

Autoreferat  
Innowacyjne metody analizy nieliniowych  
korelacji krzyżowych w układach złożonych

dr Janusz Miśkiewicz

Uniwersytet Wrocławski  
Instytut Fizyki Teoretycznej

Wrocław 2014

# Spis treści

|          |                                                                                                                                                      |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Dane osobowe</b>                                                                                                                                  | <b>3</b>  |
| 1.1      | Imię i nazwisko . . . . .                                                                                                                            | 3         |
| 1.2      | Posiadane dyplomy, stopnie naukowe . . . . .                                                                                                         | 3         |
| 1.3      | Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych . . . . .                                                                           | 3         |
| 1.4      | Członkostwo i pełnione funkcje w towarzystwach naukowych .                                                                                           | 4         |
| 1.5      | Stypendia i staże naukowe . . . . .                                                                                                                  | 4         |
| <b>2</b> | <b>Autoreferat</b>                                                                                                                                   |           |
|          | <i>Innowacyjne metody analizy nieliniowych korelacji krzyżowych w układach złożonych</i>                                                             | 5         |
| 2.1      | Lista publikacji wraz z procentowym udziałem autorów . . . .                                                                                         | 5         |
| 2.2      | Omówienie celu naukowego . . . . .                                                                                                                   | 8         |
| 2.2.1    | Wstęp . . . . .                                                                                                                                      | 8         |
| 2.2.2    | Optymalizacja rozmiaru okna czasowego i wpływ struktury sieci . . . . .                                                                              | 9         |
| 2.2.3    | Pomiar korelacji w oparciu o indeks Theila . . . . .                                                                                                 | 14        |
| 2.2.4    | Indeks q-Theil . . . . .                                                                                                                             | 20        |
| 2.2.5    | Granice globalizacji . . . . .                                                                                                                       | 23        |
| 2.2.6    | Potęgowy schemat korelacji (PLCS) . . . . .                                                                                                          | 33        |
| 2.3      | Perspektywy . . . . .                                                                                                                                | 39        |
| 2.4      | Podsumowanie . . . . .                                                                                                                               | 45        |
| <b>3</b> | <b>Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki</b> | <b>47</b> |
| 3.1      | Wykaz publikacji naukowych nie wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego . . . . .                                                          | 47        |
| 3.1.1    | Prace opublikowane przed uzyskaniem tytułu doktora .                                                                                                 | 47        |
| 3.1.2    | Prace opublikowane po uzyskaniu tytułu doktora . .                                                                                                   | 48        |
| 3.2      | Wskaźniki dokonań naukowych . . . . .                                                                                                                | 50        |

|          |                                                                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3      | Omówienie dorobku naukowego nie wchodzącego w skład głównego osiągnięcia naukowego . . . . .              | 50        |
| 3.3.1    | Prace przed uzyskaniem stopnia doktora nauk fizycznych – zdarzeniami wzmocniona teoria kwantów . . . .    | 50        |
| 3.3.2    | Analiza układów złożonych – zastosowania ekonofizyczne                                                    | 51        |
| 3.3.3    | Modelowanie własności błon biologicznych . . . . .                                                        | 54        |
| 3.3.4    | Detekcja sygnałów periodycznych przy zastosowaniu macierzy przypadkowych . . . . .                        | 57        |
| 3.3.5    | Własności sieci współpracy naukowej . . . . .                                                             | 57        |
| 3.4      | Referaty wygłoszone na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych . . . . .                | 59        |
| 3.5      | Nagrody otrzymane za działalność naukową . . . . .                                                        | 60        |
| <b>4</b> | <b>Osiągnięcia w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej</b> | <b>62</b> |
| 4.1      | Udział w programach europejskich . . . . .                                                                | 62        |
| 4.2      | Udział w naukowych konferencjach naukowych . . . . .                                                      | 62        |
| 4.2.1    | Udział w komitetach naukowych i organizacyjnych konferencji . . . . .                                     | 62        |
| 4.2.2    | Uczestnictwo w konferencjach . . . . .                                                                    | 63        |
| 4.3      | Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych . . .                                               | 63        |
| 4.4      | Udział w projektach badawczych . . . . .                                                                  | 63        |
| 4.5      | Recenzje projektów i publikacji naukowych . . . . .                                                       | 63        |
| 4.6      | Osiągnięcia dydaktyczne . . . . .                                                                         | 64        |
| 4.7      | Nagrody i wyróżnienia za działalność dydaktyczną i popularyzatorską . . . . .                             | 64        |
| 4.8      | Staże w zagranicznych ośrodkach naukowych . . . . .                                                       | 64        |

# Rozdział 1

## Dane osobowe

### 1.1 Imię i nazwisko

Janusz Miśkiewicz

### 1.2 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

**2001** Doktor nauk fizycznych, specjalność fizyka teoretyczna  
Tytuł rozprawy: „Oddziaływanie układów klasycznych i kwantowych jako model pomiaru w mechanice kwantowej”  
Promotor: Dr hab. Robert Olkiewicz, Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego

**1993** Magister fizyki, specjalność fizyka teoretyczna,  
Tytuł pracy magisterskiej: „Złożoność i samoorganizacja w wybranych procesach dynamicznych”  
Promotor: Prof. dr hab. Arkadiusz Jadezyk, Uniwersytet Wrocławski

### 1.3 Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

**Od 2004 i nadal** Adiunkt w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego (podstawowe miejsce pracy)

**2003 – 2004** Stanowisko „post-dok” na Uniwersytecie w Liège, Belgia

**Od 2001 i nadal** Adiunkt w Katedrze Fizyki i Biofizyki Akademii Rolniczej we Wrocławiu (po zmianie nazwy: Uniwersytet Przyrodniczy we

Wrocławiu)

**1999 – 2001** Wykładowca w Katedrze Fizyki i Biofizyki Akademii Rolniczej we Wrocławiu

**1998 – 1999** Asystent w Katedrze Fizyki i Biofizyki Akademii Rolniczej we Wrocławiu

## **1.4 Członkostwo i pełnione funkcje w towarzystwach naukowych**

**od 2003** Członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego

**od 2004** Członek zarządu Sekcji Polskiego Towarzystwa Fizycznego: Fizyka w Ekonomii i Naukach Społecznych

**2001-2004** Sekretarz Komitetu Biologii Molekularnej PAN

**2011-2014** Członek Komisji Chemii, Fizyki i Techniki w Biologii wrocławskiego oddziału Polskiej Akademii Nauk

## **1.5 Stypendia i staże naukowe**

**1999 – 1993** Stypendium doktoranckie w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego

**2004** Travel Grant ufundowany przez „The Thierd Nikkei Econophysics Symposium”

**2004** Travel Grant ufundowany przez „Cost 10 Physics of Risk” (Invited Speaker)

**2003-2004** dwuletnie stypendium „post-doc” na Uniwersytecie w Liège, Belgia

**2007** miesięczne stypendium Short Term Scientific Mission COST10, Liège, Belgia, (lipiec 2007)

## Rozdział 2

### Autoreferat

#### *Innowacyjne metody analizy nieliniowych korelacji krzyżowych w układach złożonych*

Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) Głównym osiągnięciem naukowym jest cykl 14 prac pod tytułem: „Innowacyjne metody analizy nieliniowych korelacji krzyżowych w układach złożonych”. 11 prac zostało opublikowanych w czasopismach indeksowanych na liście Journal Citation Report, 2 w materiałach pokonferencyjnych i 1 stanowi rozdział w monografii. Poświęcone są one rozwijaniu metod analizy korelacji krzyżowych szeregów czasowych w zastosowaniach ekonofizycznych. Prace te są moim własnym osiągnięciem, bądź jestem ich głównym współautorem.

#### 2.1 Lista publikacji wraz z procentowym udziałem autorów

Przy każdej pracy, która wchodzi w skład cyklu prac stanowiących główne osiągnięcie podano ich: liczbę punktów wg listy MNiSW, liczbę cytowań wg. Web of Science bez samocytowań, informację, czy czasopismo jest wymienione na liście Journal Citation Report, *impact factor* (IF) w roku opublikowania pracy oraz w przypadku prac współautorskich procentowy udział habilitanta.

- H1** J. Miśkiewicz, M. Ausloos *Correlations Between the Most Developed (G7) Countries. A Moving Average Window Size Optimisation*, Acta Physica Polonica B **36** s. 2477-2486 (2005)  
*Wkład habilitanta: postawienie hipotezy badawczej, zebranie danych, wykonanie obliczeń, wykresów i napisanie tekstu.*  
*Udział w pracy: 67% (MNiSW: 15, cytowane: 1, JCR, IF: 0,807)*
- H2** J. Miśkiewicz, M. Ausloos *G7 country Gross Domestic Product (GDP) time correlations. A graph network analysis*, w: *Practical Fruits of Econophysics* ed. H. Takayasu. Springer-Verlag, Tokyo, s. 312-316, (2006)  
*Wkład habilitanta: współautorstwo hipotezy badawczej, zebranie danych, wykonanie obliczeń, wykresów i napisanie tekstu.*  
*Udział w pracy: 54% (praca konferencyjna)*
- H3** J. Miśkiewicz, M. Ausloos *An Attempt to observe Economy Globalization: The Cross Correlation Distance Evolution of the Top 19 GDP's*, IJMPC **17**: s. 317-331, (2006)  
*Wkład habilitanta: wykonanie obliczeń, wykresów, napisanie tekstu i opracowanie wniosków.*  
*Udział w pracy: 78% (MNiSW: 20, cytowane: 8, JCR, IF: 0,920)*
- H4** J. Miśkiewicz *Globalization – Entropy unification through the Theil index*, Physica A **387**: s. 6595-6604, (2008)  
*Udział w pracy: 100% (MNiSW: 20, cytowane: 3, JCR, IF: 1,441)*
- H5** J. Miśkiewicz, M. Ausloos *Correlation measure to detect time series distances, whence economy globalization*, Physica A **387**: s. 6584-6594, (2008)  
*Wkład habilitanta: postawienie hipotezy badawczej, zebranie danych, wykonanie obliczeń, wykresów, napisanie tekstu i opracowanie wniosków.*  
*Udział w pracy: 85% (MNiSW: 20, cytowane: 7, JCR, IF: 1,441)*
- H6** M. Ausloos, J. Miśkiewicz *Introducing the q-Theil index*, Braz. J. Phys. **39**: s. 388-395, (2009)  
*Wkład habilitanta: współautorstwo hipotezy badawczej, zebranie danych, wykonanie obliczeń, wykresów i napisanie tekstu.*  
*Udział w pracy: 80% (MNiSW: 10, cytowane: 4, JCR, IF: 0,575)*
- H7** M. Ausloos, J. Miśkiewicz *Entropy correlation distance method applied to study correlations between the gross domestic product of rich countries*, International Journal of Bifurcation and Chaos **20**: s. 381-389, (2010)

*Wkład habilitanta: postawienie hipotezy badawczej, zebranie danych, wykonanie obliczeń, wykresów i napisanie tekstu.*

*Udział w pracy: 70% (MNiSW: 27, cytowane: 1, JCR, IF: 0,814)*

- H8** J. Miśkiewicz *Entropy correlation distance method. The Euro introduction effect on the Consumer Price Index*, Physica A **389**: s. 1677-1687, (2010)

*Udział w pracy: 100% (MNiSW: 27, cytowane: 2, JCR, IF: 1,552)*

- H9** J. Miśkiewicz, M. Ausloos *Has the world economy reached its globalization limit?*, Physica A **389**: s. 797-806, (2010)

*Wkład habilitanta: postawienie hipotezy badawczej, zebranie danych, wykonanie obliczeń, wykresów, napisanie tekstu i wniosków.*

*Udział w pracy: 80% (MNiSW: 27, cytowane: 7, JCR, IF: 1,552)*

- H10** J. Miśkiewicz *Distance Matrix Methods for network structure analysis*. w: Čížek, P.; Härdle, W. K. & Weron, R. (Ed.), *Statistical Tools for Finance and Insurance*, Springer, (2011)

*Udział w pracy: 100% (rozdział w monografii)*

- H11** J. Miśkiewicz *Analysis of Time Series Correlation. The Choice of Distance Metrics and Network Structure*, Acta Physica Polonica A **121**: s. B-89 - B-94, (2012)

*Udział w pracy: 100% (MNiSW: 15, JCR, IF: 0,444)*

- H12** J. Miśkiewicz *Network Analysis of Correlation Strength between the Most Developed Countries*, Acta Physica Polonica A **123**: s. 589-596, (2013)

*Udział w pracy: 100% (MNiSW: 15, JCR, IF: 0,531)*

- H13** J. Miśkiewicz *Power law classification scheme of time series correlations. On the example of G20 group*, Physica A: **392**: s. 2150-2162, (2013)

*Udział w pracy: 100% (MNiSW: 30, JCR, IF: 1,676)*

- H14** J. Miśkiewicz *Strenght of cross-correlations in crisis. Evolving network analysis*, w: *Proceedings ITISE 2014 International work-conference On Time Series*, ed. Ruiz, I. R., Garcia, G. R. Copicentro. Granada S.L, s. 269-271, (2014)

*Udział w pracy: 100% (praca konferencyjna)*



## 2.2 Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z przedstawieniem możliwości ich potencjalnego wykorzystania

### 2.2.1 Wstęp

Od początku ukonstytuowania nauki nowożytnej redukcjonizm stanowił jej najsilniejszy oręż w zgłębianiu wiedzy o otaczającym nas świecie prowadząc do odkrywania coraz bardziej fundamentalnych praw. Jednakże w pewnym momencie okazało się, że pozornie poznane dziedziny skrywają wciąż wiele niepoznanych obszarów, ponieważ oddziaływanie układów może prowadzić do ich nietrywialnego zachowania. W ten sposób pojawiła się potrzeba badań nad układami złożonymi, które stanowią komplementarną część redukcjonistycznego podejścia do tajemnic natury. W przypadku układów złożonych jedną z najistotniejszych metod badawczych jest ich obserwacja przedstawiana w formie szeregów czasowych, które są uporządkowanym w czasie zapisem informacji na temat analizowanego układu. Analiza szeregów czasowych pełni szczególną rolę w dyscyplinach, w których większość danych ma charakter obserwacyjny np. w astrofizyce, kosmologii, astronomii, meteorologii, ekonomii itp. Co ważniejsze, szeregi czasowe niosą informacje nie tylko o chronologii zjawiska, czy jego ewolucji ale także dają możliwość zbadania wzajemnego oddziaływania układów poprzez analizę korelacji pomiędzy szeregami. Zwykle to pojęcie jest stosowane do przypadku małej liczby szeregów (kilku). W rzeczywistości często spotykana jest sytuacja, gdy badany układ złożony zawiera wiele oddziałujących ze sobą podukładów. W takiej sytuacji standardowe podejście prowadzi do określenia macierzy korelacji, z której następnie wydobywane są interesujące nas informacje. Jednym z istotnych wniosków płynących z prowadzonych przeze mnie badań jest stwierdzenie, że analiza korelacji krzyżowych w obrębie dużych układów złożonych powinna być definiowana jako całość składająca się z dwóch zasadniczych elementów: w pierwszym kroku obliczane są korelacje pomiędzy szeregami czasowymi przy zastosowaniu wybranej miary, bądź wybranego parametru a następnie analizowane są wyniki, najczęściej poprzez własności grafu konstruowanego na podstawie macierzy korelacji. Dla układów rzeczywistych warto ponadto analizować nie tylko korelację pomiędzy wybranymi szeregami ale także ewolucję korelacji. Ponieważ zmiany zachodzące w układach mogą także wpływać na wzajemne relacje pomiędzy badanymi szeregami czasowymi.

W niniejszym autoreferacie prezentuję wyniki badań prowadzonych nad

różnymi aspektami analizy korelacji krzyżowych szeregów czasowych. W szczególności opracowane nowe metody analizy korelacji krzyżowych z uwzględnieniem metod poświęconych analizie korelacji nieliniowych. Badania te uwzględniają oba zasadnicze elementy: zarówno parametry korelacji pomiędzy szeregami czasowymi jak i analizę macierzy korelacji poprzez własności konstruowanych na ich podstawie grafów.

### 2.2.2 Optymalizacja rozmiaru okna czasowego i wpływ struktury sieci

Badania nad zagadnieniem analizy korelacji krzyżowych szeregów czasowych rozpocząłem w roku 2004. Wyniki podjętych wtedy badań opublikowałem w pracach: [H1, H2, H3]. Obejmowały one wszystkie istotne aspekty zagadnienia korelacji krzyżowych: zarówno doboru odpowiednich do zagadnienia miar korelacji jak i analizę macierzy korelacyjnych (lub macierzy odległości) otrzymywanych z analizy korelacji krzyżowych. Wyniki te omówię zachowując chronologię prowadzonych badań, która nie pokrywa się z datami publikacji ze względu na różne tempo procesu wydawniczego u poszczególnych wydawnictw.

Pierwsze wyniki otrzymane w ramach badań nad korelacjami krzyżowymi referowałem na międzynarodowej konferencji „The Third Nikkei Econophysics Symposium” w 2004r. w Tokyo. Przedmiotem badań były korelacje pomiędzy szeregami czasowymi opisującymi ewolucję rocznego PKB dla krajów grupy G7 tj. Francji, Japonii, Kanady, Niemiec, USA, Wielkiej Brytanii i Włoch. Celem badań było określenie kraju dominującego w obrębie wybranej grupy. Wyniki te zostały opublikowane w pracy [H2], której głównym osiągnięciem było porównanie rezultatów otrzymywanych przy zastosowaniu czterech wybranych miar odległości (Manhattan, Euklidesowej, ultrametrycznej oraz funkcyjnej) pomiędzy szeregami czasowymi. Odległości Manhattan ( $d_1$ ) i Euklidesową ( $d_2$ ) definiuje rów. (2.1), odległość ultrametryczną określa rów. (2.2) natomiast odległość w przestrzeni funkcji  $\mathcal{L}_1$  rów. (2.4), gdzie wykorzystano wyniki przedstawione w pracy [H3] i przyjęto, że rozkład prawdopodobieństwa zwrotów PKB jest opisany przez rozkład normalny. Analizę własności macierzy odległości przeprowadziłem z wykorzystaniem czterech typów grafów: łańcucha jednostronnego, łańcucha dwustronnego, lokalnie minimalnego drzewa oraz grafu na granicy perkolacji. Algorytmy konstrukcji tych grafów zamieszczam poniżej.

$$d_q(A, B) = \left( \sum_{i=1}^n |a_i - b_i|^q \right)^{\frac{1}{q}}, \quad (2.1)$$

gdzie  $A, B$  oznaczają szeregi czasowe:  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ ,  $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ .

$$d(A, B)_{(t,T)} = \sqrt{\frac{1}{2}(1 - \text{corr}_{(t,T)}(A, B))} \quad (2.2)$$

Wzór (2.2) został zdefiniowany tak aby można było go stosować do badania korelacji dla wybranych fragmentów szeregu czasowego, w szczególności ewolucji korelacji w przesuwającym się oknie czasowym. Symbole  $t$  oraz  $T$  są początkiem i końcem rozpatrywanego fragmentu szeregu czasowego. Do zdefiniowania odległości ultrametrycznej (rów. (2.2)) został wykorzystany współczynnik korelacji Pearsona przytoczony poniżej.

$$\text{corr}_{(t,T)}(A, B) = \frac{\langle AB \rangle_{(t,T)} - \langle A \rangle_{(t,T)} \langle B \rangle_{(t,T)}}{\sqrt{(\langle A^2 \rangle_{(t,T)} - \langle A \rangle_{(t,T)}^2)(\langle B^2 \rangle_{(t,T)} - \langle B \rangle_{(t,T)}^2)}} \quad (2.3)$$

Nawiasy  $\langle \dots \rangle_{(t,T)}$  oznaczają wartość średnią na przedziale  $(t, T)$ .

W przypadku, gdy możliwe jest określenie rozkładów prawdopodobieństwa  $p(r)$  dla badanych szeregów czasowych (np. rocznych przyrostów PKB), wtedy odległość pomiędzy szeregami można zdefiniować w sensie odległości pomiędzy funkcjami  $\mathcal{L}_q$  ( $q = 1$ )

$$d_{\mathcal{L}_q}(A, B) = \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} |p_A(r) - p_B(r)|^q dr \right]^{\frac{1}{q}}. \quad (2.4)$$

Macierze odległości otrzymane za pomocą zdefiniowanych powyżej odległości były następnie badane poprzez własności opisanych poniżej grafów [H2]:

- Konstrukcję łańcucha jednostronnego (*ang. unidirectional minimum length path: UMLP*) rozpoczynamy po obliczeniu macierzy odległości dla wybranego okna czasowego. Pierwszy węzeł wybieramy arbitralnie. W przypadku pracy [H3] był to sztucznie wygenerowany podmiot, którego PKB był sumarycznym PKB rozważanych krajów. Węzeł początkowy można tutaj traktować jako punkt odniesienia prowadzonej analizy. Definiujemy ten węzeł jako koniec łańcucha. Następnie poszukujemy kraju o odległości najmniejszej do bieżącego końca łańcucha i przyłączamy go do grafu. Ostatni, przyłączony węzeł staje się bieżącym końcem grafu. Przyłączanie węzłów prowadzimy aż wszystkie podmioty nie będą elementem grafu. W wyniku tego algorytmu otrzymujemy drzewo, którego średnica wynosi  $N - 1$ , gdzie  $N$  jest liczbą węzłów. Głównymi zaletami łańcucha jednostronnego jest możliwość wybrania punktu, od którego rozpoczynamy konstrukcję grafu oraz niska złożoność obliczeniowa algorytmu.

