



Politechnika Łódzka
Instytut Matematyki



Zihuatanejo, Meksyk, 16 luty, 2026

prof. dr hab. Urszula Ledzewicz
Politechnika Łódzka
Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej
Instytut Matematyki
Wólczańska 215, Łódź

**Opinia o dorobku naukowym doktora Mariusza Bodziocha
w związku z postępowaniem habilitacyjnym
na Wydziale Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej**

Pan doktor Mariusz Bodzioch całą swoją edukację i karierę zawodową związał z Wydziałem Matematyki i Informatyki, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Tam ukończył studia licencjackie w matematyce w roku 2009 a w dwa lata później uzyskał również tytuł magistra w tej dyscyplinie. Drugą dyscypliną w kręgu zainteresowań Bodziocha była informatyka, w której uzyskał na tejże uczelni tytuł inżyniera a później również magistra. W późniejszych latach działalności naukowa dr. Bodziocha skupiła się na matematyce i owocem jej jest doktorat obroniony w roku 2017. Tematyką doktoratu był problem dotyczący równań eliptycznych.

Od 2015 roku cała kariera zawodowa dr. Bodziocha jest również związana z tą samą uczelnią i tym samym wydziałem, najpierw w stopniu asystenta a później adiunkta przechodząc jedynie pomiędzy katedrami: Katedrą Multimediów i Grafiki Komputerowej a Katedrą Informatyki Stosowanej i Modelowania Matematycznego.

Jest to przykład dość typowej kariery naukowej w Polsce, gdzie w tym samym miejscu i na tej samej uczelni odbywają się zarówno studia jak i pozostała droga zawodowa. Jednak co wyróżnia pozytywnie dr. Bodziocha to fakt, że w pewnym sensie wyszedł poza tematykę oferowaną przez swoją uczelnię. Dotyczyło to zarówno tematyki zastosowań matematyki w biomedycynie jak i zakresu stosowanych w tych badaniach narzędzi i metod, które poza teorią równań różniczkowych i układów dynamicznych objęły również metody stosowane w teorii sterowania i optymalizacji.

Zgodnie z przedstawionymi materiałami, dorobek doktora Mariusza Bodziocha składa się z 24 publikacji w czasopismach naukowych i 11 w materiałach konferencyjnych. Do omówienia w autoreferacie wybrane zostało 10 publikacji (lista A1 do A10) w bardziej renomowanych czasopismach, większości o zasięgu międzynarodowym. W skład wchodzi po dwie prace w następujących czasopismach: Applied Mathematical Modeling (100 pkt), Discrete and Continuous Dynamical Systems (100 pkt.), Series B, Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (140 pkt.). Na uwagę zasługuje praca [A2] w bardziej interdyscyplinarnych czasopiśmie Nonlinear Dynamics (140 pkt) o wysokim IP 5.2 jak również publikacja [A4] w Lecture Notes in Computer Science (140 pkt), która przedstawia konkretny algorytm

numeryczny. Dodatkowo należy dodać, że jest jedyna praca, w której dr Bodzioch jest wyłącznym autorem. Warto też wspomnieć artykuł w ściśle medycznym czasopiśmie Journal of Cancer Research and Clinical Oncology (100 pkt, IP 4.3). Samo IP nie jest zbyt wysokie jak na medyczne czasopismo, ale publikacja w medycznym czasopiśmie rządzi się innymi prawami niż w matematycznych i przygotowanie jej jest samo w sobie wyzwaniem. Na końcu tej listy umieściłabym International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, bo jakkolwiek w czasie publikacji dr. Bodziocha to czasopismo miało zaskakujące 140 punktów to jest to lokalne czasopismo zielonogórskie którego komitet redakcyjny składa się prawie wyłącznie z polskich matematyków. Nie umniejsza to wartości publikacji dr. Bodziocha, tyle, że trudno uznać to czasopismo za międzynarodowe, mimo jego szumnej nazwy.

Dodatkowe publikacje z listy B i C to głównie czasopisma o mniejszym zasięgu i kilkunastonicowe materiały konferencyjne, wśród których przeważają Proceedings of the European Simulation and Modeling Conference, w których Habilitant ma aż sześć artykułów jak również w materiałach konferencji Zastosowań Matematyki w Biologii i Medycynie. Ta ostatnia to ściśle polska konferencja z tradycjami i przesłaniem, aby takową pozostać więc tłumaczenie jej nazwy na angielski w materiałach dostarczonych przez Habilitanta jest co najmniej dziwne. Ale oczywiście jest to poboczna uwaga.

