

Dr hab. Jacek Sekutowicz
DESY, Deutsches Elektronen-Synchrotron
Notkestrasse 85
22607 Hamburg, Germany
phone: +494089983860
mobile: +491759346269
jacek.sekutowicz@desy.de

SLAC, Stanford University
2575 Sand Hill Road
Menlo Park, California, 94025, USA
jksekuto@stanford.edu

NCBJ, Narodowe Centrum Badań Jądrowych
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock, Poland
Jacek.Sekutowicz@ncbj.gov.pl

Recenzja Rozprawy Habilitacyjnej

Tytuł Rozprawy:

Formowanie wiązek elektronowych

Nowe koncepcje układów formowania i rozwój metod ich projektowania w oparciu o narzędzia współczesnej fizyki subatomowej

Autor Rozprawy:

Dr Przemysław Adrich

I. Uwagi wstępne i tematyka rozprawy w kontekście badań naukowych

Rozprawa habilitacyjna dra Przemysława Adricha poświęcona jest pasywnym układom formującym impulsowe wiązki elektronowe, przyspieszane w liniowych akceleratorach, głównie tych przeznaczonych do terapii nowotworów oraz, choć w mniejszym stopniu, tych znajdujących zastosowanie do badań materiałowych.

W rozprawie Autor przedstawia zaproponowaną przez siebie metodę optymalizacji układów folii rozpraszających i wyrównujących oraz doboru geometrii i materiałów elementów aplikatorów i kolimatorów, zapewniających jednorodny rozkład powierzchniowy elektronów przy jednoczesnym ograniczeniu wpływu na ten rozkład elektronów wtórnie rozproszonych oraz minimalizacji ubocznego promieniowania X. Dodatkowo, metoda proponowana przez Autora pozwala na znaczące zmniejszenie ciężaru układów formujących wiązkę przez zastosowanie lekkich aluminiowych osłon bocznych jak i redukcję kosztów, dzięki zastosowaniu tańszych materiałów.

Metoda jest oparta na bezpośrednim poszukiwaniu minimum funkcji płaskości dawki. Dużą zaletą metody jest zastosowanie w niej ogólnodostępnych bibliotek, między innymi Geant4 i EGS/BEAMnrc. W celu skrócenia czasu procesu optymalizacji wykorzystane są klastry o dużej mocy obliczeniowej. Dla ograniczenia zakresów rozpatrywanych zmiennych w procesie optymalizacji, Autor korzysta z wyników publikowanych w literaturze, które otrzymano w przeszłości czasochłonnymi metodami tradycyjnymi. Korzystanie z tych danych, zmniejsza ilość niezbędnych iteracji w algorytmach, co z kolei dodatkowo skraca czas obliczeniowy.

W świetle powyższych uwag, opracowana przez Autora metoda optymalizacji pasywnych układów formowanie wiązek jest niewątpliwie znaczącym krokiem w tej dziedzinie i to nie tylko w skali krajowej, ale europejskiej i światowej, a poświęcona jej monografia będzie przydatnym podręcznikiem dla osób zajmujących się tą tematyką, co z resztą było zamiarem Autora.

II. Omówienie Rozprawy

Rozprawa habilitacyjna dra Adricha składa się z Wprowadzenia, sześciu Rozdziałów oraz Bibliografii zawierającej 145 pozycji. W 3 wymienionych artykułach dr Adrich jest jedynym autorem, a w dalszych 8 współautorem.

Wprowadzenie:

We Wprowadzeniu Autor krótko omawia zastosowania akceleratorów elektronów w gospodarce, medycynie i nauce, rolę układów formowania wiązki i ich rodzaje dla dwóch pierwszych zastosowań oraz problemy napotymane przy projektowaniu układów pasywnych, które zdaniem Autora są lepsze dla zastosowań terapeutycznych, podczas gdy układy aktywne znajdują większe zastosowanie w przemyśle. Problemy utrudniające optymalizację pasywnych układów są następujące:

- Ograniczenia w uproszczonych analitycznych metodach doboru folii rozpraszającej i wyrównującej w przypadku obecności kolimatorów, powodujące, że zaburzenia wynikające z obecności systemu kolimacji muszą być korygowane doświadczalnie lub przy pomocy czasochłonnych obliczeń metodą Monte Carlo.
- Trudność pogodzenia sprzecznych wymagań, jak np. wymagania małego ciężaru układu pasywnego dla akceleratorów mobilnych z wymaganiem eliminacji promieniowania ubocznego.

