

## Recenzja

**Rozprawy doktorskiej mgr Magdaleny Szymko  
pt. „Budowa wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł  
stosowanych w brachyterapii”**

wykonanej na Politechnice Warszawskiej

pod kierunkiem dr hab. inż. Piotra Tulika (promotora) i dr Pawła Wołowca (promotora  
pomocniczego)

Tematem recenzowanej pracy było zaprojektowanie i zbudowanie stanowiska pomiarowego umożliwiającego ustanowienie wzorca pierwotnego dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł stosowanych w brachyterapii. Dotychczas kontrola źródeł brachyterapeutycznych oraz wyznaczanie podawanej dawki opiera się na wielkości referencyjnej mocy kermy w powietrzu, gdy tymczasem w przypadku teleradioterapii kontrola jakości i planowanie dawek opiera się na wielkości dawki pochłoniętej w wodzie. Wprowadzenie tej wielkości dozymetrycznej także w brachyterapii może przyczynić się do zmniejszenia niepewności i zwiększenia dokładności wyznaczania dawki terapeutycznej. Recenzowana praca powstała w wyniku bezpośredniego zapotrzebowania Głównego Urzędu Miar na budowę wzorca pierwotnego dla brachyterapii.

Tekst rozprawy doktorskiej pani mgr Magdaleny Szymko składa się ze 140 stron. Rozprawa podzielona jest na wstęp, 3 obszernie rozdziały, podsumowanie oraz wyczerpujący spis literatury zawierającym 98 pozycji. Rozprawa zawiera także streszczenia w języku polskim i angielskim oraz pomocne wykazy skrótów, rysunków i tabel. Rozprawę kończy załącznik zawierający wydruk pliku wejściowego do obliczeń Monte Carlo z użyciem kodu EGSnrc opisujący model układu pomiarowego dla pomiarów dawki pochłoniętej w wodzie.

Rozdział 1 zatytułowany „Wprowadzenie” poświęcony jest ogólnemu opisowi brachyterapii jako formy radioterapii oraz omówieniu zagadnień metrologicznych związanych z brachyterapią. Rozdział kończy się sformułowaniem celu pracy, który został określony jako utworzenie w GUM stanowiska wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł stosowanych w brachyterapii, czyli wysokoaktywnych źródeł wykorzystywanych w aparatach HDR. Natomiast zasadniczą tezą pracy jest możliwość

wykorzystania w tym celu istniejącej w GUM grafitowej komory jonizacyjnej GUM Dw#3.

Rozdział 2 to „Materiały i metody”. Obejmuje on opis metodyki wyznaczania kermy w powietrzu oraz dawki pochłoniętej w wodzie przy użyciu komory jonizacyjnej, w tym obliczania metodą Monte Carlo współczynników poprawkowych. Opisane są także komory jonizacyjne wykorzystywane w pracy, aparat HDR ze źródłem Co-60 oraz stanowisko pomiarowe dla brachyterapii. Pewne wątpliwości może budzić umieszczenie opisu stanowiska w rozdziale „Materiały i metody”. Ponieważ jego zaprojektowanie i budowa były jednym z głównych celów pracy, raczej powinien się on znaleźć wśród wyników pracy.

Główna część pracy to rozdział 3 zatytułowany „Realizacja doktoratu”. Jest on podzielony na cztery części, z których dwie pierwsze: 3.1 „Budowa stanowiska do brachyterapii” oraz 3.2 „Weryfikacja działania elementów stanowiska” zawierają w zasadzie wszystkie wyniki uzyskane przez Autorkę. W rozdziale 3.1 omówiony jest projekt osłony ołowianej, kolimator wykorzystywany do pomiarów mocy kermy w powietrzu, konstrukcja układu pomiarowego dawki pochłoniętej w wodzie i opracowany model numeryczny tego układu. Natomiast rozdział 3.2 podzielony jest na 8 podrozdziałów, w których opisane i dyskutowane szczegółowo są wyniki pomiarów. Omówione są m. in. takie zagadnienia jak walidacja komory grafitowej jako wzorca dawki pochłoniętej w wodzie, powtarzalność pomiaru dawki pochłoniętej, badanie wpływu kąta rozwarcia kolimatora, wzorcowanie komory studzienkowej, pomiary dla źródła Ir-192. Część 3 kończy się rozdziałami 3.3 „Wnioski” i 3.4 „Obszary możliwych ulepszeń i rozwoju stanowiska”. Ostatnią częścią pracy jest kilkustronicowe „Podsumowanie”.

Ogólna ocena pracy jest pozytywna. Przede wszystkim Autorka osiągnęła postawiony cel – w Głównym Urzędzie Miar powstało stanowisko wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł stosowanych w brachyterapii. Stanowisko zostało również przygotowane do wdrożenia jako stanowisko wzorca kermy w powietrzu w polu promieniowania gamma izotopu Ir-192. Przeprowadzone w trakcie realizacji doktoratu badania różnych aspektów funkcjonowania stanowiska udowodniły jego użyteczność oraz wskazały obszary potencjalnego rozwoju. Budowa wzorca dawki pochłoniętej dla źródeł brachyterapeutycznych została oparta na metodzie jonometrycznej z wykorzystaniem grafitowej komory jonizacyjnej skonstruowanej w GUM, która została zwalidowana w porównaniach kluczowych jako wzorzec dawki pochłoniętej w wodzie w polu promieniowania gamma izotopu Co-60.

Zastosowane metody badawcze są poprawne i wykazują biegłość Autorki w metrologii promieniowania jonizującego. Wysoko należy ocenić przeprowadzone przez Autorkę symulacje komputerowe transportu promieniowania metodami Monte Carlo. Posłużyły one wyznaczeniu współczynników poprawkowych dla pomiarów kermy i dawki pochłoniętej w wodzie, jak również do optymalizacji projektowanych osłon przed promieniowaniem na stanowisku pomiarowym.

