

prof. dr hab. Leszek Plaskota  
Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki  
Uniwersytet Warszawski  
ul. Banacha 2, 02-097 Warszawa

## **Recenzja rozprawy habilitacyjnej oraz ocena pozostałego dorobku dr. Pawła Pilarczyka**

w związku z postępowaniem w sprawie przyznania stopnia doktora habilitowanego nauk matematycznych, prowadzonym na Wydziale Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Jagiellońskiego.

### **Konkluzja**

*Uważam, że przedłożony wniosek spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom habilitacyjnym i postuluję skierowanie go do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.*

### **Uzasadnienie**

#### **1. WSTĘP**

Pan DR PAWEŁ PILARCZYK ukończył z wyróżnieniem studia magisterskie na Uniwersytecie Jagiellońskim (UJ) uzyskując tytuły magistra matematyki i magistra informatyki odpowiednio w latach 1997 i 1999. Niedługo potem, bo w 2001 r. obronił na tej samej uczelni doktorat z nauk matematycznych w zakresie informatyki nt.: “Topologiczny algorytm ścisłej weryfikacji istnienia trajektorii okresowych”, pod kierunkiem prof. M. Mrozka. Będąc zatrudnionym latach 1999–2006 jako asystent w Instytucie Informatyki UJ, odbył dłuższe staże podoktorskie (łącznie 3 lata) w Georgia Institute of Technology. Potem przebywał jeszcze na stażach w Japonii (1 rok), Portugalii (5 lat) i Austrii (2 lata), a od dwóch lat pracuje jako Assistant Professor w California State University Channel Islands, USA.

DR P. PILARCZYK przedstawił do oceny rozprawę habilitacyjną w dziedzinie nauk matematycznych, w dyscyplinie informatyka, zatytułowaną

*“Algorytmy dyskretne ścisłej analizy numeryczno-topologicznej układów dynamicznych”,*

oraz pozostały dorobek naukowy, dydaktyczny i popularyzatorski. W skład samej rozprawy wchodzi osiem następujących jednotematycznych prac opublikowanych w latach 2005–2016 (kolejność prac zgodna z autoreferatem).

- H1:** K. Mischaikow, M. Mrozek, P. Pilarczyk, Graph approach to the computation of the homology of continuous maps, *Found. Comput. Math.* **5** (2005) pp. 199–229.
- H2:** P. Pilarczyk, K. Stolot, Excision-preserving cubical approach to the algorithmic computation of the discrete Conley index, *Topology Appl.* **155** (2008) pp. 1149–1162.
- H3:** Z. Arai, W. Kalies, H. Kokubu, K. Mischaikow, H. Oka, P. Pilarczyk, A database schema for the analysis of global dynamics of multiparameter systems, *SIAM J. Appl. Dyn. Syst.* **8** (2009) pp. 757–789.
- H4:** P. Pilarczyk, Parallelization method for a continuous property, *Found. Comput. Math.* **10** (2010) pp. 93–114.
- H5:** S. Luzzatto, P. Pilarczyk, Finite resolution dynamics, *Found. Comput. Math.* **11** (2011) pp. 211–239.
- H6:** E. Liz, P. Pilarczyk, Global dynamics in a stage-structured discrete-time population model with harvesting, *J. Theoret. Biology* **297** (2012) pp. 148–165.
- H7:** D.H. Knipl, P. Pilarczyk, G. Røst, Rich bifurcation structure in a two-patch vaccination model, *SIAM J. Appl. Dyn. Syst.* **14** (2015) pp. 980–1017.
- H8:** S. Harker, H. Kokubu, K. Mischaikow, P. Pilarczyk, Inducing a map on homology from a correspondence, *Proc. Amer. Math. Soc.* **144** (2016) pp. 1787–1801.

