

dr Witold Orzeszko

Załącznik 2

AUTOREFERAT

Układ treści

1) Imię i nazwisko	1
2) Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	1
3) Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych	2
4) Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)	2
5) Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych (artystycznych)	19
5.1) Informacje ogólne	19
5.2) Pozostałe kierunki naukowo – badawcze	33

1) Imię i nazwisko

Witold Orzeszko

2) Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- doktor nauk ekonomicznych, Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, 17 listopada 2004 r., tytuł rozprawy doktorskiej: *Identyfikacja i prognozowanie chaosu deterministycznego w ekonomicznych szeregach czasowych* (promotor: prof. dr hab. Magdalena Osińska).
- magister – kierunek Zarządzanie i Marketing, Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, 2000 r.
- magister – kierunek Matematyka, Wydział Matematyki i Informatyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, 1997 r.

1
D.M.

3) Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

- od 2005 – adiunkt, Katedra Ekonometrii i Statystyki, Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,
- 2002-2005 – asystent, Katedra Ekonometrii i Statystyki, Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu.

4) Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa

Jako moje osiągnięcie naukowe wskazuję cykl publikacji *Identyfikacja nieliniowości w finansowych szeregach czasowych przy zastosowaniu nieparametrycznych metod analizy danych*, na który składają się monografia i artykuły:

1. *Nieparametryczna identyfikacja nieliniowości w finansowych i ekonomicznych szeregach czasowych*, Wydawnictwo UMK, 2016.
2. Nonparametric Testing for Serial Independence Using the NRL Statistic, *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, w druku, DOI: 10.1080/03610918.2016.1146760.
3. Symulacyjna ocena rozmiaru testu BDS, *Przegląd Statystyczny*, 61 (4), 2014, 335-361.
4. Nieliniowa identyfikacja rzędu autozależności w stopach zmian indeksów giełdowych, *Przegląd Statystyczny*, 59 (4), 2012, 369-385.
5. Nonparametric Verification of GARCH-Class Models for Selected Polish Exchange Rates and Stock Indices, *Finance a úvěr – Czech Journal of Economics and Finance*, 62 (5), 2012, 430-449, (współautor: P. Fiszeder).
6. Measuring Nonlinear Serial Dependencies Using the Mutual Information Coefficient, *Dynamic Econometric Models*, 10, 2010, 97-106.
7. Detection of Nonlinear Autodependencies Using Hiemstra-Jones Test, w: *Financial Markets. Principles of Modeling, Forecasting and Decision-Making*, red. W. Milo, G. Szafranski, P. Wdowiński, Łódź 2010, 157-170.

8. Applying the Concept of Granger Causality to Detect Nonlinear Autodependencies in Time Series, *Dynamic Econometric Models*, 8, 2008, 139-146.
9. Zastosowanie testu Kaplana do identyfikacji ekonomicznych szeregów czasowych, w: *Współczesne Trendy w Ekonometrii*, red. Z. Zieliński, Olsztyn 2008, 139-150.
10. Analiza przyczynowości w zakresie zależności nieliniowych. Implikacje finansowe, w: *Rynek Kapitałowy. Skuteczne Inwestowanie*, red. W. Tarczyński, Szczecin 2007, 151-166, (współautor: M. Osńska).
11. Detecting Nonlinear Causality at Financial Markets, w: *Financial Markets. Principles of Modeling, Forecasting and Decision-Making*, red. W. Milo, P. Wdowiński, Łódź 2006, 259-276, (współautor: M. Osńska).

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Jednym z podstawowych zadań ekonometrii finansowej jest identyfikacja prawidłowości występujących w danych finansowych (zob. Jajuga, [2007]). Odkrywanie mechanizmów kształtowania się rzeczywistych procesów na rynkach finansowych jest istotne nie tylko ze względów poznawczych, lecz także aplikacyjnych, gdyż jest podstawą ich modelowania i prognozowania. Identyfikacja powiązań w zakresie zmiennych i procesów finansowych wpisuje się w nurt badań nad efektywnością informacyjną rynków finansowych – koncepcji, której doniosłe znaczenie dla rozwoju finansów zostało potwierdzone przyznaniem nagrody im. Alfreda Nobla jej pionierowi – E. Fama. We wcześniejszych badaniach prezentowanych w literaturze przedmiotu weryfikacja hipotezy efektywności rynków często sprowadzała się do testowania obecności autokorelacji w procesie stóp zwrotu (lub przyrostów cen). Podejście to wynikało z powszechnie przyjmowanego wówczas założenia o normalności rozkładu stóp zwrotu. Obecnie jednak wiadomo, że rozkłady finansowych szeregów czasowych różnią się od normalnego występowaniem grubych ogonów, leptokurtycznością i asymetrią. W przypadku procesów niegaussowskich brak autokorelacji nie implikuje niezależności, co oznacza, że badania nad efektywnością rynków powinny obejmować również identyfikację zależności o charakterze nieliniowym. Istnienie w stopach zwrotu (lub przyrostach cen) zależności nieliniowych oznacza potencjalną możliwość ich wykorzystania do efektywnego prognozowania i w konsekwencji – do systematycznego uzyskiwania ponadprzeciętnych dochodów.

Nieliniowa analiza szeregów czasowych jest obiecującą i szybko rozwijającą się dziedziną ekonometrii. Teoretyczne przesłanki uzasadniające stosowanie modeli nieliniowych w ekonomii i finansach są coraz częściej potwierdzane przez badania empiryczne, z których wynika, że wiele rzeczywistych szeregów czasowych cechuje się nieliniową dynamiką. Wśród narzędzi stosowanych do analizy nieliniowości coraz większe uznanie zyskują metody nieparametryczne. Metody te nie wymagają apriorycznego określenia rodzaju nieliniowych zależności obecnych w danych, cechują się zwykle większą uniwersalnością, polegającą na możliwości detekcji nieliniowości bardzo różnej natury, a także obarczone są mniejszą liczbą założeń. Jednak wiele z proponowanych współcześnie nieparametrycznych metod analizy nieliniowych szeregów czasowych charakteryzuje się dużą złożonością obliczeniową, przez co wymaga stosowania komputerów o dużej mocy obliczeniowej. Obserwowany w ostatnich latach wzrost zainteresowania możliwościami zastosowania statystyki nieparametrycznej w analizie procesów finansowych i ekonomicznych nie byłby więc możliwy bez dynamicznego rozwoju technologii informatycznych, którego jesteśmy świadkami.

Celem wskazanego cyklu publikacji jest prezentacja i ocena najważniejszych nieparametrycznych metod identyfikacji nieliniowości w szeregach czasowych, przeprowadzenie badań symulacyjnych prowadzących do określenia ich własności, a także analiza rzeczywistych procesów finansowych przy ich zastosowaniu. Ze względu na dużą dynamikę zmian, którym podlega współczesny rynek finansowy, szczególny nacisk położono na metody analizy zależności krótkookresowych. Obserwowany w ostatnich dekadach wzrost powiązań rynków finansowych na świecie spowodował, że na krajowe rynki finansowe oddziałuje coraz więcej czynników zewnętrznych. Postępująca globalizacja i liberalizacja, wraz z towarzyszącym im rozwojem nowych technologii i powiększającym się dostępem do zasobów informacji, istotnie wpłynęły na funkcjonowanie systemu finansowego, zwiększając jego płynność, poprawę efektywności działania instytucji finansowych i wzrost mobilności kapitału. Z drugiej strony obserwuje się zwiększenie znaczenia krótkoterminowego kapitału spekulacyjnego i w efekcie – wyższą podatność na pojawianie się różnego rodzaju zaburzeń, kryzysów i innych negatywnych zjawisk. Oznacza to, że analizując współczesny rynek finansowy należy liczyć się z możliwością istnienia procesów, których struktura podlega dużej zmienności w czasie. Zastosowane metody umożliwiają badanie tego typu zjawisk, a jednocześnie charakteryzują się dużą uniwersalnością, polegającą na możliwości ich zastosowania do różnych segmentów rynku finansowego.

W literaturze szeroko omawiane są empiryczne własności finansowych szeregów czasowych, do których należą: grupowanie się zmienności i bezpośrednio z tym związana

zmienność wariancji warunkowej, słaba autokorelacja stóp zwrotu, występowanie asymetrycznego wpływu dodatnich i ujemnych stóp zwrotu na wariancję, długoterminowa zależność danych, istnienie silnych zależności między procesami stóp zwrotu różnych instrumentów finansowych, a także pewne charakterystyczne cechy rozkładów stóp zwrotu, tj. grube ogony, leptokurtyczność i asymetria (np. Fiszeder, [2009] i cytowana tam literatura). Z tego względu w badaniach symulacyjnych, których wyniki przedstawiono we wskazanym cyklu publikacji, wykorzystano przede wszystkim procesy charakteryzujące się wysoką przydatnością do modelowania finansowych szeregów czasowych. W efekcie otrzymane rezultaty umożliwiają ocenę przydatności nieparametrycznych metod identyfikacji nieliniowości do analizy danych, odzwierciedlających empiryczne własności finansowych szeregów czasowych. W zakresie badań nad identyfikacją rzeczywistych procesów finansowych analizie poddano wybrane instrumenty finansowe (akcje, instrumenty pochodne), indeksy giełdowe, kursy walutowe, a także wolumeny obrotów na giełdach papierów wartościowych. Szczególny nacisk położono na analizę polskiego rynku finansowego.

