

Warszawa, 16.06.2015 r.

Prof. dr hab. Ryszard Kutner
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Ocena osiągnięcia naukowego w postaci rozprawy habilitacyjnej pt.:
**„Innowacyjne metody analizy nieliniowych korelacji krzyżowych
w układach złożonych”**

oraz istotnej aktywności naukowej

dr Janusza Miśkiewicza

w związku z postępowaniem habilitacyjnym

Dr Janusz Miśkiewicz ukończył studia wyższe w dziedzinie fizyki, specjalność fizyka teoretyczna, na Uniwersytecie Wrocławskim w roku 1993. Już wówczas zajmował się, pod kierunkiem prof. Arkadiusza Jadczyka, złożonością i samoorganizacją w procesach dynamicznych. W latach 1993-99 pobierał stypendium doktoranckie w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego przygotowując rozprawę doktorską pt.: „Oddziaływanie układów klasycznych i kwantowych jako model pomiaru w mechanice kwantowej” pod kierunkiem dr hab. Roberta Olkiewicza. Stopień doktora uzyskał w roku 2001. W latach 1998-2001 był zatrudniony na stanowisku wykładowcy w Katedrze Fizyki i Biofizyki Akademii Rolniczej we Wrocławiu a następnie (po dzień dzisiejszy) na stanowisku adiunkta. Od roku 2004 (po dzień dzisiejszy) dr J. Miśkiewicz jest także zatrudniony jako adiunkt w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego – jest to jego podstawowe miejsce pracy. Jak widać, dr J. Miśkiewicz posiada ciągłość pracy w środowisku akademickim jako fizyk. Należy jeszcze podkreślić, że w latach 2003-2004 dr J. Miśkiewicz odbył bardzo wartościowy staż podoktorski na Uniwersytecie Liège (Belgia) pod kierunkiem prof. Marcela Ausloosa jednego z najwybitniejszych fizyków zajmujących się ekonofizyką. Wspólnie opublikowali szereg cennych wyników, które w przeważającej większości weszły w skład niniejszej rozprawy.

Dr J. Miśkiewicz jest autorem 23 prac opublikowanych w dobrych czasopismach o zasięgu międzynarodowym notowanych w JCR, w tym np. 10 w Physica A, natomiast 2 stanowią rozdziały w książkach publikowanych w wydawnictwie Springera. Prace Habilitanta były cytowane przez obcych autorów 112 razy, przy czym do najczęściej cytowanej pracy odwoływano się 14. razy. W przypadku publikacji dotyczących tradycyjnych obszarów fizyki wyniki te nie byłyby najgorsze, w

przypadku dziedziny uprawianej przez dr. J. Miśkiewicza - analiza złożonych sieci, są jedynie zadowalające. Jednakże do danych bibliometrycznych należy podchodzić z ostrożnością, gdyż mogą one zaniżać faktyczną wartość ocenianego (tak jest w tym przypadku). Rozprawę habilitacyjną (osiągnięcie naukowe, zgodnie z nomenklaturą Ustawy) stanowi 14 prac opublikowanych w latach 2005-2014 w tym 11 w czasopiśmie notowanych na liście JCR, 1 stanowi rozdział w monografii i 2 opublikowano w materiałach pokonferencyjnych. Należy podkreślić, że w 5 publikacjach w czasopiśmie z listy JCR składających się na rozprawę habilitacyjną dr Miśkiewicz jest jedynym autorem, w 4 jest pierwszym autorem (dwóch autorów) a w 2 drugim (dwóch autorów). Na podstawie tego co powiedziano powyżej oraz oświadczenia współautora można stwierdzić, że wkład Habilitanta w publikacje składające się na jego rozprawę habilitacyjną był dominujący.

Przedmiotem badań dr. J. Miśkiewicza są *de facto* sieci złożone, jedna z najgorętszych tematów, jaką zajmują się ekono- i socjofizycy w ostatnich latach. Od czasu opublikowania w 1999 r. pracy *Emergence of scaling in random networks* (L.-A. Barabasi, Reka Albert), ukazało się ponad 150 tys. publikacji dotyczących tej tematyki (za bazą Web of Science). Najczęściej cytowane z tych publikacji mają ponad 10 tys. cytowań, a indeks Hirscha tematyki $h > 1000$. Habilitantowi udało się znaleźć zagadnienia o zasadniczym znaczeniu dla tematyki i wyraźnym stopniu oryginalności, co nie jest łatwe przy tak ogromnym zainteresowaniu tematyką sieci złożonych.

