

**AGH****AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE****Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej****KATEDRA FIZYKI MEDYCZNEJ I BIOFIZYKI**

Kraków, 23.02.2024

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 Magdaleny Marii Szymko  
„BUDOWA WZORCA DAWKI POCHŁONIĘTEJ W WODZIE DLA ŹRÓDEŁ  
STOSOWANYCH W BRACHYTERAPII”**

Praca doktorska pani mgr Magdaleny Marii Szymko „Budowa wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł stosowanych w brachyterapii”, wykonana pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Piotra Tulika, prof. uczelni oraz promotora pomocniczego dr Pawła Wołowca dotyczy projektu układu pomiarowego pozwalającego na odtworzenie jednostki dawki pochłoniętej w wodzie dla promieniowania gamma izotopu  $^{60}\text{Co}$  w odległości 1,17 cm z niepewnością rozszerzoną poniżej 3%. Zbudowane stanowisko jest stanowiskiem mobilnym, co pozwala na wykorzystanie go w warunkach klinicznych, w zakładach brachyterapii, pozwalając na niezależną weryfikację parametrów stosowanych źródeł. Projekt został zrealizowany w ramach II edycji programu „Doktorat wdrożeniowy” Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Praca składa się z trzech zasadniczych rozdziałów, poprzedzonych wstępem i zakończonych podsumowaniem, wykazu skrótów, rysunków i tabel oraz spisu literatury zawierającego 98 pozycji bibliograficznych. Zawiera także załącznik w postaci modelu układu pomiarowego dla pomiarów dawki pochłoniętej w wodzie, który stanowi jeden z plików wejściowych do przeprowadzonych obliczeń Monte Carlo.



**Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej**  
**Katedra Fizyki Medycznej i Biofizyki**  
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,  
tel. +48 12 617 4424, fax +48 12 634 00 10  
[www.fis.agh.edu.pl](http://www.fis.agh.edu.pl),

## Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

### KATEDRA FIZYKI MEDYCZNEJ I BIOFIZYKI

Po krótkim wstępie, wprowadzającym czytelnika w zagadnienia budowy wzorców dedykowanych na potrzeby optymalizacji procedur medycznych wykorzystujących promieniowanie jonizujące i zakres działań Głównego Urzędu Miar (GUM), Autorka poświęca pierwszy zasadniczy rozdział pracy informacjom o charakterze teoretycznym. Omawia podstawy brachyterapii i rodzaje stosowanych źródeł, przytaczając ich szczegółowe charakterystyki. Następnie skupia się na zagadnieniach metrologicznych obejmujących zapewnienie jakości (QA – z ang. Quality Assurance), w tym najważniejsze procedury i zalecenia, co jest szczególnie istotne, biorąc pod uwagę tematykę pracy. W dalszej kolejności zostały przybliżone definicje podstawowych wielkości dozymetrycznych stosowanych w brachyterapii oraz niepewności, jakie towarzyszą przy ich wyznaczaniu na poszczególnych etapach radioterapii. Spójność pomiarowa w brachyterapii, czyli zapewnienie odniesienia danych pomiarów do wzorca państwowego lub międzynarodowego jednostki miary poprzez nieprzerwany łańcuch porównań o znanych niepewnościach, została wyczerpująco scharakteryzowana w kolejnym podrozdziale. Opis zagadnień teoretycznych zamykają informacje dotyczące sposobów wyznaczania dawki pochłoniętej w wodzie, z uwzględnieniem zalet i niepewności poszczególnych metod. Autorka porusza się swobodnie w powyższym zakresie tematycznym, przytaczając odpowiednie informacje o charakterze ilościowym, pochodzące ze stosownych raportów. Rozdział ten kończy wskazanie celu pracy, którym było utworzenie w GUM mobilnego stanowiska wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla wysokoaktywnych źródeł powszechnie stosowanych w aparatach wysokiej mocy dawki (HDR- z ang. high dose rate) w brachyterapii.

W rozdziale 2 opisano zastosowane materiały i metody. W szczególności obejmuje on: opisy wyznaczania wielkości kermy w powietrzu oraz dawki pochłoniętej w wodzie dla metod jonometrycznych z uwzględnieniem współczynników poprawkowych wyznaczanych doświadczalnie i za pomocą metod Monte Carlo, metodykę przyjętą przy szacowaniu niepewności, a także opis zastosowanych przyrządów pomiarowych, aparatury i źródeł promieniowania o wysokiej mocy dawki. Opisy mają charakter nie tylko techniczny, ale także praktyczny, uwzględniający zastosowanie niezbędnych współczynników poprawkowych dla uzyskanych wyników pomiaru.





## Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

### KATEDRA FIZYKI MEDYCZNEJ I BIOFIZYKI

Rozdział 3, to zasadnicza część pracy obejmująca realizację praktyczną postawionych celów i jej wyniki. Opisano w nim szczegółowo budowę stanowiska do brachyterapii wraz z charakterystyką osłon, kolimatora i układu pomiarowego dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł HDR. Autorka kompleksowo podchodzi do rozwiązania każdego problemu, począwszy od elementów projektowania np. osłon, poprzez zwracanie uwagi na powtarzalność i stabilność układu pomiarowego aż do możliwości jak najbardziej elastycznego wykorzystania zaproponowanego rozwiązania. Dodatkowo, w ramach pracy doktorskiej przygotowano model numeryczny do symulacji Monte Carlo, odwzorowujący zaprojektowany układ pomiarowy dla dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł HDR. Kolejna część pracy poświęcona jest weryfikacji działania poszczególnych elementów stanowiska poprzez sprawdzenie poprawności ich ustawienia, poznanie specyfiki działania i dokonania niezbędnych korekt w celu ostatecznej optymalizacji parametrów. Przeprowadzone testy obejmowały m.in. pomiary z komorą studzienkową, wpływ położenia kolimatora, pomiary w wodzie ze źródłem HDR, ocenę powtarzalności, wyznaczenie wartości referencyjnej mocy kermy w powietrzu za pomocą komory jonizacyjnej, walidację komory jonizacyjnej GUM Dw#3 jako wzorca pierwotnego dawki pochłoniętej w wodzie, wyznaczenie dawki pochłoniętej w wodzie dla źródła  $^{60}\text{Co}$  metodą jonometryczną oraz testy pomiarowe na źródle  $^{192}\text{Ir}$ . Prowadząc eksperyment Autorka nie tylko wykonuje pomiary i analizuje uzyskane wyniki numeryczne, ale często musi dokonać odpowiednich przeliczeń, uwzględniając właściwe współczynniki, żeby sprawdzić poprawność uzyskanego rezultatu z oczekiwanym. W ramach pracy podjęto też prace nad konstrukcją prototypowej cylindrycznej komory *Julia*.

Całość pracy kończą wnioski i podsumowanie. Cel pracy został zrealizowany – zostało zbudowane stanowisko dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł HDR w Głównym Urzędzie Miar, które pozwala na pomiary zarówno referencyjnej mocy kermy w powietrzu jak i dawki pochłoniętej w wodzie, nie tylko w polu promieniowania gamma izotopu  $^{60}\text{Co}$ , ale także  $^{192}\text{Ir}$ . Mobilność stanowiska dodatkowo pozwala, aby wzorcowania mogły odbywać się także w zakładach brachyterapii z wykorzystaniem stosowanych tam źródeł HDR, co umożliwia niezależne sprawdzenie informacji o aktywności źródła dostarczanego przez producenta, obniża niepewność rutynowych pomiarów dzięki stosowaniu tego samego źródła i aplikatora, co w warunkach klinicznych ma szczególne



## Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

### KATEDRA FIZYKI MEDYCZNEJ I BIOFIZYKI

znaczenie, oraz zmniejsza koszty – instytucja wzorcująca, nie musi inwestować w wymianę źródeł <sup>192</sup>Ir.

Autorka wykazała się umiejętnościami i wiedzą w zakresie prowadzenia prac eksperymentalnych oraz wykorzystania matematycznych metod modelowania, co potwierdza m.in. dobór aparatury pomiarowej, analiza wyników z ich odniesieniem do uzyskanych zewnętrznie wyników wzorcowań, czy szczegółowa dyskusja dotycząca porównania kodów użytych do symulacji Monte Carlo (EGSnrc i FLUKA). Doktorantka przedstawiła także możliwości dalszego ulepszania opracowanego stanowiska.

Praca jest bardzo dobrze napisana od strony edytorskiej, jest przejrzysta, bogato ilustrowana, klarowna. Ma jedynie drobne niedociągnięcia: błędy interpunkcyjne, brak jednostek w opisach wzorów, cytowania mogły być przytaczane częściej w niektórych fragmentach tekstu, można było dołączyć do pracy załącznik w formie rysunku technicznego opracowanego stanowiska. Wspomniane niedociągnięcia nie wpływają jednak na moją pozytywną ocenę końcową.

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

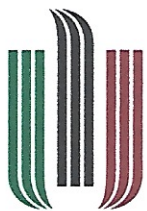
- Jaka była dokładność użytych przyrządów pomiarowych?
- Co oznaczają dokładnie pozycje źródła w aplikatorze na Rys.3.13? Dlaczego dla kolimatora nr 3 wykonano mniej pomiarów i zawężono tym samym analizę do pozycji 105-109?
- Dlaczego nie zaznaczano niepewności pomiarowych na wykresach? Czy były zbyt małe?
- Jaka jest niepewność współczynnika kierunkowego dla dopasowanych krzywych przedstawionych na Rys. 3.16 i Rys. 3.22?

### Podsumowanie

Materiał zaprezentowany w pracy jest nowatorski i ponadto ma charakter praktyczny. Autorka wykazała się zarówno umiejętnościami w zakresie badań doświadczalnych przygotowując odpowiedni układ pomiarowy, jak i w zakresie modelowania matematycznego, prowadząc symulacje Monte Carlo.







**AGH**

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

## Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

### KATEDRA FIZYKI MEDYCZNEJ I BIOFIZYKI

Recenzowana praca doktorska prezentuje oryginalne rozwiązanie postawionych problemów naukowych, a pani mgr Magdalena Szymko jest pierwszym autorem dwóch publikacji w prestiżowym czasopiśmie *Measurement*. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie i potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w ramach grupy badawczej.

**Reasumując, stwierdzam iż przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „Budowa wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł stosowanych w brachyterapii” 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 Magdaleny Marii Szymko do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Dr hab. inż., prof. AGH  
Aleksandra Jung