We wskazanym cyklu publikacji najbardziej kompleksowy charakter ma monografia [1].¹ Jej pierwszym celem jest usystematyzowanie obecnego stanu wiedzy na temat nieparametrycznych metod badania nieliniowości w szeregach czasowych oraz dyskusja nad ich przydatnością do identyfikacji procesów ekonomicznych i finansowych. W stosunku do prac [2-11] przedstawiono w niej znacznie szersze spektrum narzędzi badawczych, obejmujących przede wszystkim testy statystyczne, miary zależności oraz pewne niezmienniki systemów dynamicznych. Drugim celem pracy [1] jest symulacyjna analiza rozmiaru i mocy nieparametrycznych testów statystycznych służących do detekcji nieliniowości. Na tle innych badań prezentowanych w literaturze, przeprowadzone symulacje można uznać za bardzo rozbudowane, gdyż, porównano w nich zróżnicowane testy nieliniowości (w tym dwie autorskie propozycje testów), uwzględniono wiele różnych procesów generujących, a podstawą badania były szeregi o różnej długości. Warto również podkreślić, że do wyznaczenia wartości krytycznych testów zastosowano nieparametryczną technikę próbkowania, która w przypadku wielu testów nieliniowości jest zalecaną metodą aproksymacji rozkładów statystyk testowych. Trzecim celem pracy jest identyfikacja nieliniowości w wybranych finansowych i ekonomicznych szeregach czasowych przy zastosowaniu nieparametrycznych metod analizy danych. Na tle innych publikacji

¹ Numeracja poszczególnych prac odnosi się do wykazu publikacji wskazanych jako osiągnięcia, znajdującego się na początku punktu 4 niniejszego załącznika.

przeprowadzone badanie wyróżnia się spójnością oraz szerokim zakresem. Rozważone procesy zbadano przy wykorzystaniu wielu metod badawczych, umożliwiających identyfikację nieliniowości zarówno w relacjach między dwoma procesami, jak i w dynamice pojedynczych procesów. Ponieważ nieparametryczna analiza nieliniowości jest wciąż niszową dziedziną ekonometrii, większość zastosowanych metod nie jest powszechnie znana. Jednak zarówno przeprowadzone w pracy symulacje, jak i wyniki badań innych autorów wskazują na fundamentalne znaczenie użytych metod jako narzędzi analizy nieliniowych szeregów czasowych. Oprócz danych surowych, analizie poddano również dane przefiltrowane, przy czym w procesie filtracji zastosowano wybrane, szczególnie użyteczne w ekonometrii finansowej modele procesów stochastycznych oraz metodę redukcji szumu losowego. W efekcie otrzymane wyniki umożliwiają nie tylko stwierdzenie, czy analizowane procesy są nieliniowe, lecz także stanowią podstawę do identyfikacji charakteru wykrytej nieliniowości.

Praca [1] składa się z pięciu rozdziałów, wstępu i zakończenia. Rozdział 1 poświęcono zarówno teoretycznym, jak i empirycznym aspektom analizy nieliniowości w finansach i ekonomii. W rozdziale 2 scharakteryzowano nieparametryczne metody wnioskowania statystycznego. Zestawiono w nim i usystematyzowano najważniejsze pojęcia i narzędzia statystyki nieparametrycznej w zakresie: estymacji parametrów i charakterystyk funkcyjnych rozkładów, analizy regresji oraz weryfikacji hipotez statystycznych. Rozdział 3 poświęcono zagadnieniu modelowania nieliniowych szeregów czasowych za pomocą procesów stochastycznych oraz systemów dynamicznych. Rozdziały 4 i 5 mają charakter metodologiczny oraz aplikacyjny. Przedstawiono i zastosowano w nich wiele metod analizy jedno- oraz wielowymiarowych szeregów czasowych, które we współczesnej literaturze przedmiotu zyskują na znaczeniu, jako szczególnie użyteczne narzędzia identyfikacji nieliniowości. Większość z badań przeprowadzono przy zastosowaniu autorskich kodów źródłowych w środowisku Matlab.

Badania we wskazanym cyklu publikacji ukierunkowane były na weryfikację następujących hipotez badawczych:

1. Nieparametryczne metody analizy danych umożliwiają identyfikację nieliniowości w finansowych szeregach czasowych.
2. W procesach finansowych występują zależności nieliniowe, niewynikające wyłącznie z powiązań w zakresie drugich momentów rozkładów.

Przeprowadzone badania można podzielić na dwie kategorie:

- 1) identyfikację i pomiar nieliniowych zależności między dwiema zmiennymi losowymi (lub procesami stochastycznymi),
- 2) detekcję nieliniowości w dynamice pojedynczych procesów stochastycznych.

Ad 1) Narzędziami analizy w zakresie pierwszego wymienionego obszaru badawczego były we wskazanym cyklu publikacji przede wszystkim nieparametryczne miary zależności oraz nieparametryczne testy przyczynowości w sensie Grangera (prace: [10], [11] oraz czwarty rozdział monografii [1]).

Nieparametryczne miary zależności zostały zaprezentowane i zastosowane w czwartym rozdziale monografii [1]. Scharakteryzowano w nim najważniejsze miary zależności, ich własności i możliwości zastosowania, ze szczególnym uwzględnieniem przydatności do pomiaru relacji o charakterze nieliniowym. Dokonano analizy symulacyjnej, w której na podstawie zróżnicowanych procesów generujących, zbadano skuteczność najważniejszych nieparametrycznych miar zależności, tj. współczynnika korelacji rangowej Spearmana, współczynnika tau Kendalla, współczynnika informacji wzajemnej, a także, najbardziej popularnej parametrycznej metody pomiaru zależności – współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Następnie, korzystając z testu permutacyjnego zbadano istotność współczynników, co w efekcie umożliwiło formalne zweryfikowanie hipotezy o występowaniu zależności w badanych procesach. Z otrzymanych rezultatów wynika, że rozważone współczynniki są dobrym narzędziem identyfikacji zależności, choć w przypadku relacji o charakterze nieliniowym należy rekomendować stosowanie współczynnika informacji wzajemnej. Na podkreślenie zasługuje dość zaskakujący fakt, że test istotności współczynnika korelacji liniowej Pearsona okazał się mieć nieco wyższą moc względem nieliniowych zależności niż współczynnik Spearmana oraz Kendalla. Przeprowadzone badanie pokazało również, że zastosowane miary zależności nie stanowią dobrego narzędzia identyfikacji rzędu opóźnień w procesach generujących.

Następnie rozważone miary zastosowano do identyfikacji zależności między wybranymi procesami finansowymi i ekonomicznymi. W zakresie danych finansowych analizie poddano relacje między indeksami giełd papierów wartościowych, wolumenem obrotów akcji oraz kursami walut. W przeprowadzonym badaniu testy istotności współczynników Pearsona, Spearmana oraz Kendalla w większości wypadków prowadziły do podobnych wniosków, dość często różniących się od wniosków otrzymywanych w wyniku zastosowania współczynnika informacji wzajemnej. W porównaniu z pozostałymi miarami,

współczynnik ten częściej wykazywał obecność zależności zarówno przed, jak i po przefiltrowaniu stóp zmian modelem VAR, wskazując na nieliniowość większości badanych relacji. Wynik ten może być efektem wysokiej mocy współczynnika informacji wzajemnej jako narzędzia detekcji nieliniowości, lecz także, zauważonego podczas badań symulacyjnych, problemu z rozmiarem testu jego istotności. Z rezultatów testów istotności miar dla reszty z modeli VAR wynika, że badane procesy powiązane są jednoczesnymi relacjami o charakterze nieliniowym. Mniej jednoznaczne rezultaty otrzymano, analizując relacje opóźnione w czasie. W tym zakresie można było zauważyć wyraźną różnicę między wynikami współczynnika informacji wzajemnej i pozostałych miar zależności. Za wyjątkiem relacji między szeregiem stóp zmian indeksu WIG i szeregiem opóźnionych wartości stóp zmian wolumenu obrotu spółek wchodzących w skład tego indeksu, w przypadku większości procesów i dla większości rozważonych opóźnień czasowych współczynnik informacji wzajemnej wykazał obecność nieliniowych zależności. Tymczasem pozostałe współczynniki jedynie w sporadycznych przypadkach okazywały się istotne statystycznie, lecz traciły istotność po przefiltrowaniu modelem VAR. Oznacza to, że w przeciwieństwie do współczynnika informacji wzajemnej nie wykryły one nieliniowości w opóźnionych w czasie relacjach między analizowanymi procesami. Dość istotne różnice w rezultatach badania zauważono po przefiltrowaniu szeregów modelami GARCH (z warunkowym rozkładem t -Studenta). Choć we wszystkich analizowanych parach, oprócz stóp zmian indeksu WIG i stóp zmian wolumenu obrotu spółek, nadal obecne były jednoczesne nieliniowe relacje, to tym razem w wielu wypadkach dużo bardziej wątpliwy wydaje się wniosek o nieliniowości relacji opóźnionych w czasie. Zauważony wpływ filtracji modelem GARCH na wyniki badań może świadczyć, że analizowane szeregi finansowe są do siebie podobne w zakresie dynamiki wariancji warunkowej. Należy jednak dodać, że przeprowadzona analiza umożliwiła detekcję relacji również o innym charakterze. Mianowicie, wszystkie zastosowane miary zależności wykazały obecność liniowej relacji między stopami zmian indeksu WIG i opóźnionymi o jeden okres stopami zmian indeksu DJIA oraz opóźnionymi o jeden okres stopami zmian indeksu WIG i stopami zmian kursu EUR/PLN. Ponadto, współczynnik informacji wzajemnej wykazał istnienie relacji nieliniowych, niewynikających jedynie z podobieństwa wariancji warunkowych w przypadku: stóp zmian indeksu WIG i opóźnionych o jeden okres stóp zmian kursu EUR/PLN, opóźnionych o trzy okresy stóp zmian indeksu WIG i stóp zmian kursu EUR/PLN oraz opóźnionych o dwa okresy stóp zmian kursu EUR/PLN i stóp zmian kursu USD/PLN.