Historycznie, nauka o sieciach była domeną matematyki (teoria grafów) i wydawała się być zamkniętą, po fundamentalnych pracach Erdösa i Rényiiego (ER) w połowie ubiegłego stulecia. Odrodzenie stało się możliwe dzięki cyfryzacji. Pozwoliła ona na kolekcjonowanie i analizowanie ogromnych rekordów danych empirycznych. Wspólną cechą rzeczywistych układów złożonych było pojawienie się praw skalowania. 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 informatyki, a powszechność występowania sieci złożonych w naturalny sposób wymusiła inter- i multidyscyplinarny charakter badań.

Przedłożona mi do zaopiniowania rozprawa dotyczy własności układów złożonych. Układy złożone są definiowane jako zespoły składające się z wielu składników, oddziałujących na ogół w sposób nieliniowy, co prowadzi do emergencji - nowego typu efektów kolektywnych. Dodajmy, że linearyzacja (zwłaszcza metoda pola średniego) ma uzasadnienie w kontekście układów złożonych głównie w obszarach krytycznych, gdy zasięg korelacji staje się nieograniczony. Układy złożone mogą być w sposób wygodny reprezentowane przez sieci powiązań - dotyczy to nie tylko układów spotykanych w naturze, ale także w życiu społeczno-ekonomicznym; ich opis i zrozumienie ma kluczowe znaczenie poznawcze i aplikacyjne.

Jedną z zasadniczych metod badawczych układów złożonych jest analiza dostarczanych przez nie szeregów czasowych – to właśnie w szeregach czasowych „zakłete” jest bogactwo informacji o ewolucji układów złożonych, w tym umożliwiające ich badanie poprzez ewoluujące sieci złożone. Analiza szeregów czasowych pełni zasadniczą rolę w dyscyplinach, w których znakomita większość danych ma charakter obserwacyjny np. w astrofizyce i kosmologii, astronomii, geofizyce, ekonomii i socjologii. 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. Co szczególnie ważne, szeregi czasowe dostarczają kluczowych informacji dotyczących wzajemnego oddziaływania układów złożonych poprzez możliwość badania ich wzajemnych korelacji – korelacji krzyżowych. Kluczowym wnioskiem płynącym z przeprowadzonych przez Habilitanta badań było stwierdzenie, że analiza zbioru bardzo wielu układów złożonych (nawet bardzo dużych) powinna być wciąż traktowana całościowo z wykorzystaniem (w ogólności) zależnej od czasu macierzy korelacji, która jest nieprzywiedlna (nie rozpada się na niezależne bloki). Muszę powiedzieć, że nie jest to wniosek nowy – należy go tutaj traktować przede wszystkim jako dobrze ugruntowane, na gruncie empirycznym i teoretycznym, potwierdzenie wcześniej stosowanych podejść. Oczywiście, zbudowanie macierzy korelacji wymaga dobrania właściwej miary co otwiera „puszkę Pandory” problemów – słusznie na to zwrócił uwagę Habilitant. Uważam, wybór przez Habilitanta jako najważniejszej tematyki korelacji krzyżowych, a w tym zwłaszcza nieliniowych, za właściwy i wielce użyteczny dla badaczy zajmujących się dziedziną układów złożonych. Rozprawa może wydawać się nadmiernie techniczna, a w tym część merytoryczna autoreferatu, ale w przypadku analizy danych empirycznych (a to jest przecież zawsze pierwszym etapem badań typu aplikacyjnego - taki charakter ma rozprawa dr J. Miśkiewicza) nie ucieknie się od starannego opisu warsztatu, który Habilitant używa mistrzowsko. Co się tyczy metod analizy korelacji krzyżowych (liniowych i nieliniowych) to Habilitant wypracował kilka nowych, wielce przydatnych. W tym właśnie widzę mocną stronę wartość rozprawy a w tym jej praktyczną użyteczność, pozwalającą prowadzić konkretne, wyrafinowane obliczenia w tym porównawcze.

