



Wyższa Szkoła Bankowa we Wrocławiu

Tomasz Siemieniuk

**Wykorzystanie teorii chaosu deterministycznego do
oceny kondycji ekonomicznej spółek notowanych na
Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie**

Rozprawa doktorska
napisana pod kierunkiem:
dr hab. Agnieszki Dejnaka, prof. WSB

Wrocław 2020

SPIS TREŚCI

WSTĘP	4
ROZDZIAŁ 1	13
KONDYCJA EKONOMICZNA PRZEDSIĘBIORSTWA. WYBRANE ZAGADNIENIA	13
1.1. Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa w wybranych teoriach ekonomicznych	13
1.2. Istota kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa w aspekcie jego upadłości.....	26
1.3. Istota kondycji ekonomicznej spółki giełdowej w aspekcie jej bankructwa.....	32
1.4. Wybrane metody oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw	39
ROZDZIAŁ 2	58
WYBRANE ELEMENTY TEORII CHAOSU DETERMINISTYCZNEGO	58
2.1. Istota chaosu deterministycznego	58
2.2. Wybrane przykłady zastosowania chaosu deterministycznego w zagadnieniach ekonomicznych	68
2.3. Wybrane zagadnienia teorii fraktali.....	76
ROZDZIAŁ 3	85
WERYFIKACJA WYKŁADNIKÓW LAPUNOWA, WYMIARÓW FRAKTALNYCH, WYKŁADNIKÓW HURSTA DLA SPÓŁEK AKCYJNYCH Z POLSKIEJ GIEŁDY I STWORZENIE RANKINGU POWYŻSZYCH MIERNIKÓW W CELU OCENY KONDYCJI EKONOMICZNEJ SPÓŁKI NA GIEŁDZIE PAPIERÓW WARTOŚCIOWYCH W WARSZAWIE – BADANIA EMPIRYCZNE	85
3.1. Przesłanki zastosowania teorii chaosu do badania kondycji ekonomicznej spółek na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.....	85
3.2. Metodyka badań empirycznych	88
ROZDZIAŁ 4	103
WYKŁADNIKI LAPUNOWA WYZNACZNIKIEM FRAKTALNOŚCI I TEMPATRACENIA ZDOLNOŚCI PRZEWIDYWANIA PRZYSZŁYCH ZACHOWAŃ SPÓŁEK AKCYJNYCH Z POLSKIEJ GIEŁDY - W ŚWIETLE WYNIKÓW BADAŃ EMPIRYCZNYCH	103
4.1. Istota wykładników Lapunowa	103
4.2. Opracowanie wyników badań, analiza oraz weryfikacja hipotezy badawczej H1	106
4.3. Wnioski końcowe z badań.....	123
ROZDZIAŁ 5	128
WYKORZYSTANIE WYMIARÓW FRAKTALNYCH DO OCENY KONDYCJI EKONOMICZNEJ SPÓŁEK GIEŁDOWYCH W POLSCE - W ŚWIETLE WYNIKÓW BADAŃ EMPIRYCZNYCH	128
5.1. Istota wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego.....	128
5.2. Opracowanie wyników badań, analiza oraz weryfikacja hipotezy badawczej H2.....	135
5.3. Wnioski końcowe z badań.....	152

ROZDZIAŁ 6.....	156
WYKORZYSTANIE ANALIZY R/S DO OCENY KONDYCJI EKONOMICZNEJ SPÓŁEK GIEŁDOWYCH W POLSCE - W ŚWIELE WYNIKÓW BADAŃ EMPIRYCZNYCH	156
6.1. Istota analizy R/S	156
6.2. Opracowanie wyników badań, analiza oraz weryfikacja hipotezy badawczej H3	161
6.3. Wnioski końcowe z badań.....	182
ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI	184
BIBLIOGRAFIA.....	191
SPIS TABEL	203
SPIS RYSUNKÓW	204
SPIS WZORÓW.....	210
STRESZCZENIE	211
SUMMARY	214

WSTĘP

Ocena kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw na rynku kapitałowym, zawarta w ustawie *Prawo upadłościowe*, związana jest z celem ich działalności, jakim jest maksymalizacja wartości dla akcjonariuszy. Na rynku kapitałowym charakterystyczne jest, że badanie kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa dokonuje się w odniesieniu do oczekiwań inwestorów, którzy weryfikują na bieżąco swoje decyzje inwestycyjne¹.