W pracach [10], [11] oraz czwartym rozdziale monografii [1] podjęto temat nieliniowej przyczynowości w sensie Grangera (Granger, [1969]). Przyczynowość w sensie Grangera jest jednym z kluczowych pojęć w analizie zależności między procesami stochastycznymi. W większości prac poświęconych tej tematyce badania ograniczają się do identyfikacji zależności o charakterze liniowym, a podstawowym narzędziem tej analizy jest model typu VAR. Jednak w literaturze przedmiotu można również znaleźć alternatywne koncepcje, które uwzględniają potencjalnie nieliniowy charakter relacji przyczynowych. W tym kontekście szczególnie ważne znaczenie ma definicja przyczynowości zaproponowana przez E.G. Baeka i W.A. Brocka (Baek i Brock, [1992]), do której odwołują się nieparametryczne testy: Hiemstry i Jonesa (Hiemstra i Jones, [1994]) oraz Diksa i Panchenki (Diks i Panchenko, [2006]). W pracy [10] porównano wyniki testów Hiemstry i Jonesa oraz Diksa i Panchenki dla danych generowanych oraz zbadano, czy wybrane procesy finansowe powiązane są ze sobą nieliniowymi zależnościami. W przypadku danych generowanych otrzymano rezultaty zgodne z oczekiwanymi, tzn. dla szeregów będących realizacjami wzajemnie niezależnych białych szumów nie wykryto żadnych powiązań, a w przypadku danych wygenerowanych z modelu Baeka i Brocka (Baek i Brock, [1992]) testy poprawnie wykazały obecność nieliniowych relacji przyczynowych. Następnie testowaniu poddano zależności między stopami zwrotu z wybranych akcji i indeksów z GPW w Warszawie a odpowiadającymi im wolumenami obrotów. W literaturze wskazuje się na możliwość występowania relacji przyczynowej w obu kierunkach, uzasadniając to faktem, że napływająca sekwencyjnie informacja może w podobny sposób wpływać na dynamikę szeregów zwrotów oraz wolumenów obrotu (Hiemstra i Jones, [1994]). Przeprowadzone badanie wykazało, że na ogół zmiany cen determinują zmiany obrotów i zależności te mają nieliniowy charakter. Odmienne zachowanie odnotowano jedynie dla indeksu WIG-telkom, w przypadku którego, istotna okazała się zależność przyczynowa w obu kierunkach. W tym wypadku obecność zależności występujących na rozwiniętych rynkach kapitałowych wydaje się wypadkową aktywności inwestorów i płynności spółek wchodzących w skład tego indeksu.

Z kolei w pracy [11] zastosowano wyłącznie test Hiemstry i Jonesa, jednak w przeciwieństwie do pracy [10] uwzględniono w nim większą liczbę parametrów oraz rozważono jego prawostronny wariant. W pierwszej kolejności przeprowadzono badania symulacyjne, których wyniki potwierdziły przydatność testu do analizy nieliniowych relacji przyczynowych. Następnie testowaniu poddano zależności między wybranymi procesami finansowymi. Przeprowadzone badanie wykazało, że dla pary euro-dolar cena kontraktu

terminowego jest nieliniową przyczyną dla kursu wymiany. W pracy wykryto również istnienie nieliniowych powiązań między rynkiem walutowym a giełdami papierów wartościowych. Badanie wykazało, że kurs wymiany EUR/USD jest przyczyną dla indeksów DJIA oraz DAX, przy czym w przypadku indeksu DAX zależność ta zachodzi w obu kierunkach. Ponadto ponownie zbadano istnienie zależności przyczynowych między słopami zwrotu z wybranych akcji i indeksów z GPW w Warszawie a odpowiadającymi im wolumenami obrotu, jednak w porównaniu z pracą [10] uwzględniono inne spółki oraz inny zakres czasowy notowań. Tym razem jednak nie otrzymano podstaw do odrzucenia hipotezy o braku przyczynowości dla którejkolwiek z badanych relacji, co uniemożliwiło potwierdzenie wniosków sformułowanych w pracy [10]. Powodem takiego stanu rzeczy był fakt, że w pracy [10] zastosowano obustronny wariant testu (zgodnie z twierdzeniem przedstawionym w pracy [Hiemstra i Jones, 1994], s. 1648), a w pracy [11] – jego wariant prawostronny (zgodnie z niesformalizowanymi rekomendacjami autorów testu (Hiemstra i Jones, [1994], przypis 7, s. 1648)). Pokazuje to, że przyjęcie w badaniu określonego wariantu testu może mieć kluczowe znaczenie dla otrzymywanych wniosków. Kwestia ta nie została dotąd wystarczająco wnikliwie rozważona w literaturze, choć w prezentowanych badaniach empirycznych, zarówno w przypadku testu Hiemstry i Jonesa, jak i Diksa i Panchenki, większość autorów stosowała warianty prawostronne. Z tego powodu w dalszych badaniach, których wyniki przedstawiono w czwartym rozdziale monografii [1], uwzględniono prawostronne warianty obu testów. W pracy tej dokonano analizy symulacyjnej, prezentującej działanie testów w zastosowaniu do zróżnicowanych procesów generujących dane. Oba rozważone testy dały bardzo podobne wyniki w zakresie analizy ich rozmiaru i mocy. Badanie wykazało, że testy Hiemstry i Jonesa oraz Diksa i Panchenki są skutecznym narzędziem detekcji relacji przyczynowych o charakterze zarówno liniowym, jak i nieliniowym oraz, że do ich poprawnego działania wystarczą szeregi złożone już z 300 obserwacji. Ponadto pokazano, że testy te umożliwiają również identyfikację rzędu opóźnień w procesach generujących, co oznacza, że mogą być użyteczne w procesie specyfikacji modeli opisujących analizowane zależności. Następnie przeprowadzono badanie, mające na celu identyfikację relacji przyczynowych między indeksami giełd papierów wartościowych, wolumenem obrotów akcji oraz kursami walut. Z otrzymanych rezultatów wynika, że analizowane procesy finansowe powiązane są ze sobą nieliniowymi zależnościami przyczynowymi, których głównym źródłem wydaje się ich podobieństwo w zakresie dynamiki wariancji warunkowej. Jednak badanie wykazało również istnienie relacji przyczynowych innego typu. Mianowicie, wykryto liniowy wpływ indeksu DJIA na indeks

WIG oraz indeksu WIG na kurs EUR/PLN, a także nieliniowy wpływ indeksu WIG na DJIA oraz kursu EUR/PLN na kurs USD/PLN. Należy jednak podkreślić, że wskazania te nie były silne, a ponadto, wydaje się, że wpływ indeksu WIG na DJIA może należeć do efektów pozornych, opisanych w literaturze mikrostruktury rynku jako wynik niesynchronizacji handlu i różnic w płynności.

Z przedstawionych powyżej wyników badań z zakresu identyfikacji i pomiaru nieliniowych zależności między dwiema zmiennymi losowymi lub procesami stochastycznymi wynikają następujące wnioski generalizujące:

1. Analizowane miary zależności (tj. współczynnik korelacji liniowej Pearsona, współczynnik korelacji rangowej Spearmana, współczynnik tau Kendalla, współczynnik informacji wzajemnej) są dobrymi narzędziami identyfikacji zależności. Do badania relacji o charakterze nieliniowym zaleca się stosowanie współczynnika informacji wzajemnej.
2. Testy Hiemstry i Jonesa oraz Diksa i Panchenki umożliwiają nie tylko detekcję nieliniowej przyczynowości w sensie Grangera, lecz również – identyfikację rzędu opóźnień w procesach generujących.
3. Wiele spośród zbadanych rzeczywistych procesów finansowych powiązanych jest ze sobą nieliniowymi zależnościami. Wykazano istnienie nieliniowych powiązań między rynkiem walutowym a giełdą papierów wartościowych, a także między procesami w obrębie poszczególnych segmentów rynku finansowego.
4. Część spośród wykrytych relacji ma charakter przyczynowy (w sensie Grangera), przy czym ich głównym źródłem wydaje się podobieństwo analizowanych procesów w zakresie dynamiki wariancji warunkowej.
5. Zidentyfikowane zależności mają charakter krótkookresowy, a ich struktura może podlegać istotnym zmianom w czasie.
6. Istnieje potencjalna możliwość wykorzystania wykrytych nieliniowości do efektywnego prognozowania analizowanych procesów.

