
Prof. dr hab. Zbislaw Tabor
Katedra Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki
i Inżynierii Biomedycznej
Akademia Górniczo-Hutnicza
ztabor@agh.edu.pl

Kraków, 28 lipca 2023

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Macieja Maciaka pt.:
**„METODY WYZNACZANIA RÓWNOWAŻNIKA DAWKI I WIDMA NEUTRONOWEGO
Z WYKORZYSTANIEM DETEKTORÓW REKOMBINACYJNYCH I PASYWNYCH
Z MODERATORAMI WIELOWARSTWOWYMI”**

wykonanej pod kierunkiem Pana promotora dra hab. inż. Piotra Tulika

I. Ogólna charakterystyka podjętych przez Doktoranta problemów badawczych

W przedłożonej mi do oceny rozprawie Doktorant przedstawia wyniki prac nad zagadnieniem badawczym, którego celem jest opracowanie metodyki symulacji Monte Carlo transportu promieniowania neutronowego w dwóch celach:

1. estymacji widma promieniowania neutronowego na podstawie pomiarów z wykorzystaniem detektorów pasywnych lub aktywnych,
2. weryfikacja założeń leżących u podstaw wykorzystania komór rekombinacyjnych w ochronie radiologicznej.

Podjęty problem badawczy wpisuje się w obszar zastosowania metod symulacyjnych i numerycznych w ochronie radiologicznej, a tym samym w obszar dyscypliny „inżynieria biomedyczna”.

II. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedłożona mi do oceny rozprawę składa się z rozbudowanego autoreferatu zakończonego bibliografią liczącą 144 pozycje oraz z siedmiu wieloautorskich, z jednym wyjątkiem, publikacji opublikowanych w czasopiśmie recenzowanych. Do każdej publikacji dołączone są oświadczenia współautorów, wskazujące na wkład Doktoranta w przygotowanie publikacji oraz na wkład pozostałych autorów w te publikacje.

W pierwszej części autoreferatu Doktorant omawia podstawowe pojęcia związane z dozymetrią promieniowania jonizującego z uwzględnieniem szczególnego rodzaju problemów występujących w dozymetrii pól neutronowych (zależność współczynnika wagowego od energii neutronów, szeroki zakres widma energetycznego wiązek neutronowych w warunkach klinicznych np. w sąsiedztwie akceleratorów medycznych), wskazując jednocześnie na estymację widma, jako krok niezbędny dla oceny dawki równoważnej. Istniejące metody spektrometryczne (narzędzia oraz koncepcje ich wykorzystania do estymacji widma) wraz z ich ograniczeniami są omówione w rozdziale trzecim. W rozdziale drugim z kolei Doktorant wymienia narzędzia pomiarowe rozwijane w zespole z którym współpracuje (efektem tej współpracy jest oceniana rozprawa). Ostatnie dwa rozdziały autoreferatu to skrótowe omówienie wyników opisanych w serii artykułów.

Artykuły oznaczone w serii literami A, B, F i G dotyczą wykorzystania metod Monte Carlo do estymacji widma wiązek neutronowych. Metodyka wyznaczania zależności fluencji od energii neutronów na podstawie pomiarów wskazań detektorów jest sformułowana jako problem dekonwolucji: liczba zliczeń jest splotem funkcji odpowiedzi detektora i fluencji, obu zależnych od energii neutronów. Ponieważ problemem jest wyznaczenie zależności fluencji od energii podczas gdy dane są tylko odczyty detektorów, funkcję odpowiedzi detektora należy znaleźć niezależnie – do tego celu Doktorant wykorzystuje symulacje Monte Carlo. W pracach A i F podejmowany jest problem estymacji widma dla komory wielosygnałowej, z wykorzystaniem detektorów aktywnych. W pracach B i G wyznaczone są funkcje odpowiedzi dla spektrometru o konstrukcji kulistej, wykorzystującego detektory pasywne (termoluminescencyjne). Ponadto, w pracy G, w oparciu o wyniki pomiarów dla rzeczywistych pól, rozwiązywany jest problem dekonwolucji, a uzyskane wyniki (szybkość depozycji dawki) są porównywane z wynikami pomiarów w laboratorium kalibracyjnym. Oprócz tych wyników w pracach rozważane są (i symulowane) również inne aspekty związane z funkcjonowaniem spektrometrów np. w pracy A wpływ grubości warstwy B_4C pokrywającej elektrody na odpowiedź detektorów aktywnych, czy w pracy B wpływ rodzaju detektora termoluminescencyjnego na odpowiedź spektrometru – są to problemy ważne dla optymalizacji konstrukcji spektrometrów.

W pracach C, D i E opisane są wyniki symulacji Monte Carlo pracy komory rekombinacyjnej dla monoenergetycznych wiązek neutronowych – w pracach C i E wyznaczany jest rozkład LET cząstek wtórnych, a w pracy D wyznaczona jest

dawka pochłonięta w zależności od składu gazu wypełniającego komorę. Dodatkowo, w pracy E wyniki symulacji Monte Carlo, rozkłady LET, są porównywane z rozkładami LET wyznaczonymi na podstawie pomiarów wykonanych rzeczywistą komorą przy użyciu metody RMM (recombination microdosimetric method). Wykazana w tej pracy zgodność przewidywań symulacyjnych i wyników uzyskanych z pomiarów jest pośrednio weryfikacją założeń będących u podstaw konstrukcji i wykorzystania komory rekombinacyjnej w ochronie radiologicznej.