W teorii i praktyce można spotkać różne metody oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. Literatura przedmiotu udostępnia między innymi: zastosowania analizy wskaźnikowej, analizy dyskryminacyjnej, modeli logitowych, sieci neuronowych do badania kondycji ekonomicznej spółek giełdowych (Prusak B., 2005, 2007, 2011; Łapińska Sobczak N., Ostapowicz M., 2008; Kudła J., 2008; Pocięcha J., 2014; Mączyńska E., 1994, 2005, 2011, 2013; Miosionek- Schweda M., 2014; Kisielińska J., Waszkowski A., 2010; Korol T., Prusak B., 2009; Korol T., 2008, 2010; Kopczyński P., 2016). W literaturze zagranicznej można spotkać publikacje dotyczące badań empirycznych, w których autorzy porównują skuteczność różnych metod, wykorzystywanych do konstrukcji modeli badania kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. P. Ravi Kumar i V. Ravi w 2007 roku dokonali kompleksowej analizy publikacji na ten temat².

Problem badawczy

W Polsce ocena kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw jest dużym problemem. Efektywność ekonomiczna określana jest jako stosunek uzyskanych efektów do poniesionych nakładów. Można brać pod uwagę różne wskaźniki, np. stosunek całego kapitału do ogółu długów. Według Beavera jest to istotny wskaźnik oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa³. Jak napisano w Rzeczpospolitej z 12 maja 1999 roku, „W rozwiniętych krajach większość upadających firm jest zyskowna w chwili bankructwa. Przedsiębiorstwa nie upadają bowiem z braku zysków, ale z braku pieniędzy”⁴. Zatem dostatecznie wczesna identyfikacja kryzysu finansowego powinna pozwolić na ucieczkę od bankructwa. Jak wskazują jednak doświadczenia firm przeżywających stany krytyczne,

¹ A. Gniadkowska-Szymańska, M. Bolek, *Ocena kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa na rynku kapitałowym w świetle Prawa upadłościowego*, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 1/2018 (91), s. 11.

² P. Ravi Kumar, V. Ravi, *Bankruptcy prediction in banks and firms via statistical and intelligent techniques – A review*, „European Journal of Operational Research” 2007, vol. 180, issue 1, s. 1-28.

³ M. Zaleska, *Identyfikacja ryzyka upadłości przedsiębiorstwa i banku*, Difin, Warszawa 2002, *passim*.

⁴ http://archiwum.rp.pl/artykul/226589_Upadaja_z_braku_gotowki.html (dostęp 22.11.2019).

umiejętność identyfikacji zagrożeń pojawiających się w przedsiębiorstwie, jest najpoważniejszym problemem. Szczególną specyfiką charakteryzuje się badanie spółek giełdowych, które są stale poddawane różnym wpływom z zewnątrz. Do analizy w pracy doktorskiej zostały wybrane spółki notowane na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

Problem badawczy: Mało poruszana w literaturze problematyka wykorzystania teorii chaosu do badania bankructwa spółek giełdowych była przyczyną podjęcia badań związanych z oceną kondycji ekonomicznej spółek akcyjnych notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie wspomaganą teorią chaosu deterministycznego.

Uzasadnienie wyboru problemu badawczego

Jak dotąd niewiele badań posługiwało się dynamiką nieliniową do badania kondycji ekonomicznej spółek giełdowych. W literaturze przedmiotu od końca lat osiemdziesiątych trwa dyskusja na temat, czy w ekonomicznych lub finansowych szeregach czasowych jest obecny chaos (oparty na dynamice nieliniowej), który można wykorzystać w badaniach dotyczących funkcjonowania rynków kapitałowych (Peters E.E., 1997; Bullard J. B., Butler A., 1993; Nazarko J., Siemieniuk N., Mosdorf R., 1999; Orzeszko W., 2005; Siemieniuk N., 2001; Chorafas D.N., 1994; Levy H., Sarnat M., 1990; Dockner E.J., Prskawetz A., Feichtinger G., 1997; Jaditz T., Sayers C. L., 1993; Siemieniuk, N., Siemieniuk T., 2015). Natomiast rozwiązania z zakresu badania kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce wywodzące się z teorii chaosu dopiero powstają.

Teoria powyższa jest próbą odejścia od idei efektywności rynków kapitałowych w stronę bardziej uniwersalnego widzenia mechanizmów rządzących giełdą. Cechy charakterystyczne rynków kapitałowych stany nierównowagi oraz mechanizm sprzężenia zwrotnego w wymiarze czasowym znajdują swój wyraz w opisie za pomocą dynamicznych systemów nieliniowych. Wyniki analizy literatury przedmiotu ujawniają brak badań naukowych w zakresie wykorzystania teorii chaosu do oceny kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce. Niniejsza dysertacja stanowi próbę analizy fraktalnej polskiego rynku kapitałowego na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie, w aspekcie ich kondycji ekonomicznej.