- Drugą wprowadzoną strukturą był łańcuch dwustronny (*ang. bidirectional minimum length path: BMLP*), którego konstrukcję rozpoczyna się od znalezienia podmiotów o najmniejszej odległości pomiędzy nimi. W tej sytuacji po pierwszym kroku otrzymujemy graf, który ma dwa końce. Następnie dla każdego z końców poszukujemy węzłów najbliższych im położonych. Jednak do grafu przyłączamy tylko bliższy z nich. Przyłączony węzeł zostaje końcem grafu. Procedurę przyłączania węzłów kontynuujemy do momentu, aż wszystkie podmioty nie zostaną umieszczone na grafie. W przypadku BMLP graf może wzrastać w dwóch kierunkach jednocześnie. W odróżnieniu od grafu UMLP wynik działania algorytmu BMLP nie zależy od decyzji przeprowadzającego analizę.
- Lokalnie minimalne drzewo rozpinające (*ang. locally minimum spanning tree LMST*). Konstrukcję grafu rozpoczyna się od znalezienia pary węzłów o najmniejszej odległości. Para ta następnie jest umieszczana na grafie. W kolejnym kroku dla każdego z węzłów sieci poszukiwany jest najbliższy mu węzeł nie znajdujący się na grafie. Z pośród wszystkich znalezionych do grafu przyłączany jest ten o najmniejszej odległości. Procedurę przyłączania kolejnych węzłów kontynuujemy aż wszystkie podmioty nie zostaną umieszczone na grafie. W efekcie otrzymujemy drzewo.
- Graf na granicy perkolacji. W pierwszym kroku zbiór odległości pomiędzy węzłami porządkujemy malejąco. Następnie usuwamy kolejno połączenia rozpoczynając od najdłuższego. W każdym kroku sprawdzamy czy graf jest spójny. Usuwanie połączeń prowadzimy do momentu gdy graf przestaje być spójny, wtedy dołączamy ostatnio usunięte połączenie i kończymy procedurę.

Podczas analizy wyników otrzymanych w ramach badań nad korelacjami pomiędzy krajami grupy G7 pojawił się problem optymalnego doboru okna czasowego. Problem ten wynika z metodologii stosowanych badań. Z jednej strony wydłużając okno czasowe możemy z większym poziomem istotności statystycznej określić badane parametry, z drugiej strony jego nadmierne wydłużenie może spowodować „utratę” znaczącej ilości danych a także pojawienie się problemów ze stacjonarnością badanych szeregów czasowych. Dlatego też w drugiej pracy [H1] zająłem się problemem właściwego doboru wielkości okna czasowego. Analogicznie do badań przedstawionych w [H2] wykorzystano szeregi czasowe rocznego PKB krajów G7. Wyniki te były referowane podczas Pierwszego Polskiego Sympozjum Ekono- i Socjofizycznego

w Warszawie w 2004r. W pracy [H1] obliczono macierze odległości pomiędzy szeregami czasowymi w przesuwającym się oknie czasowym o rozmiarze od 5 do 52 lat tzn. dla każdego rozmiaru okna obliczono szereg macierzy opisujący ewolucję korelacji pomiędzy badanymi szeregami. Następnie na podstawie macierzy odległości konstruowano grafy UMLP, BMLP, LMST i obliczano średnią, odchylenie standardowe, skośność i kurtozę dla odległości pomiędzy węzłami utworzonych sieci. Wynik przedstawiono jako zależność średniej, odchylenia standardowego, skośności i kurtozy od wielkości użytego okna czasowego. Pokazano, że zachowanie parametrów statystycznych odległości pomiędzy węzłami grafów silnie zależy od wyboru funkcji określającej odległość pomiędzy szeregami czasowymi. Natomiast w niewielkim stopniu zależą od wyboru rodzaju grafu, przy pomocy którego analizowane są własności macierzy odległości. Obserwowano w tym wypadku silną korelację liniową pomiędzy odpowiednimi parametrami statystycznymi obliczonymi w funkcji długości okna dla różnych typów sieci. Pokazano też, że przyjęta metoda analizy pozwala dobrać rozmiar okna czasowego optymalizując jego rozmiar ze względu na cel analizy. W pracy [H1] przeprowadzono także szczegółową analizę wpływu wyboru miary odległości na otrzymywane wyniki. Dla odległości Manhattan otrzymano monotoniczną, bliską liniowej zależność średniej odległości pomiędzy węzłami na grafie w funkcji wielkości okna czasowego. Odchylenie standardowe posiadało jedno wyraźne maximum, podczas gdy skośność i kurtoza miały bardziej złożone przebiegi z kilkoma lokalnymi ekstremami. Odległość ultrametryczna dawała bardziej złożone krzywe. Średnia odległość pomiędzy węzłami dla małych okien (do 10 lat) przyrastała dość szybko, by następnie, dla pozostałych rozmiarów okien czasowych, wzrastać znacznie wolniej osiągając lokalne maksimum dla okna czasowego około 20 lat. Odchylenie standardowe zbioru odległości pomiędzy węzłami grafu dla odległości ultrametrycznej malało wraz ze wzrostem wielkości okna czasowego a skośność i kurtoza miały złożony przebieg z kilkoma wyraźnymi lokalnymi ekstremami. Ostatnia z rozpatrywanych w tej pracy miar odległości – odległość pomiędzy rozkładami prawdopodobieństwa PKB badanych szeregów (rów. (2.4)) wykazywała znaczące różnice w stosunku do odległości Manhattan jak i ultrametrycznej. W przypadku omówionych miar średnia odległość pomiędzy węzłami sieci w przybliżeniu rosła monotonicznie wraz ze wzrostem rozmiaru okna czasowego, natomiast dla miary  $\mathcal{L}_1$  średnia odległość między węzłami zdecydowanie malała do rozmiaru okna 30 lat i następnie wykazywała niewielki wzrost. Odchylenie standardowe odległości pomiędzy węzłami w zasadzie malało wraz ze wzrostem rozmiaru okna. Skośność i kurtoza miały złożony przebieg z wyraźnymi ekstremami. Biorąc pod uwagę własności zbadanych charakterystyk można uznać, że ich analiza pozwala na obiektywizację wyboru okna czasowego do dalszej analizy ewolucji korelacji

krzyżowych pomiędzy badanymi podmiotami.

W trzeciej z prac [H3] postanowiłem wykorzystać dotychczasowe doświadczenie zdobyte w analizie korelacji krzyżowych do zmierzenia się z problemem zjawiska globalizacji a mianowicie, czy znajduje ono swoje odzwierciedlenie w ewolucji PKB wysoko rozwiniętych krajów. W tym celu poszerzyłem znacznie grupę analizowanych szeregów czasowych. W pracy [H3] analizowano szeregi czasowe produktu krajowego brutto (PKB) 19 najbardziej rozwiniętych krajów tj. (w porządku alfabetycznym) Australii, Belgii, Kanady, Danii, Finlandii, Francji, Niemiec, Grecji, Irlandii, Włoch, Japonii, Holandii, Norwegii, Portugalii, Hiszpanii, Szwecji, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii i USA. W pracy tej wykorzystano odległość ultrametryczną zaproponowaną przez Mantegna [1], natomiast w celu analizy macierzy korelacji użyto grafów UMLP i BMLP.

Kluczowym zagadnieniem dyskutowanym w tej pracy były własności otrzymanych grafów. Przeanalizowano ewolucję średniej odległości między węzłami grafu w następujących oknach czasowych: 5-, 15-, 25- i 35-lat. Zgodnie z metodologią zaproponowaną w [H1] w celu określenia rozmiarów okien czasowych zbadano zachowanie średniej odległości między węzłami. Średnia była liczona po wszystkich wygenerowanych dla danego okna czasowego grafach w funkcji długości okna czasowego. Podobnie zbadano zachowanie odchylenia standardowego odległości między węzłami na grafie dla zbioru wszystkich wygenerowanych dla danego okna czasowego grafów w funkcji długości okna czasowego. Dla badanego przypadku optymalnymi były okna czasowe o długości około 20 lat. Głównym wynikiem omawianej pracy było wskazanie, że globalizacja rozumiana jako zmniejszanie odległości między szeregami czasowymi PKB wybranych krajów była obserwowana dla okien czasowych 25 i 35-lat z minimum w 1993 i 1997. Należy zauważyć że dla krajów demokratycznych okres 20 lat odpowiada kilku kadencjom władz politycznych, zatem można uznać, że proces ten nie jest wynikiem decyzji politycznych jednej z partii ale globalną tendencją. W pracy zbadano także stabilność poszczególnych połączeń na grafie, tzn. jak długo poszczególny fragment grafu pozostawał niezmienny. Analiza taka pozwala na określenie grup szczególnie stabilnych powiązań. Oprócz znanych i dość oczywistych grup, bo wynikających z sąsiedztwa geograficznego i powiązań kulturowych np.: Hiszpania – Portugalia, czy USA – Wielka Brytania – Kanada lub Francja – Holandia – Niemcy – Wielka Brytania – Kanada otrzymano także zaskakujący wynik Japonia – Grecja. Po dodatkowych analizach, które nie zostały już uwzględnione w [H1] okazało się, że prawdopodobnym elementem wiążącym tak silnie zmiany PKB obu krajów był fakt, że w Grecji ma swoją siedzibę wielu znanych armatorów, natomiast PKB Japonii silnie zależy od eksportu realizowanego właśnie drogą morską.

### 2.2.3 Pomiar korelacji w oparciu o indeks Theila

Kolejnym krokiem prowadzonych badań była próba zastosowania entropii do określenia korelacji pomiędzy szeregami czasowymi. Idea narodziła się z faktu, że w przypadku działania człowieka oczekujemy postaw racjonalnych, w szczególności w makroekonomii, gdzie działalność gospodarcza podlega regulacjom prawnym, a także jest polem działań polityków. Tym samym należy oczekiwać, że wprowadzanie podobnych regulacji, wspólnych przedsięwzięć i różnego rodzaju umów powinno prowadzić do powstania podobieństw w entropii szeregów czasowych. Hipoteza jaką tutaj postawiono mówiła, że świadome, racjonalne działania powinny wpływać na entropię szeregów czasowych. Podstawowym problemem jaki się wyłonił był sposób estymacji entropii szeregu czasowego. Trudność ta wynikała z długości badanych szeregów czasowych a także ograniczeń związanych z ich stacjonarnością. W efekcie poszukiwana była miara, która pozwalała na estymację entropii dla szeregów o długości od kilku do kilkudziesięcioleci punktów. Niestety standardowe podejście, w którym najpierw budowany jest histogram danych, a następnie na tej podstawie obliczana entropia szeregu czasowego nie wchodziła w grę ze względu na przedstawione powyżej powody oraz na fakt, że własności histogramu zależą od tego na ile komórek podzielony zostanie przedział zmienności rozpatrywanej wielkości. Niezbędne było zatem skorzystanie z miary, która mogła być wykorzystana dla krótkich szeregów czasowych i nie zawierała elementu arbitralności. Do dalszych badań wybrany został indeks Theila [2] zdefiniowany równ. (2.5):

$$Th_A(t, T) = \sum_{i=t-T}^t \left( \frac{A_i}{\sum_{j=t-T}^t A_j} \ln \frac{A_i}{\langle A \rangle_{(t-T, t)}} \right). \quad (2.5)$$

Wykorzystując indeks Theila i odległość Manhattan zbudowano odległość entropową:

$$d_{Th}(A, B)_{(t, T)} = |Th_A(t, T) - Th_B(t, T)|. \quad (2.6)$$

Podobnie jak w omówionych dotychczas pracach analizę macierzy odległości przeprowadzono konstruując grafy: UMLP, BMLP i LMST. Wyniki otrzymane przy zastosowaniu odległości entropowej (równ. (2.6)) skonfrontowano z wynikami otrzymanymi na bazie odległości ultrametrycznej (równ. (2.2)). Analizę tą przeprowadzono dla 21 najbardziej rozwiniętych krajów tj. Austrii, Belgii, Danii, Finlandii, Francji, Niemiec, Grecji, Islandii, Irlandii, Włoch, Luksemburga, Holandii, Norwegii, Portugalii, Hiszpanii, Szwecji, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii, Kanady, USA, Japonii i sztucznie wygenerowanego podmiotu, którego PKB było sumą PKB wszystkich krajów.

W ramach omawianych badań przetransformowano szeregi rocznych PKB do ich rocznych przyrostów następnie obliczono entropię w ruchomym oknie czasowym dla następujących rozmiarów okna czasowego: 5, 10, 15, 25, 35 lat. Dla każdej z macierzy odległości utworzono grafy UMLP, BMLP i LMST obliczając średnią odległość pomiędzy węzłami grafu. Wyniki przedstawiono w postaci ewolucji średniej odległości pomiędzy węzłami grafu w funkcji czasu. Otrzymano w ten sposób parametr opisujący ogólne tendencje w ramach wybranej grupy krajów. Ponadto analogiczną analizę przeprowadzono z wykorzystaniem odległości ultrametrycznej (rów. (2.2)). Po przeanalizowaniu wyników zaobserwowano, że dla odległości entropowej (rów. (2.6)) średni dystans pomiędzy węzłami sieci dla okien czasowy dłuższych niż 15 lat wykazuje wyraźną tendencję malejącą w czasie, tym samym obserwujemy, że entropie poszczególnych szeregów stają się coraz bardziej zbliżone. Spostrzeżenie to pozwala na postawienie hipotezy, że działania polityczne i gospodarcze podejmowane przez poszczególne kraje prowadzą do zwiększenia podobieństw złożoności informacyjnej szeregów PKB. W pracy tej sprawdzono też, że wyniki analizy nie zależą od metodologii obliczania PKB. Wyniki otrzymane na podstawie szeregów PKB liczonych według metodologii Èltetö-Köves-Szulc (EKS) i Geary-Khamis (GK) [3, 4] były bardzo zbliżone i pozwalały na wyciągnięcie identycznych wniosków. Rezultaty tych badań były referowane na „21 General Conference of the EPS Condensed Matter Division” Dresden 2006, w ramach sekcji Ekono i Socjofizycznej (AKSOE).

Wyniki zastosowania analizy korelacji krzyżowych do badań procesu globalizacji okazały się na tyle interesujące, że po rozwinięciu i szczegółowym opracowaniu stały się podstawą pracy [H5], w której zbadano czy przy pomocy odległości ultrametrycznej (rów. (2.2)) i hierarchicznego porządkowania macierzy odległości za pomocą grafów UMLP, BMLP i LMST można zaobserwować proces globalizacji. Ważnym spostrzeżeniem, które poczyniono w tej pracy było wykazanie, że średnia odległość pomiędzy węzłami na grafie w latach 1990 – 2006 podlegała prawie Mandelbrota-Zipfa (rów. (2.7)). Prawo to stosowane jest do np. do opisu zaniku magnetyzacji w czasie dla nadprzewodników [5].

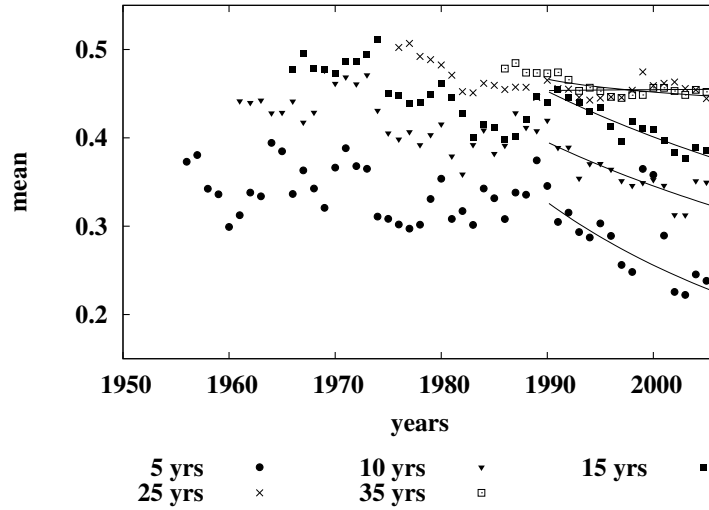
$$d(t) = \frac{T_{in} \cdot \alpha}{T_{in} + (t - T_0)^\beta}, \quad (2.7)$$

Wykresy przedstawiające ewolucję średnich odległości pomiędzy węzłami grafów wraz z dopasowanym funkcjami Mandelbrota-Zipfa zostały przedstawione na wykresach rys. 2.1-2.3. Linie ciągłe odpowiadają dopasowanemu prawu Mandelbrota-Zipfa, gdzie  $T_0$  – punkt początkowy okna czasowego a  $T_{in}$  okres objęty analizą;  $T_{in}$  i  $T_0$  zależą od wielkości zastosowanego okna czasowego  $T_w$  np. dla  $T_w = 5$  lat  $\Rightarrow T_{in} = 49, T_0 = 1956$ ,  $T_w = 10$  lat  $\Rightarrow$



|        | UMLP            |                  | BMLP            |                 | LMST            |                 |
|--------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|        | $\alpha$        | $\beta$          | $\alpha$        | $\beta$         | $\alpha$        | $\beta$         |
| 5 lat  | $1.04 \pm 0.26$ | $1.32 \pm 0.09$  | $0.94 \pm 0.23$ | $1.29 \pm 0.1$  | $1.22 \pm 0.36$ | $1.44 \pm 0.1$  |
| 10 lat | $0.67 \pm 0.07$ | $1.01 \pm 0.064$ | $0.68 \pm 0.08$ | $1.03 \pm 0.07$ | $0.65 \pm 0.08$ | $1.07 \pm 0.07$ |
| 15 lat | $0.68 \pm 0.03$ | $0.94 \pm 0.03$  | $0.76 \pm 0.04$ | $1.02 \pm 0.03$ | $0.74 \pm 0.03$ | $1.05 \pm 0.03$ |
| 25 lat | $0.47 \pm 0.06$ | $-0.16 \pm 1.8$  | $0.46 \pm 0.35$ | $-0.3 \pm 15$   | $0.43 \pm 0.53$ | $-0.31 \pm 26$  |
| 35 lat | $0.50 \pm 0.01$ | $0.29 \pm 0.05$  | $0.51 \pm 0.01$ | $0.37 \pm 0.05$ | $0.46 \pm 0.01$ | $0.27 \pm 0.09$ |

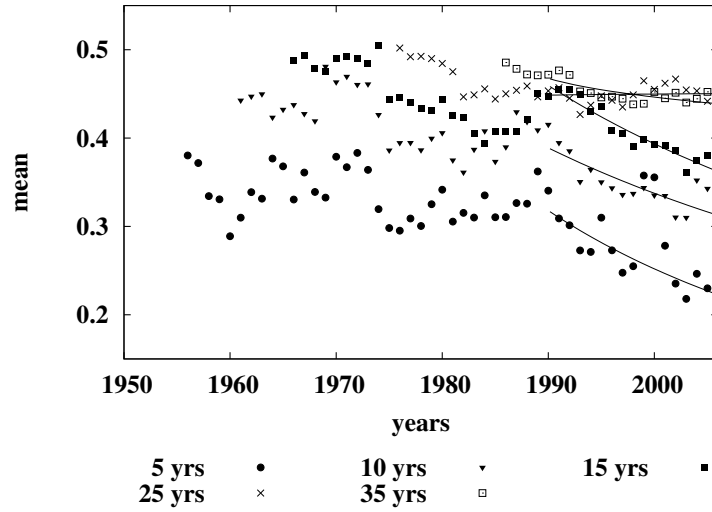
Tablica 2.1: Parametry modelu Mandelbrota-Zipfa, rów. (2.7), dopasowanego do ewolucji średniej odległości pomiędzy węzłami sieci UMLP, BMLP i LMST dla okresu 1990-2005 w wybranych rozmiarach okna czasowego. [H5]



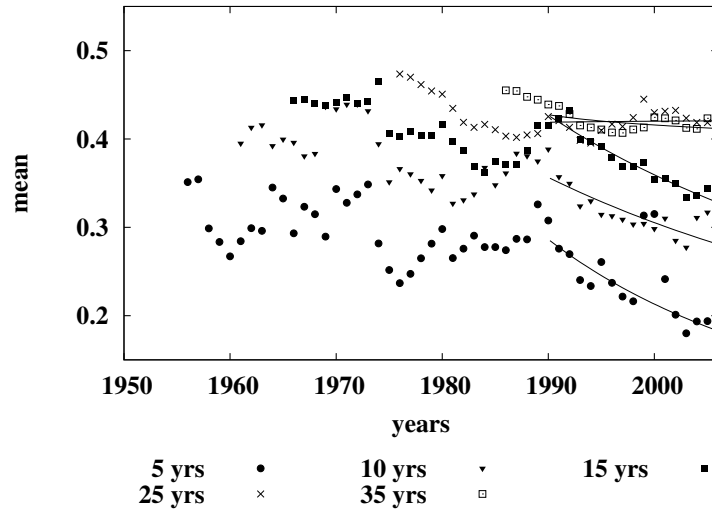
Rysunek 2.1: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci UMLP. Linia ciągła odpowiada dofitowanej funkcji Mandelbrota-Zipfa. [H5]

$T_{in} = 44, T_0 = 1961$ . Parametry dopasowanych modeli zostały przedstawione w tabeli 2.1.

