

Kraków, 30.05.2015



UNIwersytet  
JAGIELLOŃSKI  
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki

im.

Mariana Smoluchowskiego

### Recenzja rozprawy habilitacyjnej

„Współdziaływania własności strukturalnych i procesów dynamicznych w sieciach złożonych”,

przedstawiona przez dr Piotra Fronczaka

Przedłożona rozprawa dotyczy teorii układów złożonych. Generalnie, układy złożone są definiowane jako zespoły składające się z wielu elementarnych składników, oddziałujących na ogół sposób nieliniowy, co prowadzi do nowego typu efektów kolektywnych (emergencja). Układy złożone mogą być w naturalny sposób reprezentowane przez sieci powiązań. Ponieważ ten ogólny schemat dotyczy nie tylko układów spotykanych w przyrodzie, ale także będących tworem człowieka, opisanie i zrozumienie układów złożonych ma kluczowe znaczenie poznawcze oraz technologiczne. Typowe zastosowania to opisanie systemów teleinformatycznych w dziedzinie ICT, systemów metabolicznych i genetycznych w naukach o życiu, systemów ekonomicznych, finansowych i społecznych w naukach humanistycznych.

Historycznie, nauka o sieciach była domeną matematyki (teoria grafów) i wydawała się być nauką zamkniętą, po fundamentalnych pracach Erdoesa i Renyego (ER) w latach 50-tych ubiegłego wieku. Ponowne narodziny stały się możliwe dzięki rewolucji komputerowej. Umożliwiła ona kolekcjonowanie i analizowanie ogromnych ilości danych rzeczywistych układów złożonych. Wspólną cechą rzeczywistych układów złożonych było pojawienie się praw skalowania potęgowego. Spowodowało to konieczność sformułowania zupełnie odmiennego od teorii ER opisu tych układów. Badania sieci złożonych stały się domeną nie tylko matematyki i fizyki, ale także teorii algorytmów, a powszechność występowania sieci złożonych w przyrodzie i technologii w naturalny sposób wymusiła interdyscyplinarny charakter badań. Historycznie badania rozpoczęły się od opisu statycznych własności sieci, zarówno na poziomie lokalnym, jak i na poziomie globalnym (topologia, własności spektralne). Kolejnym etapem było wprowadzenie dynamiki, i to zarówno w postaci transportu (dyfuzji) informacji na stacjonarnej strukturze sieci, jak i reorganizowanie się sieci w trakcie zachodzących procesów dynamicznych. To sprzężenie zwrotne w naturalny sposób prowadzi to sieci samouczących się czy też samoorganizującej się krytyczności. Zrozumienie dynamiki umożliwiło z kolei prognozowanie, w szczególności badania prawdopodobieństwa występowania i kontroli zachowań ekstremalnych. Obecnie, największymi wyzwaniem jest opis hipersieci (tzw. networks of networks), czyli zespołów różnych sieci sprzęgniętych pomiędzy sobą na ogół na szeregu skal czasowych i przestrzennych.

Przytoczyłem tutaj ten krótki rys historyczny, gdyż pozwala on lepiej zrozumieć logikę cyklu 10 prac, które dr Fronczak przedstawił jako swoje osiągnięcie

ul. St. Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-47-03

fax +48(12) 664-49-06

e-mail: fizyka@uj.edu.pl

habilitacyjne. Prace, na pierwszy rzut oka obejmujące bardzo szeroki obszar badawczy, i wyglądające przez to na nieco niespójne, oddają raczej chronologiczny rozwój dyscypliny, której dr Fronczak poświęcił ostatnią dekadę. Fakt, że dr Fronczak potrafił zidentyfikować najciekawsze w danym okresie wyzwania teorii sieci, bardzo dobrze o nim świadczy, choć pewnie miała na to także wpływ praca naukowa w grupie badawczej prof. Janusza Hołysta z Politechniki Warszawskiej, prowadzącego jedno z najaktywniejszych w Polsce centrów badania złożoności. Kolejną charakterystyczną cechą cyklu jest użyta metodologia – autor jest doktorem nauk fizycznych (24.04.2003, Wydział Fizyki PW, promotor – prof. Janusz Hołyst), nie jest więc dziwne, że w całym cyklu prac obficie korzysta z arsenału metod fizyki teoretycznej. Są to zarówno metody zjawisk krytycznych (samokrytyczność w ujęciu Per Baka, teoria przejść fazowych), jak i metody statystyczne i teoriopolowe wykorzystane m.in. do opisu tzw. wykładniczych grafów przypadkowych. I wreszcie, ostatnią cechą cyklu jest biegłość w stosowaniu zaawansowanych metod informatycznych. Badanie w dziedzinie sieci oparte są w znakomitej większości na studiach numerycznych, co wymaga biegłości w pracy z dużymi zbiorami danych (Big Data), znajomości subtelnych algorytmów oraz zaawansowanych metod wizualizacji otrzymanych wyników. Niewątpliwie, pomocny okazał się fakt, że dr Fronczak pracował przez szereg lat jako informatyk i administrator systemów na PW.

