

**Ekonomia**

# **Determinanty zmian współzależności wybranych giełd papierów wartościowych**

Analiza relacji GPW w Warszawie  
z giełdami na świecie

**Anna Czapkiewicz**



# **Determinanty zmian współzależności wybranych giełd papierów wartościowych**

Analiza relacji GPW w Warszawie  
z giełdami na świecie



WYDAWNICTWO  
UNIWERSYTETU  
ŁÓDZKIEGO

**Ekonomia**

# **Determinanty zmian współzależności wybranych giełd papierów wartościowych**

Analiza relacji GPW w Warszawie  
z giełdami na świecie

Anna Czapkiewicz

Anna Czapkiewicz – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica  
Wydział Zarządzania, Samodzielna Pracownia Zastosowań Matematyki w Ekonomii  
30-067 Kraków, ul. Gramatyka 10

RECENZENCI

*Piotr Fiszeder, Konrad Furmańczyk*

REDAKTOR INICJUJĄCY

*Monika Borowczyk*

REDAKTOR

*Andrzej Choczewski*

SKŁAD I ŁAMANIE

*Marek Karkula*

KOREKTA TECHNICZNA

*Leonora Gralka*

PROJEKT OKŁADKI

*Katarzyna Turkowska*

Zdjęcie wykorzystane na okładce: © Depositphotos.com/Rawpixel

Wydrukowano z gotowych materiałów dostarczonych do Wydawnictwa UŁ

© Copyright by Anna Czapkiewicz, Łódź 2018

© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2018

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego  
Wydanie I. W.08630.18.0.M

Ark. druk. 14,0

ISBN 978-83-8142-356-4

e-ISBN 978-83-8142-357-1

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego  
90-131 Łódź, ul. Lindleya 8  
www.wydawnictwo.uni.lodz.pl  
e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl  
tel. (42) 665 58 63

# Spis treści

<b>Podziękowania</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>Wstęp</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>1. Podstawowe pojęcia dotyczące rynku finansowego</b> . . . . .	<b>19</b>
1.1. Klasyfikacja rynku finansowego . . . . .	19
1.2. Giełda papierów wartościowych . . . . .	23

## Część I. Własności stosowanych narzędzi ekonometrycznych

<b>2. Wybrane modele jednowymiarowych szeregów czasowych</b> . . . . .	<b>29</b>
2.1. Model GARCH . . . . .	30
2.2. Rozkłady skośne . . . . .	31
2.3. Rozszerzenia modelu GARCH . . . . .	34
2.4. Weryfikacja modelu . . . . .	36
<b>3. Kopule w modelowaniu struktury powiązań pomiędzy szeregami czasowymi</b> . . . . .	<b>39</b>
3.1. Pojęcie kopuli . . . . .	39
3.2. Miary współzależności . . . . .	42
3.3. Przegląd i charakterystyka wybranych kopul . . . . .	45
3.4. Model Copula-GARCH i estymacja jego parametrów . . . . .	52
3.5. Weryfikacja modelu Copula-GARCH . . . . .	54

<b>4. Dynamiczne modele wielowymiarowe</b>	<b>57</b>
4.1. Wielowymiarowe modele GARCH	57
4.2. Ukryty Model Markowa	62
4.3. Ukryty Model Markowa z mechanizmem TVPMS	76
4.4. Efektywność estymatorów ML w Ukrytych Modelach Markowa	80
4.5. Test porównania modeli	84
4.6. Modyfikacja klasycznego testu	87

## **Część II. Badanie empiryczne**

<b>5. Weryfikacja struktury powiązań wybranych giełd papierów wartościowych</b>	<b>97</b>
5.1. Grupowanie indeksów giełdowych	98
5.2. Analiza zmian jednoczesnych oraz efektów zarażania na wybranych giełdach	112
5.3. Analiza zmiany struktury powiązań GPW z innymi giełdami	135
<b>6. Determinanty zmian jednoczesnych na wybranych giełdach papierów wartościowych</b>	<b>141</b>
6.1. Zmienność implikowana	146
6.2. Stopa procentowa LIBOR oraz TED spread	157
6.3. Rentowność 10-letnich obligacji	166
6.4. Ceny kontraktów terminowych na wybrane surowce	174
6.5. Rola innych czynników makroekonomicznych w strukturze powiązań giełd	182
<b>Zakończenie</b>	<b>199</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>209</b>
<b>Notka o Autorze</b>	<b>223</b>