W dalszej części Wprowadzenia omówiona są: geneza rozprawy habilitacyjnej, jej cele i struktura monografii. Jako główny cel Autor stawia sobie rozwiązanie powyżej wymienionych problemów.

Rozdział 1: Podstawy fizyczne

Zgodnie z intencją Autora, by monografia stała się też podręcznikiem wprowadzającym w tajniki projektowania pasywnych układów formujących, pierwszy rozdział poświęcony jest procesom oddziaływania wiązki elektronowej z materią, prowadzącym do hamowania i rozpraszania wiązki. W rozdziale podane są wzory opisujące proces hamowania w wyniku jonizacji i wzbudzenia atomów (wzór Bethe-Blocha) oraz generacji promieniowania X (przybliżony wzór dla energii elektronów $< 20\text{MeV}$, proponowany przez Międzynarodową Komisję Jednostek i Pomiarów Promieniowania). Z podanych przez Autora przykładów wynikają wnioski, że wzrost hamowania radiacyjnego jest liniowy z energią, podczas gdy hamowanie kolizyjne zmienia się niewiele dla zakresu energii do 25 MeV i metali o liczbie atomowej Z w zakresie od 13 do 79.

Procesowi rozpraszania poświęcone są następne podrozdziały, w których Autor podaje zarówno wzory na rozpraszanie wiązek elektronów oraz przykładowe wykresy na rozpraszanie w $50\mu\text{m}$ folii ze złota w zależności od energii wiązki oraz dla różnych pierwiastków w zakresie Z od 6 do 79, w obu przypadkach do maksymalnej energii 25 MeV . Ważnym wnioskiem z przedstawionych wykresów, jest fakt, że kąt rozproszenia wzrasta z liczbą atomową Z i z malejącą energią wiązki elektronów, co Autor wykorzystuje przy projektowaniu i doborze materiałów dla pasywnych układów formujących.

Następnie omówiony jest przykładowy rozkład dawki w wodzie w osi wiązki elektronowej. Zdefiniowane są punkty charakterystyczne tego rozkładu wzdłuż osi oraz jego zależność od energii wiązki. W ostatnim podrozdziale dr Adrich definiuje płaskość dawki na głębokości maksymalnej jej wartości na osi, która zgodnie z obowiązującą normą jest miarą jednorodności.

Rozdział 2: Nowa metoda projektowania układu folii rozpraszających. Wprowadzenie, koncepcja metody

W pierwszym podrozdziale dr Adrich omawia zasadę działania i projektowania układu pasywnego. W paragrafie 2.1.1, opisującym układ folii rozpraszającej i wyrównującej, przyjęte są dwa wstępne założenia upraszczające:

- Punktowego przekroju poprzecznego i monoenergetyczność wiązki elektronowej padającej na folię rozpraszającą
- Osiosymetrycznego rozkładu Gaussa dla gęstości elektronów (fluencji) w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku propagacji wiązki po przejściu przez folię rozpraszającą.

W dalszej części podrozdziału Autor podaje wzory opisujące planarny rozkład wiązki elektronowej po łącznym rozproszeniu w folii rozpraszającej i powietrzu, na odcinku trajektorii do folii wyrównującej, pozwalające na obliczenie wariancji na podstawie znajomości współczynników liniowych zdolności rozpraszania materiału folii rozpraszającej i powietrza. Następnie dr Adrich przedstawia wzór na kształt folii wyrównującej, która według przytaczanej publikacji M. Abou Mandour et al., też powinna mieć profil określony krzywą Gaussa o postaci

$$h(\rho) = H \cdot \exp(-\rho^2/R^2)$$

gdzie H jest maksymalną grubością folii, R szerokością profilu, ρ odległością od osi symetrii, przyjmującą wartości zarówno ujemne jak i dodatnie. Algorytm optymalizacji układu pasywnego proponowany przez dra Adricha między innymi optymalizuje H i R .