Przedstawiony cykl to 10 publikacji opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych w latach 2006-2014. Tylko w jednej z tych prac ([a-7]) dr Fronczak jest samodzielnym autorem, pozostałe są napisane we współpracy z jednym lub parą współautorów. Jak zwykle w takiej sytuacji pojawia się pytanie, w jakim stopniu udział dr Fronczaka był istotny dla publikacji. Dodatkowo, z 10 przedłożonych do recenzji prac 3 zostały w ubiegłym roku wykorzystane w procedurze habilitacyjnej małżonki dr Fronczaka, dr hab. Agaty Fronczak. Zwyczajowo, w takich sytuacjach należy się oprzeć na deklaracjach autora oraz dołączonych deklaracjach współautorów. W czterech pracach wspólnych udział doktora Fronczaka wynosi od 50% do 80%, a w pięciu pozostałych oceniono go od 30% do 40%, co pozwala mi na stwierdzenie, że udział dr Fronczaka we wszystkich pracach cyklu był istotny i że prace te nie powstałyby w tej formie bez jego udziału. Dlatego też uwzględniam cały cykl jako podstawę osiągnięcia habilitacyjnego. Tak jak wspomniałem we wstępie, prace dr Fronczaka oddają wiernie chronologiczny rozwój teorii sieci, więc tylko pokrótce podkreślę najbardziej interesujące wyniki i ich kontekst.

Praca [a-1] to ciekawe zastosowanie idei Per Baka do przebadania samoewolucji sieci typu ER do sieci potęgowej (czyli sieci o „tłustych” lub „ciężkich ogonach” w żargonie teorii złożoności). Istotnym wynikiem jest hipoteza możliwej uniwersalności przy dochodzeniu do punktu stałego. Praca [a-2] to oryginalne zastosowanie fizyki statystycznej do stworzenia bardzo bogatego „diagramu fazowego” reprezentującego produktywność naukowców w funkcji liczby współpracowników i intensywności współpracy. Praca powstała w ramach projektu UE, ale nie wiem czy ciekawe wyniki zostały wykorzystane przez Komisję. Praca [a-3] dotyczy modnych dekadę temu tzw. oscylacji log-periodycznych – były one poszukane m. inn. w danych sejsmograficznych, a także giełdowych jako sygnatury nadchodzących katastrof. Autorzy przebadali to zjawisko z punktu widzenia optymalizacji realnych sieci – nowym wynikiem było odkrycie możliwości bimodalnego rozkładu kosztów jako

funkcji średniego stopnia wężła sieci. Prace [a-4,a-5] poświęcone są badaniu zjawisk krytycznych w tzw. sieci Kauffmana, czyli losowej sieci logicznej używanej do badania dynamiki regulacji genów. Nowe wyniki to uogólnienie wyników dotyczących położenia linii krytycznej na różne przypadki sieci potęgowych, oraz znalezienie (za pomocą metod teorii perkolacji) artefaktów wynikających z uproszczenia, że sieć jest nieskierowana. Praca [a-6] to praca teoretyczna, badająca ruch Browna na nieskorelowanych grafach przypadkowych o dowolnym rozkładzie wierzchołków. Obliczone rozkłady stacjonarne oraz czasy pierwszego przejścia zostały przekonująco potwierdzone numerycznie dla szerokiej gamy grafów, od ER po potęgowe. Praca [a-7] to zastosowanie formalizmu z poprzedniej pracy do modelowania ruchu pakietów w sieciach telekomunikacyjnych. Nowy wynik to opis przejścia fazowego wywołanego narastającą rozbieżnością średniego czasu dojścia pakietu do punktu przeznaczenia, oraz przedstawienie możliwości zwiększania przepustowości sieci poprzez wprowadzanie korelacji. Prace [a-8,a-10] dotyczą opisu struktury sieci międzynarodowej wymiany handlowej w oparciu o formalizm fizyki statystycznej. Nowym wynikiem [a-8] było otrzymanie odpowiednika twierdzenia dyssypacyjno-fluktuacyjnego dla światowego wolumenu handlu jako funkcji udziału danego państwa w światowym PKB. Nowym wynikiem [a-10] było rozwiązanie pozornego paradoksu zwanego „distance puzzle” w popularnym modelu ekonometrycznym (tzw. model grawitacyjny) za pomocą bardzo eleganckiej konstrukcji wiążącej wykładnik modelu grawitacyjnego z fraktalnym wymiarem sieci. Moje uznanie dla tego wyniku było najprawdopodobniej tożsame z uznaniem recenzentów, bo praca [a-10] została opublikowana w uważanym w środowisku fizyków za bardzo prestiżowe czasopiśmie *Physical Review Letters* (IF=7,73). Ostatnia praca [a-9] przybliżyła się tematycznie do modnego obecnie obszaru badań hipersieci: autorzy rozważają model generowania sieci blokowej, której zrozumienie uważane jest obecnie za jedno z kluczowych wyzwań teorii sieci. Autorzy badają sieci blokowe w ulubionym przez siebie formalizmie wykładników przypadkowych. Na uwagę zasługują także bardzo estetyczne wizualizacje. Mam nadzieję, że dr Fronczak będzie kontynuował te badania, gdyż zauważone ostatnio problemy identyfikowania społeczności w sieci i próby rozwiązania dylematu identyfikacji wspólnot (vide np. F. Krzakala et al., *PNAS* 110 (2013)52) są jednym z największych obecnych wyzwań realnych układów złożonych.