Ad 2) Druga grupa badań ukierunkowana była na weryfikację hipotezy o nieliniowości dynamiki procesów, czyli o istnieniu nieliniowej relacji między ich przeszłością a przyszłością. W przypadku procesów finansowych typowym rodzajem nieliniowości obecnym w danych jest efekt ARCH, wyrażający się w istnieniu powiązań między kwadratami stóp zwrotu. Jednak w procesach finansowych mogą być obecne również inne zależności, potencjalnie umożliwiające efektywne prognozowanie nie tylko zmienności, ale

również wartości oczekiwanej. Z tego powodu we wskazanym cyklu publikacji duży nacisk postawiono na zbadanie, czy w finansowych szeregach czasowych istnieją nieliniowe zależności i czy wynikają one wyłącznie z efektu ARCH. W badaniach uwzględniono wiele nieparametrycznych testów służących do identyfikacji nieliniowości, różniących się konstrukcją, własnościami i mocą detekcji określonych aspektów nieliniowości.

W pracy [9] zaprezentowano test Kaplana, zaproponowany przez jego autora jako narzędzie detekcji zależności deterministycznych. Jednak, jak wskazano w publikacji, w praktyce możliwości stosowania testu są dużo szersze – można go wykorzystać do identyfikacji zależności różnego rodzaju, również stochastycznych. W pracy na podstawie danych symulowanych (biały szum, odwzorowanie logistyczne, odwzorowanie logistyczne z szumem oraz procesy ARMA i GARCH) potwierdzono użyteczność testu Kaplana do identyfikacji szeregów czasowych. W zastosowaniu do szeregu logarytmicznych stóp zmian indeksu WIG, test wykazał istnienie nieliniowych zależności, które tylko w ograniczonym stopniu można wytłumaczyć obecnością efektu ARCH.

W pracach [7] i [8] sięgnięto po test nieliniowej przyczynowości Hiemstry i Jonesa, lecz zaproponowano, aby wykorzystać go w odmienny, dotąd niestosowany w literaturze sposób – do identyfikacji nieliniowej dynamiki w pojedynczym szeregu czasowy. W tym celu przyjęto w teście za „szereg przyczynę” odpowiednio skonstruowany ciąg przeszłych realizacji badanego szeregu, przy czym we wskazanych pracach zaproponowano dwie strategie konstruowania takich ciągów. Podejście to umożliwia wykrycie nieliniowych zależności, dających potencjalną możliwość prognozowania szeregu na podstawie jego przeszłych wartości. Skuteczność metody potwierdzono w pracach [7] i [8] na podstawie danych symulowanych (biały szum, odwzorowanie logistyczne oraz procesy: ARCH, GARCH, ARMA i nieliniowy proces średniej ruchomej – NLMA). W pracy [8] zaproponowaną metodę zastosowano do analizy stóp zmian indeksów z GPW w Warszawie. Otrzymane rezultaty w wyraźny sposób wykazały istnienie nieliniowych zależności w dynamice badanych procesów. Zastosowane modele klasy ARMA-GARCH były w stanie częściowo opisać zidentyfikowane zależności, jednak w większości wypadków otrzymane rezultaty wskazywały na obecność w szeregach zależności nie wynikających jedynie z efektu ARCH.

Badania w pracach [4] i [6] zostały przeprowadzone za pomocą współczynnika informacji wzajemnej. Tak jak w przypadku współczynników korelacji liniowej, współczynnik ten można wykorzystać do analizy nie tylko zależności między dwoma szeregami czasowymi (jak zostało to opisane we wcześniejszej części autoreferatu), lecz także

– zależności w dynamice pojedynczego szeregu czasowego. W pracy [6] skupiono się na zastosowaniu współczynnika informacji wzajemnej do testowania nieliniowości w dynamice szeregów czasowych. W badaniu uwzględniono test istotności współczynnika, przy czym obszar krytyczny testu wyznaczono przy zastosowaniu metod próbkowania. Otrzymane wyniki dla danych generowanych potwierdziły wysoką moc testu względem różnego rodzaju zależności. Ponadto badaniu poddano indeksy z GPW w Warszawie. Z przeprowadzonej analizy wynika, że w badanych indeksach powszechnie występują nieliniowe zależności, którą w większości wypadków dobrze opisuje model typu ARMA-GARCH. Jedynie w przypadku indeksów WIG oraz mWIG40 istnieją przesłanki, aby sądzić, że wykryta nieliniowość nie jest wywołana wyłącznie efektem ARCH. Z kolei w pracy [7] położono nacisk na zastosowanie współczynnika informacji wzajemnej do określenia rzędu opóźnień, jaki powinien zostać uwzględniony w nieliniowym modelu analizowanych procesów finansowych. W tym celu dokonano weryfikacji istotności współczynnika informacji wzajemnej dla różnych wartości opóźnień czasowych. Przedmiotem badania były indeksy z GPW w Warszawie oraz wybranych zagranicznych giełd papierów wartościowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że w siedmiu z dwunastu przebadanych indeksów giełdowych obecny jest nie tylko efekt ARCH, lecz także zależności nieliniowe innego typu i w większości wypadków są to zależności z opóźnieniem czasowym równym jeden.

Zasadniczym celem pracy [5] było zbadanie, w jakim stopniu wyniki identyfikacji nieliniowości mogą zależeć od rodzaju modelu zastosowanego do eliminacji efektu ARCH. Z tego względu do przefiltrowania analizowanych szeregów czasowych (stóp zmian kursów wymiany złotego względem euro i dolara oraz indeksów GPW w Warszawie) zastosowano bogatą klasę modeli typu ARCH: GARCH, GARCH-M, GJR, EGARCH, FIGARCH, IGARCH, PGARCH, CGARCH, przy czym w przypadku modelu GARCH uwzględniono rozkłady warunkowe: normalny, t -Studenta, skośny t -Studenta oraz GED. Dodatkowo, oprócz jednowymiarowych modeli klasy ARCH w pracy zastosowano również dwurównaniowe modele BEKK. W celu oceny poprawności specyfikacji rozważonych modeli otrzymane reszty poddano testowaniu, czy są realizacją procesów i.i.d. (tzn. procesów niezależnych zmiennych losowych o jednakowym rozkładzie). Do tego celu wykorzystano nieparametryczne testy: BDS oraz test istotności miary informacji wzajemnej, a w celu lepszej interpretacji otrzymanych rezultatów – również test Ljung i Boxa oraz Engle'a, w przypadku których wartości krytyczne zostały wyznaczone za pomocą nieparametrycznej metody bootstrap. Otrzymane wyniki potwierdziły, że zastosowane modele klasy GARCH różnią się przydatnością do opisu nieliniowych zależności w finansowych szeregach

czasowych. Nieco zaskakujący okazał się wniosek, że bardziej rozbudowane specyfikacje modeli klasy GARCH nie miały istotnej przewagi nad standardowym modelem GARCH, pod warunkiem jednak, że uwzględniono w nim odpowiednie wartości opóźnień czasowych. Jedynie w przypadku kursu EUR/PLN żaden z zastosowanych modeli nie był w stanie całkowicie wyeliminować efektu ARCH, co może oznaczać, że w procesie tym istnieją również zależności innego typu.

Celem pracy [3] było zbadanie rozmiaru testu BDS, będącego jednym z najważniejszych i najczęściej stosowanych nieparametrycznych narzędzi detekcji nieliniowości w szeregach czasowych. W badaniu uwzględniono trzy alternatywne sposoby aproksymacji rozkładu statystyki testowej: klasyczny – polegający na zastosowaniu asymptotycznego rozkładu normalnego oraz dwie metody próbkowania – bootstrap oraz technikę permutacji. Z przeprowadzonych symulacji Monte Carlo wynika, że empiryczny rozmiar testu BDS zależy od rodzaju rozkładu procesu generującego, długości analizowanego szeregu czasowego, przyjętej w teście wartości wymiaru zanurzenia m , a przede wszystkim – od sposobu aproksymacji rozkładu statystyki testowej. Porównując różnice między empirycznymi rozmiarami testu a założonymi poziomami istotności, należy stwierdzić, że w przypadku szeregów złożonych z 300 oraz 500 obserwacji, metody próbkowania okazały się lepszym narzędziem aproksymacji rozkładu statystyki testowej niż rozkład asymptotyczny. W większości przypadków rozkład asymptotyczny prowadził do zbyt częstego odrzucenia hipotezy, że badany szereg jest realizacją procesu i.i.d. Własność ta szczególnie widoczna była dla rozkładu jednostajnego $U(0,1)$ oraz gamma $G(5,1)$. W przypadku wszystkich rozważonych rozkładów, tj. również: $N(0,1)$, t -Studenta $t(3)$ i $t(10)$ oraz chi-kwadrat $\chi^2(2)$ i $\chi^2(4)$ rozmiar testu w dużym stopniu zależał od długości badanego szeregu czasowego. Dla szeregów krótkich, tj. złożonych z 300 i 500 obserwacji, jedynie dla rozkładów $t(3)$ i $\chi^2(4)$ można było uznać, że test ma poprawny rozmiar. Zawyżenie rozmiaru testu szczególnie widoczne było dla większych spośród uwzględnionych w badaniu wartości wymiaru zanurzenia m . Warto również dodać, że otrzymane wyniki, oprócz tego, że pokazały wyższość metod próbkowania, umożliwiły również porównanie ich między sobą. W przypadku szeregów krótkich (300 i 500 obserwacji) lepsze rezultaty otrzymano przy zastosowaniu metody permutacji, natomiast w przypadku szeregów dłuższych (700 i 1000 obserwacji) – przy zastosowaniu techniki bootstrap.