Następnie Autor opisuje układy kolimacji i podaje przykład, w którym kolimator ogranicza w sposób pożądanym pole napromieniane, jednak zaburza znacznie jednorodności fluencji planarnej wiązki elektronów.

Dalej omówiona jest historia metod projektowania układów pasywnych, począwszy od lat 70. gdy stosowano metodę prób i błędów. Pod koniec lat 70., we wspomnianej już powyżej publikacji, Mandour i Harder, używając metod numerycznych, pokazali, że profil folii wyrównującej powinien być gaussowski, którego wykonanie było w tamtym czasie problemem technologicznym i doprowadziło do zastąpienia go aproksymującym profilem schodkowym, a optymalizację ograniczono zwykle do jednego rozmiaru pola napromieniania, wybranej energii wiązki i jednej odległości folii układu, bez uwzględniania wpływu kolimatora. W trzeciej generacji metod wykorzystywano metody analityczne wraz z zastosowaniem metody Monte Carlo, dzięki czemu korekt geometrii układu można było już dokonywać bez wykonywania modeli i ich testowania, co pozwoliło na iteracyjne powtarzanie całego procesu optymalizacji, aż do uzyskania pożądanego profilu dawki.

W podrozdziale 2.3 dr Adrich opisuje swoją metodę optymalizacji pasywnego układu formowania wiązek elektronów. Określając płaskość profilu, jako funkcję wielu zmiennych $f = f(E_0, \epsilon, d, SSD, t_f, Z_1, A_1, H, R, Z_2, A_2, \dots)$ Autor proponuje algorytm poszukujący minimum tej funkcji, uwzględniając od początku zarówno geometrię folii i ich odległość jak i geometrię układu kolimatorów. Optymalne wartości wielu z tych zmiennych można określić na podstawie wyników optymalizacji poprzednimi metodami w przeszłości, dzięki czemu Autor mógł ograniczyć poszukiwanie optimum, zmieniając tylko H i R w przestrzeni dyskretnej z odpowiednio gęstą siatką. Pierwszym krokiem algorytmu jest wybranie wartości stałych dla zmiennych nie iterowanych oraz określenie zakresu i kroku siatki dla H i R . W drugim kroku uwzględnione są model geometryczny i materiały układu pasywnego oraz parametry wiązki pierwotnej. Istotne jest zwłaszcza uwzględnienie stosunkowo cienkiej warstwy powierzchni kolimatorów penetrowanej przez elektrony, które ulegają wtórnemu rozproszeniu. Następnie metodą Monte Carlo obliczany jest profil dawki w wodzie na wybranej głębokości, co przy odpowiedniej szybkości obliczeń można przeprowadzić wielokrotnie dla uzyskania statystyki.

W ostatnim podrozdziale Autor omawia sposób wyboru wartości parametrów i doboru materiałów, w tym:

- Emitancję i energię wiązki elektronowej
- Materiał i grubość okna wyjściowego akceleratora
- Odległość źródła elektronów do powierzchni napromienianej
- Wielkość pola napromienianego
- Odległość pomiędzy oknem wyjściowym i folią rozpraszającą
- Materiał i grubość folii rozpraszającej
- Materiał i profil grubości folii wyrównującej
- Odległość między foliami
- Geometrię i materiał kolimatorów

Rozdział 3: Nowa metoda projektowania układu folii rozpraszających. Przykład zastosowania

W tym rozdziale Autor podaje przykład praktycznego zastosowania swojego algorytmu do projektowania folii rozpraszających pasywnego układu formowania wiązki elektronowej akceleratora LILLYPUT, który jest zainstalowany we Wrocławskim Parku Technologicznym do celów badań, między innymi, wytrzymałości radiacyjnej materiałów izolacyjnych.

