

Prof. dr hab. inż. Grażyna Zakrzewska-Kořtuniewicz
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa
email: g.zakrzewska@ichtj.waw.pl
tel. 22-5041214

Warszawa, 2023.05.26

Recenzja

Procedura habilitacyjna dr inż. Krzysztofa Wojciecha Fornalskiego

w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk fizycznych

Tytuł osiągnięcia:

„Modelowanie odpowiedzi organizmu na poziomie komórkowym na niskie dawki promieniowania jonizującego”

Obowiązujące przepisy prawa i kryteria oceny

W związku z powołaniem mnie na recenzenta Uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Politechniki Warszawskiej nr 8/03/2023 z dnia 30 marca 2023 r, w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Krzysztofa Wojciecha Fornalskiego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauk fizycznych, przedstawiam moją ocenę osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego Kandydata.

Wniosek o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk fizycznych został złożony przez dr Krzysztofa Fornalskiego w dniu 14.12.2022. Obowiązywała wówczas Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r, Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późniejszymi zmianami), w związku z tym ocena została sformułowana w oparciu o tę ustawę.

Warunkiem uzyskania stopnia doktora habilitowanego wg Ustawy jest posiadanie stopnia doktora oraz dorobku naukowego stanowiącego znaczący wkład w rozwój dyscypliny nauk fizycznych oraz wykazanie się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej.

Przebieg kariery zawodowej Kandydata

Pan dr inż. Krzysztof Wojciech Fornalski ukończył z oceną bardzo dobrą studia wyższe w roku 2007 na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej na kierunku fizyki technicznej, ze specjalizacją fizyka komputerowa. Po otrzymaniu dyplomu magistra podjął studia doktoranckie w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) zakończone uzyskaniem w roku 2012 stopnia doktora nauk fizycznych na podstawie dysertacji pt. „Analiza wybranych danych dotyczących wpływu niskich dawek promieniowania jonizującego na organizmy” przygotowanej pod kierunkiem prof. dr hab. Ludwika Dobrzyńskiego. Z NCBJ Kandydat współpracuje do dzisiaj, na zasadzie wolontariatu. Równolegle, w latach 2008-2009 odbył studia podyplomowe na kierunku audyt energetyczny w Wyższej Inżynierskiej Szkole Bezpieczeństwa i Organizacji Pracy w Radomiu.

Jak widać, od początku swojej kariery zawodowej miał wyraźnie sprecyzowane zainteresowania, realizowane w wielu placówkach naukowych, wśród których były: Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – PIB, Wyższa Szkoła Bankowa w Warszawie, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego oraz Wydział Fizyki, w Politechnice Warszawskiej, gdzie był wykładowcą fizyki w ramach umowy - zlecenie, a obecnie pracuje tu na stanowisku adiunkta. Ta różnorodność zainteresowań związana z zatrudnieniem jest pozorna; w każdej z tych jednostek naukowych praca dr Fornalskiego dotyczyła głównie zagadnień fizyki jądrowej, ochrony radiologicznej, a ściślej oznaczania i modelowania efektów spowodowanych promieniowaniem jonizującym; często wiązała się z równoległym przekazywaniem posiadanej wiedzy w formie wykładów dla studentów.

Od początku swojej kariery naukowej dr Fornalski interesował się oddziaływaniem promieniowania jonizującego z materią, jego wpływem na organizmy żywe, oceną i opisem matematycznym dawek, zwłaszcza tzw. niskich dawek promieniowania. Niekwestionowanym specjalistą w tym zakresie stał się już na etapie przygotowania doktoratu, a potem pogłębiał swoją wiedzę w kolejnych instytucjach naukowych uzyskując pokaźny dorobek, który stał się przedmiotem jego wniosku habilitacyjnego i który obecnie jest oceniany w trakcie procedury habilitacyjnej.

Ocena formalna osiągnięcia

Publikacyjny dorobek dr Fornalskiego jest imponujący. Już przed doktoratem był współautorem 9 recenzowanych publikacji, dalszych 6 – w nierecenzowanych czasopiśmie, 4 rozdziałów w monografiach i materiałach pokonferencyjnych oraz 4 publikacji w pismach popularno-naukowych. Występował również na wielu konferencjach prezentując tam swój dorobek naukowy.