Omówię teraz kolejno publikacje Habilitanta składające się na rozprawę. Najwcześniejsze publikacje H1-H3 dotyczyły badań nad PKB (Produkt Krajowy Brutto) grupy krajów należących do elitarnego klubu G7. I tak, w publikacji H2: 1) określono lidera grupy, 2) przeprowadzono badania porównawcze uwzględniające cztery najpopularniejsze metryki (Manhattan, Euklidesową, ultrametryczną oraz funkcyjną), 3) przeprowadzono analizę porównawczą czterech ważnych typów grafów: UMLP, BMLP, LMST oraz NPT (grafy progowe na progu perkolacji). Ponadto, badania prowadzone w tej pracy postawiły problem konieczności doboru optymalnego rozmiaru okna

czasowego – był to temat publikacji H1. Przeprowadzone badania (analogiczne do tych w publikacji H2) dotyczyły okien o szerokości od 5 do 52 lat.

W pracy H3 autor postawił zasadnicze pytanie o charakterze makroekonomicznym: w jakim stopniu efekt globalizacji wpływa (o ile w ogóle) na PKB 19 wysokorozwiniętych krajów świata? Pozytywna odpowiedź na to pytania była możliwa dzięki wykorzystaniu przez Habilitanta technik bazujących właśnie na korelacjach krzyżowych. Na przykład, pojęcie globalizacji zostało precyzyjnie zdefiniowane jako zmniejszenie się odległości (w dobrze określonej przestrzeni metrycznej szeregów czasowych PKB) pomiędzy badanymi krajami. Tak rozumiana globalizacja została zaobserwowana dla okien 25- i 35-letnich z minimum odległości przypadającym na lata 1993 i 97 co wskazuje na długotrwały trend społeczno-ekonomiczny a nie na polityczną koniunkturalność. Przy okazji zbadano stabilność połączeń (czyli ich czas przeżycia) – stwierdzono, że pomimo globalizacji wciąż geograficzne sąsiedztwo odpowiada za wspomnianą stabilność. Nie mniej, metodologia zastosowana przez Habilitanta pozwoliła mu wydobyć np. wyjątkowe i zaskakujące na pierwszy rzut oka powiązanie PKB Japonii i Grecji. Autor sugeruje, że odpowiedzialni są za to armatorzy japońscy mający wiele swoich siedzib właśnie w Grecji a PKB Japonii zależy w sposób istotny od transportu morskiego.

Wiele wątków rozprawy zapoczątkowanych pracami H1-H3 zostało znacząco rozwiniętych w kolejnych publikacjach. Jeżeli chodzi o warsztat, to wykorzystano dobrze umotywowane podejście od strony entropii do określenia korelacji krzyżowych, przy czym napotkano trudność typową dla krótkich szeregów czasowych z jakimi miano tutaj do czynienia. Słusznie zatem Habilitant sięgnął po indeks Theila, która radzi sobie nie tylko z tą trudnością ale także z arbitralnością gruboziarnistości, która jest obecna w definicji tradycyjnej entropii. Użycie w tym miejscu indeksu Theila uważam za świetny pomysł, który nadał rozprawie nowego impulsu. Zatem, odległość została zbudowana na bazie tego indeksu oraz odległości Manhattan i została użyta do konstrukcji grafów typu ULMP, BLMP oraz LMST – wyniki porównano z analogicznymi uzyskanymi dla odległości ultrametrycznej. Obliczenia poprowadzono dla 21 wysokorozwiniętych krajów świata używając jako zależnej od czasu charakterystyki (parametru): średniej chwilowej odległości pomiędzy węzłami (krajami). W wyniku zaobserwowano systematyczne malenie tego parametru co pozwoliło wysnuć ważny wniosek o upodobnieniu się do siebie gospodarek badanych krajów. Powyższe rozważania przeprowadzono w pracy H5. W tym kontekście istotna jest obserwacja, że zależność czasowa średniej chwilowej odległości pomiędzy węzłami podlega prawu Mandelbrota-Zipfa – temu samemu, które opisuje relaksację magnetyzacji w nadprzewodnikach. Tego typu interdyscyplinarność jest wielce charakterystyczna dla ekonofizyki. Co więcej, idąc tym tropem Habilitant wprowadził w pracy H6 nieekstensywne uogólnienie indeksu Theila – indeks