## 2. ROZPRAWA

Rozprawa habilitacyjna DR. PAWŁA PILARCZYKA dotyczy algorytmów automatycznej analizy jakościowej ewolucji układów dynamicznych na ograniczonych podzbiorach  $n$ -wymiarowej przestrzeni euklidesowej. Rozpatrywane są przede wszystkim układy z czasem dyskretnym, ale również ciągłym. Cechą wyróżniającą tych badań jest to, że mają charakter kompleksowy. Zawierają część czysto teoretyczną, będącą podstawą konstrukcji metod i algorytmów automatycznej analizy układów, a na końcu mamy oprogramowanie naukowe te algorytmy implementujące, z których najważniejsze stworzone zostało w ramach *Computational Homology Project (CHomP)*. Wskazane są również zastosowania opracowanych metod do analizy konkretnych przypadków układów dynamicznych.

Ewolucje układów dynamicznych zwykle zależą od wartości pewnych parametrów, które mogą przybierać jedynie ściśle określone wartości. Zasadniczym celem habilitanta jest automatyczna identyfikacja podzbiorów wartości parametrów, dla których obserwuje się podobną dynamikę układu. Podstawową rolę w tej klasyfikacji odgrywają tzw. rozkłady Morse’a i homologiczne indeksy Conleya.

Aby osiągnąć cel, habilitant wykorzystuje narzędzia matematyki dyskretnej, metod obliczeniowych topologii algebraicznej oraz analizy numerycznej w zakresie analizy przedziałowej. Dany układ dynamiczny jest zastąpiony jego dyskretną reprezentacją w postaci grafu skierowanego, wykorzystując strukturę zbiorów kostkowych, a następnie stosuje się metody topologii algebraicznej do obliczenia niezmienników topologicznych charakteryzujących dynamikę układu. Jest to podejście konkurencyjne do tradycyjnych symulacji numerycznych, w których trzeba się liczyć, m.in., z błędami zaokrągleń. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej reprezentacji układu dynamicznego i analizy przedziałowej, otrzymane przez habilitanta charakterystyki są dokładne, chociaż nie zawsze pełne, ze względu na możliwe zbyt duże przeszacowania.

## 2.1 WYNIKI

Omówienie zawarości rozprawy DR. PIŁARCZYKA dobrze jest rozpocząć od pracy [H3] sześciu autorów (od niej też habilitant rozpoczyna opis wyników w autoreferacie), w której całościowo przedstawiono automatyczną metodę tworzenia jakościowej bazy danych na temat globalnej dynamiki danego na wejściu wieloparametrycznego układu dynamicznego z czasem dyskretnym.

Początek pracy to (bardzo pomocne dla czytelnika nie specjalizującego się w temacie) wprowadzenie do teorii Conleya w topologii algebraicznej, obejmujące takie ważne dla całości rozprawy pojęcia jak rozkłady Morse’a, indeks Conleya, czy graf Conleya-Morse’a, będący zasadniczą częścią wynikowej bazy danych. Następnie przedstawiona jest struktura danych wykorzystywana do dyskretnej reprezentacji zwanej przez autora reprezentacją kombinatoryczną, obiektów ciągłych takich jak zbiory i funkcje ciągłe, definiujących układ dynamiczny. W tym celu wykorzystuje się skończoną strukturę zbiorów kostkowych i funkcje wielowartościowe na tych zbiorach zdefiniowane. W dużym skrócie, funkcja ciągła  $f$  jest aproksymowana przez wielowartościową funkcję  $F$  taką, że dla każdego zbioru kostkowego  $K$  zachodzi  $f(K) \subseteq F(K)$ . Ten krok jest realizowany używając analizy przedziałowej, przez co inkluzja jest bezbłędna. Dalsze obliczenia wykonywane są na kombinatorycznej reprezentacji, prowadząc do kombinatorycznych odpowiedników szukanych niezmienników, takich jak kombinatoryczny rozkład Morse’a. Następnie odpowiednie twierdzenia pozwalają związać otrzymany w ten sposób kombinatoryczny rozkład Morse’a z rzeczywistym rozkładem Morse’a. Obliczane są też inne ważne charakterystyki, m.in., (tam gdzie to możliwe) indeksy Conleya zbiorów Morse’a.