Jeśli chodzi o ilość cytowań prac dr Bodziocha niestety miałam problem ze znalezieniem indeksu Hirscha, ponieważ Google Scholar nie miał dr Mariusza Bodziocha na swojej liście, ale według danych podanych przez habilitanta wynosi on 9. Jest to akceptowalna liczba na tym poziomie kariery naukowej jakkolwiek coroczne wyjazdy na te same konferencje mogły wpłynąć na fakt, że wyniki dr Bodziocha są mniej zauważane niż by na to zasługiwały. W przyszłości sugerowałabym dr Bodziochowi większą dywersyfikację forum, na którym prezentuje swoje wyniki.

Wniosek doktora Mariusza Bodziocha o wszczęcie przewodu habilitacyjnego przez Radę Wydziału Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej opiera się na osiągnięciu naukowym pod tytułem:

Modelowanie i optymalizacja terapii przeciwnowotworowych: rola sterowań osobliwych

W skład wyróżnionego osiągnięcia doktora Mariusza Bodziocha wchodzi 10 artykułów. Artykuły zostały opublikowane w czasopismach w opisanych wyżej czasopismach. Większość artykułów ma dwóch, trzech lub więcej współautorów i jak wspomniałam wcześniej tylko jedną publikacją [A4] opisującą opracowaną przez Habilitanta metodę numeryczną jest jednego wyłącznego autorstwa. Współautorzy: U. Foryś, M. Bodnar, M. Piotrowska, P. Bajger, J. Belmonte-Beltia i J. Garcia Otero przedstawili stosowne oświadczenia, z którymi się zapoznałam, zaś sam Habilitant w załączonych dokumentach dokładnie wyjaśnił swój wkład w poszczególne prace. Prace ukazały się w latach 2019 do 2025.

Przechodząc do omawiania osiągnięć i wyników autora chciałabym zaznaczyć, że jako autor około 100 publikacji i dwóch monografii naukowych wydawnictwa Springer w dziedzinie zastosowań teorii sterowania i optymalizacji do metod leczenia raka czuje się jak najbardziej kompetentna do oceny tematyki przedstawionej i opisanej w autoreferacie. Niektóre z tych prac recenzowałam, inne przyjmowałam do druku jako redaktor czasopisma, więc dlatego mogę się podjąć tej oceny, chociaż muszę przyznać, że rozczarowującym jest fakt, że Habilitant nie dołączył plików zawierających powyższe publikacje, co jednak w dużym stopniu ułatwiłoby moją

pracę. Jest to moja pierwsza recenzja habilitacji, ale mam wrażenie, że moje opinie o wkładzie Habilitanta powinny być formowane w oparciu o jego wyniki nie zaś w oparciu o autoreferat, który w samej swojej naturze zawiera tylko streszczenie tych wyników dodatkowo zabarwione naturalną w tej sytuacji pozytywną samooceną.

Modelowanie matematyczne dynamiki wzrostu raka i jego interakcji z tzw. mikro-środowiskiem w skład którego wchodzi nie tylko unaczynienie guza jak również komórki systemu immunologicznego jest bezdyskusyjnie dziedziną, która w ostatnich 25 latach przeszła intensywny rozwój. Wprowadzenie do modeli najróżniejszych terapii, których dawki i metody podawania są opisane przez reprezentujące je funkcje sterowania uczyniło te modele jeszcze bardziej przydatnymi do testowania, *in silico*, efektu tych terapii na współrzędne stanu opisujące proces rozwoju raka. W szczególności, jeśli dodatkowo wybrany jest odpowiedni wskaźnik jakości, który pozwala ocenić efektywność terapii i wybrać optymalny protokół leczenia w sensie maksymalizacji efektu niszczenia komórek rakowych i w tym samym czasie minimalizacji objawów ubocznych. Aktywność naukowa w tej dziedzinie sięga lat siedemdziesiątych i dotyczy między innymi kręgu naukowego prof. Andrzeja Świerniaka z Politechniki Śląskiej, który już w roku 1983 opublikował pierwszą pracę dotyczącą zastosowań sterowania optymalnego do leczenia białaczki a 10 lat później wspólnie z Z. Duda pracę, która po raz pierwszy zwróciła uwagę na role sterowań osobliwych w poszukiwaniu optymalnych rozwiązań zadań dawkowania chemoterapii. Ponieważ sama czerpałam inspiracje z tych prac i moje 100 publikacji i 500 stronicowa monografia Springera nie powstałyby bez tych inspiracji to uważam za trochę dziwne, że składając wniosek o habilitacji w macierzystej instytucji prof. Świerniaka Habilitant opisał swój autoreferat w sposób, jakby te uzyskane przez niego wyniki były jedynymi, i w pośrednim rozumieniu pierwszymi wynikami, które zaatakowały problem dawkowania terapii antyrakowych narzędziami sterowania optymalnego. (Tytuł mojej monografii z prof. H. Schaettlerem: "Optimal Control for Mathematical Models of Cancer Therapies" Springer, 2015).