Zaobserwowano, że przy zastosowaniu odległości ultrametrycznej bazującej na współczynniku korelacji liniowej dobra jakość dopasowania otrzymywana jest dla okien o długości poniżej 25 lat. Najlepszą jakość dopasowanej krzywej trendu otrzymujemy dla okna o długości 15 lat. Należy także zauważyć, że wyniki w niewielkim stopniu zależą od rodzaju zastosowanego grafu. Uwzględniając fakt, że złożoność obliczeniowa algorytmów UMLP i BMLP jest rzędu  $O(n)$ , natomiast LMST  $O(n^2)$  należy uznać, że w przypadku analiz wykonywanych w czasie rzeczywistym, w szczególności dla dużej grupy podmiotów, wykorzystanie grafów łańcuchowych może znacznie przyspieszyć obliczenia.



Rysunek 2.2: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci BMLP. Linia ciągła odpowiada dofitowanej funkcji Mandelbrota-Zipfa. [H5]



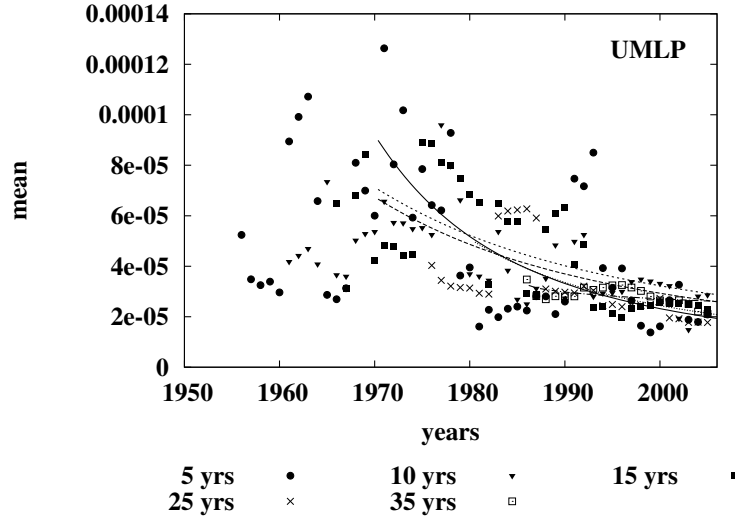
Rysunek 2.3: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci LMST. Linia ciągła odpowiada dofitowanej funkcji Mandelbrota-Zipfa. [H5]

|        | UMLP                                       |                   | LMST                                       |                   |
|--------|--------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|-------------------|
|        | $\alpha$                                   | $\beta$           | $\alpha$                                   | $\beta$           |
| 5 lat  | $2.16 \cdot 10^{-4} \pm 6.8 \cdot 10^{-5}$ | $1.59 \pm 0.14$   | $1.98 \cdot 10^{-4} \pm 4.7 \cdot 10^{-5}$ | $1.63 \pm 0.10$   |
| 10 lat | $9.1 \cdot 10^{-5} \pm 1.1 \cdot 10^{-5}$  | $1.234 \pm 0.077$ | $8.90 \cdot 10^{-5} \pm 8.7 \cdot 10^{-6}$ | $1.353 \pm 0.058$ |
| 15 lat | $8.03 \cdot 10^{-5} \pm 9.1 \cdot 10^{-6}$ | $1.15 \pm 0.09$   | $5.77 \cdot 10^{-5} \pm 1.8 \cdot 10^{-6}$ | $1.148 \pm 0.026$ |
| 25 lat | $6.1 \cdot 10^{-5} \pm 8.4 \cdot 10^{-6}$  | $1.12 \pm 0.12$   | $4.07 \cdot 10^{-5} \pm 2.0 \cdot 10^{-6}$ | $0.885 \pm 0.056$ |
| 35 lat | $3.31 \cdot 10^{-5} \pm 1.4 \cdot 10^{-6}$ | $0.55 \pm 0.12$   | $3.37 \cdot 10^{-5} \pm 1.6 \cdot 10^{-6}$ | $0.53 \pm 0.14$   |

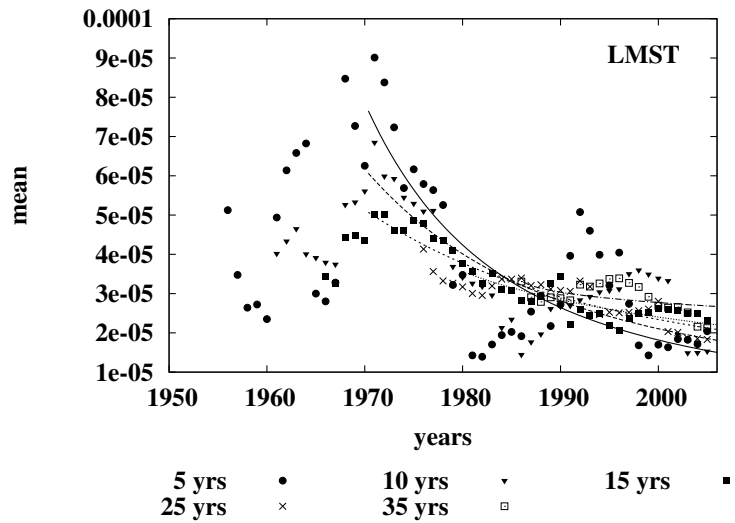
Tablica 2.2: Parametry modelu Mandelbrota-Zipfa, rów. (2.7), dopasowane do ewolucji średniej odległości pomiędzy węzłami grafów UMLP i LMST dla różnych długości okna czasowego. Dla okien czasowych 5-15 lat model jest dopasowywane dla okresu 1970-2005, natomiast dla okien 25 i 35 lat w okresie 1980-2005. [H4]

Model Mandelbrota-Zipfa (rów. (2.7)) zastosowano także do analizy korelacji pomiędzy przyrostami rocznego PKB dwudziestu jeden najbardziej rozwiniętych krajów przy zastosowaniu odległości entropowej, w której szereg czasowy przyrostów rocznych PKB był najpierw transformowany przy zastosowaniu indeks Theila, a następnie obliczano moduł różnicy pomiędzy równoczesnymi indeksami Theila analizowanych szeregów (rów. (2.6)). Wyniki korelacji krzyżowych przy zastosowaniu odległości entropowej zostały przedstawione w pracy [H4]. W przypadku zastosowania entropowej miary odległości grafy BMLP i LMST miały identyczną strukturę, tym samym w pracy przedstawiono dyskusję wyników dla grafu LMST. Zestawienie wyników dopasowanej funkcji Mandelbrota-Zipfa przedstawiono w tabeli 2.2. Wykresy ewolucji średniej odległości pomiędzy węzłami grafów wraz z dopasowanymi modelami Mandelbrota-Zipfa zostały przedstawione na rys. 2.4-2.5.

Podobnie jak w przypadku odległości ultrametrycznej najlepsze dopasowanie prawa Mandelbrota-Zipfa otrzymano dla okna czasowego o rozmiarze 15 lat, chociaż w przeciwieństwie do powyżej analizowanego problemu dopasowane funkcje mają zdecydowanie malejący przebieg o współczynniku  $\beta \geq 1$  (poza oknem 35 letnim). Wartość współczynnika zaniku  $\beta$  jest nieznacznie większa dla grafu LMST. Dla długich okien czasowych  $> 35$  lat zjawisko globalizacji nie było obserwowane. Przyczyną tej sytuacji może być zarówno fundamentalna własność globalizacji, której dynamika jest najlepiej widoczna w średniej wielkości oknach czasowych, jak i ograniczona długości zbioru danych (analizę przeprowadzano dla PKB w latach 1950-2005). Podsumowując wyniki zawarte w pracach [H4, H5] należy stwierdzić, że miarą lepiej odzwierciedlającą proces globalizacji jest miara entropowa (rów. (2.6)). Niezwykle interesującym pytaniem jest problem fundamentalnych przyczyn tego stanu. Można postawić hipotezę, że proces globalizacji jest wynikiem zacieśniania współpracy, przyjmowania wzajemnie wiążących uzgodnień, czy



Rysunek 2.4: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci UMLP przy zastosowaniu odległości entropowej. Linie odpowiadają dopasowanym funkcjom Mandelbrota-Zipfa: ciągła – 5 lat, kreskowana – 10 lat, krótkie kreski – 15 lat, kropkowana – 25 lat, kreska-kropka – 35 lat. [H4]



Rysunek 2.5: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci LMST przy zastosowaniu odległości entropowej. Linie odpowiadają dopasowanym funkcjom Mandelbrota-Zipfa: ciągła – 5 lat, kreskowana – 10 lat, krótkie kreski – 15 lat, kropkowana – 25 lat, kreska-kropka – 35 lat. [H4]

też rozwiązań prawnych i ekonomicznych. Należy oczekiwać, że racjonalne działania mają swoje odzwierciedlenie w poziomie uporządkowania szeregów opisujących dany układ, tym samym miara entropowa jest bardziej wrażliwa na procesy globalizacyjne.

## 2.2.4 Indeks q-Theil

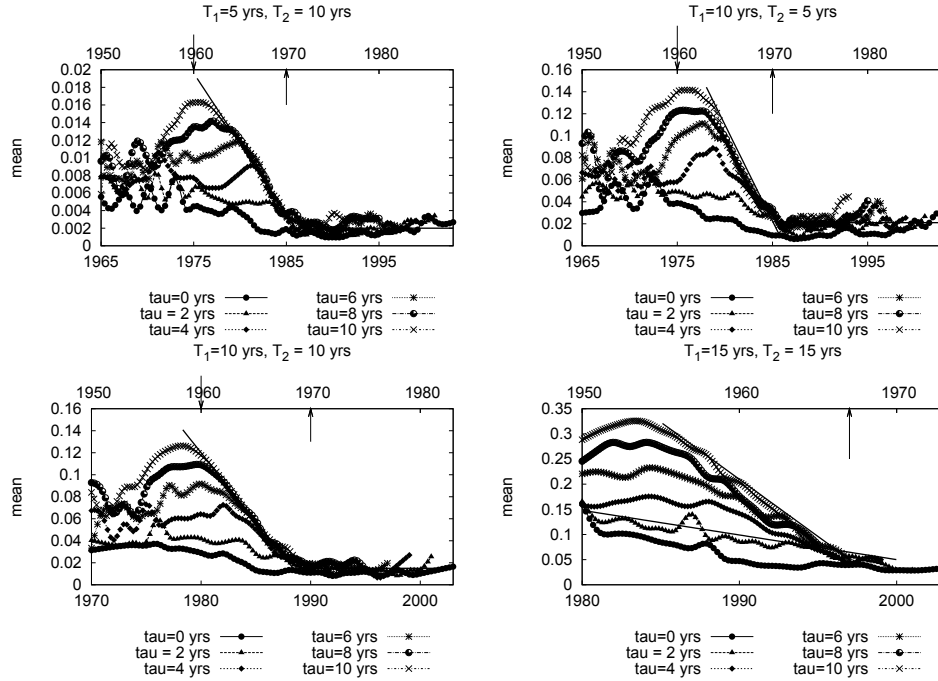
Bazując na dotychczasowych wynikach oraz pracach z zastosowania nieekstensywnych statystyk [6, 7] w pracy [H6] zaproponowane zostało uogólnienie indeksu Theila do postaci nieekstensywnej: indeksu q-Theila:

$$Th_q^A(t, T_1) = \frac{1 - \sum_{i=t}^{t+T_1} ((A_i / \langle A_i \rangle_{(t, T_1)})^q)}{q - 1}. \quad (2.8)$$

W definicji indeksu q-Theila została zawarta możliwość określenia fragmentu poddanego transformacji ( $T_1$ ) tym samym przetransformowania badanego szeregu przy zadanym oknie czasowym. W tej sytuacji modyfikacji wymagał sposób obliczania odległości pomiędzy szeregami czasowymi, gdyż analiza ewolucji korelacji krzyżowych wymaga wprowadzenia dwóch okien czasowych  $T_1$  i  $T_2$ :

$$d_{Th_q}(A, B)_{(t, T_1, T_2, \tau)} = |\langle Th_q^A(t, T_1) - Th_q^B(t + \tau, T_1) \rangle_{(t, T_2)}|. \quad (2.9)$$

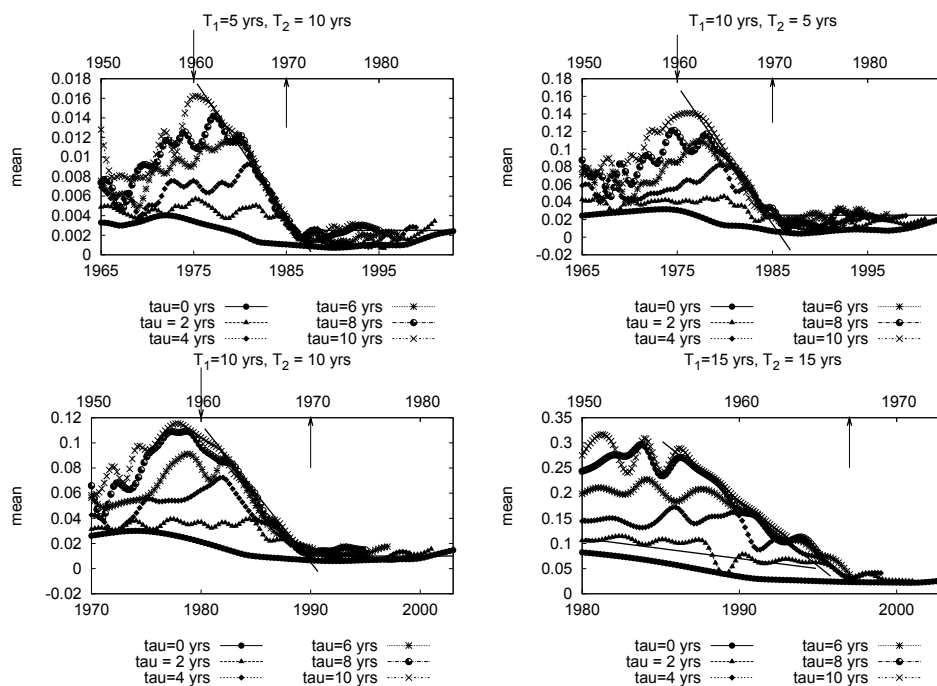
Zatem określenie zachowania korelacji krzyżowych w czasie przy pomocy rów. (2.9) wymaga najpierw przetransformowania szeregu czasowego do szeregu czasowego entropii, a następnie obliczenia odległości pomiędzy szeregami czasowymi. Okno  $T_1$  definiuje sposób transformacji szeregu czasowego do szeregu entropii a drugie  $T_2$  pozwala określić odległość pomiędzy szeregami w ramach wybranego przedziału czasu. Stosowanie dwóch okien czasowych stwarza możliwość występowania efektów „rezonansowych”, dla których odpowiedni dobór wielkości okien może uwypuklić badaną własność, względnie ją zamaskować. W tym celu, na przypadek dwuwymiarowy uogólniono przedstawioną w pracy [H1] metodę tj. analizę macierzy odległości przy wykorzystaniu grafów UMLP, BMLP i LMST oraz badanie ewolucji statystycznych charakterystyk połączeń węzłów grafów dla wybranych okien czasowych ( $T_1, T_2$ ). Ponadto w tej pracy rozważono nie tylko jednozasowe korelacje krzyżowe ale także korelacje z przesunięciem czasowym  $\tau$ . W pracy [H6] analizę korelacji krzyżowych opartej na indeksie q-Theila zastosowano do rocznych PKB najbogatszych krajów OECD: Austrii, Belgii, Kanady, Danii, Finlandii, Francji, Grecji, Irlandii, Włoch, Japonii, Holandii, Norwegii, Portugalii, Hiszpanii, Szwecji, Szwajcarii, Turcji, Wielkiej Brytanii, USA i Niemiec. Istotnym parametrem indeksu q-Theila (rów. (2.9))



Rysunek 2.6: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci UMLP utworzonych na podstawie macierzy odległości dla  $Th_q$  pomiędzy szeregami czasowymi rocznych PKB wybranych krajów dla następujących okien czasowych:  $(T_1, T_2) \in [(5, 10), (10, 5), (10, 10), (15, 15)]$  lat przy uwzględnieniu różnych wartości opóźnień  $\tau$ . [H6]

jest parametr  $q$ . Należy go wyznaczyć na podstawie dodatkowych rozważań. Do obliczeń przyjęto wartość 1.8315 otrzymaną z estymacji entropii Tsallisa metodą największej wiarygodności. W celu wybrania rozmiarów okien czasowych  $T_1$  i  $T_2$  oraz przesunięcia  $\tau$  obliczono średnią odległość pomiędzy węzłami grafów utworzonymi dla wszystkich możliwych kombinacji rozmiarów okien  $T_1$  i  $T_2$  przy przesunięciach czasowych wynoszących  $\tau = [0, 10]$  lat. Do szczegółowej analizy wybrano następujące rozmiary okien czasowych:  $(T_1 = 5 \text{ lat}, T_2 = 10 \text{ lat})$ ,  $(T_1 = 10 \text{ lat}, T_2 = 5 \text{ lat})$ ,  $(T_1 = 10 \text{ lat}, T_2 = 10 \text{ lat})$ ,  $(T_1 = 15 \text{ lat}, T_2 = 15 \text{ lat})$  oraz wartości opóźnień  $\tau = 0, 5, 10$  lat. Można stwierdzić, że wybrane rozmiary okien czasowych odpowiadają krótkiemu, średniemu i długiemu horyzontowi czasowemu. Na rys. 2.6-2.8 przedstawiono wyniki analiz.

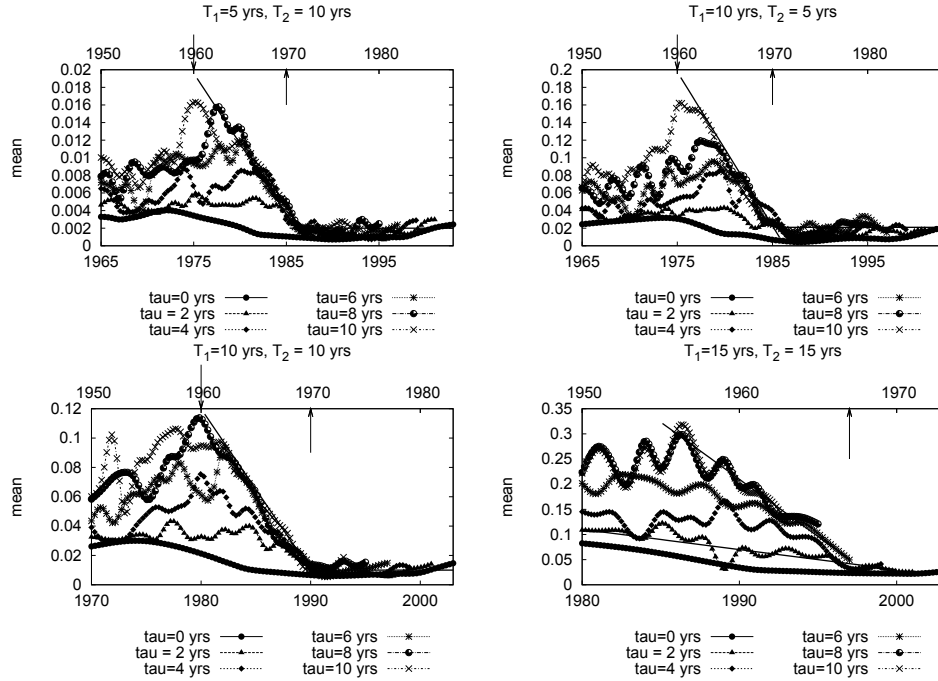
Z punktu widzenia procesu globalizacji interesujące są następujące obszary: wzrostu odległości pomiędzy krajami, zmniejszania się odległości między węzłami oraz okresy o stabilnych odległościach pomiędzy węzłami. Szczególnie interesujące fragmenty ewolucji zostały zaznaczone liniami prostymi



Rysunek 2.7: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci BMLP utworzonych na podstawie macierzy odległości dla  $Th_q$  pomiędzy szeregami czasowymi rocznych PKB wybranych krajów dla następujących okien czasowych:  $(T_1, T_2) \in [(5, 10), (10, 5), (10, 10), (15, 15)]$  lat przy uwzględnieniu różnych wartości opóźnień  $\tau$ . [H6]

dla lepszego uwidocznienia obserwowanych procesów oraz strzałkami wskazującymi początek i koniec intensywnego okresu globalizacji. Obserwowany proces zmniejszania się średniej odległości pomiędzy rozpatrywanym krajami w niewielkim stopniu zależy od rodzaju grafu natomiast daje się zauważyć silny wpływ opóźnienia czasowego na postać ewolucji wielkości średniej odległości pomiędzy węzłami.

Analizując wykresy przedstawione na rys. 2.6-2.8 można dostrzec, że (z dokładnością do lokalnych fluktuacji) w latach 1960 – 1970 (daty te odpowiadają początkowym punktom okien czasowych) wraz ze wzrostem opóźnienia pomiędzy szeregami rośnie też średnia odległość pomiędzy węzłami sieci. Co więcej na końcu rozpatrywanego okresu odległość ta zbiega do tych samych wartości dla wszystkich okien czasowych. Obserwację tą można powiązać z faktem, że wdrażanie odpowiednich rozwiązań i regulacji nie następowało jednocześnie we wszystkich analizowanych krajach, natomiast zakończenie całego procesu doprowadziło do stabilizacji odległości pomiędzy krajami. W efekcie od lat '90 XX wieku mamy duże podobieństwo entropii szeregów cza-



Rysunek 2.8: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci LMST utworzonych na podstawie macierzy odległości dla  $Th_q$  pomiędzy szeregami czasowymi rocznych PKB wybranych krajów dla następujących okien czasowych:  $(T_1, T_2) \in [(5, 10), (10, 5), (10, 10), (15, 15)]$  lat przy uwzględnieniu różnych wartości opóźnień  $\tau$ . [H6]

sowych rocznych PKB wysoko rozwiniętych krajów.