W [H3] można również znaleźć przykładowe zastosowanie ogólnej metody analizy jakościowej układów dynamicznych w niej opisanej do dwuwymiarowego modelu populacji Lesliego. Pokazano charakterystyki podobne do tych uzyskanych wcześniej w wyniku tradycyjnych symulacji numerycznych, te ostatnie były jednak w naturalny sposób zaburzone błędami zaokrągleń. Innym zastosowaniom metody do analizy konkretnych modeli poświęcone są prace [H6] i [H7].

W [H6] analizie poddano dwuwymiarowy układ dynamiczny z czasem dyskretnym modelujący zachowanie się populacji osobników młodych i dorosłych w warunkach, gdy część z nich jest sukcesywnie uśmiercana. Dzięki zastosowaniu metod z [H3] otrzymano

nowe jakościowo wyniki na temat wielkości populacji i tzw. efektów hydry i bąbla. Natomiast w [H7] analizowano układ modelujący rozprzestrzenianie się choroby zakaźnej w sytuacji gdy dwie grupy osobników przebywają w różnych miejscach połączonych transportem. Badany jest wpływ podróżowania osobników jednej grupy do drugiej na rozprzestrzenianie się choroby. Oprócz obliczeń numerycznych, zastosowano również metody analityczne. Należy dodać, że dla tego modelu konieczne było nietrywialne uogólnienie metody z [H3] na układy z czasem ciągłym.

Historycznie pierwsze prace [H1] i [H2] rozwijają wcześniejsze (m.in. habilitant zajmował się podobnymi tematami już w swojej pracy magisterskiej z informatyki) i tworzą nowe metody algorytmiczne obliczania homomorfizmu indukowanego w homologiach przez odwzorowanie ciągłe, reprezentowane przez wielowartościowe odwzorowania kostkowe, oraz metody obliczania indeksu Conleya. Opracowane metody zostały zaimplementowane i przetestowane, m.in., pod względem złożonościowym. Nowa metoda w [H1] oparta jest na pewnych własnościach rzutowań pozwalających zastąpić obliczanie homomorfizmu indukowanego przez odwzorowanie ciągłe do obliczania homomorfizmu indukowanego przez rzutowanie. Natomiast w [H2] zaprezentowano metodę obliczania indeksu Conleya wykorzystując kombinatoryczną reprezentację odwzorowania ciągłego z wprowadzoną nową poprawką pozwalającą obliczać indeks Conleya tam, gdzie to było niemożliwe ze względu na zbytne przeszacowania reprezentacji kombinatorycznej.

Opracowane w [H1] i [H2] algorytmy zostały wykorzystane w całościowej metodzie opisanej w [H3]. Stały się też ważną częścią oprogramowania CHomP, w stworzeniu którego habilitant odegrał istotną rolę.

Pozostałe prace [H4], [H5] i [H8], stanowiące rozprawę habilitacyjną, zawierają uogólnienia i usprawnienia konstrukcji i metod stosowanych wcześniej.

W pracy [H4], której habilitant jest jedynym autorem, skonstruowano nowy algorytm aproksymacji (z dołu) podzbiorów  $\mathbb{R}^n$  za pomocą zbiorów kostkowych. Algorytm ma charakter adaptacyjny, gdyż dostosowuje rozdzielczość kostek do aktualnie badanego fragmentu podzbioru, przez co nie ma konieczności kosztownego przeszukiwania “na siłę”. Chociaż sama idea algorytmu jest dość naturalna, wartość pracy leży przede wszystkim w jego równoległej implementacji, ścisłej analizie złożoności, oraz pokazaniu zbieżności (oczywiście pod pewnymi warunkami). Pracę uzupełniają testy numeryczne, m.in., na modelu populacji Lesliego.

Z kolei w [H5] zdefiniowano nowy model dyskretniej reprezentacji układów dynamicznych z dyskretnym czasem używający pokryć otwartych (w przeciwieństwie do wcześniej używanych partycji). Ta praca ma w większości charakter teoretyczny i ma na celu stworzenie podstaw dla takiej reprezentacji układów, która zachowuje zgodność wyników przy zmianie rozdzielczości. W tym celu, koniecznym okazało re-definiowanie niektórych pojęć takich jak tranzytywność i mieszanie.