Prace Habilitanta zdecydowanie uzupełniają istniejącą już pulę wyników dostarczając analizy pewnych modeli terapii nowotworów z uwzględnieniem nowatorskich metod leczenia jak terapia komórkami CAR T czy wirusami onkolitycznymi. Prace dotyczą specyficznych rodzajów raka, takich jak glioblastoma czy neuroblastoma jak również terapii, które stosują się do szerszego rodzaju chorób nowotworowych. Dotyczą one również tzw. terapii skojarzonych, w których te bardziej nowatorskie metody leczenia łączone są z tradycyjną chemoterapią. Terapie te istnieją już w literaturze zarówno medycznej jak i matematycznej od jakiegoś czasu. Pewnym wkładem Habilitanta jest wprowadzenie dodatkowego członu w funkcjonale kosztu, funkcji G . Dotyczy on zadań w których bierzemy pod uwagę heterogenność komórek rakowych. W najprostszym podejściu dzielimy te komórki na grupę wrażliwych i odpornych i funkcja G ma za zadanie zabezpieczyć przed zbyt dużym wzrostem grupy komórek odpornych. To jest sensowny pomysł, który zdecydowanie można uznać za wkład autora, chociaż była to również myśl przewodnia doktoratu współautora prac na ten temat dr. Piotra Bajgera. Ogólnie biorąc większość prac jest współautorstwa innych matematyków z grupy biologii matematycznej Uniwersytetu Warszawskiego nieformalnie kierowanej przez prof. Urszulę Foryś. Widać, że właśnie ta grupa wywarła wpływ na „po doktoratowy” rozwój naukowy dr. Bodziocha i na stażu w tej placówce nauczył się metod modelowania matematycznego i analizy systemów dynamicznych. Co jest godne pochwały to fakt, że dodatkowo wniósł do tej grupy dwa istotne aspekty. Jednym z nich jest wiedza ze sterowania optymalnego pozwalająca analizować formułowane modele jako zadania sterowania optymalnego z właściwym funkcjonalem jakości, drugim metody numeryczne pozwalające ilustrować rozwiązania tych zadań. Habilitant opanował nie tylko podstawową

wiedzę dotyczącą klasycznych warunków koniecznych optymalności pierwszego rzędu w formie Zasady Maksimum Pontryagina ale także pewnych warunków wyższych rzędów, a dokładnie warunku Legendra-Clebscha dla sterowań osobiwych, którego stosowanie często nie jest łatwe i wymaga żmudnych obliczeń nawiasów Liego. Oczywiście same te fakty nie czynią Habilitanta ekspertem w dziedzinie teorii sterowania i żadne z jego prac nie zawierają bardziej zaawansowanej konstrukcji syntezy rozwiązań ani analizy warunków dostatecznych optymalności ale w zasięgu uzyskanej wiedzy porusza się dość swobodnie i jest w stanie uzyskać poprawne wyniki dotyczące sterowań dla modeli terapii antyrakowych, które wybrał do swojej analizy. Dodatkowo trzeba zaznaczyć, że Habilitant w pozytywny sposób wyróżnia się pośród grupy autorów zajmujących się tą tematyką, których korzenie naukowe nie leżą w teorii sterowania. Większość z nich wybiera dużą łatwiejszą matematycznie, aczkolwiek w tym kontekście zastosowań kompletnie niepoprawną drogę konstrukcji funkcjonału kosztu typu L_2 , tzn. będącego funkcją kwadratową względem sterowania. Biorąc pod uwagę, że funkcja sterowania prezentuje zwykle dawkę leku lub jego stężenie i ma być miarą negatywnych efektów ubocznych łatwo sobie wyobrazić, że bez względu na to czy sterowanie to jest normalizowane do 1 czy nie, następuje przekłamanie w roli tych efektów ubocznych w całym funkcjonału. To błędne podejścia zapożyczone z zastosowań inżynierskich sterowania takich jak np. autopilot, gdzie tego typu funkcjonał jest w pełni uzasadniony jest drogą relatywnie łatwą, bo w procesie analizy problemu przy użyciu Zasady Maksimum minimalizujemy Hamiltonian, który jest kwadratowy względem sterowania i pojawia się prawie natychmiast gotowy, choć niepoprawny w tym przypadku wzór na sterowanie. To kusząca droga, której jednak dr Bodzioch nie wybrał, konsekwentnie wybierając w swoich pracach poprawny dla tego typu zastosowań funkcjonał jakości liniowy względem sterowania i inwestując dodatkowy czas w opanowanie metod dalszej, wybiegającej poza Zasadę Maksimum analizy sterowań osobiwych. W szczególności docenił on ich rolę w potencjalnych rozwiązaniach tego typu zadań i to zarówno z punktu widzenia analizy teoretycznej jak i numerycznej. To prowadzi mnie do drugiego pozytywnego aspektu, o którym chciałabym wspomnieć.

