

Opinia o rozprawie habilitacyjnej dr Rafała Raka w postaci cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych pt. "Ilościowe aspekty wybranych układów złożonych"

W skład rozprawy habilitacyjnej dr R. Raka wchodzi prace:

- [K1] S. Drożdż, J. Kwapień, P. Oświęcimka, R. Rak, Quantitative features of multifractal subtleties in time series, *Europhysics Letters (EPL)*, 88, 60003 (2009).
- [K2] R. Rak, D. Grech, Quantitative approach to multifractality induced by correlations and broad distribution of data, *Physica A*, 508, 48 (2018).
- [K3] R. Rak, S. Drożdż, J. Kwapień, P. Oświęcimka, Detrended cross-correlations between returns, volatility, trading activity, and volume traded for the stock market companies, *Europhysics Letters (EPL)*, 112, 48001 (2015).
- [K4] R. Rak, S. Drożdż, J. Kwapień, P. Oświęcimka, Stock returns versus trading volume: is the correspondence more general?, *Acta Physica Polonica B*, 44, 2035 (2013).
- [K5] S. Drożdż, J. Kwapień, P. Oświęcimka, R. Rak, The foreign exchange market: return distributions, multifractality, anomalous multifractality and the Epps effect, *New Journal of Physics*, 12, 105003 (2010).
- [K6] R. Rak, P. Zięba, Multifractal flexibly detrended fluctuation analysis, *Acta Physica Polonica B*, 46, 1925 (2015).
- [K7] R. Rak, S. Bwanakare, Quantitative Characteristics of Correlations of Meteorological Data, *Acta Physica Polonica A*, 129, 922 (2016).
- [K8] R. Rak, J. Kwapień, P. Oświęcimka, P. Zięba, S. Drożdż, Universal features of mountain ridge networks on Earth, *Journal of Complex Networks*, 8(1), cnz17, (2020).
- [K9] R. Rak, E. Rak, The Fractional Preferential Attachment Scale-Free Network Model, *Entropy*, 22(5), 509 (2020).
- [K10] R. Rak, E. Rak, Multifractality of complex networks is also due to geometry: a Geometric SandBox algorithm, *Entropy*, 25(9), 1324 (2023).

Tak więc rozprawa habilitacyjna dr Rafała Raka składa się z dziesięciu prac wszystkich współautorów. Prace są publikowane w różnych czasopismach punktowanych przez MNiSzW przeważnie na 70 pkt, z kilkoma wyjątkami (*New Journal of Physics* 140 pkt., *Journal of Complex Networks* 100 pkt. i *Entropy* 100 pkt.). Przedmiotem habilitacji jest analiza tkz. multifraktalności danych pochodzących z rynków finansowych, danych meteorologicznych, danych dotyczących krawędzi gór na ziemi, czy też złożonych sieci.

Przejdźmy jednak do opisu naukowych wyników złożonych prac.

W pracy [K1] przeprowadzono symulacje fluktuacji rozkładu q -gaussowskiego przy różnych wartościach parametru q . Następnie na podstawie danych z niemieckiego indeksu giełdowego (DAX) próbowano wykalibrować wartość parametru q dla tych danych. Uzyskane wyniki wymagały symetrii stóp zwrotu danych. Ten problem próbowano pokonać w pracy [K2] w której otrzymano skrajnie niesymetryczne rozkłady co też zastosowano do indexu Dow Jones Industrial Average (DJIA) oraz WIGu20 z polskiej giełdy. W pracy [K3] badano krzyżowe korelacje pomiędzy stopami zwrotu, volatility, liczbą transakcji i wolumenem transakcji w oparciu o 31 spółek giełdowych z lat 2008-2011. Do tego użyto multifraktalnej analizy korelacji krzyżowych. Najsilniejsze korelacje zaobserwowano między liczbą transakcji a wolumenem obrotu. Z kolei w pracy [K4] przedstawiono ilościową analizę zależności stóp zwrotu i wolumenu obrotu dla polskiego rynku akcji. W pracy [K5] analizowano korelację szeregów walutowych z rynku FOREX. Skupiono się na sześciu kursach wymiany tworzących dwa trójkąty w oparciu o dane od roku 2004 do 2008. Analizując trzy różne skale czasowe dostrzeżono asymetrię pomiędzy prawymi i lewymi ogonami rozkładów. W pracy [K6] stosuje się różne funkcje wielomianowe do usuwa-