## Podziękowania

Bardzo dziękuję dr. hab. Antoniemu Dawidowiczowi z Instytutu Matematyki UJ za inspiracje naukowe i wsparcie na kolejnych etapach mojej pracy naukowej. Pragnę też wyrazić swoją wdzięczność prof. Janowi Sztaudyngerowi za życzliwość i uwagi merytoryczne udzielone w czasie spotkań seminaryjnych w Katedrze Ekonometrii Uniwersytetu Łódzkiego. Dziękuję również Recenzentom monografii za komentarze, które pozwoliły nadać ostateczny kształt tej monografii. Bardzo dziękuję prof. Henrykowi Gurgulowi, kierownikowi Samodzielnej Pracowni Zastosowań Matematyki w Ekonomii na Wydziale Zarządzania AGH za stworzenie warunków do efektywnej pracy. Dziękuję moim koleżankom i kolegom z Pracowni, a w szczególności mgr. Arturowi Machno i dr. Tomaszowi Wójtowiczowi za komentarze, burzliwe spory i twórcze dyskusje. Chciałabym również wyrazić wdzięczność mojemu mężowi Maćkowi, za ogromne wsparcie, dużą cierpliwość i wyrozumiałość. Dziękuję też prof. Przemysławowi Grzegorzewskiemu z PW za wszystkie uwagi krytyczne oraz dr. hab. Markowi Karkuli za pomoc w przygotowaniu ostatecznej formy książki.



# Wstęp

W krajach z gospodarką rynkową i rozwiniętą giełdą papierów wartościowych występują mechanizmy, które zapewniają obustronne związki koniunktury giełdowej z koniunkturą gospodarczą. Dobrze funkcjonujący rynek kapitałowy sprawia, że środki pieniężne trafiają do tych przedsiębiorstw, w których są one efektywnie alokowane. Wzrost cen papierów wartościowych przyczynia się do obniżenia kosztu pozyskania kapitału na giełdzie, a to z kolei wpływa na możliwość zwiększenia inwestycji spółek, a tym samym na poprawę koniunktury gospodarczej. Również wzrost wartości akcji przyczynia się do wyższej oceny zdolności kredytowej kredytobiorców, a zatem może stymulować nasilenie się inwestycji, co po dłuższym czasie może korzystnie wpłynąć na tempo wzrostu gospodarczego. Natomiast pogorszenie się sytuacji na giełdzie wpływa negatywnie na koniunkturę gospodarczą z powodu zwiększenia się kosztów pozyskania kapitału, co z kolei pociąga za sobą zmniejszenie inwestycji (Fundowicz i Wyżnikiewicz 2006).

W literaturze finansowej jest wiele prac poświęconych roli wskaźników zarówno finansowych jak i makroekonomicznych w kształtowaniu się cen akcji na giełdzie papierów wartościowych. Wpływ informacji na ceny papierów wartościowych był badany przez Gurgula (2006). Rapach i in. (2005), wykorzystując dane z kilku giełd rozwiniętych, wykazali, że również stopy procentowe mają znaczenie dla zmiany wartości indeksów giełdowych. Henry (2009), badając związek między stopą zwrotu z inwestycji na giełdzie brytyjskiej a krótkoterminowymi stopami procentowymi, także zauważył, że wydarzenia na rynku pieniężnym wpływają na zachowanie się kursów akcji. Chen (2009) pokazał, że dla prognozy złej koniunktury na giełdzie USA istotna jest informacja o wartościach zmiennych makroekonomicznych, takich jak: stopa procentowa, stopa inflacji, zasoby pieniężne,

łączna produkcja, stopa bezrobocia i dług federalny. Nasseh i Strauss (2000) wykazali istnienie zależności długoterminowych pomiędzy cenami akcji a zmiennymi makroekonomicznymi w sześciu dużych krajach europejskich. Doszli do wniosku, że dla cen akcji mają znaczenie takie czynniki, jak: produkcja, oczekiwania biznesowe, stopy procentowe i inflacja. Dla danych z USA istnienie zależności długoterminowych pomiędzy cenami akcji, produkcją przemysłową, realnymi kursami walutowymi, stopami procentowymi i inflacją w USA zauważył Kim (2003). Relacja między wskaźnikami makroekonomicznymi a indeksami giełdowymi była również badana w wybranych krajach Europy Środkowej i Wschodniej, między innymi przez Hanousek i in. (2009), Barbic i Condic-Jurkic (2011).