## 2.2.5 Granice globalizacji

Prowadząc badania nad korelacjami krzyżowymi oraz dokonując porównania wprowadzanych miar na rzeczywistych szeregach czasowych zaobserwowałem, że miary powiązane z entropią pozwalają odtworzyć ewolucję globalizacji dla wybranej grupy krajów. Biorąc pod uwagę, że jedną z fundamentalnych własności entropii jest jej dolne ograniczenie pojawiła się idea aby wykorzystać tę własność do zbadania granic globalizacji. Wyniki dotyczące granic globalizacji referowałem na międzynarodowej konferencji THICK&APFA7 w Tokyo w 2009, następnie po ich rozszerzeniu i opracowaniu zostały opublikowane w pracy [H9]. Analizie zostały poddane korelacje krzyżowe w obrębie 20 najbardziej rozwiniętych krajów: Austria, Belgia, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Irlandia, Włochy, Luksemburg, Holandia, Norwegia, Portugalia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Wielka Brytania, Japonia,



Kanada, USA. Rozpatrzono cztery parametry makroekonomiczne opisujące stan gospodarki tych państw: PKB, PKB na osobę, liczba przepracowanych godzin i zatrudnienie na osobę. Wybór szeregów czasowych był podyktowany specyfiką opisywanych danych. O ile PKB i PKB na osobę charakteryzują poziom aktywności ekonomicznej w stosunku do którego prowadzone są działania zmierzające do jak największej integracji, to w przypadku rynku pracy charakteryzowanego przez ilość przepracowanych godzin i poziom zatrudnienia, obserwuje się dążenie do izolacji lokalnego rynku. W szczególności dotyczy to krajów wysoko rozwiniętych, chroniących swój rynek pracy.

W publikacji [H9] wprowadzono dalsze modyfikacje w stosowanych miarach korelacji krzyżowych. W szczególności rozwinięto modyfikacje wprowadzoną w pracy [H6], w której odległość Manhattan zastosowana do określenia odległości pomiędzy szeregami przetransformowanymi indeksem q-Theila została unormowana do wartości średniej (rów. (2.9)). Zaletą takiego normowania jest możliwość porównywania odległości pomiędzy szeregami dla różnej długości okna czasowego. Dlatego w pracy [H9] jako punkt wyjścia do konstrukcji odległości wykorzystano unormowaną do wartości średniej odległość Manhattan (rów. (2.10)).

$$d_l(A, B)_{(t,T)} = |\langle A(i) - B(i) \rangle_{(t,T)}| \quad (2.10)$$

Wykorzystując zarówno unormowaną odległość Manhattan (rów. (2.10)) jak i odległość ultrametryczną (rów. (2.2)) zdefiniowano i przebadano następujące odległości: zdefiniowaną uprzednio odległość ultrametryczną (rów. (2.2)), normowaną do wartości średniej odległość Manhattan (rów. (2.10)) oraz dwie odległości entropowe skonstruowane przy wykorzystaniu odległości ultrametrycznej – entropową odległość korelacyjną (rów. (2.11)) oraz opartą na entropii normowaną do wartości średniej odległość Manhattan (rów. (2.12)).

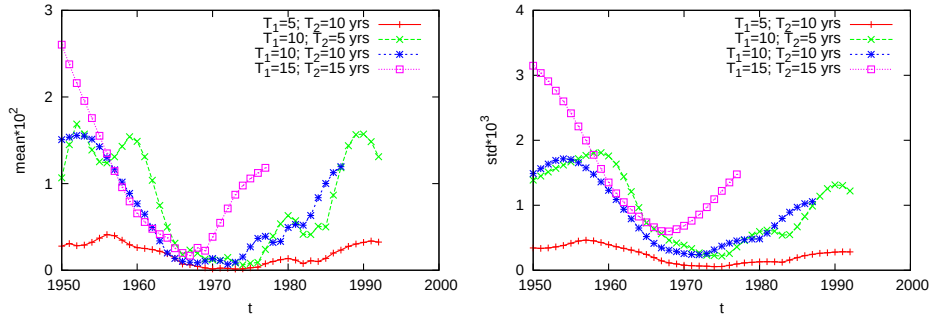
Entropowa odległość korelacyjna:

$$d_{se}(A, B)_{(t,T_1,T_2)} = \sqrt{\frac{1}{2}(1 - C_{(t,T_2)}(Th_A(t, T_1), Th_B(t, T_1)))}. \quad (2.11)$$

Oparta na entropii unormowana do wartości średniej odległość Manhattan (w skrócie unormowana odległość Manhattan):

$$d_{le}(A, B)_{(t,T_1,T_2)} = |\langle Th_A(t, T_1) - Th_B(t, T_1) \rangle_{(t,T_2)}|. \quad (2.12)$$

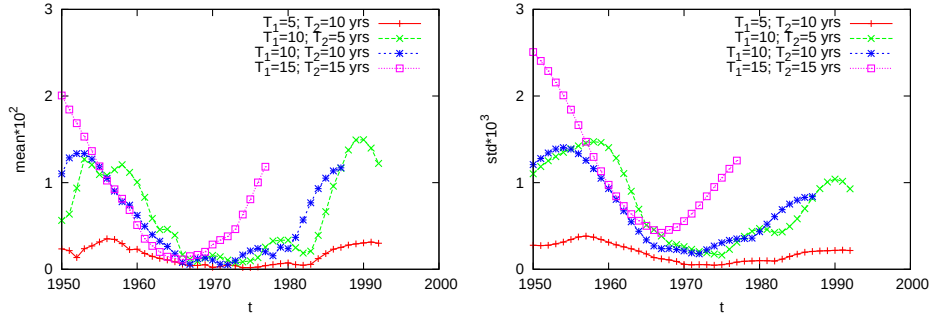
Podczas analizy wyników przyjęto, że średnia odległość pomiędzy węzłami grafu jest parametrem charakteryzującym stopień globalizacji w obrębie wybranego zbioru. W pracy [H9] zrezygnowano z arbitralnego wprowadzania węzła „odniesienia”, tym samym wykorzystano grafy BMLP i LMST.



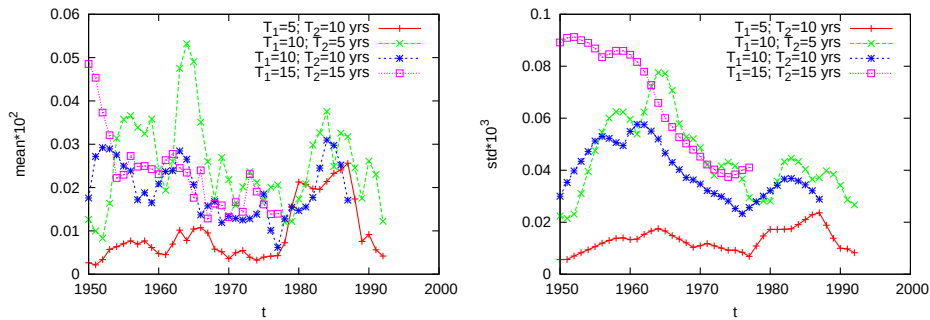
Rysunek 2.9: (lewy) Średnia odległość, (prawy) odchylenie standardowe pomiędzy odległościami węzłów sieci LMST w funkcji czasu. Graf LMST został zbudowany na podstawie opartej na entropii unormowanej odległości Manhattan pomiędzy szeregami rocznych PKB wybranych krajów. [H9]

W szczególności zbadano ewolucję w czasie średniej odległości pomiędzy węzłami sieci. Przedziały dla których obserwowano wzrost, bądź zmniejszanie średniej odległości był interpretowany jako okres globalizacji lub deglobalizacji.

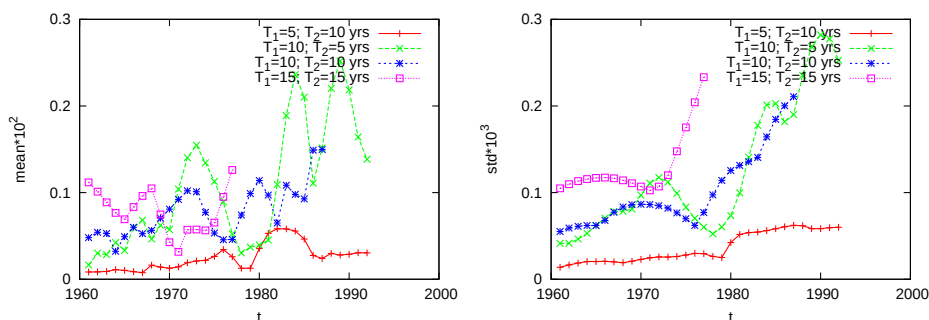
Głównym wnioskiem przedstawionym w pracy [H9] było stwierdzenie, że najważniejszym narzędziem od analizy procesu globalizacji jest oparta na entropii unormowana odległość Manhattan. Wykresy kluczowe dla powyższych wniosków zostały zaprezentowane na rys. 2.9-2.12, na których została przedstawiona ewolucja w czasie średniej odległości między węzłami oraz odchylenie standardowe odległości pomiędzy węzłami dla wybranych okien czasowych oraz różnych szeregów czasowych. W konstrukcji wykorzystano graf LMST. Dla szeregów czasowych rocznego PKB oraz rocznego PKB na osobę można wyróżnić trzy fazy procesu globalizacji (rys. 2.9-2.10). W latach 1950 – 1967 następowało monotoniczne zmniejszanie średniej odległości między węzłami sieci, podobnie zachowuje się odchylenie standardowe. Oznacza to nie tylko zmniejszenie odległości pomiędzy szeregami czasowymi ale także bardziej równomierne rozłożenie węzłów na sieci. Następnie w latach 1967 – 1980 obserwowano znaczącą stabilizację układu, by w następnym okresie tj. po roku 1980 stwierdzić zarówno wzrost średniej odległości jak i odchylenia standardowego pomiędzy węzłami sieci LMST. Wymienione okresy (przed rokiem 1980) odpowiadają „zimnej wojnie”, podczas której wewnątrz istniejących sojuszy następowała integracja wymuszona obecnością wrogo nastawionego obozu. Na początku lat '70, w momencie zbudowania odpowiednich struktur i utworzenia stabilnych ram współpracy następowało upodobnienie informacyjnej złożoności szeregów. Ostatni etap (po roku '80) można wyjaśnić upadkiem systemów totalitarnych i wynikającymi z tego no-



Rysunek 2.10: (lewy) Średnia odległość, (prawy) odchylenie standardowe pomiędzy odległościami węzłów sieci LMST w funkcji czasu. Graf LMST został zbudowany na podstawie opartej na entropii unormowanej odległości Manhattan pomiędzy szeregami rocznych PKB na osobę wybranych krajów. [H9]



Rysunek 2.11: (lewy) Średnia odległość, (prawy) odchylenie standardowe pomiędzy odległościami węzłów sieci LMST w funkcji czasu. Graf LMST został zbudowany na podstawie opartej na entropii unormowanej odległości Manhattan pomiędzy szeregami rocznych przepracowanych godzin w wybranych krajach. [H9]



Rysunek 2.12: (lewy) Średnia odległość, (prawy) odchylenie standardowe pomiędzy odległościami węzłów sieci LMST w funkcji czasu. Graf LMST został zbudowany na podstawie opartej na entropii unormowanej odległości Manhattan pomiędzy szeregami poziomu zatrudnienia na osobę w wybranych krajach. [H9]

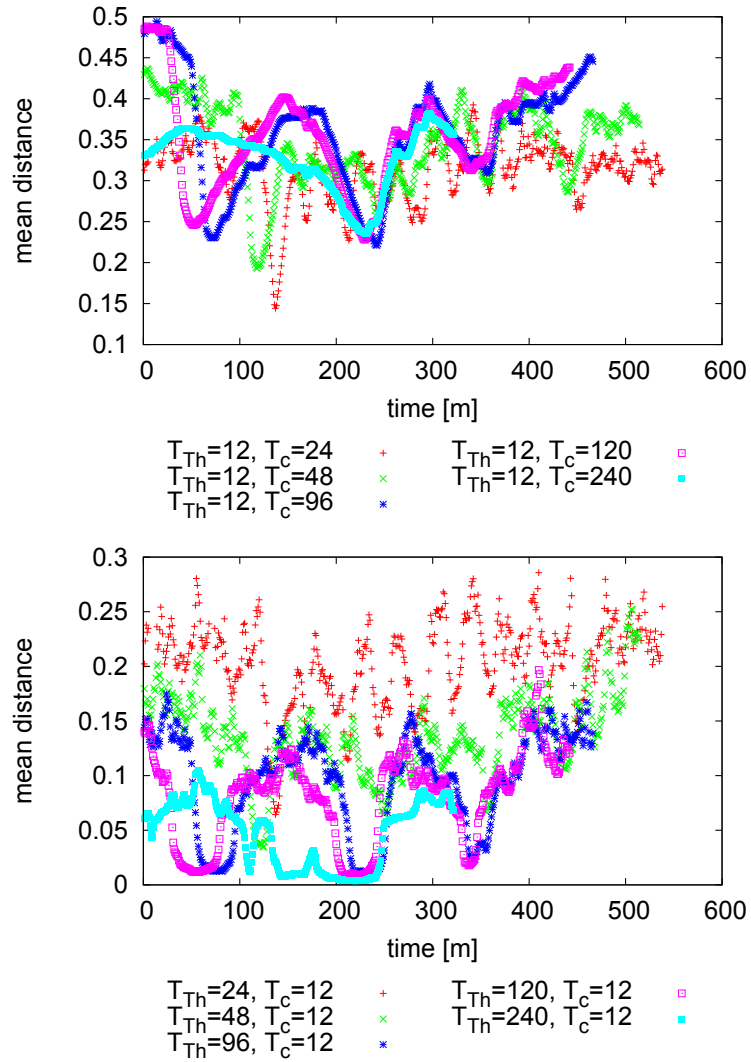
wymi możliwościami, które były w różny sposób wykorzystywane. Prowadziło to do zmian w tempie rozwoju poszczególnych krajów. Bardzo ważną własnością zaproponowanej miary jest jej specyficzność, która została zweryfikowana na danych opisujących rynek pracy, tj. liczbie przepracowanych godzin oraz zatrudnieniu na osobę (rys. 2.11-2.12). W tym przypadku, w żadnym z przebadanych okien czasowych nie można wyróżnić jednoznacznie okresów globalizacji czy też deglobalizacji. Obserwacje te prowadziły do wniosku, że kluczowym parametrem szczególnie wrażliwym na zmiany we wzajemnych oddziaływaniach tych układów jest entropia odzwierciedlająca systemowe zmiany w obserwowanym układzie.

Bazując na wynikach przedstawionych w artykule [H9], w którym stwierdzono, że entropia pozwala poprawnie rozpoznawać etapy globalizacji, zastosowano opracowaną metodologię do analizy zachowania indeksu cen dla krajów Unii Europejskiej, posługujących się wspólną walutą. Wyniki te przedstawiłem w formie referatu na konferencji Thick & APFA7, 2009 w Tokyo, a następnie po poszerzeniu zakresu badań opublikowałem w artykule [H8]. W pracy tej wykorzystano dwie odległości – opartą na entropii unormowaną odległość Manhattan (rów. (2.12)) oraz entropową odległość korelacyjną (rów. (2.11)). Analizie poddano indeks cen (*ang. consumer price index* – *CPI*) następujących krajów: Austria, Belgia, Kanada, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Irlandia, Włochy, Japonia, Luksemburg, Holandia, Norwegia, Portugalia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Wielka Brytania, Stany Zjednoczone w przedziale czasowym kwiecień 1960 – styczeń 2008. Celem analizy było określenie ewolucji wzajemnych powiązań w obrębie wybranej grupy. W tym celu transformowano szeregi czasowe CPI przy pomocy

indeksu Theila (rów. (2.5)) w oknie czasowym  $T_1$  a następnie obliczano odległość pomiędzy szeregami przy pomocy unormowanej odległości Manhattan (rów. (2.12)) oraz odległości ultrametrycznej (rów. (2.11)). Na podstawie otrzymanych macierzy odległości generowano grafy BMLP oraz LMST i badano własności statystyczne odległości pomiędzy węzłami grafów (średnią, odchylenie standardowe, skośność i kurtozę). Dodatkowo przeanalizowano zastosowanie różnych rozmiarów okien czasowych dążąc do ich optymalizacji. Na tej podstawie do końcowej analizy zostały wybrane dwie grupy okien czasowych: z ustalonym oknem dla indeksu Theila (12 miesięcy) i zestawem okien dla wybranej odległości (24, 48, 96, 120, 240 miesięcy) oraz z ustalonym oknem odległości (12 miesięcy) i wybranymi oknami indeksu Theila (24, 48, 96, 120, 240 miesięcy). Wyniki te były porównywane z odległością ultrametryczną badanych szeregów. Zauważono, że procesy globalizacyjne są najlepiej uwidaczniane przy doborze krótkiego okna indeksu Theila i długiego okna korelacyjnego  $\geq 96$  miesięcy – zarówno dla unormowanej odległości Manhattan, jak i odległości ultrametrycznej. Wykresy przedstawiające ewolucję czasową średniej odległości pomiędzy węzłami dla CPI wybranych krajów przy zastosowaniu grafu LMST zostały przedstawione na rys. 2.13.

W przypadku ustalonej wartości okna indeksu Theila ( $T_1 = 12$  miesięcy) wyniki otrzymywane dla  $T_2 \geq 96$  miesięcy pozwalają na wyróżnienie okresów globalizacji i deglobalizacji. Biorąc pod uwagę najdłuższy z rozpatrywanych okien czasowych tj.  $T_2 = 240$  miesięcy można wskazać po dwa okresy globalizacji i deglobalizacji. Pierwszy okres globalizacji (zmniejszania się średniej odległości między węzłami sieci) był obserwowany od 1960r. do 1980r. Dokładnie rzecz ujmując, ostatnie okno w którym obserwowano zmniejszanie się sieci przypada na lata (czerwiec 1979r., czerwiec 2000r.). Okres ten odpowiada procesowi wzmacniania integracji wewnątrz Unii Europejskiej, zakończony wprowadzeniem wspólnej waluty, po którym następuje deglobalizacja kończąca się w oknie (1985r., 2006r.). Ostatni okres globalizacji można wiązać z procesami integracyjnymi spowodowanymi przyłączeniem nowych członków. Należy zauważyć, że proces jest widoczny dla okna odpowiadającego w przybliżeniu ośmiu latom, czyli podwojonej kadencji parlamentarnej. Wyniki te były zestawione z analogiczną analizą szeregów CPI przy zastosowaniu odległości ultrametrycznej (rów. (2.2)), która nie pozwoliła na wskazanie zależności pomiędzy zdarzeniami politycznymi a ewolucją średniej odległości pomiędzy węzłami badanych grafów. Natomiast, szczególnie interesującym wynikiem było stwierdzenie, że miara oparta na entropii szeregu pozwala na korelowanie zachowania szeregów makroekonomicznych z wydarzeniami politycznymi.