Po obronie doktoratu działalność publikacyjna i upowszechniająca wiedzę Kandydata znacząco wzrosła. Dorobek naukowy dr Krzysztofa Fornalskiego w tym czasie stanowi: 10 publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego przedstawionego w procedurze

habilitacyjnej; łącznie 31 recenzowanych publikacji w czasopismach naukowych, 9 w nierecenzowanych, 7 rozdziałów w monografiach i materiałach pokonferencyjnych, 6 w czasopismach popularno-naukowych. Spory udział mają listy do redakcji (9). Należy również wymienić liczne prezentacje konferencyjne i wywiady.

Prace włączone do cyklu stanowiącego osiągnięcie naukowe, zostały w większości opublikowane w czasopismach indeksowanych, o łącznym współczynniku wpływu 69,055 (wg Web of Science Collection). Suma punktów MNiSW dla nich wynosi 1457 (Informacje na podstawie raportu Oddziału Informacji Naukowej i Analiz Bibliometrycznych Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej).

Przedstawienie informacji o osiągnięciu naukowym i ocena cyklu publikacji habilitacyjnych

Osiągnięcie naukowe dr Krzysztofa Wojciecha Fornalskiego oparte jest na 10 recenzowanych artykułach opublikowanych w różnych, cenionych w środowisku naukowym czasopismach.

W 2 artykułach dr Fornalski jest drugim współautorem, w 5 - pierwszym, zaś 2 pozostałe publikacje są w pełni jego autorstwa.

Prace przedstawione w cyklu publikacji koncentrują się na zagadnieniach wpływu niskich dawek promieniowania na organizmy żywe i modelowania ich odpowiedzi na poziomie komórkowym, a także ryzyka prawdopodobieństwa wystąpienia chorób nowotworowych będących następstwem napromienienia.

Duże znaczenie w rozwoju naukowym dr Fornalskiego i zaznaczeniu jego obecności w eksplorowanej przez niego dyscyplinie miał pierwszy artykuł z listy - **[H1]**, będący samodzielną publikacją napisaną już w 2014 roku, tuż po obronie doktoratu. Ta publikacja, choć bazowała jeszcze na osiągnięciach pracy doktorskiej, była jej rozwinięciem wprowadzającym modyfikację wcześniejszego modelu opracowanego za pomocą metody Monte Carlo opartego na metodzie łańcuchów Markowa. Prace obliczeniowe doprowadziły Kandydata do stworzenia autorskiej formy funkcji odpowiedzi adaptacyjnej napromienionych, hipotetycznych komórek. Pracę tę należy uznać (robi to zresztą sam autor traktując ją jako uzasadnienie dalszych jego działań), za punkt wyjścia do kolejnych badań i rozwijania modeli odpowiedzi organizmu na poziomie komórkowym.

Podejście Monte Carlo było stosowane również w dalszych pracach dr Fornalskiego i współpracowników, takich jak przedstawione w artykułach **[H2]**, **[H3]**, gdzie badał efekty dawek promieniowania w postaci wywoływania i rozwoju nowotworów i opisywał je za pomocą modeli deterministycznych. Opis ten obejmował skutki negatywne, takie jak aberracje chromosomowe, jak również korzystne, w postaci odpowiedzi adaptacyjnej. Wykazał, że ogólny kształt odpowiedzi na dawkę, który ma kształt sigmoidalny, jest modyfikowany przez takie mechanizmy, jak odpowiedź adaptacyjna lub efekt obserwatora. Kandydat przedstawił postać funkcji prawdopodobieństwa zajścia odpowiedzi adaptacyjnej, jak i wspomnianego efektu obserwatora **[H03]**.

W kolejnej publikacji **[H4]**, będącej m.in. wynikiem pracy doktorskiej, w której dr Fornalski pełnił funkcję promotora pomocniczego, Kandydat dalej podjął się modelowania odpowiedzi

komórek organizmu na promieniowanie jonizujące wraz z dyskusją powiązanych mechanizmów. W tym przypadku zastosował model zależny od dawki i czasu, a liczbę powstających komórek nowotworowych opisał funkcją Gomperta, próbując uchwycić moment przejścia wystąpienia zmian chorobowych w nowotwór, co okazało się zadaniem niebywale ambitnym, choćby ze względu na brak danych eksperymentalnych w postaci obserwacji nowotworu w fazie początkowej. W takich sytuacjach symulacje i modele matematyczne są bardzo pomocne w opisie zjawisk zachodzących w napromienionym organizmie.