W Polsce także były prowadzone takie analizy. Do czynników kształtujących ceny kursów papierów wartościowych notowanych na GPW w Warszawie Milo (2000) zaliczył: wzrost gospodarczy, inflację, deficyt budżetowy, wskaźnik bezrobocia i poziom dochodów społeczeństwa. Analizę długookresowej zależności pomiędzy indeksem giełdowym i wzrostem gospodarczym przedstawiła Rubaszek (2004). Związek pomiędzy zmianami cen akcji i następującymi po nich zmianami produkcji lub wartości PKB rozważał Łon (2006) w swojej monografii. Relację pomiędzy cenami akcji a koniunkturą gospodarczą w warunkach polskich badał Brzeszczyński i in. (2009). Fiszeder i Rowiński (2012) analizowali zależność długookresową pomiędzy cenami akcji a wskaźnikami makroekonomicznymi, takimi jak: wartość PKB, poziom inflacji, podaż pieniądza oraz wartość indeksu surowcowego. Czapkiewicz i Stachowicz (2016) zbadały relację długookresową pomiędzy indeksem giełdowym WIG, kursem EUR/PLN, wskaźnikiem inflacji CPI oraz eksportu.

Na zachowanie się giełd na świecie duży wpływ ma globalizacja, której efektem są silne powiązania pomiędzy różnymi gałęziami gospodarki, w tym także rynkami kapitałowymi. Do negatywnych jej aspektów należy przede wszystkim to, że kryzysy gospodarcze i finansowe przestały mieć lokalny charakter (Borcuch 2009). Globalizacja rynków, ze względu na przenoszenie się negatywnych nastrojów (które w tym wypadku rozumiemy jako gwałtowne i trwające przez dłuższy czas załamanie się kursów akcji) może być czynnikiem utrudniającym nie tylko dywersyfikację ryzyka<sup>1</sup>, ale również ocenę rzeczywistego stanu rynku kapitałowego w danym kraju. Zatem analiza kondycji samej giełdy nie może być prowadzona bez zbadania jej relacji z wiodącymi giełdami na świecie.

---

<sup>1</sup> Korzyści z międzynarodowej dywersyfikacji portfela podkreślił już Grubel (1968).

Między innymi problemy dotyczące współzależności giełd, klasyfikacji rynków finansowych, zmian jednoczesnych na giełdach (*comovement*) czy zarażanie giełd (*contagion*) jest szczególnie chętnie podejmowany w badaniach empirycznych w ostatnich dwudziestu latach. Samą „współzależność” giełd można rozumieć dwojako. Jeden nurt badań obejmuje bowiem analizę współzależności giełd wyrażaną poprzez korelację, kowariancję lub inną strukturę wzajemnych powiązań krótkookresowych wyznaczaną na podstawie stóp zwrotu głównych indeksów giełdowych. Ten wątek będzie kontynuowany w monografii. Natomiast drugi nurt badań zakłada istnienie czynnika, który oddziałuje na dane giełdy, powodując na nich wspólny trend cen akcji. Do tego nurtu należą wszelkie badania dotyczące zależności długookresowych (*long-term dependence*)<sup>2</sup>.

Klasyfikacji rynków giełdowych dokonuje się ze względu na wybraną ich cechę, a jedną z możliwości przeprowadzenia takiej klasyfikacji jest analiza skupień (*cluster analysis*). W analizie zmian jednoczesnych na giełdach, zakłada się, że rynki reagują natychmiast na zdarzenia kryzysowe. Natomiast zarażanie giełd według Forbesa i Rigobona (2002) jest to „znaczący wzrost korelacji pomiędzy giełdami po szoku w jednym kraju (lub grupie krajów)”.

Po światowym kryzysie finansowym teoretycy i praktycy zaczęli zwracać większą uwagę na szukanie czynników determinujących nie tylko zachowanie pojedynczych giełd, ale również zmiany struktury wzajemnych powiązań pomiędzy tymi giełdami. Wiedza o istnieniu relacji pomiędzy giełdą papierów wartościowych a gospodarką sugeruje, by obszar szukania czynników, które mogą determinować zmiany poziomu współzależności giełd obejmował nie tylko sfery związane bezpośrednio z finansami, ale również z gospodarką. Na przykład Von Furstenberg i Jeon (1989) analizowali znaczenie stóp procentowych, kursów wymiany walut oraz ceny ropy i złota dla wartości współczynnika korelacji pomiędzy dziennymi stopami zwrotu indeksów giełdowych USA, Japonii, Wielkiej Brytanii i Niemiec w latach 1986–1988.

King, Sentana i Wadhvani (1994), wykorzystując indeksy szesnastu światowych giełd, doszli do wniosku, że tylko niewielka część zmienności kowariancji pomiędzy nimi może być wyjaśniona poprzez obserwowalne zmienne

---

<sup>2</sup> Temat zależności długookresowych pomiędzy rozwijającymi się giełdami z Europy Środkowej a rozwiniętymi rynkami Europy i Stanów Zjednoczonych w swoich pracach poruszali między innymi Voronkova (2004), Syriopoulos (2007), Witowska i in. (2012). Wpływ rozwiniętych rynków europejskich na wschodzące rynki CEE pokazali Cerny i Koblas (2005).