W pracy [2] zaproponowano dwie autorskie propozycje permutacyjnych testów niezależności – test NRL i test $d_{\min}$. W swojej konstrukcji testy te odwołują się do wskaźnika

NRL, zaproponowanego w pracy [Orzeszko, 2005], pierwotnie służącego do pomiaru efektywności redukcji szumu w szeregach czasowych. W pracy [2] przeprowadzono symulacje Monte Carlo, prowadzące do określenia rozmiaru i mocy proponowanych testów. Z otrzymanych rezultatów wynika, że oba testy mają poprawny rozmiar i cechują się wysoką mocą względem zróżnicowanych procesów generujących, obejmujących zarówno procesy liniowe (AR, ARMA), jak i nieliniowe (chaos i chaos z szumem, NARMA, NMA, BL, EXPAR, SETAR, ARCH, GARCH, SV, GARCH-M). W wielu wypadkach testy NRL i d_{min} miały wyższą moc niż, wykorzystane w celach porównawczych, testy: BDS, Hinicha i Pattersona, McLeoda-Li oraz test istotności miary informacji wzajemnej. Test d_{min} cechował się wyższą mocą w zastosowaniu do nieliniowych zależności w zakresie wartości średniej, natomiast NRL – do nieliniowych zależności w zakresie wariancji. Oznacza to, że proponowane testy można stosować nie tylko do detekcji nieliniowości, ale także do określenia jej rodzaju.

Najbardziej rozbudowane badania przy zastosowaniu nieparametrycznych metod testowania nieliniowej dynamiki można znaleźć w piątym rozdziale monografii [1]. W porównaniu z pracami [2-9], w rozdziale tym zaprezentowano i poddano dyskusji znacznie szersze spektrum metod badawczych, obejmujące:

- testy odwołujące się do całki korelacyjnej (BDS i jego modyfikacje, a także testy: dualny do BDS, K2K, SNT oraz Q),
- testy entropijnych miar zależności (informacji wzajemnej, warunkowej informacji wzajemnej oraz znormalizowanej odległości Bhattachary-Hellinger-Matusity),
- testy bispektrum i bikowariancji (test Hinicha i jego modyfikacje, test Terdika i Máthia oraz test Hinicha i Pattersona),
- testy kwadratów obserwacji (test McLeoda i Li),
- jądrowe testy liniowości (LWZ, test Hjellvika i Tjøstheima oraz test Hjellvika, Yao i Tjøstheima),
- testy determinizmu (test Kaplana oraz autorskie testy NRL i d_{min}),
- metody detekcji dynamiki chaotycznej (największy wykładnik Lapinowa, entropia i wymiar korelacyjny).

W rozdziale tym przedstawiono wyniki zastosowania wybranych metod do analizy symulowanych oraz rzeczywistych szeregów czasowych. Zdecydowana większość spośród zaprezentowanych wyników nie była dotąd publikowana, stanowiąc znaczące uzupełnienie, a

jednocześnie rozszerzenie w stosunku do wyników przedstawionych w pracach [2-9].² W badaniach uwzględniono testy: BDS, istotności miary informacji wzajemnej, bikowariancji Hinicha i Pattersona, McLeoda i Li, a także autorskie testy NRL i d_{min} . W pierwszej kolejności przeprowadzono symulacje Monte Carlo, prowadzące do określenia rozmiaru i mocy analizowanych testów. W celu oceny rozmiaru analizowanych testów rozważono szeregi liczb pseudolosowych, wygenerowanych z siedmiu rozkładów o zróżnicowanych własnościach: normalnego $N(0,1)$, jednostajnego $U(0,1)$, t -Studenta $t(3)$ i $t(10)$, chi-kwadrat $\chi^2(2)$ i $\chi^2(4)$ oraz gamma $G(5,1)$. Z kolei w celu oceny mocy testów w badaniu uwzględniono zróżnicowane liniowe i nieliniowe procesy generujące, obejmujące zarówno systemy chaotyczne (w tym również chaos z szumem), jak i znane na gruncie ekonometrii procesy stochastyczne z nieliniowością w średniej oraz w wariancji. Empiryczne poziomy istotności (ang. *p-values*) we wszystkich zastosowanych testach wyznaczono przy zastosowaniu techniki permutacji. Przeprowadzone badanie wykazało, że w większości wypadków (tj. w przypadku większości analizowanych rozkładów generujących oraz dla większości parametrów uwzględnionych w poszczególnych testach) zastosowane testy miały poprawny rozmiar. Z kolei analiza mocy porównywanych testów nie wykazała jednoznacznej wyższości któregośkolwiek z nich, gdyż otrzymane wyniki okazały się zależne od rodzaju procesu generującego i długości szeregu realizacji. W przypadku procesów chaotycznych, zarówno w przypadku szeregów krótkich, jak i długich, najwyższą mocą wykazały się: test d_{min} oraz test istotności miary informacji wzajemnej MI. Nieco gorsze wyniki otrzymano przy zastosowaniu testów: NRL, BDS oraz McLeoda i Li, a najgorsze – przy zastosowaniu testu bikowariancji Hinicha i Pattersona. Podobną kolejność można wskazać dla procesów stochastycznych z zależnościami w zakresie wartości oczekiwanej, przy czym w przypadku szeregów krótkich na wyróżnienie zasługiwał test MI, natomiast w przypadku szeregów długich – testy: d_{min} , BDS oraz MI. Niezależnie od długości badanych szeregów najskuteczniejszą metodą detekcji nieliniowych zależności w zakresie wartości oczekiwanej (zarówno o charakterze deterministycznym, jak i stochastycznym) okazały się testy: d_{min} oraz MI, wyprzedzając testy: NRL, BDS oraz ML, a ostatnie miejsce w zestawieniu zajął test bikowariancji. Odmienne ranking otrzymano dla procesów z nieliniowością w wariancji. Testy d_{min} oraz MI okazały się mieć wówczas najniższą moc, a najlepsze rezultaty osiągnięto przy zastosowaniu testu BDS. Test BDS wyprzedził testy ML, NRL oraz bikowariancji, przy

² Wyjątkami są wyniki symulacji dla testów NRL i d_{min} przedstawione w pracy [1], których część została zaprezentowana w pracy [2] oraz wyniki symulacji dla testu BDS z pracy [3], których część została przedstawiona w pracy [1].

czym należy dodać, że w przypadku szeregów krótkich te trzy testy miały zbliżoną moc, natomiast w przypadku szeregów długich, test ML okazał się najmocniejszy spośród nich. Podsumowując rezultaty dla wszystkich procesów generujących, należy ogólnie stwierdzić, że w przypadku szeregów krótkich najwyższą mocą cechowały się testy MI oraz BDS, które tylko nieznacznie przewyższały testy d_{min} i NRL. Nieco gorsze rezultaty otrzymano przy zastosowaniu testu ML, a wyraźnie najslabszym testem okazał się test bikowariancji. W przypadku szeregów długich test ML wyraźnie zwiększył swoją moc, prowadząc do wyników porównywalnych z testami d_{min} i NRL. Należy również dodać, że wysoka pozycja testu BDS w rankingu łącznym była efektem jego uniwersalności; test ten cechował się wysoką mocą zarówno względem procesów z zależnościami w średniej, jak i w wariancji. Z kolei testy MI, d_{min} , oraz ML okazały się dużo bardziej jednostronne. W świetle przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że MI oraz d_{min} są bardzo dobrym narzędziem detekcji zależności w średniej – zarówno o charakterze deterministycznym, jak i stochastycznym. Z kolei test McLeoda i Li należy traktować raczej jako narzędzie detekcji nieliniowości w wariancji, przy czym warto również dodać, że jego moc w dużym stopniu (w większym niż w przypadku innych badanych testów) zależy od długości badanych szeregów.