Po wstępnym podaniu specyfikacji na: jednorodność rozkładu dawki (nie mniejszej niż 10%), wymogów uzyskania maksymalnej mocy dawki (ze względu na całkowitą dawkę rzędu 50 MGy) i rozmiaru kołowego pola napromieniania o średnicy 82 mm oraz uzasadnieniu zastosowania układu pasywnego, dr Adrich omawia w podrozdziale 3.4 modele obliczeniowe. W pierwszej kolejności opisane są modele geometrii układu pasywnego i pierwotnej wiązki elektronowej (energia, pęd i położenie). Obliczenia przeprowadzone zostały dla wiązki 9 MeV, monoenergetycznej i o gaussowskim poprzecznym rozkładzie ładunku (ilości elektronów) z szerokością połówkową FWHM 3 mm. Obliczenia profilu dawki przeprowadzono dwoma metodami: pierwszą, standardową z biblioteki Geant4 (sumowanie dawki, *ang. dose scorer*) i drugą, wykorzystującą fluencję planarną elektronów i fotonów.

Po wybraniu materiału i grubości folii rozpraszającej (Ta, 0.03 mm) przeprowadzono optymalizację folii wyrównującej. Dla każdego punktu (H , R), wykonano symulację dla $2 \cdot 10^6$ elektronów. Wyniki obu metod są bardzo zbliżone, a wykresy pokazują, że kombinacja pary (H , R) może być w dużym stopniu dowolna. W obliczonym profilu dawki w wodzie na głębokości 1 cm dla aluminiowej folii wyrównującej o $H=0.7$ mm i $R=5.5$ mm, różnica wyników obu metod jest pomijalnie mała. Autor przeprowadził dodatkowo porównanie powyższego układu folii z układem folii rozpraszającej o parametrach (Ta, 0.01 mm) i wyrównującej aluminiowej o $H=1.5$ mm i $R=5.5$ mm. Wynik pokazał, że drugi układ powoduje niekorzystne poszerzenie spektrum energetycznego w kierunku niższych energii, ale transmisja tego układu wzrasta do 40%, i jest o 7% wyższa niż dla pierwszego układu folii.

Czas obliczeń, dyskutowany na końcu Rozdziału 3, wynosi dla metody Geant4 „*dose scorer*” odpowiednio 15.7 h i 14 h dla pierwszego i drugiego układu folii. Dla metody wykorzystującej fluencję czas jest dłuższy i wynosi dla obu układów folii 18.6 h. Przy braku założenia o symetrii osiowej należy się spodziewać wzrostu czasu obliczeniowego o rząd wielkości, co byłoby niewątpliwie dużym utrudnieniem w otrzymaniu wystarczającej statystyki dla profili dawki.

W kończącym ten rozdział paragrafie dr Adrich podkreśla, że opracowany przez niego algorytm optymalizacji pozwala na bezpośrednie obliczenie funkcji płaskości profilu dawki $f(H,R)$ i transmisji $t(H,R)$, bez zbędnych uproszczeń, powodujących konieczne korekty tzw. rozwiązań próbnych, otrzymanych metodami wcześniejszymi.

Rozdział 4: Układ kolimacji wiązki terapeutycznej dla mobilnego akceleratora do radioterapii śródoperacyjnej

W Rozdziale 4 dr Adrich opisuje przykłady projektowania pasywnego układu formującego wiązkę akceleratorów śródoperacyjnych. Jest to bardzo ważne zastosowanie algorytmu Autora, zwłaszcza, że spełnienie wymagań odnośnie jednorodności profilu dawki, dopuszczalnego ubocznego promieniowania X i kolimacji wiązki często pozostaje w sprzeczności z wymaganiami małego ciężaru i precyzyjności ustawiania systemu formowania wraz z aplikatorami.