Cel pracy doktorskiej

Podstawowym celem rozprawy jest analiza wykorzystania metod chaosu deterministycznego do oceny kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce. W literaturze przedmiotu brakuje bowiem wyników takich badań pomimo, iż powyższa problematyka jest przedmiotem licznych badań i analiz. Wykorzystuje się tu różne metody i narzędzia badawcze. Próby opisu problematyki bankructwa są podejmowane w ramach wielu dyscyplin naukowych, np. ekonomii, matematyki. Rozmaitość stosowanych teorii i metod znajduje swój wyraz w różnorodności uzyskiwanych wyników i prognoz. Osiągnięcie sukcesu w tym zakresie jest niezmiernie skomplikowane, ponieważ rynek kapitałowy jest bardzo dynamiczny i prawie nigdy nie znajduje się w równowadze. Strategie działania na tym rynku są, z metodologicznego punktu widzenia, najtrudniejsze ze zbioru wszystkich strategii stosowanych w gospodarce. Istniejący od początku lat 1990. polski rynek kapitałowy również nie jest tu wyjątkiem. Inwestorzy poszukują uzasadnienia dla swoich decyzji inwestycyjnych, stosując między innymi analizę fundamentalną, techniczną czy portfelową. W celu przewidywania przyszłego zachowania się rynku, konstruowane są rozmaite modele formalne, heurystyczne, irracjonalne, które nigdy nie dają pełnej pewności sukcesu i są obarczone, zwykle znacznym, ryzykiem inwestycyjnym. W pracy realizowane będą cele teoretyczne, poznawcze, metodologiczne i wdrożeniowe.

Cele teoretyczne:

1. Identyfikacja i znaczenie metod oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw.
2. Istota i znaczenie chaosu deterministycznego w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.
3. Istota i znaczenie wykładników Lapunowa w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.
4. Istota i znaczenie wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.
5. Istota i znaczenie analizy R/S w badaniu pamięci długofalowej na rynkach kapitałowych.

Cele poznawcze:

1. Wskazanie i opisanie wybranych metod oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw.
1. Identyfikacja wykładników Lapunowa na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie papierów Wartościowych w Warszawie.
2. Identyfikacja wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie papierów Wartościowych w Warszawie.

3. Identyfikacja wykładników Hursta na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

Cele metodyczne:

1. Weryfikacja możliwości wykorzystania wykładników Lapunowa do pomiaru fraktalności polskich spółek giełdowych i określenia tempa w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań spółki akcyjnej na polskiej giełdzie.
2. Weryfikacja możliwości wykorzystania wymiaru fraktalnego do opisu ilościowego sposobu wypełnienia przestrzeni fazowej przez dany obiekt.
3. Weryfikacja możliwości wykorzystania wymiaru korelacyjnego do określenia minimalnej liczby zmiennych koniecznych do sporządzenia modelu dynamiki systemu.
4. Weryfikacja możliwości wykorzystania analizy R/S do wyznaczania wykładnika Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy.

Cel wdrożeniowy:

1. Możliwość wykorzystania mierników wynikających z teorii chaosu deterministycznego do oceny atrakcyjności inwestowania w konkretne akcje w aspekcie kondycji ekonomicznej danej spółki na polskiej giełdzie.

Badania dotyczące analizy fraktalnej spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie mają na celu wykrycia występowania pamięci długofalowej na polskiej giełdzie, a co za tym idzie, możliwości badania za pomocą narzędzi chaosu deterministycznego. Teza o fraktalnych właściwościach polskiego rynku kapitałowego stoi w sprzeczności z hipotezą efektywności rynku oraz ze zbudowanymi na tej teorii modelami ilościowymi (model wyceny dóbr kapitałowych CAPM, teoria arbitrażu cenowego APT itd. – modele zakładały rozkład normalny i przypadkowość zjawisk). Fakt ten świadczy o tym, że badanie empirycznych właściwości polskiego rynku kapitałowego za pomocą dotychczas standardowych narzędzi stosowanych może być tu niewystarczające i konieczne jest poszukiwanie nowych modeli teoretycznych rynku kapitałowego w Polsce. Należy podkreślić, iż teoria chaosu ma znaczące zastosowanie w analizie decyzji inwestorów giełdowych. Analiza powyższa z powodzeniem może być wykorzystywana na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Dzięki niej można oceniać ryzyko

inwestowania w konkretne akcje w aspekcie kondycji ekonomicznej danej spółki na polskiej giełdzie.