ekonomiczne. Zmiany w korelacjach między rynkami są raczej spowodowane zmianami nieobserwowalnych zmiennych. Badając wybrane rynki rozwinięte, Longin Solnik (1995), na podstawie miesięcznych nadwyżkowych stóp zwrotu, obejmujących okres od 1960 do 1990 roku, stwierdzili, że korelacja między rynkami wzrasta wraz ze wzrostem warunkowej zmienności. Informacje o przyszłej zmienności mogą zawierać takie zmienne ekonomiczne jak stopa dywidendy i stopy procentowe. Karolyi i Stulz (1996) badali wpływ ogłoszeń zmiennych makroekonomicznych na zmiany korelacji pomiędzy stopami zwrotu japońskich i amerykańskich spółek. Didier i in. (2010) badali czynniki wpływające na korelację pomiędzy indeksami giełdowymi USA i 83 innych krajów w czasie kryzysu 2007–2008 i stwierdzili, że w tym okresie ważne były tylko czynniki związane bezpośrednio z finansami, podczas gdy wybrane wskaźniki makroekonomiczne nie miały znaczenia w kontekście tego kryzysu.

Mobarek i in. (2016), badając rynki rozwinięte (Australia, Kanada, Francja, Niemcy, Hongkong, Włochy, Japonia, Szwecja, Wielka Brytania i Stany Zjednoczone) oraz rynki wschodzące (Argentyna, Brazylia, Chile, Chiny, Indie, Indonezja, Korea, Malezja, Rosja i Południowa Afryka) w okresach kryzysu i poza nimi, zauważyli, że w czasie kryzysu stopa wzrostu PKB, inflacja i stopy procentowe są istotne dla korelacji rynku rozwijającego się z rynkiem rozwiniętym. Nie wykryli natomiast czynników transmisji kryzysu między rynkami rozwiniętymi. Wpływ amerykańskich doniesień o makroekonomicznych danych na relację pomiędzy stopami zwrotu, zmiennością i obrotem na trzech europejskich rynkach akcji (we Frankfurcie, w Wiedniu i w Warszawie) były badane w pracy Gurgula, Lacha i Wójtowicza (2016). Gomes i Taamouti (2016) skonstruowali czynniki, które reprezentują wybrane wskaźniki makroekonomiczne, na podstawie informacji z Google Trends związanych z działalnością gospodarczą. Następnie zbadali ich wpływ na powiązania pomiędzy giełdami Stanów Zjednoczonych, Francji, Niemiec, Włoch i Hiszpanii. Okazało się, że nowo skonstruowane zmienne wpływają istotnie na kowariancję pomiędzy stopami zwrotu indeksów analizowanych giełd. Czapkiewicz i in. (2018) zbadali wpływ zmiennych makroekonomicznych, takich jak stopa bezrobocia, indeks CPI, indeks produkcji przemysłowej oraz rentowność 10-letnich obligacji, na współzależność giełd z krajów grupy G6.

Zagadnienia omawiane w monografii koncentrować się będą wokół trzech wątków tematycznych. Jeden wątek obejmuje badania mające na celu grupowanie giełd na świecie pod względem ich podobieństwa w powiązaniach z innymi

giełdami. Celem jest wskazanie miejsca GPW w Warszawie na tle innych giełd papierów wartościowych. Drugi wątek obejmuje cykl badań dotyczących analizy potencjalnych determinantów zmian poziomów współzależności wybranych giełd, kładąc również nacisk na GPW w Warszawie. Zagadnienie dotyczące roli wskaźników finansowych oraz makroekonomicznych w dynamice struktury powiązań warszawskiej GPW z innymi giełdami na świecie jest rzadko poruszane w literaturze. Zatem celem tej monografii jest między innymi, próba częściowego wypełnienia tej luki. Natomiast trzeci wątek badań koncentruje się na teoretycznych własnościach zastosowanych narzędzi statystycznych.

Na podstawie dwóch pakietów danych dziennych stóp zwrotu głównych indeksów giełdowych na świecie: pochodzących z okresu 2006–2016<sup>3</sup> oraz z okresu 1997–2016, postawiono dwie główne hipotezy badawcze oraz dwie hipotezy pomocnicze. Główne hipotezy to:

1. W okresie kryzysu giełdy są znacznie mocniej ze sobą powiązane niż w okresach przed i pokryzysowych. Jednak spośród giełd na świecie można wyodrębnić takie grupy giełd, w obrębie których relacje jej elementów z innymi giełdami są niezależne od zmieniającej się sytuacji ekonomicznej. Wpływ globalnej koniunktury ekonomicznej na GPW w Warszawie jest najbardziej podobny do analogicznego wpływu na giełdy Grupy Wyszehradzkiej.
2. Czynniki, które mają istotne znaczenie dla wyjaśnienia zmian poziomów współzależności giełd nie są uniwersalne. Dla rozwiniętych rynków Europy Zachodniej i USA większe znaczenie mają ogólnoswiatowe wskaźniki finansowe, natomiast dla relacji GPW w Warszawie<sup>4</sup> z rynkami rozwiniętymi Europy Zachodniej – lokalne wskaźniki finansowe i makroekonomiczne.
  - a. Notowania indeksu VIX (oraz VSTOXX) mają głównie znaczenie dla poziomu współzależności rynków rozwiniętych. Wraz ze wzrostem tego indeksu występuje wzrost poziomu współzależności.
  - b. Notowania stóp procentowych LIBOR oraz TED spread mają znaczenie dla poziomu współzależności rynków rozwiniętych. Obniżka stóp procentowych LIBOR oraz wzrost wartości TED spread skutkuje wzrostem tego poziomu.

---

<sup>3</sup> W monografii będzie wyjaśnione, dlaczego taki okres był analizowany.

<sup>4</sup> Giełda w Warszawie była długo uznawana jako rozwijająca się. W roku 2017 agencja FTSE Russell sklasyfikowała Polskę jako rynek rozwinięty.

- c. Ceny surowców mają znaczenie dla wyjaśnienia zmian poziomów współzależności rynków rozwiniętych. Wzrost ceny surowca skutkuje wyższym poziomem tej współzależności.
- d. Rentowność 10-letnich obligacji rynków rozwiniętych ma znaczenie dla poziomu współzależności rynku rozwiniętego z GPW w Warszawie. Wzrost rentowności obligacji kraju z rozwiniętą gospodarką obniża poziom tej współzależności.
- e. Wielkości makroekonomiczne, takie jak inflacja, stopa bezrobocia czy indeks produkcji przemysłowej mają znaczenie dla relacji GPW w Warszawie z rozwiniętymi giełdami Europy Zachodniej. Wzrost stopy bezrobocia w Polsce ma odbicie we wzroście poziomu współzależności tych giełd.

Pozostałe hipotezy badawcze to:

1. Dla relacji GPW w Warszawie z rozwiniętymi giełdami Europy wyższy poziom współzależności dwóch giełd pokrywa się z okresem dużej zmienności stóp zwrotu ich indeksów giełdowych.
2. Zmiana struktury powiązań GPW w Warszawie z innymi giełdami jest nie tylko związana z okresami hossy i bessy, ale może być również wywołana przez inne czynniki.

Grupowanie rynków finansowych zostanie przeprowadzone dla 36 indeksów giełdowych pochodzących z giełd amerykańskich, europejskich oraz azjatyckich, bazując na ich dziennych notowaniach z okresu 2006–2016. Szczegółowej analizie poddane zostaną cztery podokresy: (i) przed światowym kryzysem finansowym: styczeń 2006 – lipiec 2007, (ii) okres kryzysu: lipiec 2007 – marzec 2009, (iii) okres wychodzenia z kryzysu: marzec 2009 – grudzień 2011, (iv) lata 2012–2016. Jako narzędzie do grupowania giełd zastosowana będzie analiza skupień.

W pozostałych badaniach, oprócz giełdy polskiej (GPW w Warszawie), pod uwagę zostanie wzięta giełda amerykańska (Nowojorska Giełda Papierów Wartościowych) oraz rozwinięte giełdy Europy Zachodniej, takie jak giełda niemiecka (Frankfurcka Giełda Papierów Wartościowych), giełda francuska (Giełda Papierów Wartościowych w Paryżu) czy giełda brytyjska (Londyńska Giełda Papierów Wartościowych). W niektórych przypadkach przedstawione zostaną również wyniki analiz dla giełdy rosyjskiej (Giełda Papierów Wartościowych w Moskwie), która należy do grupy rynków rozwijających się i która stosunkowo rzadko jest

przedmiotem badań oraz dla giełdy szwedzkiej (Sztokholmska Giełda Papierów Wartościowych), która jest jedną z giełd formacji OMX<sup>5</sup>.

Oprócz badań, które zostaną przeprowadzone w celu weryfikacji hipotez badawczych, będą również przedyskutowane zmiany jednoczesne na GPW w Warszawie i innych giełdach oraz zostanie zbadany efekt zarażania. Zdecydowana większość prezentowanych w tej monografii wyników jest oryginalna i nigdzie nie była publikowana.

W celu opisanego dynamicznych struktur powiązań pomiędzy giełdami<sup>6</sup> opracowano metody bazujące na wielowymiarowych modelach typu GARCH lub na teorii kopuli (*copula*). W Polsce wielowymiarowe modele typu ARCH i GARCH wykorzystywali w swoich badaniach między innymi Osiewalski i Pipień (2002, 2004), Doman i Doman (2009), Piontek i Papla (2005), Papla (2007), Czapkiewicz i Machno (2013).