Ostatnia praca [H8] zawiera nowe podejście do obliczania homomorfizmu indukowanego w homologiach przez odwzorowania używając pojęcia korespondencji pomiędzy przestrzeniami topologicznymi. Pokazano warunki przy których homeomorfizm indukowany przez zewnętrzną reprezentację odwzorowania ciągłego pokrywa się z homeomorfizmem indukowanym w homologii przez to odwzorowanie.

## 2.2 UWAGI

Rozprawa habilitacyjna DR. PILARCZYKA stanowi zwartą tematycznie całość, a wyniki w niej zawarte są nowatorskie. Podstawową zaletą rozprawy jest jej kompleksowość. Habilitant potrafił połączyć w jedną całość swoje umiejętności zarówno informatyczne jak i matematyczne (zdobyte, m.in., w czasie podwójnych studiów magisterskich na Uniwersytecie Jagiellońskim). Metody i algorytmy prezentowane w pracach są podparte ścisłą analizą teoretyczną, zostały też zaimplementowane i przetestowane na konkretnych problemach. Odpowiednie oprogramowanie naukowe jest ogólnie dostępne. Rozprawa, chociaż mocno “zmatematyzowana” ze względu na konieczność ścisłej analizy proponowanych rozwiązań algorytmicznych, niewątpliwie mieści się w dyscyplinie informatyka.

Ponieważ prace, oprócz jednej, są wieloautorskie (na przykład, najważniejsza praca [H3] z 2009 r. ma aż sześciu współautorów), należy uważnie przyjrzeć się jakie znaczenie w ich powstawaniu odegrał sam habilitant. Analiza dołączonych do rozprawy oświadczeń DR. PILARCZYKA oraz jego współautorów pokazuje, że wkład habilitanta był rzeczywiście istotny, a w [H1]–[H5] wręcz decydujący. Brał udział zarówno w pracach teoretycznych, jak i w projektowaniu algorytmów, a przede wszystkim w tworzeniu towarzyszącego rozprawie oprogramowania. Wszystkie te umiejętności spotykają się jednocześnie, m.in., w jedynej samodzielnej pracy [H4]. Należy podkreślić, że prace wieloautorskie są obecnie regułą, zwłaszcza w naukach informatycznych i stosowanych. W omawianym przypadku, współautorstwo jest tym bardziej naturalne, że habilitant często zmieniał ośrodki w których prowadził swoje badania i współpracował z miejscowymi naukowcami. A współpracownikami DR. PILARCZYKA są istotne w dziedzinie postacie, takie jak, m.in., prof. Konstantin Mischaikow z Rutgers University, prof. Hiroshi Kokubu z Kyoto University, czy z polskiej strony prof. Marian Mrozek z Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Prace wchodzące w skład rozprawy zostały opublikowane w latach 2005-2016, w czołowych czasopismach o różnych profilach: *Foundations of Computational Mathematics* (3 prace), *SIAM Journal of Applied Dynamical Systems* (2 prace), *Journal of Theoretical Biology*, *Proceedings of American Mathematical Society*, *Topology and Applications*. Paradoksalnie, na tej liście nie ma czasopism czysto informatycznych (bo za takie nie można uznać nawet FoCM, które jest czołowym journaliem w dziedzinie matematyki obliczeniowej). Szczególnie wysoko indeksowane są trzy początkowe czasopisma. O wysokiej wartości prac świadczy też fakt, że mają one stosunkowo dużą liczbę cytowań, zarówno w bazie *Web of Science* jak i w matematycznej *MathSciNet* (odpowiednio 115 i 81 razy, w tym [H3] ma 42/29 cytowań, [H1] 23/19, a [H6] 25/13).