Następnie testy będące przedmiotem badań symulacyjnych zastosowano do identyfikacji nieliniowości w wybranych finansowych i ekonomicznych szeregach czasowych. W zakresie procesów finansowych analizie poddano logarytmiczne stopy zmian: indeksów WIG i DJIA, wolumenu obrotu akcji oraz kursów wymiany złotego względem euro i względem dolara. Dodatkowo, badaniu poddano wymienione szeregi czasowe po oczyszczeniu ich z szumu losowego przy zastosowaniu metody Najbliższych Sąsiadów. Otrzymane wyniki jednoznacznie wskazały na istnienie nieliniowości w badanych procesach. W pracy podjęto próbę określenia rodzaju wykrytych zależności. Test Engle'a wykazał, że w większości badanych szeregów obecny był efekt ARCH. Do jego eliminacji zastosowano modele ARMA-GARCH oraz ARMA-EGARCH. Na podstawie wyników otrzymanych dla reszt można stwierdzić, że rozważone modele dość dobrze opisywały wykrytą nieliniowość. Jednak znaleziono procesy, dla których niezależnie od modelu filtrującego, poszczególne metody wykazały obecność nieliniowych zależności innego rodzaju niż efekt ARCH. Były to: stopy zmian indeksu WIG przed redukcją szumu (test MI), stopy zmian wolumenu obrotu spółek z indeksu WIG przed (test d_{min}) i po redukcji szumu (testy MI, NRL i d_{min}), stopy zmian indeksu DJIA po redukcji szumu (testy bikowariancji, McLeoda i Li oraz NRL), stopy zmian kursu EUR/PLN przed (testy MI i d_{min}) i po redukcji szumu (test MI) oraz stopy zmian kursu USD/PLN po redukcji szumu (test BDS i MI).

W związku z tym, że zastosowane testy można traktować jako narzędzia służące do diagnostyki procesów resztowych, otrzymane wyniki można również interpretować pod kątem analizy poprawności specyfikacji zastosowanych modeli ARMA-GARCH i ARMA-EGARCH. Jednak w tym zakresie wyniki okazały się niejednoznaczne – testy BDS, MI oraz d_{min} wykazały pewną wyższość modeli ARMA-EGARCH, test bikowariancji – modeli ARMA-GARCH, natomiast według testów McLeod i Li oraz NRL obie klasy modeli miały porównywalną jakość. Przeprowadzone badanie umożliwiło również sformułowanie pewnych wniosków na temat stosowania metody redukcji szumu. Z otrzymanych rezultatów wynika, że dla szeregów ze zredukowanym szumem losowym trudniej jest znaleźć zarówno właściwy model ARMA-GARCH, jak i ARMA-EGARCH. Przyjmując, że redukcja szumu losowego prowadzi do eliminacji niepotrzebnych zakłóceń i w efekcie umożliwia bardziej rzetelną analizę, należy stwierdzić, iż stanowi to kolejny argument, że wykryta nieliniowość w dynamice badanych procesów może nie wynikać wyłącznie z zależności w zakresie drugich momentów.

Dokonując syntetycznego podsumowania opisanych powyżej wyników badań z zakresu detekcji nieliniowości w dynamice pojedynczych procesów stochastycznych, należy stwierdzić, iż:

1. Autorskie testy NRL i d_{min} cechują się dobrymi własnościami w zakresie rozmiaru i mocy.
2. Poddane badaniom nieparametryczne testy nieliniowości są skutecznymi narzędziami identyfikacji szeregów czasowych, przy czym różnią się one między sobą mocą względem określonych rodzajów nieliniowości.
3. Metody próbkowania są dobrym narzędziem aproksymacji rozkładów statystyk testowych w analizowanych testach nieliniowości.
4. Nieliniowość jest powszechnym zjawiskiem w systemach finansowych. W większości wypadków do jej modelowania można z powodzeniem zastosować odpowiednie modele klasy GARCH.
5. Modele klasy GARCH różnią się przydatnością do opisu nieliniowych zależności w finansowych szeregach czasowych. Dla przebadanych szeregów czasowych bardziej rozbudowane specyfikacje modeli tej klasy okazały się nie mieć istotnej przewagi nad standardowym modelem GARCH (z rozkładem *t*-Studenta), pod warunkiem jednak, że uwzględniono w nim odpowiednie wartości opóźnień czasowych.
6. W dynamice pewnych procesów z giełd papierów wartościowych i rynku walutowego, obecne są zależności nieliniowe niewynikające wyłącznie z efektu ARCH. Mogą one

dotyczyć warunkowej średniej procesów, przecząc tym samym hipotezie o słabej efektywności informacyjnej analizowanych rynków.

Bibliografia

- Back E.G., Brock W.A. [1992], A general test for nonlinear Granger causality: Bivariate model, *Technical Report*, Iowa State University and University of Wisconsin, Madison.
- Diks C., Panchenko V. [2006], A new statistic and practical guidelines for nonparametric Granger causality testing, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 30, 1647-1669.
- Fiszeder P. [2009], *Modele klasy GARCH w empirycznych badaniach finansowych*, Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń.
- Granger C.W.J. [1969], Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods, *Econometrica*, 37, 424-438.
- Hiemstra C., Jones J.D. [1994], Testing for linear and nonlinear Granger causality in the stock price volume relation, *Journal of Finance*, 49, 1639-1664.
- Jajuga K. [2007], 25 lat ekonometrii finansowej, w: *Rynek kapitałowy. Skuteczne inwestowanie*, t. I, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, 91-100.
- Orzeszko W. [2005], *Identyfikacja i prognozowanie chaosu deterministycznego w ekonomicznych szeregach czasowych*, seria: Nowe Trendy w Naukach Ekonomicznych, Fundacja Promocji i Akredytacji Kierunków Ekonomicznych, Polskie Towarzystwo Ekonomiczne, Warszawa.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych (artystycznych)

5.1. Informacje ogólne

Zainteresowanie metodami matematycznymi przejawiałem już od szkoły podstawowej, co przyczyniło się do wyboru klasy licealnej o profilu matematyczno-fizycznym. W tym okresie zostałem trzykrotnym laureatem wojewódzkich zawodów matematycznych dla uczniów szkół średnich oraz finalistą Olimpiady Matematycznej. W 1992 r. zostałem przyjęty bez egzaminów na studia na Wydziale Matematyki i Informatyki UMK w Toruniu, gdzie studiowałem na kierunku Matematyka ze specjalnością Informatyka. Jednocześnie w 1996 r. rozpocząłem studia na Wydziale Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, gdzie studiowałem na kierunku Zarządzanie i Marketing ze specjalnością Metody Ilościowe w Zarządzaniu. Oba kierunki ukończyłem z oceną bardzo dobry.

Publikacje naukowe:

Od 2001 r. opublikowałem 29 prac naukowych, z czego 24 – samodzielnego autorstwa (szczegółowy wykaz tych publikacji znajduje się w Załączniku 3). Dziewięć spośród moich prac zostało napisanych w języku angielskim. Dwie z nich zostały opublikowane w czasopiśmie z listy filadelfijskiej, a trzecia jest już po pozytywnej recenzji i formalnie zaakceptowana do druku. Są to:

1. *The New Method of Measuring the Effects of Noise Reduction in Chaotic Data*
Chaos Solitons and Fractals, 2008, 38, 1355-1368.
Impact Factor ISI: 2,980.
2. *Nonparametric Verification of GARCH-Class Models for Selected Polish Exchange Rates and Stock Indices*
(współautor: P. Fiszeder)
Finance a úvěr - Czech Journal of Economics and Finance, 2012, 62 (5), 430-449,
Impact Factor ISI: 0,340.
3. *Nonparametric Testing for Serial Independence Using the NRL Statistic*,
Communications in Statistics - Simulation and Computation, w druku, DOI:
10.1080/03610918.2016.1146760,
online: <http://www.tandfonline.com/eprint/9kcs4ukj4zZb6Qecj92v/full>
Impact Factor ISI: 0,325.

Wśród moich publikacji znajdują się dwie pozycje książkowe. Są to:

1. *Identyfikacja i prognozowanie chaosu deterministycznego w ekonomicznych szeregach czasowych*
seria: Nowe Trendy w Naukach Ekonomicznych, Fundacja Promocji i Akredytacji Kierunków Ekonomicznych, Polskie Towarzystwo Ekonomiczne, Warszawa, 2005.
2. *Nieparametryczna identyfikacja nieliniowości w finansowych i ekonomicznych szeregach czasowych*,
Wydawnictwo UMK, Toruń, 2016.

W tabelach 1-2 dokonałem zestawienia moich publikacji naukowych, z podziałem na okres przed i po doktoracie.

Tabela 1. Publikacje naukowe przed doktoratem

	Samodzielnie	Wspólnie	Ogółem
J. polski	4	2	6
J. angielski	1	0	1
Ogółem	5	2	7

Tabela 2. Publikacje naukowe po doktoracie

	Samodzielnie	Wspólnie	Ogółem
J. polski	13	1	14
J. angielski	6	2	8
Ogółem	19	3	22

W przeliczeniu na skalę punktową stosowaną przez MNiSW moje publikacje naukowe warte są 215 punktów (z czego 187 po uzyskaniu stopnia doktora). Ich sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR) wynosi 3,645. Według programu Publish or Perish (Google Scholar) istnieje 63 cytowań moich prac, w tym 47 bez autocytowań (stan na dzień 25.04.2016), a indeks Hirscha wynosi 4. W bazie Web of Science Core Collection można znaleźć 5 cytowań moich prac (bez autocytowań).