Badania nad wykorzystaniem teorii informacji w analizie procesów globalizacji a w szczególności miar pozwalających ocenić entropię szeregu były

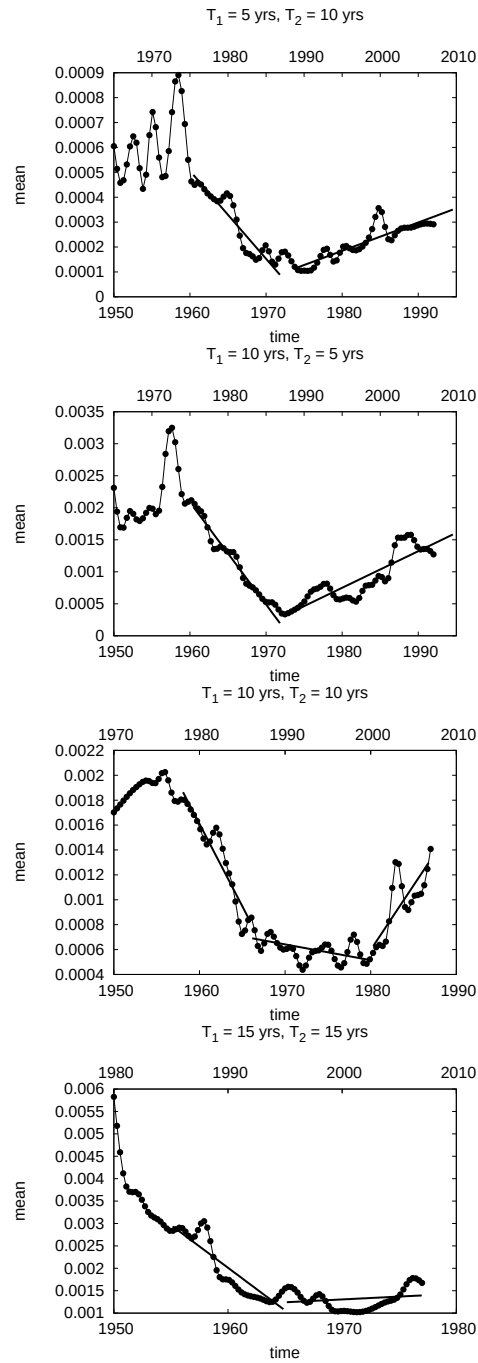


Rysunek 2.13: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci LMST dla krótkiego okna indeksu Theila (górny wykres)  $T_1 = 12m$  i krótkiego okna odległości (dolny wykres)  $T_2 = 12m$ . Macierze odległości były obliczone na podstawie szeregów CPI wybranych krajów. [H8]

kontynuowane w pracy [H7]. Na podstawie przeprowadzonych dotychczas analiz dotyczących doboru miar badających proces globalizacji do opracowania postawionego zagadnienia wybrano opartą na entropii unormowaną odległość Manhattan (rów. (2.12)). W tym przypadku analizowano wzajemne relacje pomiędzy szeregami PKB dwudziestu najbardziej rozwiniętych krajów tj. Austrii, Belgii, Kanady, Danii, Finlandii, Francji, Grecji, Irlandii, Włoch, Japonii, Holandii, Norwegii, Portugalii, Hiszpanii, Szwecji, Szwajcarii, Turcji, Wielkiej Brytanii, Stanów Zjednoczonych i Niemiec. Dodatkowo wykorzystano koncepcję kraju referencyjnego wprowadzoną w pracy [H3] i utworzono na potrzeby prowadzonej analizy kraj „All”, którego PKB było sumą PKB wszystkich rozważanych krajów. W pracy tej zastosowano następujący algorytm:

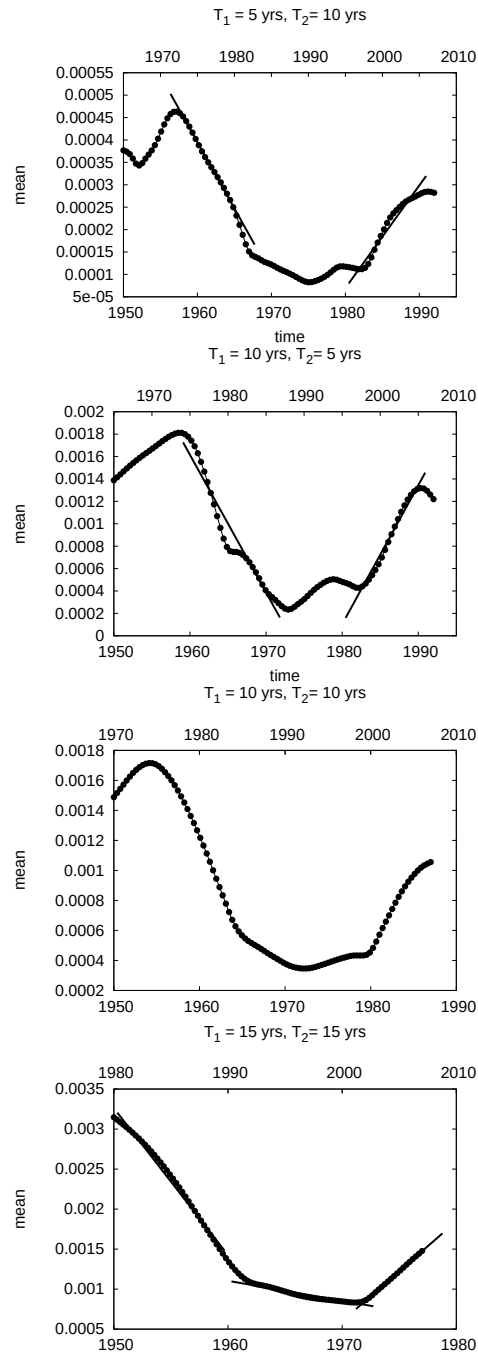
1. Szeregi PKB były transformowane przy zastosowaniu indeksu Theila (rów. (2.5)) w przesuwającym się oknie czasowym o długości  $T_1$ . W każdym kroku okno było przesuwane o jeden punkt szeregu.
2. Następnie zostały obliczone macierze odległości przy wykorzystaniu opartej na entropii unormowanej odległości Manhattan (rów. (2.12)) w przesuwającym się oknie czasowym o długości  $T_2$ . W każdym kolejnym kroku obliczeń okno było przesuwane o jeden punkt szeregu.
3. W trzecim kroku dla każdej uzyskanej macierzy odległości generowane były grafy UMLP i LMST.
4. W końcowym etapie analizy badano następujące parametry statystyczne: średnią odległość pomiędzy węzłami dla danego okna czasowego oraz średnią odległość i odchylenie standardowe odległości pomiędzy węzłami dla wszystkich grafów wygenerowanych przy danych rozmiarach okien czasowych.

W pracy [H7] przeprowadzono dyskusję zarówno wpływów rozmiaru okna na własności generowanych sieci jak i własności ewolucji średniej odległości pomiędzy węzłami dla wybranych rozmiarów okien. Stwierdzono, że największe średnie i odchylenia standardowe odległości są obserwowane dla dużych wartości  $T_1$  i małych  $T_2$  a najmniejsze występują przy odwrotnej kombinacji rozmiarów okien tj. małych wartości  $T_1$  i dużych  $T_2$ . Należy jednak zauważyć, że zarówno wartości największe jak i najmniejsze dla średniej odległości i odchylenia standardowego nie pokrywały się. Szczegółową analizę ewolucji średniej odległości pomiędzy węzłami sieci przeprowadzono dla następujących kombinacji okien czasowych  $(T_1, T_2)$ : (5, 10) lat, (10, 5) lat, (10, 10)



Rysunek 2.14: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci UMLP dla opartej na entropii unormowanej odległości Manhattan pomiędzy szeregami PKB wybranych krajów. Wielkości okien czasowych są przedstawione nad wykresami. Ciągłe linie na wykresach ilustrują kluczowe trendy. [H7]





Rysunek 2.15: Ewolucja średniej odległości pomiędzy węzłami sieci LMST dla opartej na entropii unormowanej odległości Manhattan pomiędzy szeregi PKB wybranych krajów. Wielkości okien czasowych są przedstawione nad wykresami. Ciągłe linie na wykresach ilustrują kluczowe trendy. [H7]

lat, (15, 15) lat. Otrzymane przebiegi zostały przedstawione na rys. 2.14-2.15. Wykresy zostały dodatkowo uzupełnione o linie ilustrujące kluczowe trendy.

Należy stwierdzić, że zaproponowana metoda badania globalizacji w oparciu o miarę entropii szeregów czasowych daje wyniki wyraźne i jednoznaczne w interpretacji. Zastosowanie techniki przesuwającego się okna czasowego pozwala prześledzić ewolucję procesu globalizacji, w szczególności zaobserwować efekty ostatnich przemian politycznych, które stwarzając nowe możliwości rozwoju różnicowały własności szeregów PKB rozważanych krajów. Można stwierdzić, że praca [H7] stanowiła podsumowanie badań nad wykorzystaniem entropii do badania procesu globalizacji w ramach analizy korelacji krzyżowych szeregów czasowych.

Wyniki prowadzonych przeze mnie badań zostały dostrzeżone nie tylko w środowisku ekonofizyki ale także ekonometrii. W konsekwencji zaproponowano mi opracowanie opisu nowoczesnych metod analizy korelacji krzyżowych rozwijanych przez ekonofizyków. W monografii poświęconej nowoczesnym narzędziom stosowanym w finansach i ubezpieczeniach [H10] został przedstawiony systematyczny opis analizy korelacji krzyżowych przy pomocy macierzy odległości szeregów czasowych poszerzony o analizę własności sieci konstruowanych na podstawie macierzy korelacji. Przedyskutowano własności stosowanych w literaturze oraz badanych w opisywanych powyżej pracach odległości szeregów czasowych tj. odległość Manhattan (rów. (2.1) dla  $q = 1$ ), ultrametryczną (rów. (2.2)) (dla których przeprowadzono pogłębioną analizę własności) oraz opartą na entropii unormowaną odległość Manhattan (rów. (2.12)). Macierze odległości były analizowane przy użyciu następujących grafów UMLP, BMLP oraz minimalnego drzewa rozpinającego (MST). Klasyczne algorytmy konstruujące MST można znaleźć w pracach Kruskala i Prima [8, 9]. Jako przykład ilustrujący własności przedstawianej metody badań przeanalizowałem własności dwóch grup spółek: wartości dwudziestu wybranych spółek notowanych na giełdzie nowojorskiej i uwzględnianych w indeksie S&P 500 oraz osiemnastu spółek notowanych w ramach indeksu WIG20 giełdy warszawskiej. Opis metody zakończono analizą ewolucji wybranych własności sieci w czasie przy zastosowaniu przesuwającego się okna czasowego. W ramach omawianej pozycji udostępniłem także komplet oryginalnych procedur napisanych w Matlabie pozwalających na łatwe zastosowanie opisywanych metod w praktyce.

### 2.2.6 Potęgowy schemat korelacji (PLCS)

Dotychczasowe prace nad zastosowaniem różnych metod badania korelacji krzyżowych układów złożonych skłoniły mnie do przygotowania krytycznej

analizy własności powszechnie stosowanych miar odległości szeregów czasowych [H11]. Porównane zostały tam własności następujących odległości szeregów czasowych: miary ultrametrycznej (rów. (2.2)), odległości Manhattan (rów. (2.12)) i opartej na entropii unormowanej odległości Manhattan (rów. (2.12)) wraz z używanymi sieciowymi metodami analizy macierzy odległości, tj. sieci MST, BMLP i UMLP [H11]. W posumowaniu tej pracy przedstawione zostało zestawienie własności omawianych miar wraz ze wskaźnikami dotyczącymi ich potencjalnego zastosowania.

Analizując własności odległości Manhattan pierwszym istotnym spostrzeżeniem było stwierdzenie, że odległość ta monotonicznie zależy od długości rozpatrywanych szeregów. W przypadku stosowania okien czasowych o różnej długości powodowało to konieczność normalizacji względem długości szeregu. Z drugiej jednak strony pojawiło się pytanie, czy zależność odległości Manhattan od długości badanych szeregów nie niesie w sobie dodatkowej informacji o badanym układzie. Kluczowe znaczenia dla zaproponowania nowej miary korelacji krzyżowych miała obserwacja, że wzrost odległości pomiędzy szeregami związany ze wzrostem długości rozpatrywanych szeregów czasowych odpowiada powiększaniu się pola powierzchni zawartego pomiędzy szeregami czasowymi. Jeżeli przyjąć ogólną definicję korelacji pomiędzy szeregami czasowymi jako istnienie pewnej, deterministycznej zależności pomiędzy nimi tj.  $A = f(B)$ , gdzie  $A$  i  $B$  są szeregami czasowymi, to za przyrost odległości wraz ze wzrostem długości szeregu czasowego będzie odpowiadała funkcja korelacyjna. Stąd pole powierzchni pomiędzy szeregami czasowymi może być wykorzystane do określenia tej zależności. Zauważmy także, że w klasycznej interpretacji całki w sensie Riemanna polem powierzchni pod krzywą odpowiada całce pewnej funkcji. Zatem stosując analogię można zaproponować znalezienie funkcji korelacyjnej jako różniczkę funkcji odległość pomiędzy szeregami względem długości szeregów. Metoda ta w swoim zamysle pozwala na badanie dowolnych zależności (korelacji) szeregów czasowych, jednakże ze względu skończony charakter rzeczywistych szeregów czasowych, uzasadnionym wydało się wprowadzenie klas korelacji krzyżowych na wzór klas złożoności w opisie algorytmów. Kategoryzację klas korelacji oparto o funkcję potęgowe uzyskując znaczące zróżnicowanie klas oraz zachowując zgodność z intuicyjnym pojęciem siły korelacji, która jest tym większa im większy jest „stopień wzmocnienia” zmian obserwowanych w jednym szeregu w przebiegu drugiego szeregu. W ostatecznej postaci algorytm ten został określony jako schemat potęgowej klasyfikacji korelacji (*ang. Power Law Classification Scheme PLCS*) i przedstawiony w pracy [H13]. Składał się on z następujących elementów:

1. Niech  $A = (a_1, a_2, \dots)$  i  $B = (b_1, b_2, \dots)$  oznaczają badane szeregi.

Obliczamy szereg wartości bezwzględnych różnic ich składowych  
 $C = (|a_1 - b_1|, |a_2 - b_2|, \dots)$ .

2. Następnie tworzymy skumulowany szereg składowych  
 $(MD(A, B)_1, MD(A, B)_2, \dots)$ , gdzie  $MD(A, B)_k = \sum_{i=1}^k |a_i - b_i|$ . Przy obliczaniu elementów szeregu skumulowanego istotnym jest aby dla każdego elementu sumowanie zaczynało się w tym samym miejscu szeregu wyjściowego  $C$ .
3. W kolejnym kroku wykreślamy zależność wartości szeregu skumulowanego od długości szeregu w skali podwójnie logarytmicznej.
4. Do otrzymanego wykresu dopasowujemy prostą, której współczynnik kierunkowy  $a$  odpowiada wykładnikowi wycałkowanej funkcji korelacyjnej.
5. Siłę korelacji wyznaczamy jako  $\alpha = a - 1$ .
6. Dodatkowo możemy określić poziom istotności statystycznej  $\beta$  dofitowanego modelu i w ten sposób zbadać stabilność korelacji w rozpatrywanym przedziale.

Główną zaletą opracowanego schematu korelacji potęgowych jest możliwość zdefiniowania pojęcia siły korelacji (*ang. strength of correlation*). Przyjmijmy, że w pewnych rozpatrywanych układach mogą być wskazane dwie funkcje korelacyjne:  $f_1 : A \rightarrow B$  i  $f_2 : A \rightarrow C$ . Można to potraktować jako pewne układy fizyczne, które przekształcają sygnał  $A$  w  $B$  lub  $C$ . Wtedy korelacja jest „silniejsza”, gdy zaburzenie wprowadzane w sygnale wejściowym ( $A$ ) daje silniejsze zamiany w sygnale wyjściowym, tutaj  $B$  lub  $C$ . Istotnym ograniczeniem PLCS jest niemożność określenia kierunku zależności. Wynika to z własności odległości Manhattan, która jest funkcją komutującą ( $MD(A, B) = MD(B, A)$ ).

Biorąc pod uwagę, że PLCS było algorytmem całkowicie nowym na pierwszym etapie prac porównano wyniki otrzymywane w ramach powszechnie stosowanych metod, w szczególności przy pomocy odległości ultrametrycznej (rów. (2.2)) z PLCS. Jako drugą składową analizy korelacji krzyżowych dla dużych grup tj. analizy macierzy korelacji zastosowano drzewo minimalnego zasięgu (*ang. minimum spanning tree – MST*). W pracy [H13] przeanalizowano korelacje krzyżowe pomiędzy szeregami produktu krajowego brutto na osobę 20 najbardziej rozwiniętych krajów (tj. członków grupy G20): Argentyna, Australia, Brazylia, Kanada, Chiny, Francja, Niemcy, Indie, Indonezja, Włochy, Japonia, Meksyk, Republika Korei, Rosja, Arabia Saudyjska, Republika Południowej Afryki, Unia Europejska, Turcja, Wielka Brytania,

Stany Zjednoczone Ameryki Północnej. Ze względu na ograniczoną długość analizowanych szeregów czasowych zbadano następujące okresy: 5 letni (2006r., 2010r.), 10 letni (2001r., 2010r.) i 15 letni (1996r., 2010r.). W przypadku korelacji zaklasyfikowanych przez PLCS jako zależności liniowe podobne wyniki otrzymywano przy zastosowaniu odległości ultrametrycznej. Przykładowo, dla pary Indie i Indonezja w oknie 5 letnim siła korelacji PLCS wynosiła  $\alpha = 0.95$ , podczas gdy odległość ultrametryczna miała wartość  $UD = 0.144$ . Szczególną zaletą algorytmu PLCS była możliwość rozróżnienia znacznie szerszej klasy korelacji niż w przypadku UD. Jeśli pogrupujemy korelacje na trzy szczególne przypadki:  $\alpha < 0$ ,  $\alpha \simeq 0$  i  $\alpha > 0$ . Pierwszy z przypadków ilustruje para Francji i Niemiec dla 5 letniego okna czasowego  $\alpha = -0.897$ . Wynik ten jest tym bardziej interesujący, że  $UD = 0.065$ , co sugerowało by liniową korelację natomiast wynik PLCS informuje nas o (rzeczywistym) zmniejszaniu się wzajemnej odległości pomiędzy szeregami. Dla drugiego przypadku tzn.  $\alpha \simeq 0$  zależności takie obserwowano dla szeregów czasowy o stałej, dość znaczącej odległości np. Brazylii i Japonii dla 10 letniego okna czasowego. Zerowa lub bliska zeru wartość siły korelacji oznacza stabilną (z dokładnością do fluktuacji) odległość pomiędzy szeregami. Sytuacja taka ma miejsce, gdy fluktuacje są niewielkie w stosunku do odległości między szeregami. Ostatnim ze szczególnych przypadków były pary szeregów czasowych o szczególnie wysokiej sile korelacji. W rozpatrywanej grupie takimi parami były np. Rosja i Republika Południowej Afryki ( $\alpha = 2.73$ ) czy też Argentyna i Arabia Saudyjska ( $\alpha = 2.38$ ). W tych przypadkach szeregi czasowe wykazywały silną ale stabilną rozbieżność – stąd wysoka wartość siły korelacji. Innym niezwykle interesującym wynikiem otrzymanym w analizie PLCS była możliwość zaobserwowania zmian charakteru korelacji poszczególnych par szeregów czasowych. Szczegółowo została omówiona para Argentyna – Brazylia, gdzie wskazano 5 różnych okresów korelacji szeregów PKB na osobę w tych krajach. Oprócz własności siły korelacji w pracy [H13] przedyskutowane zostały wyniki określające stabilność wskazanych korelacji. Pierwszym spostrzeżeniem była obserwacja, że wartość  $\beta$  silnie zależy od długości rozpatrywanego okna czasowego i zwykle dla dłuższych okien czasowych otrzymywano mniejsze wartości  $\beta$  (mniejsza wartość  $\beta$  odpowiadała wyższej zgodności danych z modelem). Ze względu na tę zależność wyniki otrzymywane w oknach o różnych długościach muszą być analizowane odrębnie.

Jak to już było wcześniej dyskutowane, istotną częścią analizy korelacji krzyżowych dla dużych grup podmiotów jest analiza macierzy korelacji. W przypadku pracy [H13] zastosowano klasyczne rozwiązanie, czyli drzewo minimalnego zasięgu (MST). Drzewa te skonstruowano opierając się na macierzy odległości ultrametrycznej, macierzy siły odległości i na koniec macierzy

stabilności korelacji. Dla macierzy siły korelacji rozpatrzono dwie możliwości – zarówno poszukując szeregów o największej, jak i najmniejszej wartości siły korelacji. Po wygenerowaniu sieci przeanalizowano ich struktury. MST oparte na PLCS i UD znacząco się różniły. W przypadku PLCS dominowała struktura „gwiazdy” podczas, gdy dla UD był to „łańcuch”. Co istotniejsze węzły z największą ilością połączeń dla siły korelacji PLCS odpowiadały także krajom o największym znaczeniu w regionie np. Japonia dla krajów dalekowschodnich czy Argentyna dla krajów Ameryki Łacińskiej. Dla sieci opartych na stabilności korelacji PLCS krajami dominującymi były USA, Rosja i Japonia. Wyniki te pozostają w pełnej zgodzie z obserwacjami wzajemnych relacji rozpatrywanych podmiotów.