q-Theila oparty o nieekstensywną statystykę (a więc i entropię). Jest to pomysł oryginalny, wart szerszego rozpropagowania. Oczywiście, wprowadzenie takiego indeksu wymusiło daleko idącą modyfikację podejścia umożliwiającą powstawanie rezonansów czyli ekstra wzmocnień poszukiwanych efektów – jest to obiecująca możliwość wykorzystana przez Habilitanta do poszukiwania efektów globalizacji nawet typu przesuniętych wzajemnie w czasie (opóźnienia). Analizie poddano najbogatsze kraje należące do OECD. Autor był w stanie wyraźnie uwidocznić okresy zwiększania się odległości pomiędzy krajami, okresy jej zmniejszania się oraz stabilności. Uważam, że jest to niezbędny sprawdzian metodologii stosowanej przez Habilitanta tym bardziej, że interpretacja uzyskanych wyników podana przez Habilitanta (oparta na różnym w czasie wprowadzaniu regulacji prawnych w poszczególnych krajach) jest przekonująca.

Bardziej subtelne badania dotyczące omawianego kierunku przeprowadzono w pracy H9, w której stwierdzono (w oparciu o bardzo rzetelne a więc wiarygodne rozważania poparte starannymi obliczeniami), że najwłaściwszym narzędziem do rozpoznawania etapów zjawiska globalizacji jest oparta na entropii (dokładniej rzecz biorąc uogólnionym indeksie q-Theila) unormowana (do średniej) metryka Manhattan. Dodam, że wykorzystywane były tutaj też inne szeregi makroekonomiczne np. PKB *per capita*, czy liczbę przepracowanych godzin. Muszę przyznać, że w moich oczach jest to najważniejszy wynik rozprawy o trudnym wprost do przecenienia stopniu użyteczności, także dla ośrodków badawczych bezpośrednio wspomagających podejmowanie strategicznych decyzji przez decydentów. Metodologię tą zastosowano także z powodzeniem do krajów UE należących do strefy euro (praca H8). Tutaj wskazano dodatkowo na możliwość wpływu wydarzeń politycznych na ewolucję odległości (dzięki doborowi relatywnie krótszego okna czasowego).

Praca H7 jest w całości poświęcona zastosowaniu teorii informacji (w szczególności umożliwiającemu wykorzystanie miar pozwalających wyznaczyć entropie szeregu czasowego) do badania procesu globalizacji. Praca ta stanowi podsumowanie badań Habilitanta nad zastosowaniem entropii do wielopłaszczyznowej analizy procesu globalizacji, która prowadzi do wyników jednoznacznych i jasnych w interpretacji (zgadzam się tutaj w pełni z konkluzją Habilitanta). Praca H7 miała swoje konsekwencja – jest nią praca H10, która powstała na zamówienie środowiska ekonometryków zainteresowanych stosowaniem metod wypracowanych przez Habilitanta. Świadczy to dobitnie o znaczeniu i docenieniu wyników uzyskanych przez dr J. Miskiewicza a przedstawionych w jego rozprawie habilitacyjnej. Także do kategorii prac podsumowujących należy publikacja H11, gdzie zestawiono użyteczne miary wypróbowane przez Habilitanta oraz te wskazane przez niego jako potencjalnie użyteczne.

Wielkie wrażenie robi opracowana przez niego w pracy H13 przydatna klasyfikacja PLCS

(*Power Law Classification Scheme*) pozwalająca kategoryzować korelacje krzyżowe w oparciu o rozkłady potęgowe. Umożliwia to, zgodnie z intuicją, klasyfikowanie ze względu na siłę korelacji (którą Habilitant precyzyjnie definiuje), czyli wpływ zmian w jednym szeregu na przebieg drugiego. Może to wynikać z faktu, że już same rozkłady potęgowe mogą wprowadzać klasy uniwersalności a więc niejako z założenia mogą prowadzić do kategoryzacji korelacji. Wyniki oparte na stabilności korelacji doprowadziły do wniosku, że krajami dominującymi są USA, Japonia i Rosja(!). Wynik dotyczący Rosji budzić może wątpliwości ale trzeba uwzględnić fakt, że dane empiryczne obejmowały okres sprzed kryzysu ukraińskiego. Powyżej wskazana PCLS była też dalej rozwijana w pracy H12 dla sieci NPT (*Network on the Percolation Threshold*). Pozwoliło to zbadać stabilność korelacji oraz zauważyć, że siła korelacji może być ujemna dodania a także zniknąć.