Procesy mutagenne i rakotwórcze i ich połączenie z zagadnieniami naprawczymi uszkodzeń powstałych pod wpływem promieniowania jonizującego są domeną, w której dr Fornalski łatwo porusza się stosując z niebywałą sprawnością metody statystyczne. Mechanizm generowania natychmiastowych uszkodzeń DNA prowadzących do tworzenia się trwałych mutacji skutkujących powstawaniem nowotworów dr Fornalski próbował wyjaśnić stosując w kolejnych pracach elementy formalizmu fizyki statystycznej. W autorskiej pracy opublikowanej w *Physical Review E* [H5] zajął się zagadnieniami radiowrażliwości skutkującej reakcją komórek na promieniowanie jonizujące. Przedyskutował trzy możliwe scenariusze reakcji: liniowy, progowy i hormetyczny. Opisując mechanizm adaptacyjny w kontekście kancerogenezy, odniósł się w swoim wywodzie do kontrowersyjnej „teorii życia” Anglika, opartej na II zasadzie termodynamiki i dążności układów do dyssypacji energii w postaci ciepła.

Dążenie do wyjaśnienia mechanizmów procesów zachodzących w organizmach narażonych na niskie dawki promieniowania doprowadziło do zaproponowania matematycznej postaci równania łączącego proces transformacji nowotworowej z etapami rozwoju nowotworu, w oparciu o proste modele analityczne i metodę Monte-Carlo [H6]. Przedstawiając dowód matematyczny dla krzywej Gomperta Kandydat pokazał, iż rozwój guza nowotworowego rzeczywiście przebiega według tej krzywej.

Istotny wkład włożył dr Fornalski do pomysłu wykorzystania w opisie procesu nowotworzenia komórkowej teorii nukleacji i wzrostu kryształów, podejścia zaproponowanego wcześniej przez jego mentora, prof. Dobrzyńskiego. Ta pierwsza próba zastosowania równania M. Avramiego opisującego kinetykę przejścia fazowego do opisu kancerogenezy zakończyła się fiaskiem. Natomiast pomysł dr Fornalskiego polegający na połączeniu modelu tarczy (*single hit target model*) opartego na rozkładzie dwumianowym z teorią nukleacji i wzrostu Avramiego, zakończył się sukcesem [H7]. Co ważne, opracowany przez Kandydata model został sprawdzony eksperymentalnie na danych klinicznych nowotworów żołądka wykazując pełną zgodność z eksperymentem. Następstwem tego, była rozwinięta współpraca z Narodowym Instytutem Onkologii.

Zjawisko, znane jako efekt Rapera-Yonezawy, było przedmiotem rozważań dr Fornalskiego, który zaproponował nowe, teoretyczne podejście do zrozumienia i wyjaśnienia efektu dawki poprzedzającej. W pracy [H8] przedstawił teoretyczny model trójparametrowy zakładający prawdopodobieństwo wywołania reakcji adaptacyjnej. Zaproponowany model został

przetestowany na danych eksperymentalnych – zmian w ludzkich limfocytach i inwersji chromosomów u myszy. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że stosując takie podejście można przewidzieć efekt Rapera-Yonezawy, a odpowiedź radioadaptacyjna jest skorelowana z najniższą radiowrażliwością komórek.

Interesującą próbą powiązania opracowanych modeli z praktyką było zainteresowanie się dr Fornalskiego załogowymi lotami kosmicznymi i narażeniem na promieniowanie kosmiczne. Narażenie na stałe moce dawki wiąże się z programowaniem lotów w kosmos i ewentualnej ochrony radiologicznej w przestrzeni kosmicznej. Astronauci mogą podlegać małym dawkom promieniowania jonizującego w długim czasie, z czym wiąże się wystąpienie odpowiedzi adaptacyjnej powodującej naprawę uszkodzonego DNA. W pracy [H9] dr Fornalski podjął się powiązania pojawienia się odpowiedzi adaptacyjnej a radioczułością za pomocą modelu biofizycznego.