Aspektem tym jest wiedza dotyczącą metod numerycznych zdecydowanie wykraczająca poza standardowo wykonywane symulacje komputerowe czy rozwiązania równań różniczkowych przy użyciu Matlabu. Chodzi tutaj o algorytm opracowany w publikacji A4, jedynej jedno autorskiej pracy Habilitanta, który można zakwalifikować do dziedziny numerycznego sterowania optymalnego. Jakkolwiek nie jestem specjalistą od metod ani analizy numerycznej, jestem w stanie docenić starania autora w kierunku otrzymania numerycznych algorytmów, które pomagałyby w otrzymaniu rozwiązań zadań sterowania optymalnego w sytuacjach, jeśli w rozwiązaniu pojawia się tzw. łuk osobiwy. Jest to w pewnym sensie pięta Achillesowa programów, które chcą rozwiązać numerycznie zadanie sterowania optymalnego i wiele z nich, włączając komercyjne dostępne na rynku produkty dostarcza błędnych rozwiązań w przypadku, gdy częścią syntezy rozwiązania jest łuk osobiwy. Z drugiej strony, jak było wspomniane wyżej, sterowania osobiwe są bardzo istotnym elementem rozwiązań w wielu zastosowaniach teorii sterowania do biomedycyny, jak udowodniło wiele moich prac jak również pracach Habilitanta. Trudności ze stworzeniem tego typu programów leżą w tym, że w celach zastosowania metod obliczeniowych zadanie sterowania optymalnego, który ma charakter dynamiczny musi być przeformatowane na zadanie statycznej optymalizacji. W przypadku sterowań bang-bang, które są kawałkami stale w czasie jest to dużo prostsze, niż w przypadku zmiennych w czasie sterowań osobiwych. Tak więc podjęta przez Habilitanta próba zaatakowania tego problemu jest bardzo istotna, choć zastanawia użycie metody gradientów, ogólnie uznanej za bardzo elementarną.

Ciekawym byłoby porównać te wyniki z wynikami grupy naukowej W. Hagera z University of Florida, Gainesville, która od wielu lat pracuje nad tego typu zagadnieniami i nawet opracował dostępny ogólnie software. Być może Habilitant powinien zainteresować się takim porównaniem. Ponieważ jak wspomniałam wcześniej pakiet przygotowany do oceny nie zawierał niestety plików artykułów trudno jest mi stwierdzić czy dr Bodzioch znalazł wyniki W. Hagera i jak one się mają do wyników Habilitanta.

Poza pakietem prac A1-A10, które reprezentują spójną tematycznie całość chciałabym zwrócić jednak uwagę na prace C1-C4 dotyczące modelowania w epidemiologii. Są to prace wspólne z U. Foryś i M. Choińskim, dla którego stanowiły one podstawy jego doktoratu. Tematyka jest trochę inna, ale podobnie jak w przypadku modeli terapii antyrakowych pojawia się tutaj kwestia heterogeniczności, której wbudowanie w klasyczny SIS model stanowi główny wkład autorów. Modele te analizowane zostały przez autorów zarówno w formie ciągłej jak i dyskretniej i opublikowane w dobrych czasopismach takich jak Mathematical Biosciences and Engineering, Communications in Nonlinear Sciences and Numerical Simulations czy Discrete and Continuous Dynamical Systems, Series B. Część tych wyników dotyczyła specyficznego SIS modelu dla epidemii gruźlicy i wyróżnienie z całej populacji grupy bezdomnych jako tych bardziej narażonych na zakażenie wydaje się ciekawym i istotnym podejściem. Nie znam dokładnie treści tych prac i trudno mi ocenić wagę zawartych w nich wyników, ale uważam, że istotne jest podkreślenie tutaj szerszej gamy zagadnień, którymi interesował się Habilitant. Na poparcie ostatniego stwierdzenia warto też wspomnieć współpracę dr. Bodziocha z sektorem gospodarczym w ramach Programu Operacyjnego „Inteligentny Rozwój” sponsorowanego przez NCBiR. Chociaż nieznane są nam szczegóły przygotowanego przez dr. Bodziocha oprogramowania silnika cieplnego, to sam fakt aktywnego uczestnictwa w tym programie zasługuje na podkreślenie, szczególnie przy aktualnej polityce Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, w której tzw. trzecie kryterium, czyli wpływ aktywności naukowej na społeczeństwo jest tak istotnym elementem ogólnej oceny. Matematycy w dużej mierze nie lubią wychodzić ze swojej „strefy komfortu” i tutaj postawa dr. Bodziocha jest godna pochwały.