Wykorzystanie kopuli w praktyce zapoczątkował Embrechts i in. (1999, 2001). Model, w którym jednowymiarowe szeregi czasowe opisywane są za pomocą modeli typu GARCH lub jego modyfikacji, natomiast wielowymiarową strukturę powiązań uzyskuje się poprzez zastosowanie kopuli, najczęściej jest nazywany krótko modelem „Copula-GARCH”. Dynamikę struktur powiązań pomiędzy giełdami można uzyskać stosując dla parametrów modelu Copula-GARCH mechanizm sterowania według ukrytego łańcucha Markowa. W praktyce podejście to wykorzystali w swoich badaniach między innymi Jondeau i Rockinger (2006), Chollete i in. (2009), Bartram i in. (2007), Kenourgios i in. (2011), Silva Filho i in. (2012) i inni. W Polsce tematyką kopuli zajmował się między innymi Jaworski i in. (2010). W praktycznych zastosowaniach model Copula-GARCH wykorzystywał między innymi Wanat i in. (2015), Mokrzycka i Pajor (2016). Przełącznikowe modele Copula-GARCH były tematem monografii Domana (2011) oraz Doman i Doman (2014). Temat ten był również poruszany w pracach autorki (Czapkiewicz i Majdosz 2014, Czapkiewicz i Jamer 2015).

Aby zweryfikować wpływ wybranych czynników na zmiany korelacji pomiędzy stopami zwrotów wybranych indeksów giełdowych, modelem, który był najczęściej używany w tego typu analizach był model DCC-MIDAS, który został

---

<sup>5</sup> W całej monografii nazwy giełd będą stosowane wymiennie, tj. zamiast pełnej nazwy giełdy będzie podany kraj, z którego dana giełda pochodzi.

<sup>6</sup> Dla ustalenia uwagi: **strukturę powiązań pomiędzy giełdami** będziemy rozumieć jako wielowymiarowy rozkład szeregów czasowych utworzonych ze stóp zwrotu indeksów giełdowych.

opracowany przez Colacito i in. (2011). Znaczenie czynników oraz ich wpływ na zmiany rozpatrywanej struktury powiązań pomiędzy giełdami można analizować również wykorzystując przełącznikowy model Copula-GARCH, w którym mechanizm przełączania według ukrytego łańcucha Markowa bazuje na historycznych notowaniach rozpatrywanego czynnika. Sam ukryty model Markowa o takiej strukturze (TVPMS) został pierwotnie zaproponowany przez Filardo (1994), a następnie udoskonalony przez Kima i in. (2008). Model ten stosunkowo rzadko był stosowany w tego typu analizach<sup>7</sup>. Również własności statystyczne tego modelu są jeszcze mało udokumentowane w literaturze ekonometrycznej. Zatem kolejnym celem badań autorki jest weryfikacja wybranych własności statystycznych tego modelu oraz jego zastosowanie w weryfikacji postawionych hipotez badawczych.

W niniejszej monografii głównym narzędziem wykorzystywanym do opisu struktury powiązań pomiędzy giełdami będzie przełącznikowy model Copula-GARCH, w którym przełączenie jest sterowane według ukrytego łańcucha Markowa. W celu weryfikacji wpływu wybranych czynników na zmiany rozpatrywanej struktury powiązań między giełdami zostanie użyty przełącznikowy model Copula-GARCH z mechanizmem TVPMS.

Przedstawione zostaną wyniki, które koncentrują się wokół trzeciego wątku badań. Jego tematyka dotyczy teoretycznych własności zastosowanych narzędzi statystycznych modeli ekonometrycznych i testów. Do głównych osiągnięć w tej materii będzie należeć:

1. Opracowanie algorytmu EM (*expectation-maximization algorithm*) służącym do estymacji parametrów przełącznikowego modelu Copula-GARCH z mechanizmem TVPMS tj. zmienną w czasie macierzą przejścia zależną od obserwowalnych czynników.
2. Uporządkowanie warunków regularności gwarantujące asymptotyczną normalność estymatora MNW (oraz EM) oraz pożądane własności statystyk w teście Vuonga.

W pracy zostaną szczegółowo opisane dwa algorytmy EM, które bazują na podejściu przedstawionym w pracach Hamiltona (1990, 1994). Autorski algorytm EM dla modelu z mechanizmem TVPMS, zostanie omówiony w podrozdziale 4.3.