We wstępie opisane są śródoperacyjne akceleratory starszej generacji, amerykański Mobetron oraz włoskie LIAC i Novac. Autor wskazuje na wady tych urządzeń, duży ciężar Mobetronu i silne pole radiacji wokół akceleratorów włoskich wyposażonych w aplikatory zrobione z PMMA, uzasadniając w ten sposób budowę demonstratora i prototypu nowoczesnego akceleratora śródoperacyjnego w NCBJ, o energii wiązki elektronów od 4 do 12 MeV i polu napromienienia o średnicy od 3 do 12 cm.

Wraz z grupą pracowników NCBJ dr Adrich podjął się zaprojektowania pasywnego układu formującego dla tzw. demonstratora mobilnego akceleratora śródoperacyjnego. Po dokładnych badaniach, zespół zdecydował się na wykonanie aplikatorów ze stali, które jakkolwiek nie są przezroczyste, co preferują chirurdzy, ale są łatwiejsze do sterylizacji oraz mogą mieć cieńsze ścianki niż np. aplikatory wykonane z PMMA czy z aluminium. Przystępując do tego projektu, rozpatrzono również możliwość powstawania promieniowania neutronowego na skutek oddziaływania wiązki elektronowej i wtórnego promieniowania X z jądrami atomowymi użytych materiałów. Jak pokazały wstępne badania, nawet dla wiązki 12 MeV, poziom promieniowania neutronowego pozostaje poniżej poziomu dopuszczalnego, określonego normą. Dalsze badania wykazały, że układ folii i kolimatorów może być użyty dla dwóch stosowanych typów aplikatorów, dokowanych sztywno i miękko. Prawidłowe działanie zaprojektowanego układu formującego wiązkę zostało potwierdzone pomiarami profili dawki w wodzie dla obu typów aplikatorów, energii wiązki 4, 6 i 9 MeV oraz czterech średnic pola napromienianego: 3, 5, 10 i 12 cm, a otrzymane wyniki pomiarowe były praktycznie identyczne z wynikami obliczeniowymi.

W dalszej części rozdziału, Autor opisał koncepcję nowego układu kolimacji, tym razem dla prototypowego akceleratora śródoperacyjnego, budowanego w NCBJ w ramach projektu „Intra-Dose”. W nowym układzie pozostawiono układ folii rozpraszającej i wyrównującej oraz stalowy aplikator z cienką 3 mm ścianką, jaki zastosowano i przetestowano dla demonstratora. Nowym elementem układu formowania był bardzo lekki cylindryczny układ kolimacji wstępnej, zapewniający niski poziom promieniowania ubocznego, który został zaprojektowany i wykonany według propozycji dr Adricha. Kolimator wstępny wykonano z aluminium, co jest zupełnie nowym rozwiązaniem, gdyż zwykle, aby obniżyć promieniowanie uboczne, elementy kolimatorów były i są wykonywane z ołowiu, wolframu lub bizmutu. Za wyborem aluminium, w przypadku terapii śródoperacyjnej, przemawiają następujące argumenty. Po pierwsze, dominującym źródłem elektronów wtórnie rozproszonych jest wewnętrzna powierzchnia aplikatora, a nie znacznie mniejsza powierzchnia kolimatora. Po drugie, źródłem znikomego ubocznego promieniowania X poruszającego się wzdłuż osi wiązki elektronowej, są folie rozpraszająca i wyrównująca. Tłumienie tego promieniowania jest niemożliwe, gdyż ko-propaguje ono z wiązką elektronową.

Następnie dr Adrich przeprowadza szczegółowe obliczenia metodą Monte Carlo promieniowania ubocznego dla nowego układu formowania i porównuje wyniki obliczeń z pomiarami przeprowadzonymi na modelu rzeczywistym. Traktując wyniki, jako wstępne, Autor stwierdza, że zgodność z obliczeniami jest zadawalająca, a dawka promieniowania ubocznego jest, co najmniej 500 razy mniejsza od dopuszczanej przez normę PN-EN-60601-2-1, oraz jest ona porównywalna do dawki wokół głowicy terapeutycznych akceleratora Mobetron i mniejsza niż dawka dla akceleratora LIAC.