## 3. POZOSTAŁY DOROBIEK

### 3.1 PUBLIKACJE I DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA

Oprócz prac [H1]–[H8], DR PILARCZYK wymienia w autoreferacie jeszcze aż 30 pozycji opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, przy czym tylko kilkanaście z nich

zostało odnotowanych w bazie *WoS*. (Pozostałe to publikacje w materiałach konferencyjnych lub w pismach o raczej lokalnym zasięgu.) Prace te orbitują głównie wokół tematyki metod obliczeniowych topologii algebraicznej i algorytmów analizujących układy dynamiczne. Spośród tych prac najważniejszą wydaje się być [P3] (wg oznaczeń habilitanta w autoreferacie), w której zoptymalizowano algorytm obliczający kostkowe grupy homologii. Natomiast artykuł [P18] zyskał zadziwiająco wysoki poziom cytowań w *WoS* równy 68.

Jeśli chodzi o całosciowe wskaźniki bibliometryczne to DR PILARCZYK legitymuje się stosunkowo wysokim na poziomie habilitacji indeksem Hirscha  $h = 8$ , a ogólna liczba cytowań przekroczyła 250 w *WoS* oraz 150 w *MathSciNet*.

Równocześnie z dość bogatym rekordem publikacyjnym, DR PILARCZYK prowadzi intensywną działalność naukową w innych sferach. Uczestniczył i wygłaszał referaty na blisko 60 konferencjach naukowych na całym świecie, a na 7 z nich był członkiem komitetu programowego/naukowego. Był związany kontraktami z wieloma ośrodkami naukowymi, najpierw z Uniwersytetem Jagiellońskim, potem z Georgia Tech., uniwersytetami w Kyoto (Japonia) i Bradzie (Portugalia), IST (Austria), a obecnie z California State University Channel Islands (USA), gdzie uczy przede wszystkim przedmiotów informatycznych. Kontrakty te były zwykle związane z realizacją otrzymywanych grantów zagranicznych. Oprócz tego odbywał krótsze staże w innych ośrodkach, m.in., w USA, Japonii, Hiszpanii i Brazylii.

Habilitant ma doświadczenie w kierowaniu dwoma projektami badawczymi (niestety nie krajowymi) i był członkiem innych zespołów w ramach konsorcjów lub sieci badawczych realizujących konkretne projekty, w tym w projekcie KBN w latach 2003–2006. Recenzował również kilkanaście artykułów w czasopismach naukowych: *Journal of Computational Dynamics*, *SIAM Journal on Applied Dynamical Systems*, *Nonlinear Analysis*, *Foundations of Computational Mathematics* i in.

Podsumowując dorobek naukowy DR. PILARCZYKA można z pewnością stwierdzić, że prowadzi on w sposób ciągły bardzo aktywną działalność naukową, a jego dane parametryczne (cytowania, indeks Hirscha, itp.) są ponadprzeciętne dla habilitacji. Należy również docenić to, że posiada on grono licznych współpracowników naukowych w różnych częściach świata.

### 3.2 DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA I POPULARYZATORSKA

Mniej imponująco wygląda działalność dydaktyczna i popularyzatorska DR. PILARCZYKA. (Tu nie biorę pod uwagę popularyzacji jego własnych wyników, np. na konferencjach.) Zapewne wynika to z faktu częstej zmiany ośrodków naukowych, w których przebywał i w których przede wszystkim realizował zadania badawcze. Habilitant wskazuje na swoje dwa pokazy naukowe w Austrii.

Dorobek dydaktyczny habilitanta koncentruje się na ćwiczeniach do różnego rodzaju wykładów w latach 1997–2005, kiedy jeszcze pracował w Polsce na Uniwersytecie Jagiellońskim. Poza tym dawał pojedyncze kursy na Georgia Tech. i w IST w Austrii, a od dwóch lat uczy regularnie w Kalifornii. Niestety, DR PILARCZYK dotychczas nie wypromował nie tylko doktora, ale też ani jednego magistranta. Dopiero teraz opiekuje się w Kalifornii dwoma studentami na poziomie licencjackim. Mam nadzieję, że ta

sfera aktywności zawodowej DR. PAWŁA PILARCZYKA ulegnie w przyszłości istotnej poprawie.