Reasumując, przedstawiony cykl zawiera szereg spójnych i oryginalnych wyników naukowych o istotnym znaczeniu.

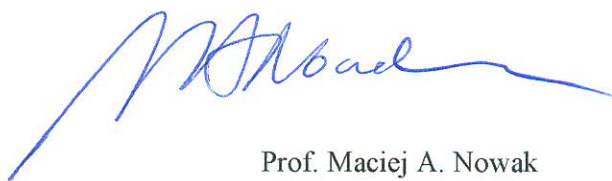
Pozostałe wyniki naukowe dr Fronczaka także oceniam pozytywnie. Jego pełny dorobek naukowy to 28 prac. Pewną statystyczną miarą aprecjacji tych prac są tak modne obecnie „wskaźniki scjentometryczne”: według bazy Web of Science, całkowita liczba cytowań wynosi około 400, w tym 360 bez autocytowań, a tzw. indeks Hirscha wynosi 10. To bardzo dobre wskaźniki na tym etapie rozwoju naukowego. Warto też pamiętać, że sieć cytowań jest też przykładem sieci potęgowej, w której obowiązuje swoista zasada Św. Mateusza ( „Albowiem wszelkiemu mającemu będzie dano i obfitować będzie, a temu, który nie ma, i to co się zda mieć, będzie wzięto od niego”), co powoduje nadcytowania kilku światowych guru w teorii sieci i niedocytowania szeregu mniej znanych autorów.

Oceniając dorobek naukowy dr Fronczaka, nie sposób nie wspomnieć o monografii „Świat sieci złożonych. Od fizyki do Internetu”, napisanej w 2009 wspólnie z małżonką dr hab. Agatą Fronczak, jedynej (według mojej wiedzy) pozycji naukowo-popularyzatorskiej w języku polskim przybliżającej teorię sieci i jej współczesne zastosowania. W tym miejscu należy też wspomnieć o licznych osiągnięciach dydaktycznych i popularyzatorskich dr Fronczaka, choć nie są one przedmiotem mojej oceny.

Istotnym elementem oceny jest także tzw. pozycja międzynarodowa. Pracując w grupie prof. Janusza Hołysta, dr Fronczak był aktywnym uczestnikiem trzech dużych projektów ramowych Unii Europejskiej. Szkoda, że w okresie tym nie odbył dłuższego zagranicznego stażu naukowego w jednym ze znanych ośrodków akademickich projektów CREEN, MMCOMNET czy CYBEREMOTIONS, ale jak sądzę, przeszkodą były charakter pracy (administracja informatyczna) oraz względy rodzinne. Natomiast w swoim dorobku dr Fronczak ma szereg wystąpień konferencyjnych na prestiżowych konferencjach naukowych – wspomnę tylko ostatnie SigmaPhi2014 i ECCS2014, jedne z najbardziej znanych konferencji w dziedzinie złożoności.

Również pozostałe osiągnięcia dr Fronczaka wskazują, że jest on w pełni gotowy aby stać się samodzielnym pracownikiem naukowym. Wymienię tutaj przede wszystkim uzyskanie przez Habilitanta grantu NCN typu SONATA BIS oraz opiekę nad dwoma doktorantami, z których każdy jest już współautorem dobrej publikacji naukowej.

Przedstawiona rozprawa oraz całość dorobku naukowego Dr Fronczaka spełniają więc, w mojej opinii, wszystkie kryteria wymagane od habilitanta do otrzymania stopnia doktora habilitowanego. Nie widzę też żadnych formalnych uchybień w przedstawionej mi dokumentacji, dlatego też, na podstawie art. 16 i 17 z dnia 14 marca 2003 „O stopniach naukowych i tytule naukowym...”, jednoznacznie popieram wniosek o nadanie dr inż. Piotrowi Fronczakowi stopnia doktora habilitowanego oraz wnoszę o dopuszczenie Habilitanta do dalszych etapów procedury przewodu habilitacyjnego.



Prof. Maciej A. Nowak

Centrum Badań Systemów Złożonych im. Marka Kaca

Uniwersytet Jagielloński