nia trendu danych. Badając lokalną wariancję i jej średnią sprawdzamy czy sygnał ma naturę fraktalną. Praca [K7] dotyczy analizy ilościowej danych meteorologicznych, które następnie zostały poddane analizie multifraktalnej. Dane dotyczyły temperatury powietrza i ziemi, szybkości wiatru i wilgotności. Korelacje krzyżowe między tymi wielkościami były badane. Kolejna praca [K8] dotyczyła analizy krawędzi dziewięciu pasm górskich. Uzyskane sieci topograficzne zostały poddane analizie fraktalnej. Wyniki okazały się podobne dla wszystkich pasm górskich. Ostatnie dwie prace [K9] i [K10] rozprawy dotyczą sieci interpretowanych jako grafy losowe. W pracy [K9] rozkład prawdopodobieństwa krotności węzłów spełnia prawo potęgowe. W pracy [K10] zaproponowano metode analizy sieci multifraktalnej w oparciu o algorytm "sand-box", która uwzględnia zarówno połączenia międzywęzłowe jak i współrzędne lokalizacji węzłów.

Rozprawa habilitacyjna w zasadzie dotyczy metod analizy danych. Metody te stosowane są do danych z giełdy papierów wartościowych, danych meteorologicznych, sieci w tym sieci topograficznych. Chociaż gdzieś pojawiają się modyfikacje znanych metod w zasadzie rozprawa analizuje dane znanymi metodami. Habilitant wydaje się mieć dobrze opanowane stosowane metody analizy danych. Jest to pewne domniemanie bo wszystkie prace są współautorskie. W przypadku prac z zastosowań w zasadzie nie jest wymagana oryginalność naukowa, ale umiejętność zastosowania znanych metod w ważnych przypadkach. Pierwsze pięć prac dotyczy tkz. ekonofizyki czyli metod fizyki matematycznej zastosowanej do problemów rynków finansowych. Chociaż fizycy z racji umiejętności modelowania różnych zjawisk odgrywają ważną rolę w matematyce finansowej, prace wchodzące do habilitacji są bardziej przyczynkowe i trudno oczekiwać by miały istotne znaczenie w rozwoju dyscypliny. Jest to dosyć niewdzięczny przypadek poszukiwania ogólnych zależności i modelowania danych za pomocą różnych rozkładów prawdopodobieństwa.

Ogólna ocena rozprawy habilitacyjnej:

Mam mieszane odczucia donosząc **wniosku o habilitację w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie fizyka**. Nie jest dla mnie jasne czy osiągnięcie naukowe stanowi istotny wkład habilitanta w rozwój fizyki (domyślnie matematyczno informatycznej). Z drugiej strony uważam, że habilitant dość biegle posługuje się różnymi metodami analizy danych co może w przyszłości zaowocować ciekawymi pracami, o ile będzie miał dostęp do istotnych danych (co często stanowi główny problem społeczności akademickiej).

Poza habilitacją habilitant jest autorem 14 publikacji z czego 6 przed doktoratem.

Habilitant realizował jeden grant NCN Miniatura. Uczestniczył w szkole letniej w Ecole Normale Supérieure w Lyon w 2004. Odbył staże naukowe w Instytucie Fizyki Jadrowej PAN w Krakowie w 2008 i 2016, oraz na Politechnice Krakowskiej.

Reasumując: Biorąc pod uwagę wymienione powyżej zalety i wady rozprawy **uważam, że osiągnięcie naukowe jest wystarczające do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego** i tym samym spełnia wymagania o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 w Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 roku poz. 742).

Dlatego **popieram wniosek** o przyznanie dr Rafałowi Rakowi stopnia doktora habilitowanego.

miejsce i data: Warszawa, 4 marca, 2024

podpis Recenzenta

Łukasz Stettner