Konferencje i seminaria naukowe:

Brałem czynny udział w konferencjach i seminariach naukowych zorganizowanych przez: The International Atlantic Economic Society, Aix-Marseille School of Economics, University of Evry, ESSCA Business School, Queen Mary University of London, University of Pisa, Bernoulli Society for Mathematical Statistics and Probability, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Uniwersytet Łódzki, Uniwersytet Gdański, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wyższą Szkołę Informatyki i Ekonomii TWP w Olsztynie, Sekcję Klasyfikacji i Analizy Danych Polskiego Towarzystwa Statystycznego. W tabelach 3-4 dokonałem zestawienia mojego uczestnictwa w konferencjach i seminariach naukowych, natomiast ich szczegółowy wykaz został zamieszczony w Załączniku 6.

Tabela 3. Uczestnictwo w konferencjach naukowych przed doktoratem

J. polski	5
J. angielski	0
Ogółem	5

Tabela 4. Uczestnictwo w konferencjach naukowych po doktoracie

J. polski	16
J. angielski	8
Ogółem	24

Granty naukowe:

Uczestniczyłem w pięciu grantach naukowych, z czego dwa miały charakter krajowy:

1. Grant NCN: 2014-2017 r. (DEC-2013/11/B/HS4/00578)
„Nieparametryczna identyfikacja i prognozowanie nieliniowej dynamiki procesów finansowych”
Grant zespołowy, w którym pełnię funkcję kierownika.
2. Grant KBN: 2003-2006 r. (2 H02B 015 25)
„Procesy zawierające stochastyczne pierwiastki jednostkowe – modele, identyfikacja, estymacja, prognozowanie”
Grant zespołowy. Kierownik – prof. dr hab. Magdalena Osłńska.

Trzy pozostałe granty miały charakter uczelniany i były to granty indywidualne:

1. Grant WNEiZ: 2012 r. (1191-E)
„Nieparametryczna analiza nieliniowości w procesach ekonomicznych”.
2. Grant UMK: 2010 r. (397-E)
„Identyfikacja nieliniowych zależności w ekonomicznych szeregach czasowych”.
3. Grant UMK: 2006 r. (403-E)
„Metody redukcji szumu losowego w chaotycznych szeregach czasowych i ich zastosowanie do analizy procesów ekonomicznych”.

Nagrody za działalność naukową:

Za swoją działalność naukową zostałem dwukrotnie nagrodzony przez rektora Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu:

- W 2008 r. – otrzymałem zespołową nagrodę II stopnia Rektora Uniwersytetu Mikołaja Kopernika za osiągnięcia uzyskane w działalności naukowo-badawczej w 2007 r.
- W 2005 r. – otrzymałem indywidualną nagrodę II stopnia rektora Uniwersytetu Mikołaja Kopernika za osiągnięcia uzyskane w działalności naukowej w roku akademickim 2004/2005.

Ponadto:

- W 2005 r. – zostałem laureat konkursu na najlepsze prace doktorskie z zakresu nauk ekonomicznych i zarządzania, opublikowane w roku akademickim 2003/2004 i 2004/2005, pod hasłem „Nowe trendy w naukach ekonomicznych i zarządzaniu”, zorganizowanym przez Fundację Promocji i Akredytacji Kierunków Ekonomicznych oraz Polskie Towarzystwo Ekonomiczne.

- W 2004 r. – prof. dr hab. Władysław Welfe przyznał mi puchar Warsztatów Doktorskich z Zakresu Ekonometrii i Statystyki za najlepsze wystąpienie na Czwartych Warsztatach.

Recenzje prac naukowych:

Recenzowałem artykuły naukowe dla *Przeglądu Statystycznego* oraz *Macroeconomic Dynamics* (czasopismo z listy filadelfijskiej, Impact Factor ISI: 0,975).

5.2. Pozostałe kierunki naukowo – badawcze

Oprócz kierunku wskazanego w punkcie 4 Autoreferatu, do moich zainteresowań naukowo – badawczych należą:

a) Teoria chaosu deterministycznego i jej zastosowanie do analizy procesów finansowych i ekonomicznych

W swoich badaniach z zakresu teorii chaosu skupiłem się na dwóch aspektach: identyfikacji chaotycznej dynamiki w szeregach czasowych oraz jej prognozowaniu. W pracy [8]³ przedstawiłem przesłanki uzasadniające zainteresowanie ekonomistów teorią chaosu i zaprezentowałem związki z innymi koncepcjami modelowania. Omówiłem istotę modeli chaotycznych, ich zalety i wady, płynące z nich wnioski, a także dokonałem zestawienia wybranych chaotycznych modeli zjawisk ekonomicznych.

Pozostałe moje prace z zakresu teorii chaosu miały przede wszystkim charakter empiryczny.

W pracy [6] przedstawiłem istotę i metody rekonstrukcji przestrzeni stanów, będącej pierwszym etapem analizy szeregów czasowych przy zastosowaniu narzędzi wywodzących się z teorii systemów dynamicznych. Zaprezentowałem najpopularniejszą metodę rekonstrukcji, tj. metodę opóźnień, polegającą na analizie wektorów opóźnień postaci $\tilde{x}_t^m = (x_t, x_{t-lag}, \dots, x_{t-(m-1)lag})$, gdzie parametry m oraz lag nazywa się, odpowiednio, wymiarem zanurzenia i opóźnieniem czasowym. W pracy przedstawiłem techniki wyznaczania obu parametrów: metodę Fałszywych Najbliższych Sąsiadów (do wyznaczania m) oraz technikę polegającą na analizie współczynnika informacji wzajemnej (do wyznaczania lag). Następnie zaprezentowane metody zastosowałem do rekonstrukcji przestrzeni stanów dla szeregu wygenerowanego z odwzorowania logistycznego oraz szeregu stóp zmian indeksu WIG.

³ W tej części autoreferatu numeracja poszczególnych prac odnosi się do wykazu publikacji znajdującego się w Załączniku 3.

W pracy [6] zaprezentowałem także wymiar korelacyjny, służący do weryfikacji hipotezy o deterministycznym charakterze szeregu czasowego oraz do określenia stopnia złożoności systemu generującego. Przeprowadziłem badanie polegające na zastosowaniu wymiaru korelacyjnego do analizy odwzorowania logistycznego, a następnie – do szeregu stóp zmian indeksu WIG. Otrzymane wyniki nie dały podstaw do wnioskowania o chaotycznym charakterze badanego procesu finansowego.

Celem prac [1] i [3] była identyfikacja chaosu deterministycznego w polskich szeregach czasowych przy wykorzystaniu drugiej z najbardziej popularnych metod identyfikacji chaosu, tj. największego wykładnika Lapunowa. Na wstępie badaniu poddałem szeregi wygenerowane z systemów chaotycznych oraz losowych, a następnie – stopy zmian wybranych indeksów giełdowych oraz akcji z GPW w Warszawie. Uzyskane wyniki nie potwierdziły hipotezy o chaotycznym charakterze analizowanych procesów finansowych.

Prace [2], [4], [5] i [7] zostały poświęcone zagadnieniu prognozowania szeregów czasowych przy zastosowaniu metod teorii chaosu. W pracach [4] i [5] przedstawiłem wybrane metody prognozowania szeregów chaotycznych: lokalną aproksymację wielomianami pierwszego i drugiego stopnia oraz metodę Najbliższych Sąsiadów wraz z autorskim pomysłem jej modyfikacji. Skuteczność prezentowanych metod zweryfikowałem na podstawie wygenerowanych szeregów chaotycznych o różnej długości. Otrzymane wyniki badań potwierdziły, że możliwe jest bardzo dokładne prognozowanie chaotycznej dynamiki w krótkim horyzoncie czasowym, przy czym do najdokładniejszych prognoz prowadzi lokalna aproksymacja kwadratowa. Następnie dokonałem próby krótkookresowego prognozowania szeregów czasowych poziomów i stóp zmian indeksu WIG oraz wybranych akcji z GPW w Warszawie. Otrzymane wyniki nie wykazały istotnej przewagi prezentowanych metod prognozowania nad modelami ARMA/ARIMA. Warto również dodać, że w przebadanych finansowych szeregach czasowych niezauważalny był efekt wykładniczego powiększania się błędu prognozy wraz ze wzrostem jej horyzontu, co może stanowić sygnał, że nie są one generowane przez chaotyczny system dynamiczny. Dodatkowo, w pracy [5] wyniki prognozowania będące efektem zastosowania lokalnej aproksymacji wielomianem stopnia pierwszego wykorzystałem do identyfikacji chaosu deterministycznego. W świetle przeprowadzonych badań wydaje się wątpliwe, aby przebadane szeregi były deterministyczne o dynamice chaotycznej, choć nie można wykluczyć ewentualności, że są one realizacją chaosu z szumem lub pewnego innego nieliniowego procesu stochastycznego.