III. Uwagi do rozprawy

Do pracy A nie mam uwag – wykonane przez Doktoranta symulacje Monte Carlo wskazują na optymalną grubość pokrycia elektrod komory wielosygnałowej KW-1 węglikiem boru w celu maksymalizacji przekroju czynnego na reakcję z neutronami termicznymi, a uzyskane wyniki są wykorzystane przy modyfikacji konstrukcji komory wielosygnałowej. W pracy F, którą można uznać za kontynuację pracy A, wyznaczane są funkcje odpowiedzi detektorów zmodyfikowanej komory sygnałowej i prezentacja tych funkcji kończy artykuł. Nie jest jednak podjęta żadna próba (nawet numeryczna) wykorzystania wyliczonych funkcji odpowiedzi do estymacji widma pól neutronowych w oparciu o dekonwolucję, o której autorzy piszą we wstępie do artykułu. Ponadto nie jest dla mnie jasny być może pozorny brak konsekwencji w wykorzystywaniu różnych narzędzi symulacyjnych – w pracy A autorzy stawiają wyżej zalety środowiska MCNPX nad środowiskiem FLUKA z powodu ograniczeń tego ostatniego przy symulacji transportu neutronów niskoenergetycznych, natomiast w pracy F środowisko FLUKA jest wykorzystywane do symulacji transportu takich neutronów.

W pracy B symulacje Monte Carlo są użyte do wyznaczenia funkcji odpowiedzi spektrometru SWP-1, w którego konstrukcji użyto detektorów pasywnych (termoluminescencyjnych). Zupełnie niezależnym wątkiem tej pracy jest wykonanie pomiarów dla rzeczywistych pól – wyniki te pokazują, że spektrometr, dzięki możliwości zmiany rodzaju użytego detektora, może być potencjalnie użyty do estymacji widma promieniowania neutronowego również w wiązках mieszanych. Niestety, te dwa wątki: eksperymentalny i symulacyjny, pozostają do końca artykułu niezależne. W jednym ze zdań autorzy piszą, że wyniki eksperymentu dostarczają danych do dekonwolucji tzn. do estymacji widma, ale próba estymacji widma w oparciu o pomiary jest podjęta dopiero

w pracy G – praca G jest wobec tego w istocie logicznym dokończeniem pracy B. Nie jest więc jasne dlaczego to, co mogło być zrobione w pracy G (dekonwolucja i porównanie z eksperymentem), nie mogło być zrobione już wcześniej, w pracy B, w sytuacji, gdy dane eksperymentalne niezbędne do estymacji widma były już dostępne w pracy B.

W cyklu artykułów C, D i E w zasadzie tylko artykuły D i E stanowią zamknięte całości, w których wyniki symulacyjne konfrontowane są z pomiarami. Artykuł C kończy się przedstawieniem wyliczonych rozkładów LET, ale bez wyznaczania współczynnika jakości promieniowania i porównania takich wyliczeń z rekomendacjami – co później jest zrobione w pracy E. W tym cyklu ponownie zwraca uwagę niekonsekwencja w używaniu środowisk symulacyjnych – w pracy D jest to MCNPX, a w pracy E użyte jest środowisko FLUKA.

Jednak jeśliby nawet z ciągu siedmiu artykułów przedstawionych przez Doktoranta usunąć te dwa moim zdaniem niedokończone (B i C), to nadal pozostaje ciąg pięciu artykułów, co jest wystarczającym osiągnięciem przy ubieganiu się o stopień doktora.

IV. Formalna ocena rozprawy

Jednym z moich zadań, jako recenzenta jest wyrażenie opinii, czy „rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej” (Art. 187 ust. 1 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce). Dostarczona mi dokumentacja (rozszerzony autoreferat, lista publikacji Doktoranta oraz oświadczenia współautorów w przedmiocie wkładu Doktoranta w publikacje wieloautorskie) przekonuje mnie, że Doktorant zaproponował koncepcję badań opisanych w rozprawie oraz był w te badania zaangażowany we wszystkich etapach – od etapu przygotowania danych (modele symulowanych układów, pomiary laboratoryjne), poprzez opracowanie metodyki (symulacje Monte Carlo), analizę danych do etapu przygotowania tekstu opisującego wyniki przeprowadzonych badań. **W oparciu o przekazaną mi dokumentację wyrażam zatem przekonanie, że oceniana przeze mnie rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria biomedyczna oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.**

W swojej rozprawie Doktorant podejmuje temat dotyczący wykorzystania metod symulacyjnych do wyznaczania równoważnika dawki oraz widma

promieniowania neutronowego. Cztery z artykułów składających się na rozprawę wskazują, w jaki sposób modelowanie Monte Carlo oraz wyniki pomiarów eksperymentalnych mogą być użyte do estymacji widma promieniowania neutronowego przy użyciu dwóch konstrukcji spektrometrów promieniowania neutronowego. Pozostałe trzy artykuły z serii demonstrują sposób wykorzystania symulacji Monte Carlo do weryfikacji komory rekombinacyjnej, jako narzędzia stosowanego w ochronie radiologicznej.

Zaprojektowane metody symulacyjne są - moim zdaniem - wymagany przez ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Art. 187 ust. 2) dla pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej oryginalnym rozwiązaniem podjętego przez Doktoranta problemu naukowego z obszaru dyscypliny inżynieria biomedyczna.

V. Wnioski

W mojej opinii przedłożona mi do recenzji rozprawa spełnia wszystkie, określone ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym kryteria, wymagane do jej pozytywnej oceny:

1. prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria biomedyczna oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej,
2. zawiera oryginalne rozwiązanie podjętego przez Doktoranta problemu naukowego, dotyczącego opracowania metod wyznaczania równoważnika dawki i widma neutronowego z wykorzystaniem detektorów rekombinacyjnych i pasywnych z moderatorami wielowarstwowymi.

Oceniając zatem rozprawę pozytywnie, wnioskuję o dopuszczenie Pana mgra inż. Macieja Maciaka do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dyscyplinie inżynieria biomedyczna.



Zbysław Tabor