Zdecydowanie pozytywna ocena rozprawy doktorskiej Pani Magdaleny Szymko nie zwalnia mnie z obowiązku sformułowania szeregu uwag i komentarzy, które nasunęły się w trakcie lektury.

#### Uwagi ogólne odnośnie treści i układu pracy

1) Tytuł pracy zapowiada „budowę wzorca dawki pochłoniętej”, natomiast brakuje trochę w części wstępnej pracy jasnego wyjaśnienia co się pod tym stwierdzeniem kryje. Co to znaczy – budowa wzorca? Co w ogóle w tym przypadku jest wzorcem – czy to sama komora jonizacyjna, czy też może komora wraz ze źródłem promieniowania i całym stanowiskiem składającym się z szeregu elementów? Jakie warunki trzeba spełnić by można było uznać, że wzorzec został zbudowany? Część tych kwestii być może przewija się gdzieś w tekście pracy, inne po części mogą wydawać się oczywistymi, tym niemniej praca zyskałaby na jasności, gdyby poświęcić na omówienie tych zagadnień jeden z podrozdziałów Wprowadzenia.

2) Pomiary w brachyterapii prowadzone są w bardzo małej odległości od źródła promieniowania (sugerowana odległość referencyjna to 1 cm, w pracy wykorzystywano 1.17 cm), co wiąże się z występowaniem dużych gradientów mocy dawki. Jest oczywistym, że w tej sytuacji kluczową kwestią będą czynniki geometryczne: dokładność i powtarzalność pozycjonowania komory względem źródła, a istotne mogą być rozmiary samej komory. Można przypuszczać, że te problemy mogą nawet stanowić główną techniczną trudność w metrologii źródeł brachyterapeutycznych. Autorka ma oczywiście tego świadomość, o czym świadczą, wzmianki pojawiające się w wielu miejscach rozprawy (np. str. 82, str. 94 czy krótka dyskusja w końcowym rozdziale 3.4) Wydaje się jednak, że ze względu na swoją wagę, zagadnienia te zasługiwały na bardziej obszerną i pogłębioną dyskusję w odrębnym podrozdziale.

3) Ważną częścią pracy były obliczenia współczynników poprawkowych metodami Monte Carlo, a metodyka postępowania w tym zakresie została opisana w rozdziałach 2.1.3 oraz 2.2.1. Do obliczeń użyto dwóch kodów komputerowych transportu promieniowania: Fluka oraz EGSnrc. W pracy brak jednak ogólnego opisu tych programów czy charakterystyki ich działania. Czym te programy się różnią? Dlaczego użyto dwóch różnych programów, a nie jednego?

#### Uwagi szczegółowe

1) Na str. 12 znajduje się następujący tekst: *„Zamknięcie materiału promieniotwórczego w kapsule pozwala na (...) absorpcję promieniowania alfa oraz beta powstałych podczas rozpadu źródła. W efekcie wykorzystywane jest więc promieniowanie gamma oraz charakterystyczne promieniowanie X izotopu”*. W przypadku ogólnym nie jest to całkiem ściśle. Promieniowanie beta jest także wykorzystywane w brachyterapii, o czym wspomina zresztą dalej w tekście sama

Autorka, wymieniając izotop Sr-90. W terapii nowotworów gałki ocznej stosowane są także aplikatory z betapromieniotwórczym Ru-106.

2) Definicja siły kermy na str. 16 sformułowana jest następująco: „Wielkość ta zdefiniowana jest wzorem 1.1, jako dawka w powietrzu ...”, gdy tymczasem przytoczony wzór jasno wskazuje, że jest to moc kermy razy odległość do kwadratu.

3) Na str. 59 wymienione są materiały, dla których prowadzone były obliczenia kodem Fluka, a wśród nich „PMMA (Polycarbon)”. To jednak są dwa różne związki chemiczne.

4) Tabela 3.1. str. 60. Brak zdefiniowania symboli  $D_i$ ,  $D_1$ . Również niezbyt fortunne jest użycie w nagłówku tabeli słowa „różnice”, do opisu wielkości, które są ilorazami.

5) Str. 81, podpis pod rys. 3.18: „Stosunek prądu jonizacyjnego  $I$  do maksymalnego prądu jonizacyjnego  $I_{max}$ ”, gdy tymczasem faktycznie jest to stosunek różnicy  $(I - I_{max})/I_{max}$

6) W rozdział 3.2.4 „Powtarzalność pomiarów” nie podano którą komorą jonizacyjną wykonywane były pomiary

7) W rozdziale 3.2.5, str. 82 stwierdzono niezgodność pomiarów mocy kermy komorą cylindryczną typu 23361 z wartościami podanymi przez producenta źródła. Ten rezultat jest jednak pozostawiony bez żadnego komentarza. Co z niego wynika? W czym leży problem?

8) W rozdziale 3.2.6 opisano walidację komory GUM Dw#3. Z cytowanej w tym rozdziale publikacji Kessler et al. 2021 wynika, że dokonano tego stosując iradiator kobaltowy TeraBALT T100. Nie został on jednak opisany w rozdziale 2 wśród wykorzystywanej aparatury.

Powyższe krytyczne uwagi nie mają jednak istotnego wpływu na ogólną pozytywną ocenę rozprawy. Recenzowana praca doktorska wskazuje jednoznacznie na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i prezentuje oryginalne rozwiązanie postawionych problemów naukowych. Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr. Magdaleny Szymko pt. „Budowa wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł stosowanych w brachyterapii” spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr. Magdaleny Szymko do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Prof. B. B. L.