Rozdział 5: Algorytm optymalizacji aplikatora do teleradioterapii

W tym rozdziale Autor przedstawia własny algorytm do optymalizacji aplikatorów półkowych dla wysokospecjalistycznego akceleratora do tzw. teleradioterapii, czyli terapii nowotworów skóry i położonych blisko pod skórą. Akceleratory przeznaczone do tego typu terapii są zwykle wyposażone w zestaw aplikatorów półkowych, o różnych polach napromieniania od 10 cm x 10 cm do 25 cm x 25 cm. Głównymi wadami aplikatorów półkowych projektowanych tradycyjnymi metodami są wysoka dawka promieniowania ubocznego i duża masa.

Autor podejmuje temat optymalizacji aplikatorów półkowych również z powodu braku w literaturze światowej opisu metod ich projektowania i znajdowania kompromisowych rozwiązań przy napotykaniu na sprzeczne wymagania w ich specyfikacji. Przedstawiony przez Autora algorytm, który już był po części omówiony wcześniej, pozwala na optymalizację całego systemu formowania wiązki włącznie z układem folii, kolimatorami ruchomymi i kolimatorami półkowymi.

W podrozdziale 5.3 opisany jest proces optymalizacji elementów składowych aplikatorów półkowych: grubości i materiału tzw. trymerów, doboru ich apertury, liczby półek i ich położenia oraz odległości między półkami. Jako warunki początkowe w algorytmie należy zdefiniować wstępnie między innymi: energie wiązek elektronowych, rozmiary pól terapeutycznych oraz budowę głowicy terapeutycznej. W przypadku projektowanego wysokospecjalistycznego akceleratora w NCBJ zakres energii będzie 6-22 MeV. W dalszej części podrozdziału Autor opisuje szczegółowo 15 kroków wykonywanych w procesie optymalizacji dla każdej energii wiązki, począwszy od najniższej. Wynik optymalizacji dyskutowany jest w kolejnym podrozdziale. Wykres obliczonych krzywych rozkładu dawki głębokiej z aplikatorem i bez aplikatora różnią się blisko powierzchni wody o mniej niż 2%, a od głębokości około 1.5 cm pokrywają się całkowicie. Również profile dawek głębokich, obliczone i zmierzone dla energii wiązki 6, 9, 12, 22 MeV akceleratora TrueBeam (na rynku od 2010 r.) z obliczonymi profilami dawek projektowanego w NCBJ akceleratora dla tych samych energii, w przypadku, gdy oba akceleratory wyposażone są w aplikator 10x10 cm², są bardzo zbliżone. Dużą zaletą aplikatorów optymalizowanych algorytmem dra Adricha jest ich zdecydowanie mniejsza waga niż np. waga aplikatorów firm Varian czy Elekta. Różnica wynosi ok. 20% dla małego aplikatora 10x10 cm² i ok. 39% dla dużego aplikatora 25x25 cm².

Rozdział 6: Podsumowanie

Ostatni rozdział jest podsumowaniem rozprawy habilitacyjnej, w którym Dr Adrich, podkreśla, że dotychczasowe metody projektowania pasywnych układów formowania, bazujące na mocno uproszczonych modelach fizycznych oddziaływań wiązek elektronowych z ośrodkami stałymi i gazowymi uniemożliwiały optymalizację rzeczywistych systemów formowania, w szczególności korygowania wpływu kolimatorów na profile dawek. Podsumowując, Autor wymienia zalety zaproponowanej metody optymalizacji opartej na badaniu funkcji płaskości profilu $f(H,R)$ i transmisji $t(H,R)$ dla rzeczywistej konfiguracji układu formowania. Następnie dr Adrich podsumowuje krótko wyniki zastosowania jego metody do formowania wiązek akceleratorów LILLYPUT, śródoperacyjnych: demonstratora i prototypu oraz do aplikatorów półkowych akceleratora wysokospecjalistycznego. Na końcu rozdziału Autor porównuje swoją metodę optymalizacji z równoległą rozwianą, ale mniej zaawansowaną metodą G. Pichtera w LSU w Baton Rouge w Luizjanie.