Ostatnia publikacja w cyklu przedstawionym przez dr Fornalskiego, jako jego osiągnięcie habilitacyjne [H10], podsumowuje lata jego pracy nad zagadnieniami wpływu niskich dawek promieniowania jonizującego na organizmy żywe oraz ukazuje efekt tej pracy w postaci pełnego modelu odpowiedzi komórek na promieniowanie - modelu stochastycznego powstałego poprzez symulacje Monte Carlo oraz wyprowadzone szczegółowe modele deterministyczne opisujące wybrane zjawiska biofizyczne i radiobiologiczne w sposób analityczny. Elastyczny model pozwala na wnoszenie modyfikacji, w zależności od potrzeb użytkownika. W różnych jego wariantach za pomocą ogólnego modelu można opisać ryzyko transformacji nowotworowej komórek w stosunku do pochłoniętej dawki promieniowania, dynamikę rozwoju nowotworu, efekt Rapera-Yonezawy (efekt dawki pierwotnej) w oparciu o wprowadzone podejście odpowiedzi adaptacyjnej oraz efekt obserwatora.

Opublikowany artykuł jest nie tylko ukoronowaniem pracy badawczej dr Fornalskiego, ale również wynikiem jego pracy dydaktycznej, w trakcie której wprowadzał kolejne grupy studentów w tajniki modelowania zjawisk na poziomie komórkowym związane z wpływem promieniowania jonizującego, uczył krytycznego podejścia do uzyskanych wyników i konsekwencji w osiąganiu wytyczonych celów. Publikacja [H10] powstała we współpracy z jego studentami oraz doktorantkami, a jak sam wspomina w Autoreferacie, ich „prace dyplomowe przyczyniły się do rozwoju modelu, obliczenia jego wielu parametrów i możliwości zastosowania”. To zaangażowanie w rozwój nowych pokoleń specjalistów w ochronie radiologicznej, dużo większe niż można by oczekiwać ze strony naukowca na tym etapie kariery zawodowej, wróży dr Fornalskiemu przyszłość dobrego nauczyciela akademickiego i wychowawcy młodzieży.

Aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej

Będąc jeszcze studentem IV roku Fizyki w Politechnice Warszawskiej dr Fornalski współpracował z Zakładem Częstek i Oddziałów Fundamentalnych na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. W ramach grantu naukowego realizowanego w tym Zakładzie, przyznanego dr Katarzynie Grzelak, późniejszemu promotorowi jego pracy magisterskiej,

przez Oxford University, prowadził analizy danych dotyczących oscylacji neutrin akceleratorowych w eksperymencie MINOS w FermiLab (USA). W tym czasie został zatrudniony na Wydziale Fizyki UW jako programista.

W 2014 r. odbył 2-miesięczny staż naukowo-szkoleniowy w belgijskim ośrodku jądrowym SCK-CEN, finansowany przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej.

W 2022 roku uczestniczył, jako członek polskiej delegacji (Alternate Representative) w 69. Sesji UNSCEAR (Komitet Naukowy ONZ ds. Skutków Promieniowania Jonizującego) w Wiedniu (9-13.05.2022).

Jego współpraca z polskimi ośrodkami naukowymi była obfita i różnorodna. Zwykle kończyła się mierzalnymi rezultatami w postaci publikacji i patentu. Wśród ośrodków współpracujących znalazły się:

- Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) – współpraca w ramach strategicznego projektu badawczego NCBiR pt. "Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej" - Zadanie Badawcze nr 6 pt. „Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej”;
- Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych oraz Narodowe Centrum Badań Jądrowych – współpraca w ramach badań nad aktywnymi osłonami przeciwradiacyjnymi. W ramach współpracy zgłosił jeden wniosek patentowy oraz opublikował 4 publikacje naukowe. Z Narodowym Centrum Badań Jądrowych podpisał umowę o wolontariacie, która do dzisiaj obowiązuje.

Współpracował również z wieloma instytucjami naukowymi prowadząc w nich wykłady i szkolenia:

- Z Wojskowym Instytutem Higieny i Epidemiologii – jako prowadzący szkolenia i kursy dotyczące ochrony radiologicznej w medycynie.
- Z Wydziałem Fizyki Politechniki Warszawskiej - prowadzenie cyklu wykładów pt. „Biofizyka radiacyjna”
- Z Wyższą Szkołą Bankową w Warszawie - prowadzenie zajęć z fizyki na kierunkach inżynierskich.

Współpracował również z Instytutem Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, jako inspektor ochrony radiologicznej nadzorując ochronę radiologiczną w całym ośrodku.