W kolejnej pracy [H12] rozwijając algorytm analizy korelacji krzyżowych oparty na PLCS przebadano możliwość zastosowania analizy własności sieci na granicy perkolacji (*ang. network on the percolation threshold* – NPT). Sieć ta była tworzona w oparciu o następujący algorytm: połączenia pomiędzy krajami zostały posortowane, a następnie usuwane największe z nich po czym sprawdzano spójność grafu. Procedura była powtarzana do momentu gdy graf tracił spójność. Na końcu badano własności grafu: średnicę, występowanie klik, rząd wierzchołków. Szeregami czasowymi analizowanymi w tej pracy były roczne PKB na osobę w grupie wysoko rozwiniętych krajów tj. Australia, Austria, Belgia, Kanada, Dania, Francja, Niemcy, Wielka Brytania, Grecja, Holandia, Włochy, Irlandia, Japonia, Luksemburg, Polska, Portugalia, Hiszpania, Szwecja, Stany Zjednoczone Ameryki Północnej. Analogicznie jak w pracy [H13] zwrócono uwagę na przypadki istotnie różniące się właściwościami tzn. o ujemnej, bliskiej zeru i dodatniej sile korelacji a także zbadano stabilność korelacji. Analizę przeprowadzono w trzech wybranych interwałach czasowych: (2002r., 2011r.), (1992r., 2011r.), (1982r., 2011r.). Wyniki otrzymywane w ramach PLCS były porównywane z rezultatami zastosowania UD. Głównym spostrzeżeniem ze szczegółowej analizy korelacji krzyżowych w obrębie wybranej grupy krajów była obserwacja, że PLCS daje znacznie wierniejszy opis wzajemnych relacji wewnątrz badanej grupy aniżeli UD. Dotyczyło to zarówno przypadków z ujemną jak i znacząco dodatnią siłą korelacji. Np. w przedziale (2002r., 2011r.) dla pary Dania – Irlandia odległość ultrametryczna wynosiła 0.1, podczas gdy siła korelacji miała wartość  $\alpha = -0.76$ . Z bezpośredniej analizy danych wynikało, że w tym okresie nastąpiło znaczące zbliżenie szeregów PKB na osobę Danii i Irlandii co właśnie zostało rozpoznane w algorytmie PLCS. Wysoką zgodność obu metod obserwowano dla siły korelacji  $\alpha \simeq 0$ , np. dla pary Wielka Brytania – Kanada w okresie (2002r., 2011r.) siła korelacji wynosiła  $\alpha = -0.009$ , podczas gdy  $UD = 0.03$ . W przypadku ujemnej siły korelacji tak i dużych wartości  $\alpha$  obserwowano znaczące różnice w wynikach pomiędzy obiema metodami. Jako

przykład można podać parę Irlandia – Szwecja dla której  $\alpha = 4.8$ , podczas gdy  $UD = 0.07$ . Bezpośrednia analiza badanych szeregów czasowych wskazywała na znaczącą ich rozbieżność, co zostało, adekwatnie do stanu rzeczywistego, opisane jako wysoka wartość  $\alpha$ . Na zakończenie pierwszej części pracy przedyskutowano wyniki stabilności korelacji. Jedną z interesujących obserwacji była bardzo wysoka stabilność korelacji szeregów PKB na osobę pomiędzy USA i Polską. Przykład ten jest istotny, ponieważ ilustruje dość istotną własność algorytmu PLCS. Dla szeregów o znacząco różniących się wartościach fluktuacje mogą być nieistotnym wkładem do skumulowanej odległości Manhattan. W takiej sytuacji znaleziona korelacja wykazuje wysoką stabilność. Ma to także istotne znaczenie z punktu widzenia potencjalnego zastosowania prognostycznego – w przypadku podmiotów o znacząco różnych własnościach są niewielkie szanse aby obserwowane tendencje uległy istotnym zmianom. W drugiej części pracy [H12] na podstawie obliczonych macierzy korelacji krzyżowych skonstruowano sieci na granicy perkolacji i zbadano ich własności. Przy konstrukcji grafów NPT wykorzystano następujące sortowania: (i) od największej do najmniejszej siły korelacji, wówczas w sieci pozostawały pary o możliwie zbieżnych szeregach (*ang. convergent preferential network* NPT-CP), (ii) od najmniejszej do największej siły korelacji, w takim przypadku w sieci pozostawały pary o możliwie dużej wartości siły korelacji (*ang. strength preferential network* NPT-SP) oraz (iii) od największej do najmniejszej wartości parametru stabilności połączenia – w sieci pozostawały najstabilniejsze korelacje (*ang. stability preferential network* NPT-S). W zależności od przyjętego sposobu sortowania uwypuklane były odmienne własności korelacji pomiędzy elementami układu. Np. dla okna czasowego (2002r., 2011r.) w sieci NPT-CP węzłem o największej liczbie połączeń był Luksemburg, co odzwierciedlało jego reprezentatywność szczególnie w stosunku do krajów europejskich. W tym przedziale zaobserwowano także trzy kliki: Luksemburg – Niemcy – Austria, Luksemburg – Belgia – Holandia oraz Luksemburg – Holandia – Francja. Kliki te odzwierciedlają silne więzi ekonomiczno - kulturowe a nawet językowe istniejące między wyżej wymienionymi krajami. W przypadku drugiego typu sortowania tj. grafu NPT-SP głównymi hubami sieci były Japonia (16), Szwecja (16), Kanada (15) i Austria (15), czyli kraje o dużym znaczeniu globalnym. Ostatni typ sieci tj. NPT-S uwypuklił kraje o dużej stabilności korelacji. W grupie badanych podmiotów były to: Grecja (12), Polska (12) i Hiszpania (11). Najistotniejszą przyczyną wysokiej stabilności korelacji w stosunku do pozostałych krajów jest znacząca dysproporcja pomiędzy PKB na osobę wymienionych podmiotów i pozostałych, co w rezultacie daje opisywaną wcześniej sytuację, w której fluktuacje mają niewielki wkład do skumulowanej sumy odległości Manhattan. Odmienne kształtowały się wyniki dla UD, kiedy stosując algorytm NTP

otrzymano prawie zupełny graf, w którym szczególną rolę pełniła Japonia ponieważ połączona była jedynie z Australią. W rezultacie niemożliwe było wyciąganie istotnych wniosków na temat struktury wzajemnych zależności. Wyniki w pozostałych stosowanych oknach czasowych były podobne, jednak z niewielkimi modyfikacjami liczebności, czy składu obserwowanych klik.

## 2.3 Perspektywy

Prace nad własnościami i potencjalnym zastosowaniem PLCS wciąż trwają i wskazują istotny potencjał tej metody. Obecnie przeprowadzana jest weryfikacja możliwości zastosowania PLCS do analizy szeregów pozbawionych trendu na przykładzie korelacji krzyżowych szeregów czasowych rynków finansowych. W odróżnieniu od szeregów makroekonomicznych szeregi rynków finansowych wykazują znacznie większą zmienność, ponadto dostępne są duże zbiory danych. Analizie poddano korelacje krzyżowe pomiędzy indeksami giełdowymi wybranych rynków oraz pomiędzy szeregami cen firm, których notowania są podstawą obliczania wartości indeksu giełdy nowojorskiej DJI. Wyniki te były dyskutowane na 7 symposium FENS w Lublinie 2014 oraz na międzynarodowej konferencji ITISE 2014 w Granadzie w Hiszpanii.

Analiza korelacji pomiędzy giełdami obejmowała następujące indeksy giełdowe: DAX (Frankfurt), FTSE (Londyn), S&P 500 (Nowy Jork), HSI (Hongkong), Nikkei 225 (Tokyo), STI (Singapur). W celu usunięcia trendu oraz znormalizowania badanych indeksów giełdowych szeregi czasowe zostały przetransformowane do szeregów zwrotów dziennych indeksów (rów. (2.13)) oraz znormalizowanej rozpiętości dziennej indeksów (rów. (2.14)). Analizie poddano dane od 24.09.1991r. do 31.01.2014r. czyli 5500 punktów obserwacyjnych.

$$z_t = \frac{a_t - a_{t-1}}{a_{t-1}} \quad (2.13)$$

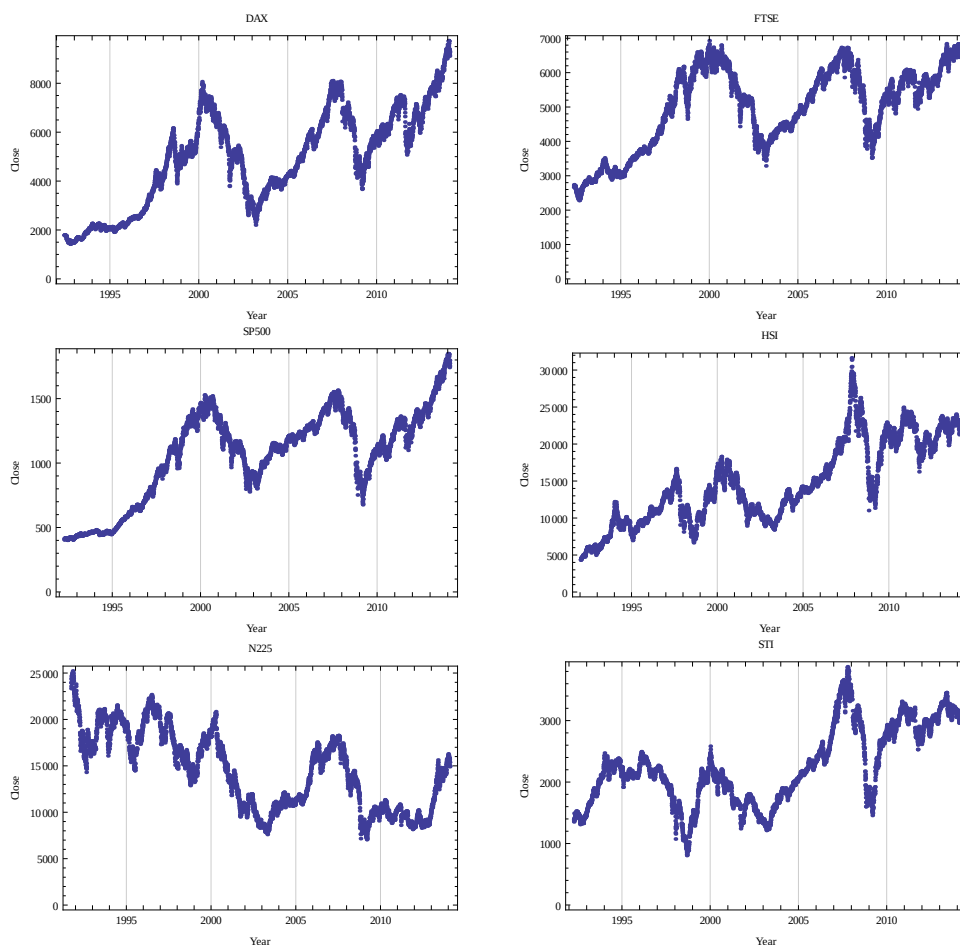
$a_t$  – badany szereg.

$$\Delta_t = \frac{\max(a_t) - \min(a_t)}{\text{close}(a_t)} \quad (2.14)$$

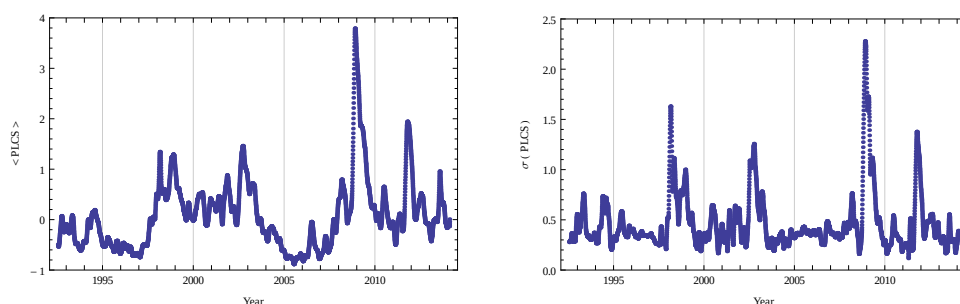
$\text{close}(a_t)$  – wartość indeksu w momencie zamknięcia giełdy. Ewolucja wartości badanych indeksów giełdowych jest przedstawiona na rys. 2.16.

Ewolucję siły korelacji określono korzystając z przesuwającego się okna czasowego o długościach odpowiednio 50 i 100 dni. Okna te były przesuwane w każdym kroku o jeden dzień. Średnie wartości i odchylenia standardowe siły korelacji pomiędzy szeregami zwrotów oraz normalizowanej rozpiętości dziennej indeksów giełdowych są przedstawione na rys. 2.17-2.20.

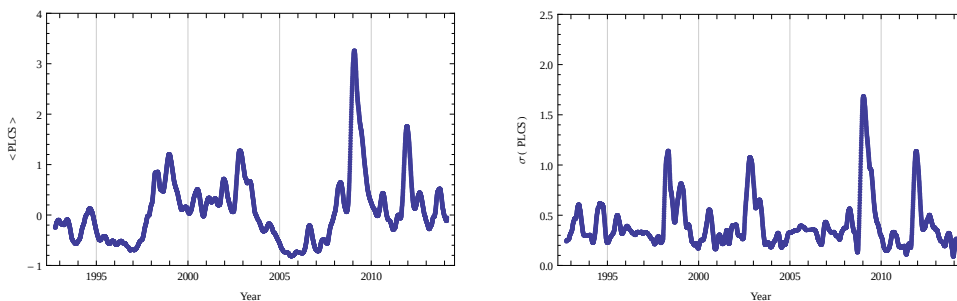




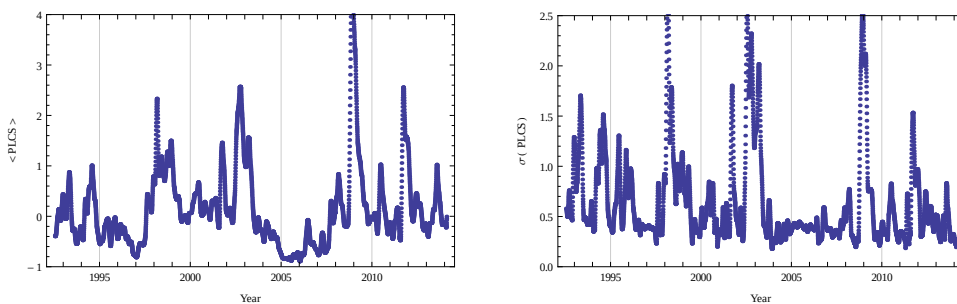
Rysunek 2.16: Wykresy badanych indeksów giełdowych w okresie od 24.09.1991r. do 31.01.2014r.



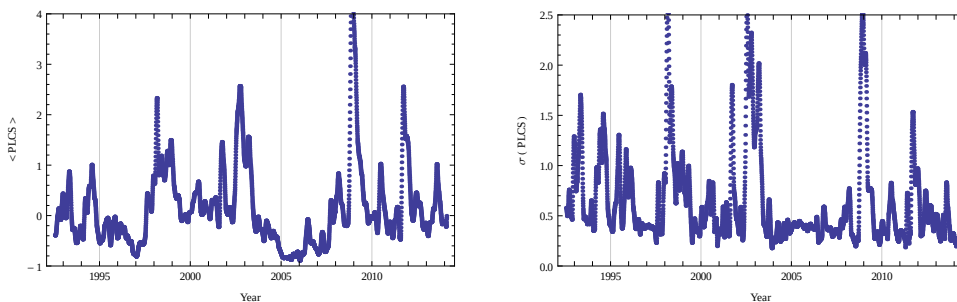
Rysunek 2.17: Ewolucja średniej wartości i odchylenia standardowego siły korelacji zwrotów pomiędzy wybranymi indeksami giełdowymi liczona dla okna o szerokości 50 dni.



Rysunek 2.18: Ewolucja średniej wartości i odchylenia standardowego siły korelacji zwrotów pomiędzy wybranymi indeksami giełdowymi liczona dla okna o szerokości 100 dni.



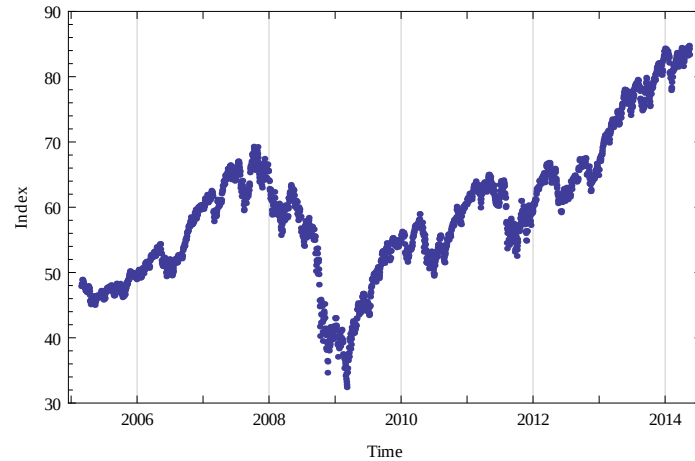
Rysunek 2.19: Ewolucja średniej wartości i odchylenia standardowego znormalizowanej rozpiętości dziennej pomiędzy wybranymi indeksami giełdowymi liczona dla okna o szerokości 50 dni.



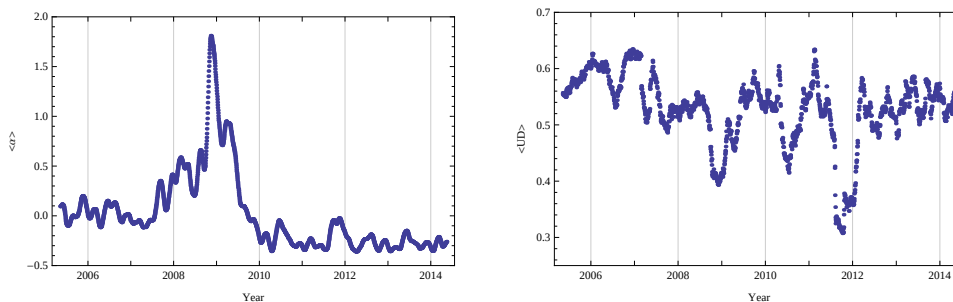
Rysunek 2.20: Ewolucja średniej wartości i odchylenia standardowego znormalizowanej rozpiętości dziennej pomiędzy wybranymi indeksami giełdowymi liczona dla okna o szerokości 100 dni.

Maksima wartości średnich jak i odchyłeń standardowych siły korelacji badanej grupy indeksów giełdowych są zgodne z obserwowanymi wahaniami wartości indeksów. Można także zauważyć silną zależność pomiędzy wysokością maksimum zarówno wartości średniej jak i odchyłeń standardowych z głębokością obserwowanego kryzysu. Pozwala to wykorzystać siłę korelacji jako miarę głębokości kryzysu. Wyniki dotyczące wartości średnich i odchyłeń standardowych mają charakter ogólnej informacji o zachowaniu całej badanej grupy. W celu ustalenia, czy możliwe jest wyodrębnienie klik, bądź klastrów giełd w kryzysie przeprowadzono analizę macierzy korelacji konstruując sieci na progu siły korelacji  $\alpha = 0$ , tzn. w przypadku  $\alpha > 0$  uznawano, że połączenie istnieje, natomiast w przypadku przeciwnym węzły nie były połączone. Badając sieć ewoluującą stwierdzono, że w przypadku sytuacji kryzysowych obserwowana jest sieć bliska grafowi zupełnemu, natomiast dla okresów prosperity sieć ulega rozpadowi na zbiór izolowanych węzłów. Dość istotną obserwacją z punktu widzenia poprawności działania metody były obserwacje tworzenia się lokalnych klastrów (w obrębie rynków dalekowschodnich).

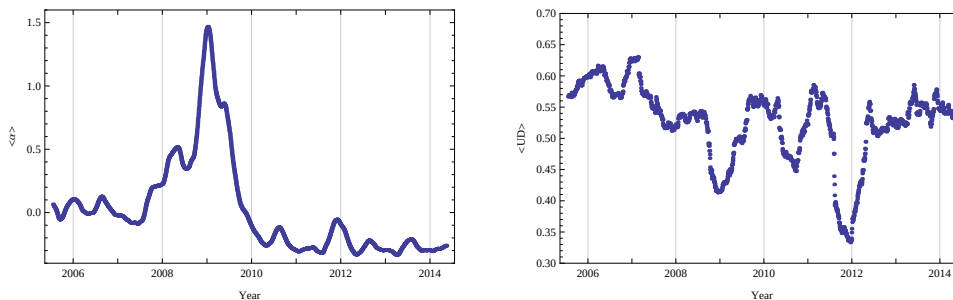
Badania własności rynków finansowych zostały poszerzone o analizy własności korelacji pomiędzy cenami akcji. Wyniki te były prezentowane w postaci referatu na międzynarodowej konferencji International Work-Conference On Time Series ITISE 2014 w Granadzie w Hiszpanii [H13]. Zbiorem, który został przeanalizowany były szeregi zwrotów dziennych akcji wchodzących w skład indeksu DJI giełdy nowojorskiej (poza Visa Inc.), tj. American Express Company, The Boeing Company, Caterpillar Inc., Cisco Systems, Inc., Chevron Corporation, E. I. du Pont de Nemours and Company, The Walt Disney Company, General Electric Company, The Goldman Sachs Group, Inc., The Home Depot, Inc., International Business Machines Corporation, Intel Corporation, Johnson & Johnson, JPMorgan Chase & Co., The Coca-Cola Company, McDonald's Corp., 3M Company, Merck & Co. Inc., Microsoft Corporation, Nike, Inc., Pfizer Inc., The Procter & Gamble Company, AT&T, Inc., The Travelers Companies, Inc., United Health Group Incorporated, United Technologies Corp., Verizon Communications Inc., Wal-Mart Stores Inc., Exxon Mobil Corporation. Wybrano następujący przedział: od 28.02.2005r. do 15.05.2014r., czyli każdy szereg zawierał 2320 punktów obserwacji. W celu usunięcia trendów szeregi zostały przekształcone do szeregów zwrotów (rów. (2.13)). Podobnie jak w przypadku analizy zachowania indeksów giełdowych zastosowano 2 długości okien czasowych: 50 i 100 dniowe. Porównano wyniki otrzymane przez PLCS jak i zastosowanie odległości ultrametrycznej (rów. (2.2)). Wyniki przedstawiające ewolucję średniej wartości siły korelacji oraz odległości ultrametrycznej wraz z przebiegiem średniej wartości ceny badanej grupy akcji zostały pokazane na wykresach (rys. 2.22-2.23).



Rysunek 2.21: Ewolucja średniej ceny zamknięcia dla przedsiębiorstw: American Express Company, The Boeing Company, Caterpillar Inc., Cisco Systems, Inc., Chevron Corporation, E. I. du Pont de Nemours and Company, The Walt Disney Company, General Electric Company, The Goldman Sachs Group, Inc., The Home Depot, Inc., International Business Machines Corporation, Intel Corporation, Johnson & Johnson, JPMorgan Chase & Co., The Coca-Cola Company, McDonald's Corp., 3M Company, Merck & Co. Inc., Microsoft Corporation, Nike, Inc., Pfizer Inc., The Procter & Gamble Company, AT&T, Inc., The Travelers Companies, Inc., United Health Group Incorporated, United Technologies Corp., Verizon Communications Inc., Wal-Mart Stores Inc., Exxon Mobil Corporation.



Rysunek 2.22: Ewolucja uśrednionych wartości macierzy siły korelacji oraz macierzy odległości ultrametrycznej zwrotów dziennych ceny zamknięcia obliczonej dla podmiotów stanowiących podstawę obliczania indeksu DJI, z wykluczeniem Visa Inc. dla okna o szerokości 50 dni.



Rysunek 2.23: Ewolucja uśrednionych wartości macierzy siły korelacji oraz macierzy odległości ultrametrycznej zwrotów dziennych ceny zamknięcia obliczonej dla podmiotów stanowiących podstawę obliczania indeksu DJI, z wykluczeniem Visa Inc dla okna o szerokości 100 dni.