Na końcu mam kilka uwag na temat samych stwierdzeń zawartych w referacie. Zacznę od samej dyscypliny opisanej przez dr. Bodziocha na początku autoreferatu. Inżynieria biomedyczna to bardzo szeroka dyscyplina, w której głównym nurcie leżą jednak zupełnie inne od prac Habilitanta zagadnienia. Są to zagadnienia z medycyny i biologii, które rozwiązywane są metodami i narzędziami z różnych dziedzin inżynierii, najczęściej związane z produkcją sprzętu medycznego, sprzętu do badań z zakresu biologii i medycyny etc. Zagadnienia opisane w tym autoreferacie można zaliczyć bardziej do biologii matematycznej lub, jak kto woli, ostatnio modnej biomedycyny matematycznej. Ponieważ granice pomiędzy metodami inżynierii i matematyki są często dość płynne nie neguję przypisania tej habilitacji dyscyplinie inżynierii biomedycznej ale przedstawiony autoreferat nie powinien wrażeń, że te zagadnienia leżą w głównym nurcie wspomnianej wyżej dyscypliny.

Inne uwagi dotyczą wstępu autoreferatu opisującego związek modelowania matematycznego i sterowania optymalnego z terapiami antyrakowymi. W tej kwestii byłabym bardzo ostrożna i unikałabym silnych i przesadzonych stwierdzeń. Matematyka nie uleczyła raka i przypuszczalnie nigdy tego nie zrobi i na razie mimo setek publikacji matematycznych na ten temat jest niewiele przykładów, w których uzyskane matematyczne wyniki stałyby się podstawą do opracowania konkretnego dawkowania leków. Stwierdzenie dr. Bodziocha, że jego wyniki stanowią „przykład zastosowania metod inżynierii biomedycznej do rozwiązywania rzeczywistych problemów współczesnej onkologii” uważam za grubą przesadę. Habilitant podsumowując ze wstępu swe

wyniki użył określenia „idąc w kierunku medycyny spersonalizowanej”. Cokolwiek możemy rozumieć pod słowami „idąc w kierunku” jest to bardzo długa droga i naprawdę tego typu przesadzone stwierdzenia nie dodają wartości tej habilitacji. „Personalized medicine”, w której każdy pacjent miałby zupełnie inny, dostosowany do jego fizycznych parametrów protokół leczenia oparty o matematyczną analizę i symulację to idea od lat propagowana przez grupę naukowa dr Zvii Augur z instytutu naukowego w Izraelu, ale na razie niestety daleka od praktycznej implementacji.

To są oczywiście tylko poboczne uwagi, które nie wpływają na ogólną ocenę dorobku dr. Bodziocha, która jest pozytywna. Ponieważ większość swojej kariery zawodowej spędziłam w USA jest to pierwsza habilitacja, która oceniam, więc brakuje mi szerszej skali porównawczej. Mogę natomiast powiedzieć, że dorobek ten byłby wystarczający do promocji do Associate Professor w większości stanowych uczelni w Stanach, którą to promocję można porównać poziomem do habilitacji. Poza tym zapoznałam się z przepisami ustawy dotyczącej habilitacji w Polsce. Tak więc konkluzją mojej recenzji jest poparcie tego wniosku.

Konkluzja:

Uważam, że dorobek naukowy doktora Mariusza Bodziocha spełnia wymogi ustawy (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. Zm.)) – wskazane osiągnięcie stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej, zaś Habilitant wykazuje istotną aktywność naukową. Popieram zatem wniosek o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w inżynierii biomedycznej doktorowi Mariuszowi Bodziochowi.

Urszula Ledzewicz