Mówiąc o współpracy z ośrodkami naukowymi kończącej się osiągnięciami naukowymi, bądź edukacyjnymi należy pamiętać o równoległej działalności dr Fornalskiego w przemyśle. W roku 2015 r. współzałożył i był kierownikiem Laboratorium Ex-Polon (start-up'u w ramach firmy Ex-Polon Kwieciński Fornalski s.c.), które zostało pierwszym w Polsce prywatnym laboratorium dozymetrii indywidualnej i środowiskowej akredytowanym przez Polskie

Centrum Akredytacji, wdrażając dozymetrię z zastosowaniem optoluminescencji (optycznie stymulowanej luminescencji, OSL) w skali krajowej.

Bezpośrednio po doktoracie pracował w firmie PGE Energia Jądrowa S.A. (następnie PGE EJ 1 sp. z o.o. oraz Polskie Elektrownie Jądrowe sp. z o.o.), przy projekcie budowy pierwszej, polskiej elektrowni jądrowej.

W 2022 roku został adiunktem na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, w dalszym ciągu pracując równolegle w przemyśle, na stanowisku kierowniczym, w firmie Polskie Elektrownie Jądrowe sp. z o.o.

Myślę, że aktywność dr Fornalskiego realizowana w wielu instytucjach naukowych, w powiązaniu z pracą w przemyśle, przekłada się na duże doświadczenie zawodowe i wiedzę niezbędną w dalszej pracy, bez względu na ostateczny wybór Habilitanta. Pan Krzysztof Fornalski jest ekspertem w swojej dziedzinie, zdolnym podejmować wyzwania zarówno przemysłu jądrowego, jak i pracy naukowo-badawczej. Doskonale może się sprawdzić jako wykładowca na uczelni lub edukator przygotowujący osoby podejmujące pracę w polskich ośrodkach jądrowym i w otoczeniu elektrowni jądrowych.

Był promotorem pomocniczym w 2 obronionych pracach doktorskich, promotorem 15 prac magisterskich i inżynierskich na Wydziale Fizyki PW; prowadził tam zajęcia dydaktyczne: wykłady i ćwiczenia oraz szkolenia z ochrony radiologicznej.

W latach 2015-2016 uczestniczył w programie ENETRAP III (European Network on Education and Training in Radiological Protection) finansowanym przez Komisję Europejską.

Był współorganizatorem ze strony polskiej warsztatów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej pt. „National workshop on the design aspects of radiation protection monitoring system for a nuclear power plant” (Warszawa, 14–18.2019).

Jego aktywność zawodową potwierdza członkostwo w towarzystwach i organizacjach – w Polskim Towarzystwie Badań Radiacyjnych i Polskim Towarzystwie Nukleonowym oraz udział w pracach United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR (Komitet Naukowy ONZ dot. wpływu promieniowania jonizującego).

Podsumowanie

Pan Krzysztof Wojciech Fornalski od wczesnych lat interesował się zagadnieniami ochrony radiologicznej, a zwłaszcza wpływem niskich dawek na organizm człowieka, czego dowodem są podejmowane wybory naukowego rozwoju i konsekwentna ścieżka kariery zawodowej. Jego osiągnięcie naukowe jest istotne dla dyscypliny, którą reprezentuje. Przedstawione w cyklu 10 artykułów prace naukowe stanowią nowe, autorskie podejście do oceny niskich dawek promieniowania jonizującego i ich wpływu na organizmy żywe. Zastosowany aparat matematyczny wymagał dużej wiedzy i wycucia eksperymentatora-programisty.

Dr Fornalski wykazał się rozwiniętą współpracą z krajowymi i zagranicznymi ośrodkami naukowymi. Swoją pracę naukową realizował w wielu instytucjach naukowych.

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa habilitacyjna zatytułowana „Modelowanie odpowiedzi organizmu na poziomie komórkowym na niskie dawki promieniowania jonizującego”, jak również całokształt dorobku naukowego oraz innych osiągnięć Pana dr Krzysztofa Fornalskiego spełnia wymagania formalne stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 i 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późniejszymi zmianami).

Rekomenduję zatem, Radzie Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Politechniki Warszawskiej nadanie Panu dr Krzysztofowi Wojciechowi Fornalskiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.



Prof. dr hab. inż. Grażyna Zakrzewska-Koźtuniewicz