Kluczowymi wnioskami z przeprowadzonej analizy jest stwierdzenie, że siła korelacji pozwala na właściwe wskazanie miejsc wystąpienia krachu giełdowego. Ponadto, w przeciwieństwie do odległości ultrametrycznej daje także właściwy opis ilościowy – wysokość maksimum odpowiada głębokości kryzysu. Metoda PLSC jest na tyle czuła, że pozwala uwidocznić zmiany, które powstały po krachu w 2008r. i przypuszczalnie są wynikiem działań podjętych przez FED – na wykresach (rys. 2.22-2.23) obserwujemy obniżenie linii bazowej po roku 2009. Obserwacja ta wymaga dalszych badań. Podobnie jak dla analizy indeksów giełdowych skonstruowano sieci na progu  $\alpha = 0$  i korzystając z większej liczby podmiotów przeprowadzono bardziej szczegółowe badania dotyczące własności sieci. W szczególności określono zachowanie funkcji rzędów węzłów uporządkowanej wg rang. W momentach przejścia giełdy ze stanu wzrostów do stanu kryzysu zaobserwowano zmianę zachowania funkcji uporządkowanych rzędów węzłów, gdyż następowało przejście z funkcji wklęsłej do wypukłej. Nasuwa to podejrzenie, że zmiana własności rozkładów węzłów może stanowić prekursor zmiany zachowania giełdy. Hipoteza ta wymaga dalszych badań.

Podsumowując wyniki badań prezentowane na konferencjach FENS2014 i ITISE2014 należy stwierdzić, że PLCS właściwie wskazuje momenty krachów jak i prosperity. Umożliwia właściwe ilościowe opisanie tych zdarzeń. W połączeniu z analizą sieci na progu  $\alpha = 0$  wskazuje podgrafy, w których następuje lokalny krach. Ponadto na podstawie analizy własności rozkładów rzędu węzłów pozwala rozróżnić zachowania kryzysowe i wzrost na rynkach, co w przyszłości daje szansę na opracowanie metody progностycznej występowania krachów giełdowych.

## 2.4 Podsumowanie

Prowadząc badania nad korelacjami krzyżowymi układów złożonych wyodrębniłem dwa istotne etapy tej analizy: utworzenie macierzy korelacji oraz analizę jej własności. W standardowym podejściu macierz korelacyjna otrzymywana jest w oparciu o współczynnik Pearsona, jednakże w przypadku zależności nieliniowych nie jest to optymalny wybór. Skłoniło to mnie do poszukiwania rozwiązań alternatywnych. Opracowałem i przebadłem szereg metod obliczania macierzy korelacji stosując zarówno współczynnik Pearsona, odległość Manhattan, odległości w przestrzeni funkcji rozkładów prawdopodobieństw, odległości pomiędzy przekształconymi za pomocą indeksu Theila szeregów czasowych oraz jego nieekstensywne uogólnienie ( $q$ -Theil). Ponadto opracowałem całkowicie nowy algorytm obliczania siły i stabilności korelacji (PLCS). Pokazałem, że metody oparte na indeksie Theila pozwalają znacznie lepiej obserwować procesy globalizacji aniżeli miary korelacji liniowych. Podobnie wykazałem znacznie większą czułość siły korelacji na zjawiska ekstremalne (w porównaniu do standardowych metod). Analizując układy rzeczywiste wskazałem zalety i potencjalny zakres zastosowań opracowanych metod uzyskiwania macierzy korelacji.

Rozwijając metody analizy macierzy korelacji wprowadziłem i przebadłem możliwość stosowania grafów liniowych zamiast drzew (UMLP, BMLP). Wykazałem zalety użycia grafów o ustalonym progu (np. progu perkolacji lub ustalonego arbitralnie progu odcięcia), które pozwalają na uzyskanie pełniejszego obrazu aniżeli zwykle stosowane drzewo MST (np. badane przeze mnie grafy pozwalają na określanie klik, w mniejszym stopniu zaburzają stopień wierzchołka, pozwalają badać spójność grafu oraz inne własności).

Podsumowując wyniki prowadzonych badań mogę stwierdzić, że poszerzyłem i pogłębiłem wiedzę na temat metod analizy korelacji krzyżowych układów złożonych. Badane metody mają potencjalnie bardzo szeroki zakres zastosowań. Ich wykorzystanie jest możliwe wszędzie tam gdzie badane są korelacje krzyżowe: od fizyki przez biofizykę, astrofizykę, geofizykę aż po ekonomię, nauki przyrodnicze czy społeczne.

# Bibliografia

- [1] R.N. Mantegna and H.E. Stanley. *An introduction to econophysics: correlations and complexity in finance*. Cambridge University Press, 2000.
- [2] H. Theil. The Information Approach to Demand Analysis. *Econometrica*, 33:67–87, 1965.
- [3] K. G. Armstrong. What impact does the choice of formula have on international comparisons? *Canadian Journal of Economics*, 34:697–718, 2001.
- [4] A. Heston, R. Summers, and B. Aten. Price structures, the quality factor, and chaining. *Statistical Journal of the United Nations Economic Commission for Europe*, 18:77 – 101, 2001.
- [5] M. A. Montemurro. Beyond the Zipf-Mandelbrot law in quantitative linguistics. *Physica A*, pages 567–578, 2001.
- [6] C. Tsallis. Possible generalization of boltzmann-gibbs statistics. *Journal of statistical physics*, 52(1-2):479–487, 1988.
- [7] M. Gell-Mann and C. Tsallis. Nonextensive entropy-interdisciplinary applications. *Nonextensive Entropy-Interdisciplinary Applications*, by Edited by Murray Gell-Mann and C Tsallis, pp. 440. Oxford University Press, Apr 2004. ISBN-10: 0195159764. ISBN-13: 9780195159769, 1, 2004.
- [8] R. C. Prim. Shortest connection networks and some generalizations. *Bell System Technical Journal*, 36:1389–1401, 1957.
- [9] J. B. Kruskal. On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem. In *Proceedings of the American Mathematical Society*, volume 7, pages 48–50, 1956.

## Rozdział 3

# Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki

### 3.1 Wykaz publikacji naukowych nie wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego

#### 3.1.1 Prace opublikowane przed uzyskaniem tytułu doktora

**A1** J. Miśkiewicz, „An indirect measurement in EEQT”, *Journal of Physics A: Mathematical and General*, t. 31, nr 42, s. 8539, 1998.

*Udział w pracy: 100%* (MNiSW: 10, IF: 1,545)

**A2** J. Miśkiewicz, „A piecewise deterministic process for homodyne measurement of an atom”, *Journal of Physics A: Mathematical and General*, t. 33, nr 1, s. 81, 2000.

*Udział w pracy: 100%* (MNiSW: 9, IF: 1,365)

**A3** J. Miśkiewicz, R. Olkiewicz, „The quantum stochastic processes as the reduced dynamics of EEQT”, *Reports on Mathematical Physics*, t. 47, nr 2, s. 177–181, 2001.



*Wkład habilitanta: wykonanie obliczeń, zredagowanie tekstu, opracowanie literatury. Udział w pracy: 50% (MNiSW: 10, IF: 1,542)*

### **3.1.2 Prace opublikowane po uzyskaniem tytułu doktora**

- A4** J. Miśkiewicz, „The analysis of survival probability on an isolated stock market.”, w *Proceedings of the 3rd European Interdisciplinary School on Nonlinear Dynamics for Systems and Signal Analysis EURO AT-TRACTOR 2002*, 2002, s. 220 – 224.  
*Udział w pracy: 100% (praca konferencyjna)*
- A5** M. Ausloos, P. Clippe, J. Miśkiewicz, A. Pękalski, „A (reactive) lattice-gas approach to economic cycles”, *Physica A*, t. 344, nr 1–2, s. 1 – 7, 2004.  
*Wkład habilitanta: wykonanie obliczeń, wykresów i współredakcja tekstu.*  
*Udział w pracy: 30% (MNiSW: 9, IF: 1,369)*
- A6** M. Ausloos, J. Miśkiewicz, M. Sanglier, „ The durations of recession and prosperity: does their distribution follow a power or an exponential law?”, *Physica A*, t. 339, nr 3–4, s. 548 – 558, 2004.  
*Wkład habilitanta: pomysł pracy, przygotowanie i opracowanie danych, sporządzenie wykresów, napisanie tekstu.*  
*Udział w pracy: 70% (MNiSW: 9, IF: 1,369)*
- A7** J. Miśkiewicz, M. Ausloos, „A logistic map approach to economic cycles. (I). The best adapted companies”, *Physica A*, t. 336, nr 1–2, s. 206 – 214, 2004.  
*Wkład habilitanta: wykonanie obliczeń i symulacji, przygotowanie wykresów, napisanie tekstu, opracowanie literatury. Udział w pracy: 70% (MNiSW: 9, IF: 1,369)*
- A8** M. Ausloos, J. Miśkiewicz, „Influence of information flow in the formation of economic cycle”, w *The logistic Map and the Rout to Chaos*, 2006, s. 223–238.  
*Wkład habilitanta: wykonanie obliczeń i symulacji, przygotowanie wykresów, napisanie tekstu, opracowanie literatury.*  
*Udział w pracy: 70% (praca konferencyjna)*
- A9** J. Gabrielska, M. Soczyńska-Kordala, J. Hładyszowski, R. Żyłka, J. Miśkiewicz, S. Przestalski, „Antioxidative Effect of Quercetin and Its Equimolar Mixtures with Phenyltin Compounds on Liposome Membranes”,

*Journal of Agricultural and Food Chemistry*, t. 54, nr 20, ss. 7735–7746, 2006.

*Wkład habilitanta: obliczenia statycznych podziału na podstawie krzywych absorpcji.*

*Udział w pracy: 10% (MNiSW: 24, IF: 2,322)*

- A10** M. Ausloos, J. Miśkiewicz, „Delayed information flow effect in economy systems. An ACP model study.”, *Physica A*, t. 382, s. 179–186, 2007.

*Wkład habilitanta: wykonanie obliczeń i symulacji, przygotowanie wykresów, napisanie tekstu, opracowanie literatury.*

*Udział w pracy: 80% (MNiSW: 20, IF: 1,430)*

- A11** J. Miśkiewicz, „Kalibracja wskaźnika ekspansywności.”, w *Ekspansywność regionów europejskich*, 2008, s. 57–64.

*Udział w pracy: 100% (MNiSW: 3)*

- A12** M. Niklewicz-Pijaczyńska, J. Miśkiewicz, W. Kwaśnicki, „Ekspansywność rozwoju krajów i regionów”, W. Kwaśnicki, Red. 2008, s. 11 – 45.

*Wkład habilitanta: wykonanie obliczeń i symulacji, opis i analiza wyników symulacji.*

*Udział w pracy: 40% (MNiSW: 3)*

- A13** J. Miśkiewicz, „Econophysics in Poland”, *Science and Culture*, nr 76, s. 395–598, 2010.

*Udział w pracy: 100% (MNiSW: 3)*

- A14** J. Miśkiewicz, Z. Trela, S. Przestalski, W. Karcz, „Superstatistics analysis of the ion current distribution function: Met3PbCl influence study”, *Eur Biophys J*, t. 39, nr 10, s. 1397–1406, 2010.

*Wkład habilitanta: opracowanie nowej metody analizy sygnałów, wykonanie obliczeń statystycznych i symulacji, napisanie tekstu i opracowanie literatury.*

*Udział w pracy: 60% (MNiSW: 27, IF: 2,387)*

- A15** J. Miśkiewicz, „Economy with the time delay of information flow – The stock market case”, *Physica A*, t. 391, s. 1388–1394, 2012.

*Udział w pracy: 100% (MNiSW: 30, IF: 1,373)*

- A16** D. Grech, J. Miśkiewicz, „Random matrix approach in search for weak signals hidden in noisy data”, *EPL (Europhysics Letters)*, t. 97, nr 3, s. 30005, 2012.

*Wkład habilitanta: wykonanie symulacji i opracowanie danych, wykonanie wykresów.*

*Udział w pracy: 40% (MNiSW: 35, IF: 2,171)*

**A17** J. Miśkiewicz, „Effects of publications in proceedings on the measure of the core size of coauthors”, *Physica A*, t. 392, nr 20, s. 5119–5131, 2013.

*Udział w pracy: 100%* (MNiSW: **30**, IF: **1,676**)

## **3.2 Wskaźniki dokonań naukowych**

Sumaryczny *impact factor* (IF) wg. listy Journal Citation Report (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania: **31,671**

Liczba cytowań wg. bazy Web of Science: **78**

Indeks Hirscha według bazy Web of Science: **7**

## **3.3 Omówienie dorobku naukowego nie wchodzącego w skład głównego osiągnięcia naukowego**

W dotychczasowej działalności naukowej mogę wyróżnić trzy główne nurty:

- zagadnienia ekonofizyczne (w obrębie których znajdują się także prace opisane w poprzednim rozdziale),
- badanie własności błon biologicznych oraz
- fundamentalne zagadnienia mechaniki kwantowej tj. teoria pomiaru.

### **3.3.1 Prace przed uzyskaniem stopnia doktora nauk fizycznych – zdarzeniami wzmocniona teoria kwantów**

Swoją działalność naukową rozpocząłem od badań nad teorią pomiaru w mechanice kwantowej. Prace te prowadziłem we współpracy z prof. dr hab. Arkadiuszem Jadczykiem, który był początkowo moim promotorem, jednakże z powodu jego wyjazdu z kraju zaistniała konieczność zmiany promotora. Przez okres roku ze względów formalnych moim promotorem był prof. dr hab. Piotr Garbaczewski. W tym czasie prowadziłem badania we współpracy z prof. dr hab. Robertem Olkiewiczem i pod jego kierunkiem obroniłem doktorat. Badania prowadzone przed doktoratem miały na celu rozwinięcie i głębsze zrozumienie teorii pomiaru kwantowego poprzez zdefiniowanie go jako rezultatu oddziaływania układu klasycznego i kwantowego.

W ramach tych badań opublikowałem trzy prace: [A1, A2, A3], w których rozpatrywałem problem pomiaru pośredniego, tzn. gdy do badanego układu kwantowego dołączany jest dodatkowy układ kwantowy, a pomiar dokonywany jest na połączonych układach kwantowych. Drugim z zagadnień poruszonych w tej pracy był pomiar „łańcuchowy”, tj. taki gdzie pomiędzy układem badanym, a pomiarowym jest dodatkowy element pośredniczący. Wtedy na podstawie pomiaru układu pośredniczącego chcemy poznać własności układu sprzężonego z układem pośredniczącym. Następnie w ramach modelu zdarzeniami wzmocnionej teorii kwantów (*ang. Event Enhanced Quantum Theory*) zbudowałem model pomiaru homodynamicznego [A2], w którym pokazałem, niemarkowski charakter zdarzeń pomiarowych oraz to, że rozkład zdarzeń rejestracji fotonów jest procesem subpoissonowskim. Ostatnią w tej tematyce była praca [A3], pokazująca, że w ramach zdarzeniami wzmocnionej teorii pomiaru zredukowana dynamika układu kwantowego prowadzi do dyssypatywnego zachowania układu klasycznego opisywanego procesem stochastycznym zaproponowanym przez Davisa [1, 2, 3]. Cykl tych prac stał się podstawą obronionej w 2001 roku rozprawy doktorskiej zatytułowanej „Oddziaływanie układów klasycznych i kwantowych jako model pomiaru w mechanice kwantowej”.

### 3.3.2 Analiza układów złożonych – zastosowania ekonomiczne

Po obronie doktoratu zainteresowałem się zastosowaniem metod fizycznych w analizie układów ekonomicznych. Moją pierwszą pracą w tej tematyce była analiza procesu koncentracji zasobów w dla modelu giełdy izolowanej [A4]. W pracy tej, referowanej na konferencji „3rd European Interdisciplinary School on Nonlinear Dynamics for Systems and Signal Analysis EURO ATTRACTOR 2002”, pokazałem, że w przypadku rynku izolowanego następuje koncentracja zasobów i eliminacja dużej części podmiotów.

Badania nad zastosowaniem metod fizyki w rozwiązywaniu zagadnień ekonomicznych kontynuowałem podczas stypendium post-doc na uniwersytecie w Liège, gdzie współpracowałem z prof. Marcelem Ausloosem. Podjąłem wtedy zagadnienie analizy mikroskopowego modelu opisującego zachowanie układu makroekonomicznego. Impulsem do stworzenia tego modelu były przemiany polityczno-ekonomiczne prowadzące do upadku systemu socjalistyczno-komunistycznego w Europie Środkowej i Wschodniej. Model ten (ACP) został zaproponowany uprzednio w pracy M. Ausloos, A. Pękalski i P. Clippe [4]. Jego istotą było uzależnienie zachowania układu od dwóch parametrów – strategii podmiotu oraz jego dopasowania do środowiska. Pa-

parametr strategii określał zastosowanie przez podmiot jednej z dwóch strategii: łączenie się z napotkaną firmą, bądź tworzenie nowego przedsiębiorstwa. Firmy mogły być także usunięte z układu ze względu na ich niedopasowanie do panujących warunków – określał to drugi z parametrów. Bazując na modelu mikroskopowym ACP zostało opracowane jego sformułowanie średniopoloowe i pokazane dla jakich wartości parametrów, w szczególności parametru opisującego strategię działania podmiotów, mogą się pojawić zachowania chaotyczne [A7]. Ponadto pokazano, że w układzie dla szczególnych wartości parametrów układu mogą się pojawić cykle [A5] – analogiczne do cykli ekonomicznych.

Jedną z kluczowych cech modelu ACP była zależność podejmowanych działań od stanu układu, jednakże w warunkach rzeczywistej gospodarki stan układu (jego parametry) nie jest obserwowany na bieżąco a jedynie w pewnych określonych interwałach. Powoduje to powstanie opóźnienia w przepływie informacji i konieczność podejmowania decyzji w oparciu o dane charakteryzujące układ w przeszłości. W celu zbadania wpływu opóźnienia w przepływie informacji na zachowanie układu do modelu ACP wprowadzono dodatkową wielkość określającą znajomość stanu układu przez podmioty. Znajomość stanu układu była aktualizowanego w ustalonych interwałach czasowych. W tej sytuacji nie była dostępna ciągła informacja na temat koncentracji podmiotów w układzie, ponadto stan układu był znany sprzed 1, 2, ...,  $n-1$  kroków iteracyjnych, gdzie  $n$  – odstęp pomiędzy aktualizacjami. Podmioty podejmowały decyzje w oparciu o informację aktualizowaną okresowo. Rezultaty tych badań zostały opublikowane w pracach: [A8, A10, A15]. W pierwszej z nich [A8] podjęto problem zachowania układu makroekonomicznego w sytuacji gdy funkcjonują w nim jedynie podmioty doskonale dopasowane do warunków ekonomicznych, tzn. jedyną przyczyną ich usunięcia mogła być konkurencja z innym podmiotem. Głównym wynikiem tej pracy była obserwacja, że opóźnienie w przepływie informacji generuje niestabilności w ewolucji układu i może być przyczyną całkowitego kolapsu układu, tzn. sytuacji gdy na skutek strategii opartej na przestarzałych danych wszystkie podmioty zostają usunięte z układu. Szczególnie groźne dla stabilności układu były opóźnienia średnie i duże, chociaż dla dużych wartości opóźnień w przepływie informacji obserwowano także sytuacje, dla których ewolucja układu trwała znacząco długo. Opisywany model stanowił istotny głos w dyskusji nad rolą przepływu informacji w układzie ekonomicznym. Ponadto otrzymane wyniki wskazywały na szczególną rolę jaką mogą pełnić (i w większości pełnią) państwa, tzn. stabilizacji układów ze szczególnie dużym opóźnieniem układu (np. dla rynków rolnych). W drugiej pracy o tej tematyce [A10] rozważono zachowanie układu zbudowanego z wielu podukładów ekonomicznych. Istotnym novum była możliwość migrowania podmiotów

pomiędzy podukładami. W tym modelu zaobserwowano okresowe skokowe zmiany koncentracji podukładów spowodowane uaktualnianiem informacji o stanie układu. W przeciwieństwie do poprzedniego modelu nie obserwowano całkowitego kolapsu nawet dla długich czasów opóźnień, gdyż ze względu na różnorodność faz ewolucji podukładów były one w stanie „zasiedlić” obszary, w których nastąpił kolaps i cały układ mógł funkcjonować nawet przy długich opóźnieniach w przepływie informacji. Trzecia z prac analizujących wpływ opóźnienia w przepływie informacji na ewolucję układu została poświęcona zachowaniu giełdy [A15]. W pracy wykorzystano model zaproponowany przez D. Sornette [5], który został oparty na modelu Isinga. Jego najważniejszą cechą, z punktu widzenia prowadzonych badań, było uzależnienie decyzji podejmowanych przez graczy m.in. od stanu układu makroekonomicznego. Zależność ta pozwoliła na wprowadzenie opóźnienia czasowego w przepływie informacji. W pracy [A15] pokazano, że opóźnienie czasowe w istotny sposób wpływa na rozkład zwrotów znacząco zwiększając prawdopodobieństwo zdarzeń rzadkich. W szczególności pojawiła się możliwość wystąpienia podejmowania identycznych decyzji przez wszystkich graczy giełdowych. Wynik ten jest zgodny z własnościami rzeczywistych układów, w których pojawienie się nowej, istotnej i niezgodnej z ogólnymi przewidywaniami informacji powoduje powstanie chwilowej zwyżki lub spadku cen wynikających z kolektywnego zachowania graczy. Oczywiście w układach rzeczywistych zachowania te nie są tak wyraźnie obserwowane jak w układzie modelowym, ponieważ na rynku występują różne rodzaje papierów wartościowych i ich wartości mogą w różny sposób reagować na tą samą wiadomość. W warunkach rynku rzeczywistego nieoczekiwane informacje o układzie w podobny sposób postrzegane przez wszystkie podmioty oznaczają wywołanie krachu i wtedy faktycznie mamy do czynienia z kolektywnym zachowaniem wszystkich podmiotów rynku kapitałowego. W pracy badano także funkcję autokorelacji cen, która wykazywała zgodność z częstością aktualizacji informacji o sprzężonym układzie makroekonomicznym. Innym ciekawym wynikiem uzyskanym w tej pracy był rezultat przeprowadzonej analizy entropii informacyjnej Shannona dla zwrotów. Zaobserwowano, że entropia zwrotów ma maksimum dla małych opóźnień (rzędu kilku kroków symulacji) i następnie jest funkcją malejącą w funkcji długości opóźnienia czasowego. Można zatem wnioskować, że duże wartości opóźnienia czasowego mogą być wykorzystane do prognozowania ze względu na wprowadzany porządek do analizowanego szeregu czasowego. Dotychczasowe badania nad wpływem opóźnienia w przepływie informacji na ewolucję układów ekonomicznych skłaniają do stwierdzenia, że zagadnienie jest niezwykle interesujące i wymaga dalszych intensywnych prac.