W pracach [2] i [7] podjąłem temat wpływu doboru metod rekonstrukcji przestrzeni stanów na efektywność prognozowania. Metody prognozowania chaotycznych szeregów

czasowych wymagają na wstępie skonstruowania wektorów opóźnień, co wiąże się z koniecznością określenia wartości parametrów wymiaru zanurzenia m i opóźnienia czasowego lag . W badaniu dokonałem oceny jakości parametrów wyznaczonych za pomocą metod: Fałszywych Najbliższych Sąsiadów i współczynnika informacji wzajemnej w kontekście dokładności prognozowania, a także zaproponowałem alternatywną technikę wyznaczania obu parametrów. Otrzymane wyniki wykazały wyższość autorskiej propozycji doboru parametrów nad metodą Fałszywych Najbliższych Sąsiadów i współczynnikiem informacji wzajemnej.

Moje zainteresowanie teorią chaosu deterministycznego i jej zastosowaniem do analizy procesów finansowych i ekonomicznych, zaowocowało powstaniem pracy doktorskiej pt. Identyfikacja i prognozowanie chaosu deterministycznego w ekonomicznych szeregach czasowych. Nieco skrócona wersja pracy doktorskiej została opublikowana w formie książki [10]. Zaprezentowane w książce badania przeprowadziłem przy wykorzystaniu metod, które w większości zostały opisane i zastosowane w pracach [1-7]. Należy jednak podkreślić, że badania w pracy [10] nie powielają się z [1-7], gdyż dotyczą innych szeregów czasowych (np. innego zakresu czasowego lub zupełnie innych procesów).⁴ Badania przeprowadzone były zarówno dla danych symulowanych, jak i polskich szeregów finansowych (indeksów giełdowych, akcji, kontraktów terminowych oraz kursów walut). Dla każdego analizowanego szeregu dokonałem rekonstrukcji przestrzeni stanów, a następnie przeprowadziłem kompleksową identyfikację chaosu przy zastosowaniu: wymiaru korelacyjnego, największego wykładnika Lapunowa, testu BDS, analizy R/S oraz wymiaru fraktalnego⁵. Otrzymane wyniki dla danych symulowanych generalnie potwierdziły przydatność wymienionych metod do detekcji dynamiki chaotycznej, choć jednocześnie wskazały na pewne ich słabości, np. wrażliwość na liczbę obserwacji i obecność szumu losowego oraz, w niektórych wypadkach, problemy z jednoznaczną interpretacją otrzymywanych rezultatów. Badania empiryczne mające na celu identyfikację finansowych szeregów czasowych nie dały jednoznacznych podstaw do stwierdzenia, że badane procesy mają naturę chaotyczną. Należy jednak podkreślić, że w analizowanych danych wykryłem obecność pewnych nieliniowych struktur, co stanowiło dla mnie inspirację do dalszych badań nad nieliniowością.

⁴ Wybrane wyniki z prac [1-5] i [7] zostały zaprezentowane podczas Czwartych Warsztatów Doktorskich z Zakresu Ekonometrii i Statystyki, których owocem była publikacja [6]. W pracy tej znajdują się również niepublikowane wcześniej wyniki badań.

⁵ Ze względu na ograniczenia objętościowe, wyniki przeprowadzonych w pracy doktorskiej badań przy zastosowaniu wymiaru fraktalnego nie zostały opublikowane w pracy [10].

Ponadto, w pracy [10] przedstawiłem wyniki badań z zakresu prognozowania szeregów czasowych. Przeprowadzone badania potwierdziły wnioski sformułowane w pracach [2], [4], [5] i [7]. Mianowicie, metody prognozowania chaotycznych szeregów czasowych (tj. lokalna aproksymacja wielomianami pierwszego i drugiego stopnia oraz metoda Najbliższych Sąsiadów wraz z autorskim pomysłem jej modyfikacji) prowadziły do bardzo dobrych rezultatów dla danych symulowanych, jednak nie wykazały się wyraźną przewagą nad modelami ARIMA w zastosowaniu do danych empirycznych.

Kontynuacją nurtu badań nad teorią chaosu była praca [22], w której podjąłem temat zastosowania wymiaru fraktalnego do pomiaru ryzyka inwestowania w papiery wartościowe. W pracy przedstawiłem dwie metody obliczania wymiaru fraktalnego szeregu czasowego – analizę R/S oraz metodę segmentowo-wariacyjną. Na podstawie danych generowanych zweryfikowałem skuteczność obu metod, a następnie zastosowałem je do notowań indeksów i subindeksów GPW w Warszawie. Otrzymane wyniki umożliwiły porównanie ryzyka inwestowania w akcje z danej branży, a także analizę wpływu kryzysu *subprime* na zmianę jego poziomu.

b) Redukcja szumu losowego w szeregach czasowych

Problem obecności szumu losowego w rzeczywistych szeregach czasowych zaowocował w literaturze przedmiotu powstaniem koncepcji chaosu z szumem. Liczne badania potwierdziły, że obecność szumu losowego istotnie utrudnia identyfikację oraz prognozowanie chaotycznych szeregów czasowych. Z tego względu rozwija się metody filtrowania danych, których celem jest oczyszczenie badanego sygnału z szumu. Zagadnieniem redukcji szumu losowego w szeregach czasowych zająłem się już podczas pisania pracy doktorskiej, czego efektem były wyniki badań zaprezentowane w pracy [10]. W pracy zaprezentowałem metodę Najbliższych Sąsiadów, służącą zarówno do prognozowania szeregów czasowych, jak i do redukcji szumu losowego. Zwróciłem uwagę, że rezultat filtrowania może w dużym stopniu zależeć od przyjętych wartości parametrów w metodzie redukcji szumu. Z tego powodu niezbędne jest stosowanie metod weryfikacji *a posteriori* jakości przefiltrowania, umożliwiających wybór spośród otrzymanych szeregów najbardziej zbliżonego do nieznanego, oryginalnego sygnału. W pracy zaproponowałem taką metodę, opartą na autorskim wskaźniku NRL. Przeprowadzone symulacje wykazały wysoką skuteczność proponowanej metody. Następnie dokonałem redukcji szumu w szeregu stóp zmian akcji spółki Żywiec SA. Do tego celu zastosowałem metodę Najbliższych Sąsiadów, w której parametry wyznaczyłem za pomocą wskaźnika NRL. Przefiltrowany szereg poddałem

identyfikacji przy zastosowaniu wymiaru korelacyjnego oraz największego wykładnika Lapunowa. Otrzymane wyniki okazały się bardziej zbliżone do oczekiwanych dla szeregów chaotycznych, niż w przypadku szeregu nieprzefiltrowanego. Może to oznaczać, że badany szereg stóp zmian jest realizacją chaosu z szumem.

W pracach [15] i [16] zaproponowałem zmodyfikowany wskaźnik NRL. Jego skuteczność potwierdziłem na podstawie danych symulowanych. Następnie analizie poddałem szereg stóp zmian indeksu WIG przefiltrowany metodą Najbliższych Sąsiadów, w której parametry wyznaczyłem za pomocą proponowanego wskaźnika. Badany szereg poddałem identyfikacji przy zastosowaniu największego wykładnika Lapunowa. Otrzymane rezultaty prowadzą do wniosku, że analizowany szereg może być traktowany jako realizacja chaosu z szumem.

Metoda Najbliższych Sąsiadów została poddana dokładnej analizie w pracy [24]. Z przeprowadzonych symulacji, w których wykorzystano test BDS, miarę informacji wzajemnej oraz współczynnik korelacji liniowej Pearsona wynika, że metoda Najbliższych Sąsiadów może wprowadzić do analizowanych danych zależności o charakterze nieliniowym. W efekcie szeregi losowe mogą zostać błędnie zidentyfikowane jako nieliniowe. Oznacza to, iż w sytuacji, gdy brak jest wyraźnych podstaw do stwierdzenia, że badany szereg pochodzi z systemu deterministycznego, redukcję szumu należy stosować z dużą ostrożnością.

c) Procesy zawierające stochastyczny pierwiastek jednostkowy

Procesy zawierające stochastyczny pierwiastek jednostkowy (STUR) posiadają pierwiastki wielomianu charakterystycznego oscylujące w czasie wokół jedynki, co powoduje, że okresowo zachowują się jak procesy stacjonarne. W ten sposób wypełniają pewną lukę między klasą procesów zawierających dokładny pierwiastek jednostkowy $I(1)$ a klasą procesów stacjonarnych $I(0)$. Ich wykorzystanie do modelowania zjawisk ekonomicznych wymaga zastosowania właściwej metody identyfikacji. Tradycyjne testy na obecność pierwiastka jednostkowego nie są w stanie trafnie odróżnić procesów STUR od procesów zintegrowanych. W pracach [11], [12], [13] rozważono dwa narzędzia identyfikacji szeregów czasowych wywodzące się z teorii chaosu – analizę R/S oraz największy wykładnik Lapunowa. Przeprowadzono symulacje, których celem było zbadanie, czy mogą one być skutecznym narzędziem identyfikacji procesów STUR. Otrzymane rezultaty wykazały, że obie zastosowane metody umożliwiają odróżnienie szeregów pochodzących od procesów STUR od błędzenia przypadkowego.

U. J. D. D. D.