Publikacje składające się na rozprawę habilitacyjną i dorobek naukowy dr. Janusza Miśkiewicza opublikowane w czasopiśmie fizycznych o zasięgu międzynarodowym, zawierają szereg wartościowych wyników, które przyczyniły się i (wierzę, że będą się przyczyniać) do rozwoju fizyki sieci złożonych oraz jej szeroko rozumianych zastosowań zarówno w obszarze makroekonomii jak i rynków finansowych. Mam tu na myśli zwłaszcza wkład do analizy nieliniowych korelacji krzyżowych (miary oparte na indeksie q-Theila) a w tym zwłaszcza wpływu zjawisk o charakterze ekstremalnym. Warto podkreślić mistrzostwo Habilitanta w posługiwaniu się metodami numerycznymi, które przecież odgrywają kluczową rolę w badaniu układów złożonych (na ogół niecałkowalnych). Na przykład, Habilitant opracował wielce przydatny algorytm PLCS określający siłę i stabilność korelacji. Ponadto, wskazał (w sposób dobrze umotywowany) na konieczność stosowania w wielu istotnych przypadkach grafów liniowych typu UMLP, BMLP a także NPT - grafów progowych zamiast dotychczas stosowanych drzew. Można z pełnym przekonaniem stwierdzić, że Habilitant starannie, w sposób wielce udokumentowany poszerzył i pogłębił wiedzę dotyczącą analizy korelacji krzyżowych w układach złożonych.

W autoreferacie Habilitant zamieścił rozdział poświęcony perspektywom tematyki i prowadzonych przez niego badań zwracając uwagę na możliwości wykorzystania metodologii PLCS na rynkach finansowych do badania korelacji krzyżowych pomiędzy różnymi giełdami. Chodzi o to, że szeregi czasowe dostarczane przez nie wykazują znaczną zmienność w porównaniu z wcześniej używanymi przez Habilitanta - ściśle makroekonomicznymi. Podejście PLCS udało się Habilitantowi rozszerzyć na tego typu szeregi czasowe (o podwyższonej zmienności). Jednym z najważniejszych, wartościowych wyników jest tutaj stwierdzenie, że siła korelacji wprowadzona przez Habilitanta we wcześniejszych pracach może służyć jako miara głębokości kryzysu na rynkach walutowych. Wreszcie, badania Habilitanta zostały przez niego poszerzone (także w pracy

H13 oraz częściowo H14) o analizę korelacji pomiędzy notowaniami firm na giełdzie. Wzięto tutaj pod uwagę firmy z indeksu DJIA. Autor uzyskał nadzwyczaj wartościowy wynik pozwalający określić za pomocą przebiegu siły korelacji położenie kryzysu giełdowego. Jak zwykle w takiej sytuacji pojawia się pytanie o siłę predykcji o czym Habilitant w zasadzie nie wspomina. Jednak, wydaje mi się, że rozdział 'Perspektywy' powinien mieć inną nazwę skoro opisuje głównie pracę H13, która weszła przecież w skład rozprawy. Proponowałbym np. nazwę 'Rozszerzenie PLCS na szeregi o podwyższonej zmienności'

Należy podkreślić wielce użyteczny charakter rozprawy, umożliwiający bezpośrednie wykorzystanie jej metod i wyników przez ośrodki decyzyjne zajmujące się analizą światowych trendów gospodarczych. Jest wielce charakterystycznym, że szeroko rozumiana fizyka ma dzisiaj tak wiele do powiedzenia na ten temat.

Chciałbym też dodać w tym miejscu, że jestem pod wrażeniem profesjonalizmu Habilitanta – stanowi to dla mnie miłe zaskoczenie, gdyż parametry bibliometryczne przytoczone na wstępie autoreferatu nie były zachęcające. Jego dorobek jest przez nie istotnie niedoszacowany.

Reasumując, uważam że dorobek naukowy a także dydaktyczny i organizacyjny dr. Janusza Miśkiewicza spełnia w całości wymagania ustawowe i zwyczajowe stawiane rozprawom habilitacyjnym i (nie widząc żadnych uchybień formalnych w przesłanej mi dokumentacji) popieram wniosek o nadanie dr. Januszowi Miśkiewiczowi stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka.



Ryszard Kutner