W roku 2004, gdy rozpoczynałem badania w zakresie ekonofizyki natknąłem się na pracę P. Ormeroda i C. Mounfielda [6], w której autorzy

pokazywali, że rozkład czasów trwania recesji jest opisywany prawem potęgowym. Zastrzeżenia wzbudził ograniczony zbiór danych stawiający pod znakiem zapytania wyciągane wnioski. W tej sytuacji, celem zweryfikowania postawionej tezy przeanalizowany został inny zbiór danych – kwartalne dane PKB, w których rozpatrzono zarówno rozkład recesji jak i prosperity. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano [A6], że modelem lepiej opisującym analizowane dane jest rozkład eksponencjalny. Było to zgodne z wynikami prezentowanymi przez I. Wrighta [7], który postawił tezę mówiącą, że rozkład czasów recesji ma charakter eksponencjalny.

Po powrocie ze stypendium odbywanym na uniwersytecie w Liège w Belgii zostałem zaproszony do udziału w pracach w ramach projektu „Makroregion innowacyjny. Foresight technologiczny dla województwa dolnośląskiego do 2020 r.”. Projekt ten był współfinansowany przez Unię Europejską oraz budżet państwa i był realizowany przez Politechnikę Wrocławską, Uniwersytet Wrocławski i Uniwersytet Przyrodniczy. W projekcie tym pracowałem w zespole kierowanym przez prof. W. Kwaśnickiego. Naszym zadaniem było opracowanie wskaźnika ekspansywności regionu. W ramach tych badań wziąłem udział w szeregu seminariów prezentujących wyniki poszczególnych zespołów oraz opublikowałem dwie prace: [A11, A12]. W pierwszej z nich [A11] analizowałem ekspansywność Uniwersytetu Wrocławskiego na podstawie miejsca stałego zamieszkania studentów weryfikując możliwość zastosowania metod analizy sieci do opracowania wskaźnika ekspansywności. W drugiej, współautorskiej publikacji [A12] zostały podsumowane wyniki całego zespołu. Przedstawiono opis opracowanego wskaźnika ekspansywności, omówiono jego własności a także odniesiono się do warunków makroekonomicznych województwa dolnośląskiego.

W roku 2010 obchodzono piętnastolecie pierwszego użycia określenia „ekonofizyka”, które miało miejsce na konferencji w Kalkucie w 1995r. Dla uczczenia tej rocznicy ukazał się specjalny numer *Culture and Science* poświęcony przeglądowi oraz podsumowaniu stanu badań prowadzonych w tej dyscyplinie na świecie. Miałem zaszczyt zostać zaproszony przez edytora prof. B.K. Chakrabarti do napisania artykułu podsumowującego kierunki badań i rozwój ekonofizyki w Polsce. Praca ukazała się we wrześniowo-październikowym numerze 2010 *Culture and Science*, w dziale *Perspectives* [A13].

### 3.3.3 Modelowanie własności błon biologicznych

Poza głównym nurtem badań w obszarze ekonofizyki prowadziłem także badania w zakresie biofizyki błon biologicznych. W latach 2006-2014 uczestniczyłem, w ramach zespołu działającego pod kierunkiem prof. dr hab S. Przeszalskiego, w trzech grantach badawczych poświęconych różnym aspektom

wpływu organicznych związków cyny i ołowiu na błony biologiczne. Tematami projektów badawczych były:

1. „Badanie mechanizmów toksyczności wybranych organicznych związków cyny i ołowiu na błony biologiczne i modelowe oraz ochrony błon przed toksykantami”, grant nr **2 P04G 089 27**, 27 konkurs.
2. „Mechanizm działania wybranych związków metaloorganicznych na kanały błonowe (jonowe i złącza komórkowych) pewnych komórek i na inne białka i lipidy błonowe oraz ochrona przed działaniem tych związków”, grant nr **N N305 336434**, 34 konkurs.
3. „Ochrona środowiska przed toksycznym wpływem związków organicznych ołowiu i cyny metodą elektryczną”, grant nr **N N305 133540**, 40 konkurs.

W ramach udziału w pracach zespołu byłem współautorem dwóch prac [A9, A14]. W pierwszej z nich [A9], poświęconej antyoksydacyjnej ochronie błon biologicznych przez kwercytynę i jej mieszaniny z fenylokami, na podstawie danych z pomiarów absorpcji określiłem współczynnik podziału badanych związków w błonie. W drugim z projektów badawczych, w którym uczestniczyłem, prowadziłem analizy wpływu związków ołowiu na zachowanie kanałów jonowych. Badanym materiałem były sygnały wolnoaktywowanych kanałów jonowych błony wakuolarniej wyizolowanej z buraka czerwonego (*beta vulgaris*) mierzone techniką patch-clamp. Główną jej zaletą była możliwość rejestracji sygnałów pochodzących z pojedynczych kanałów jonowych. W pracy [A14] analizowałem otrzymane przez współpracowników zapisy doświadczalne. W pracy tej zaproponowałem nową metodę analizy sygnałów prądowych kanałów jonowych. W odróżnieniu od standardowych analiz sygnałów prądowych kanałów jonowych, gdzie określa się próg odcięcia a następnie transformuje zapis prądowy do postaci otwarty-zamknięty np. [8, 9], w pracy [A14] zastosowano inne podejście – analizowano zapis prądowy jako superstatystykę złożoną z dwóch sygnałów gaussowskich. Przeprowadzono analizy zachowania symulowanych sygnałów, dzięki którym pokazano, że na podstawie zestawu charakterystyk statystycznych tj. średniej, odchylenia standardowego, skośności i kurtozy możliwe jest wyznaczenie parametrów definiujących superstatystykę, tzn. wartości średnich i odchyłeń standardowych obu rozkładów składowych oraz ich częstości występowania. Następnie przeanalizowano badany sygnał kanałów jonowych gdzie pokazałem, że wyznaczone charakterystyki superstatystyki zmieniają się pod wpływem obecności związków ołowiu. Wynik ten był istotny statystycznie.

Wyniki otrzymywane w ramach badań nad własnościami błon biologicznych były także prezentowane na szeregu konferencji i opublikowane w:



- W. Karcz, J. Miskiewicz, S. Przestalski, Z. Trela „Analiza wpływu związków ołowiu na kanały jonowe błon biologicznych”, International Workshop on Ionic Channels, Szczyrk, Poland, May 27 - June 01, 2007 (plakat)
- J. Gabrielska, J. Miśkiewicz, J. Kupiec, S. Przestalski „Membrane activity of sulphonic derivative of quercitin and its mixture with organotin in vitro”, Eur. Biophys J (2007) 36 (Suppl 1):S51-S248, P-73 (plakat)
- J. Miśkiewicz, Z. Trela, S. Przestalski „Influence of the lead compounds on the long range correlations in the current of ion channels .”, Current Topics in Biophysics, **33**, Supplement B, s. 41, 2010  
XIV Conference of Polish Biophysical Society, Łódź, Sept. 28-30, 2010 (plakat)
- J. Miśkiewicz, Z. Trela, S. Przestalski „Analysis of collective behaviour of ion channels”, European Biophysical Journal **40**, Suppl. 1, s. 171 (2011) (plakat)
- Z. Trela, J. Miśkiewicz, Z. Burdach, W. Karcz, S. Przestalski „Modulacja funkcji kanałów SV tonoplastu komórek Beta vulgaris przez trimetylołów”, VIII Konferencja „Techniki elektrofizjologiczne”, 1-2 Czerwca 2012 Wrocław, Acta Neurobiologiae Experimentalis vol. 72, s. 198 (2012). (referat, praca pokonferencyjna)

W 2005r. nawiązałem współpracę z dr. Grzegorzem Wilczokiem dotyczącą optymalizacji procesu rozpylania cieczy w warunkach istniejącego strumienia powietrza. Opracowałem numeryczny model procesu rozpylania cieczy roboczej i wykonałem szereg symulacji zachowania cieczy w warunkach przepływu powietrza, których celem było wyjaśnienie obserwowanych doświadczalnie efektów. Wyniki tych badań były prezentowane na konferencjach:

- „Symulacja wpływu strumienia powietrza na podłużny rozkład rozpylonej strugi”, Szkoła Metodologiczna, Postęp naukowo-techniczny i organizacyjny w rolnictwie, Zakopane, luty 2007
- „Teoretyczny opis rozkładu rozpylonej cieczy w warunkach działania czołowego strumienia powietrza”, IX Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Teoretyczne i Aplikacyjne Problemy Inżynierii Rolniczej, Wrocław – Polanica Zdrój, czerwiec 2007

### 3.3.4 Detekcja sygnałów periodycznych przy zastosowaniu macierzy przypadkowych

Kontynuacją szeroko rozumianego nurtu badań nad własnościami szeregów czasowych była praca [A16], w której podjęliśmy problem detekcji sygnału periodycznego w szumie. Zastosowaliśmy tutaj w nowatorski sposób analizę macierzy losowych. W szeregu symulacji określiliśmy cechy sygnału periodycznego, a następnie przeprowadziliśmy analizę sygnału rejestrowanego przez detektor fal grawitacyjnych „Lisa”. Porównując wyniki sygnału detektora i symulowanego sygnału grawitacyjnego zaobserwowaliśmy istotne różnice pomiędzy nimi. Niestety nie był to sygnał fal grawitacyjnych a jedynie efekt sposobu zapisu sygnału rejestrowanego przez detektor. Jednakże wynik można uznać za istotny w kontekście kolejnych planowanych eksperymentów mających na celu detekcję fal grawitacyjnych.

### 3.3.5 Własności sieci współpracy naukowej

W ostatnich latach obserwuje się coraz większe uzależnienie oceny naukowca, czy też jednostki badawczej od parametrów scjentometrycznych. Przeglądając najnowszą literaturę natknąłem się na pracę prof. M. Ausloosa [10], który zdefiniował współczynnik współautorstwa (*ang.* „*coauthor index*”). Indeks ten opisywał aktywność zawodową badacza pod kątem sieci jego współpracowników. Pokazywał, że istnieje potęgowa zależność pomiędzy liczbą publikacji z wybranym współautorem a rangą tego współautora. Ze względu na interesującą koncepcję poszerzyłem zakres badań na różne typy publikacji naukowych tzn. publikacje w czasopismach, pracach pokonferencyjnych, rozdziałach monografii, monografiach i encyklopediach i pokazałem w pracy [A17], że zależność ta ma charakter ogólny tj. dotyczy nie tylko wszystkich publikacji ale także jest spełniona w poszczególnych kategoriach publikacji naukowych. Interesującą wydaje się obserwacja, że poszerzenie liczby współautorów ma szczególne znaczenie w rozwoju kariery naukowej, w której tworzenie szerokiej sieci współpracowników jest charakterystyczne dla szczególnie uznanych badaczy.

# Bibliografia

- [1] E.B. Davies. Quantum stochastic processes. *Communications in Mathematical Physics*, 15(4):277–304, 1969.
- [2] E.B. Davies and J.T. Lewis. An operational approach to quantum probability. *Communications in Mathematical Physics*, 17(3):239–260, 1970.
- [3] E.B. Davies. Quantum stochastic processes iii. *Communications in Mathematical Physics*, 22(1):51–70, 1971.
- [4] M. Ausloos, P. Clippe, and A. Pekalski. Model of macroeconomic evolution in stable regionally dependent economic fields. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 337(1-2):269 – 287, 2004.
- [5] W.-X. Zhou and D. Sornette. Self-organizing ising model of financial markets. *European Physical Journal B*, 55(2):175–181, 2007.
- [6] P. Ormerod and C. Mounfield. Power law distribution of the duration and magnitude of recessions in capitalist economies: Breakdown of scaling. *Physica A*, 293(3-4):573–582, 2001.
- [7] I. Wright. The duration of recessions follows an exponential not a power law. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 345(3):608–610, 2005.
- [8] S. Mercik, Z. Siwy, and K. Weron. What can be learnt from the analysis of short time series of ion channel recordings. *Physica A*, 276:376–390, 2000.
- [9] S. Mercik, K. Weron, and Z. Siwy. Statistical analysis of ionic current fluctuations in membrane channels. *Phys. Rev. E*, 60(6):7343–7348, 1999.
- [10] M. Ausloos. A scientometrics law about co-authors and their ranking: the co-author core. *Scientometrics*, 95(3):895–909, 2013.

### 3.4 Referaty wygłoszone na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych

1. J. Miśkiewicz „A logistic map approach to economic cycles”, Ecole Supérieure de Physique et Chimie, Rencontre de Physique Statistique, Paryż, Francja (styczeń 2004), referat
2. J. Miśkiewicz „Risk of recession” ,Cost P10 Kick off Workshop „Physics of Risk”, Nyborg, Dania (kwiecień 2004), Invited Speaker
3. M. Ausloos, J. Miśkiewicz „Influence of information flow in the formation of economic cycles” Verhulst 200 on Chaos, Bruksela, Belgia (wrzesień 2004), referat
4. M. Ausloos, J. Miśkiewicz „G7 country Gross Domestic Product (GDP) time correlations. A graph network analysis”, The Third Nikkei Econophysics Symposium, Tokyo, Japan (listopad 2004), referat
5. J. Miśkiewicz, M. Ausloos „Correlation between the most developed economies – network analysis”, The First Socio and Econophysics Polish Symposium, Warszawa, Polska (listopad 2004), referat
6. J. Miśkiewicz, M. Ausloos, A. Pękalski „Information flow in economy systems, ACP model study.”, APFA 5, Turyn, Włochy (29.06 – 1.07 2006), referat
7. J. Miśkiewicz, M. Ausloos „Shrinking World. The comparison of distance and entropy analysis.”, European Physical Society Division of Condensed Matter Physics and the Spring Meeting of the German Physical Society Condensed Matter Division – AKSOE, Drezno, Niemcy (marzec 2006), referat
8. Z. Trela, J. Miśkiewicz, Z. Burdach, W. Karcz, S. Przestalski, „Influence of trimethyllead ions on slow activating channels in the red beet vacuolar membrane”, International Workshop on Ionic Channels, Szczyrk, Polska (marzec 2007), plakat
9. J. Miśkiewicz „The influence of the time delay of information flow on an economy evolution. The stock market analysis.”, APFA 6, Lizbona, Portugalia (lipiec 2007), referat
10. J. Miśkiewicz, „Kalibracja wskaźnika ekspansywności i analiza jego własności”, Seminarium „Ekspansywność państw i regionów europejskich”, Wrocław, Polska (kwiecień 2008), referat

11. J. Miśkiewicz, „Globalization limits. Does the world economy reached globalization limit?”, APFA 7, Tokyo, Japan (marzec 2009), referat
12. J. Miśkiewicz, „The time delay in information flow. Can we avoid the economy collaps?”, APFA7 Satellite 7th ACP Workshop, Tokyo, Japan (marzec 2009), referat
13. J. Miskiewicz, „The influence of time delay in information flow on the economy system evolution.”, 4 Symposium FENS, Rzeszów, Polska (maj 2009), referat
14. J. Miśkiewicz, Z. Trela, S. Przestalski, „Influence of the lead compounds on the long range correlation in the current of ion channels.” XIV zjazd Polskiego Towarzystwa Biofizycznego, Łódź, Polska (wrzesień 2010), plakat
15. J. Miśkiewicz, „Time series distance measures”, 5 Symposium FENS, Warszawa, Polska (listopad 2010), referat
16. J. Miśkiewicz, Z. Trela, „Analysis of collective behaviours of ion channels”, 8th European Biophys Congeress, Budapest, Węgry (sierpień 2011), plakat
17. J. Miśkiewicz, „ETSA group presentation”, FuturICT Wrokshop, Warszawa, Polska (grudzień 2012), referat
18. J. Miśkiewicz, „Classification scheme of correlations between time series on the example of GDP per capita of the most developed countries.”, 6 Symposium FENS, Gdańsk, Polska (kwiecień 2012), referat
19. J. Miśkiewicz, „Cross-correlations of financial crisis analysed by power law classification scheme. Evolving network analysis on the linear threshold.”, 7 symposium FENS, Lublin, Polska (maj 2014), referat
20. J. Miśkiewicz, „Strength of cross-correlations in crisis. Evolving network analysis.”, ITISE 2014 International Work-Conference On Time Series, Granada, Hiszpania (czerwiec 2014), referat

### **3.5 Nagrody otrzymane za działalność naukową**

**2013** Nagroda Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu; Indywidualna III Stopnia za osiągnięcia naukowe

**2013** Wyróżnienie Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu za najwyższą liczbę punktów z listy A i najwyższą liczbę punktów za wszystkie publikacje w ocenie Wydziału Przyrodniczo-Technologicznego za okres 2009-2012 w grupie doktorów

## Rozdział 4

# Osiągnięcia w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej

### 4.1 Udział w programach europejskich

COST10 „Physics of Risk” COST-STSM-P10-02576 (2007)

### 4.2 Udział w naukowych konferencjach naukowych

#### 4.2.1 Udział w komitetach naukowych i organizacyjnych konferencji

1. 3rd Polish Symposium on Econo- and Sociophysics, Wrocław, Polska (listopad 2007), członek komitetu organizacyjnego i naukowego, przewodniczący sesji
2. „Błony Biologiczne”, Łądek Zdrój, Polska (2008), członek komitetu organizacyjnego
3. ITISE 2014 International Work-Conference On Time Series, Granada, Hiszpania (czerwiec 2014), członek komitetu naukowego i przewodniczący sesji

#### 4.2.2 Uczestnictwo w konferencjach

Uczestnik 26 konferencji naukowych.

#### 4.3 Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych

**od 2003** Członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego

**od 2004** Członek zarządu Sekcji FENS Polskiego Towarzystwa Fizycznego

**2001-2004** Sekretarz Komitetu Biologii Molekularnej PAN

**2011-2014** Członek Komisji Chemii, Fizyki, i Techniki w Biologii Wrocławskiego Oddziału Polskiej Akademii Nauk

#### 4.4 Udział w projektach badawczych

1. COST10 „Physics of Risk”
2. „Makroregion innowacyjny. Foresight technologiczny dla województwa dolnośląskiego do 2020 r.”. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską oraz budżet państwa. Nr WKP 1/1.4.5/1/2005/3/3/225
3. „Badanie mechanizmów toksyczności wybranych organicznych związków cyny i ołowiu na błony biologiczne i modelowe oraz ochrony błon przed toksykantami”, grant nr **2 P04G 089 27**, 27 konkurs.
4. „Mechanizm działania wybranych związków metaloorganicznych na kanały błonowe (jonowe i złącza komórkowych) pewnych komórek i na inne białka i lipidy błonowe oraz ochrona przed działaniem tych związków”, grant nr **N N305 336434**, 34 konkurs.
5. „Ochrona środowiska przed toksycznym wpływem związków organicznych ołowiu i cyny metodą elektryczną”, grant nr **N N305 133540**, 40 konkurs.

#### 4.5 Recenzje projektów i publikacji naukowych

- Physica A: 11 recenzji
- Modern Physics Letters B: 1 recenzja



- European Physical Journal B: 2 recenzje
- Journal of Advanced Research: 1 recenzja
- Quality and Quantity: 1 recenzja
- The Social Science Journal: 1 recenzja
- ITISE2014: 3 recenzje

## 4.6 Osiągnięcia dydaktyczne

Opieka naukowa nad studentami: promotor 4 licencjatów w zakresie ekonomii fizyki.

Recenzje 5 prac licencjackich i jednej magisterskiej.

## 4.7 Nagrody i wyróżnienia za działalność dydaktyczną i popularyzatorską

**2007** Dyplom uznania Prorektora ds. Nauki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu za wkład w organizację jubileuszowego X Dolnośląskiego Festiwalu Nauki

## 4.8 Staże w zagranicznych ośrodkach naukowych

**2003** Post-doc na Uniwersytecie w Liège

**2004** Post-doc na Uniwersytecie w Liège

**2004** Travel Grant ufundowany przez „The Thierd Nikkei Econophysics Symposium”

**2004** Travel Grant ufundowany przez „Cost 10 Physics of Risk” (Invited Speaker)

*Janusz Miśkiewicz*