---

<sup>7</sup> Przełącznikowy model Copula-GARCH z mechanizmem TVPMS zastosował Boudt i in. (2012) do zbadania wpływu indeksów VIX oraz wskaźnika *Ted spread* na zmiany poziomu współzależności między tygodniowymi stopami zwrotu w bankach holdingowych z siedzibą w Stanach Zjednoczonych. Również Czapkiewicz i in. (2018) wykorzystali ten model w swoich analizach.



Natomiast w podrozdziale 4.4 zwrócona zostanie szczególna uwaga na asymptotyczne własności uzyskanych estymatorów. Klasycznie zakłada się bowiem, że zmienne losowe, dla których realizacji tworzymy procedurę estymacji nieznanymi parametrów są niezależne o tym samym rozkładzie, którego gęstość spełnia odpowiednie warunki regularności. To założenie gwarantuje asymptotyczną normalność rozkładu estymatora. Jednak takie warunki regularności, zwłaszcza założenie o niezależności zmiennych losowych, nie są spełnione dla próby, na podstawie której estymujemy nieznanne parametry modeli przełącznikowych. Niespełnienie wymaganych warunków regularności uniemożliwia również zastosowanie powszechnie używanych testów służących do porównywania dwóch modeli, na przykład testu Vuonga (1989).

W prezentowanej pracy zostaną więc uporządkowane warunki regularności, które gwarantują, iż estymator największej wiarygodności (oraz ME) zastosowany dla estymacji nieznanymi parametrów przełącznikowego modelu Copula-GARCH utrzymuje swoje klasyczne własności. Zaprezentowany tok myślowy wykorzystuje tezę twierdzenia, którego dowód znajduje się we wspólnej pracy Czapkiewicz i Dawidowicz (2018). We wspomnianej pracy zostało wykazane centralne twierdzenie graniczne dla zmiennych losowych, których rozkład jest sterowany ukrytym łańcuchem Markowa ze skończoną liczbą stanów. To twierdzenie dało podstawy do dalszych teoretycznych analiz, które zamieszczone zostały wyłącznie w prezentowanej monografii.

Aby zbadać znaczenie czynnika w zmianach struktury powiązań pomiędzy giełdami należy wykonać test porównujący dwa modele: model przełącznikowy sterowany według ukrytego łańcucha Markowa oraz model przełącznikowy z mechanizmem TVPMS. Jednym z testów, który ma zastosowanie przy porównywaniu dwóch modeli, zarówno niezagnieżdżonych, jak i zagnieżdżonych jest test Vuonga (1989). Jednakże założenia tego testu są bardzo restrykcyjne. Pomimo, że zostały one złagodzone w pracy Riversa, Vuonga (2002), to nadal nie są spełnione dla modeli przełącznikowych. Autorka w monografii określi warunki regularności, które są spełnione dla modeli przełącznikowych oraz wykaże dla tych warunków słuszność stosowanych statystyk testu Vuonga (1989), pokaże w jaki sposób jest formułowana hipoteza zerowa dla porównywania modeli przełącznikowych i jakiej korekty wymagają odpowiednie statystyki testowe.

Monografia składa się z dwóch części: teoretycznej i praktycznej. Pierwsza część ma na celu omówienie warsztatu i metodologii, natomiast wyniki badań

empirycznych są tematem części drugiej. W pierwszym rozdziale została krótko opisana struktura rynku finansowego oraz instrumenty finansowe. Rozdział ten ma charakter wyłącznie ilustracyjny i przeglądowy. Celem tego rozdziału jest bowiem wprowadzenie pojęć, które będą używane w monografii. W rozdziale drugim przedstawiono charakterystyki jednowymiarowych finansowych szeregów czasowych oraz sposoby ich modelowania. Rozdział trzeci, w którym zdefiniowano i opisano własności kopuli, był podstawą do sformułowania modelu Copula-GARCH. Rozdział czwarty obejmuje tematykę dotyczącą dynamicznych modeli współzależności: wspomniano tylko o wielowymiarowych modelach typu GARCH, natomiast największy nacisk był położony na przełącznikowe modele Copula-GARCH, w których przełączenie jest sterowane według ukrytego łańcucha Markowa. Zostały opisane metody konstrukcji modelu, sposoby estymacji jego parametrów oraz scharakteryzowano asymptotyczne własności estymatorów metody największej wiarygodności i algorytmu EM. Rozdział piąty zawiera wyniki badań empirycznych dotyczących grupowania rynków. W rozdziale tym przedstawiono również analizę zmian jednoczesnych na GPW w Warszawie i giełdach z Europy Zachodniej, z USA oraz z Rosji. Omówiono również problem zarażania warszawskiej giełdy negatywnym impulsem pochodzącym z USA, Niemiec, Francji, Wielkiej Brytanii oraz Rosji. W rozdziale szóstym, przedstawiono badanie dotyczące wpływu wybranych wskaźników na poziom współzależności pomiędzy giełdami. Podsumowanie wyników zawarte jest w zakończeniu.