III. Uwagi odnośnie edycji Rozprawy

Poniższe uwagi odnośnie edycji rozprawy nie wpływają na moją bardzo jej pozytywną ocenę, a mają jedynie na celu uniknięcie powtórzenia wymienionych niedociągnięć w przypadku dalszych jej publikacji.

- Rozprawa zawiera 62 rysunki, (schematy, zdjęcia i diagramy), z których niestety nie wszystkie są czytelne. W niektórych, np. Rysunek 1, Rysunek 3.6, Rysunek 5.15, liternictwo jest zbyt małe, zwłaszcza przy opisie osi. Również dosyć trudno jest dostrzec na niebiesko oznaczone tory pozytonów na Rysunku 1.1. Na Rysunku 1.9 po prawej stronie brakuje skali na osi rzędnych.
- Pomyłka literowa: strona 6, linijka 14 od góry: brak nawiasu zamykającego.
- Definicja skrótu SSD pojawia się na stronie 43, pomimo że skrót był użyty 3 razy na wcześniejszych stronach.
- Wzór 2.8 jest powtórzeniem wzoru 1.13.
- Na stronie 87, 10. linijka od dołu: jest „ołowiowe”, powinno być „ołowiane”

IV. Recenzja Rozprawy

Rozprawa habilitacyjna dra Przemysława Adricha jest napisana w sposób bardzo przejrzysty, a materiał w niej zawarty jest dowodem niewątpliwych dotychczasowych osiągnięć Autora oraz potwierdza jego długoletnią aktywność w dziedzinie fizyki i techniki formowania wiązek elektronowych do zastosowań terapeutycznych i badawczych.

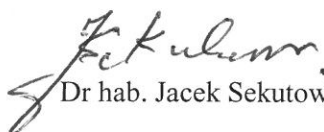
Wprowadzenie i Rozdział 1. są bardzo pomocne w przybliżeniu czytelnikowi tematyki rozprawy, co było dodatkowym zamiarem Autora, by monografia spełniała też rolę podręcznika. Pozostałe rozdziały poświęcone są dotychczasowemu dorobkowi naukowemu Autora i jego istotnemu udziałowi w programach badawczo-rozwojowych oraz potwierdzają inwencję i zdolność poszukiwania nowych niekonwencjonalnych rozwiązań. Przykładem jest opracowanie przez dra Adricha pierwszego w świecie algorytmu optymalizacji pasywnych układów formujących wiązkę z uwzględnieniem wszystkich elementów tych układów. Dalszym dowodem są trzy patenty, których dr Adrich jest współautorem.

Wiele pobytów i praca w instytutach zagranicznych świadczą o umiejętności utrzymania kontaktów i współpracy dra Adricha z międzynarodowymi grupami naukowymi, co w dzisiejszym świecie nauki jest niezbędne.

Należy zauważyć, że zakres prac wykonywanych przez Autora obejmuje nie tylko teorię optymalizacji układów formujących wiązkę i jej matematyczno-numeryczne aspekty, ale również testy i eksperymentalną weryfikację proponowanych przez Autora rozwiązań.

Ilość pozycji w bibliografii i dobrane jej w sposób adekwatny do tematyki rozprawy świadczy też o tym, że Autor jest specjalistą w dziedzinie projektowania układów formowania wiązek elektronowych wykorzystywanych w terapii nowotworów i w badaniach radiograficznych.

Uważam, że rozprawa habilitacyjna dra Przemysława Adricha i jego dorobek naukowy spełniają wymagania stawiane przez obowiązujące przepisy ustawy o stopniach naukowych i wnioskuję o dopuszczenie dra Adricha do dalszy etapów procesu habilitacyjnego. Dodatkowo, doceniając tematykę rozprawy i cenny wkład Autora w dziedzinę terapii nowotworowej, wnioskuję o wyróżnienie przedstawionej rozprawy.


Dr hab. Jacek Sekutowicz

