie byłyby przykładowe wartości do dodania w tabeli 9.4 dla przeciętnego tomografu PET/CT; jak wypada zestawienie danych z symulacji i eksperymentu (wartości podane w tabeli różnią się od prezentowanych w streszczeniu)?

#### Podsumowanie

Materiał zaprezentowany w pracy jest obszerny i nowatorski, stanowi ważny krok w celu realizacji J-PET całego ciała. Autorka wykazała się zarówno umiejętnościami praktycznymi w zakresie prowadzenia prac badawczych z radioizotopami, jak i w zakresie modelowania matematycznego, prowadząc symulacje z wykorzystaniem środowiska GATE.

Recenzowana praca doktorska prezentuje oryginalne rozwiązanie postawionych problemów naukowych, a pani mgr Faranak Tayefi Ardebili jest współautorem licznych publikacji wieloautorskich grupy J-PET kierowanej przez pana prof. dr hab. Pawła Moskała, z wyszczególnieniem czterech publikacji, które we wstępie pracy Autorka określiła jako kluczowe dla realizowanej tematyki badawczej. Uzyskane wyniki naukowe stanowią kolejny etap na drodze do skonstruowania urządzenia komercyjnego. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie i potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w ramach dużej grupy badawczej.

**Reasumując, stwierdzam iż przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „Evaluation of the NEMA characteristics for the Modular J-PET scanner” w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie pani mgr Faranak Tayefi Ardebili do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Dr hab. inż., prof. AGH  
Aleksandra Jung