# **1. Podstawowe pojęcia dotyczące rynku finansowego**

Celem niniejszego rozdziału jest przybliżenie wybranych pojęć dotyczących rynku finansowego, które będą się pojawiać w monografii.

Sam rynek finansowy jest definiowany najczęściej jako miejsce, gdzie dokonuje się zawarcie transakcji kupna lub sprzedaży towaru, jakim jest instrument finansowy (Banaszczak-Soroka i in. 2014). Przegląd instrumentów finansowych można znaleźć między innymi w pracach Jajugi (2009), Jajugi i Jajugi (2017), Sopoćko (2010), Thiela (2010).

## **1.1. Klasyfikacja rynku finansowego**

Rynek finansowy można podzielić na dwa główne segmenty operacyjne: rynek pieniężny oraz rynek kapitałowy. Bardziej szczegółowa klasyfikacja rynku finansowego uwzględnia jeszcze dodatkowe segmenty: rynek terminowy, zwany również rynkiem instrumentów pochodnych, rynek walutowy oraz rynek depozytowo-kredytowy. Jednym z kryteriów podziału rynku na sektory jest rodzaj instrumentów finansowych będących przedmiotem handlu w danym sektorze.

Rynek pieniężny to segment rynku finansowego, na którym obraca się instrumentami finansowymi emitowanymi na okres do 52 tygodni. Podstawową rolą rynku pieniężnego jest zapewnienie odpowiedniego poziomu płynności jego uczestnikom. Cechuje go idealna konkurencja, co prowadzi do ustalenia cen walorów w wyniku popytu i podaży. Rynek ten pomaga jednostkom gospodarczym w realizacji zapotrzebowania na kapitał, umożliwiając im zaciąganie kredytów i pożyczek krótkoterminowych. Dębski (2014) podaje, że ze względu na rodzaj transakcji największymi segmentami tego rynku są rynek lokat międzybankowych oraz rynek bonów skarbowych.

Rynek lokat międzybankowych kształtuje się głównie w zależności od wysokości nadwyżek rezerw banków komercyjnych, które mogą być lokowane w walorach emitowanych przez bank centralny, skarb państwa lub być pożyczane innym bankom z odpowiednim ich oprocentowaniem. W zależności od tego, czy bank komercyjny ma zatem nadwyżkę czy niedobór wolnych rezerw gotówkowych, może wystąpić w charakterze pożyczkodawcy lub pożyczkobiorcy. W wyniku równowagi popytu i podaży nadwyżek ustala się ich stopa procentowa. W normalnych warunkach wysokość oprocentowania lokat międzybankowych zależy nie tylko od poziomu ryzyka kontrahenta, ale również od poziomu bazowych stóp procentowych banku centralnego oraz od wielkości popytu na pieniądź i podaży pieniądza.

Najbardziej znaną stopą oprocentowania lokat międzybankowych jest indeks LIBOR (*Interbank Offered Rate*), który jest referencyjną wysokością oprocentowania depozytów i kredytów na rynku lokat międzybankowym w Londynie. Stopa LIBOR jest średnią arytmetyczną stóp procentowych, po jakich najważniejsze banki Wielkiej Brytanii są skłonne pożyczać swoje środki innym bankom. W Warszawie natomiast jest ustalany indeks WIBOR (*Warsaw Interbank Offered Rate*), będący referencyjną wysokością oprocentowania kredytów na polskim rynku międzybankowym. Jest to średnia arytmetyczna stóp procentowych podawana przez banki, które zostały dopuszczone do zawierania transakcji z NBP. Stawki te są obliczane z godziny 11.00 każdego dnia roboczego.

Drugim ważnym segmentem rynku finansowego jest rynek kapitałowy. Ze względu na miejsce emisji i sprzedaży instrumentów finansowych rynek kapitałowy dzielimy na rynek pierwotny oraz na rynek wtórny. Na rynku pierwotnym z propozycją nabycia instrumentów finansowych występuje sam emitent. Na tym rynku emitent spotyka się z inwestorem. Kapitał pozyskany w wyniku emisji powiększa zasoby własne emitenta. Z rynkiem pierwotnym mamy po raz pierwszy do czynienia w momencie zakładania spółki akcyjnej, kiedy to jej założyciele sami obejmują lub proponują innym osobom objęcie określonej liczby akcji.

Natomiast na rynku wtórnym z propozycją nabycia instrumentów finansowych występuje ich właściciel. Po wyemitowaniu i przydziale papierów wartościowych nowej emisji ich pierwszemu właścicielowi, papiery te są następnie sprzedawane na rynku przez osoby inne niż emitent. Obrót papierami wartościowymi odbywa się między inwestorami.