Teoria chaosu wnosi istotny wkład w modelowanie procesów inwestycyjnych, gdyż bogactwo zachowań opisywanych przez nią systemów daje potencjalną możliwość wyeliminowania tej niezgodności pomiędzy teorią a praktyką. Dodatkowo systemy chaotyczne są deterministyczne, tzn. kładą nacisk na wzajemne oddziaływanie czynników endogenicznych i nawiązują do prac pierwszych badaczy cykli gospodarczych. Jeśli nawet do niektórych istniejących modeli chaotycznych z ekonomicznego punktu widzenia można mieć pewne zastrzeżenia, to jednak teoria chaosu w żaden sposób nie jest sprzeczna z teorią ekonomii. Z powyższych powodów lista istniejących ekonomicznych modeli z chaosem systematycznie się powiększa, stanowiąc wyzwanie i inspirację dla badaczy. Mimo wielu aspektów dyskusyjnych związanych z wykorzystaniem algorytmów teorii chaosu deterministycznego w procesie analizy spółek akcyjnych w aspekcie ich kondycji ekonomicznej na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie, ich stosowanie jest w pełni uzasadnione. Ważnym problemem w analizie fraktalnej jest duża wrażliwość algorytmów na ilość danych eksperymentalnych na wejściu.

Dysertacja stanowi próbę nowego podejścia do oceny kondycji ekonomicznej spółek funkcjonujących na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Uzyskane przez autora wyniki analiz dla polskiej giełdy będą jednym ze sposobów wypełnienia luki w zakresie wykorzystania teorii chaosu deterministycznego w procesie przewidywania bankructwa funkcjonujących na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie spółek akcyjnych. Rozwijając powyższą kwestię, w pracy doktorskiej podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, jakie współczynniki mogą świadczyć o przyszłym bankructwie spółki, której kondycję reprezentuje szereg czasowy notowań giełdowych jej akcji. Reasumując, celem pracy doktorskiej jest pokazanie możliwości wykorzystania metod chaosu deterministycznego do oceny kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce.

Hipotezy badawcze

Biorąc pod uwagę cel rozprawy, sformułowano hipotezę główną brzmiącą: **Kondycję ekonomiczną spółek giełdowych w Polsce można prognozować, czyli przewidywać przyszłe zachowania danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie, stosując teorię chaosu deterministycznego.**

W celu zweryfikowania przyjętej w pracy hipotezy głównej dokonano jej dezagregacji na trzy funkcje szczegółowe. Na tej podstawie wyodrębniono trzy hipotezy szczegółowe, brzmiące następująco:

H1: Dodatnie wykładniki Lapunowa stanowią wyznacznik fraktalności polskich spółek giełdowych i określają tempo, w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań danej spółki na giełdzie. W dysertacji zakłada się, iż spółki akcyjne notowane na polskiej giełdzie posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa i są systemami chaotycznymi.

H2: Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają wysoki wymiar fraktalny w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej.

H3: Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej.

Celem pracy, po weryfikacji hipotez, jest oszacowanie wykładników Lapunowa, wymiarów fraktalnych, wymiarów korelacyjnych, wykładników Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy i stworzenie rankingu powyższych mierników w celu oceny kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

Na proces badawczy nakierowany, na realizację sformułowanych w pracy celów, uzyskanie odpowiedzi na pytania badawcze oraz weryfikację hipotez składały się następujące elementy:

1. Przeprowadzona w pracy analiza literatury przedmiotu, która służyła identyfikacji obszaru badawczego, przyjętej problematyki naukowej, a także badaniu zjawisk, pojęć i szacowaniu mierników związanych z wybranym celem badań i weryfikacją hipotez badawczych.
2. Badania empiryczne przeprowadzone na szeregach notowań akcji spółek z polskiej giełdy. Do badań wytypowano spółki funkcjonujące na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie i spółki, które zbankrutowały na polskiej giełdzie. W badaniach empirycznych dotyczących notowań spółek z polskiej giełdy wykorzystano dane pobrane ze strony internetowej *bossa.pl*. Do badań zakwalifikowano szesnaście spółek akcyjnych z długim stażem na polskiej giełdzie, gdyż przy modelach chaosu deterministycznego nie istnieje wymóg dużych liczebności prób (tak jak w przypadku modeli probabilistycznych, w których wyniki początkowe opisują wyniki końcowe z pewnym prawdopodobieństwem), natomiast wymaga się długich szeregów czasowych. Praca doktorska oparta została na maszynopisie autora nt. „Wykorzystanie teorii chaosu

do badania bankructwa spółek giełdowych w Polsce”⁵. Obliczenia i prezentacje wyników badań wykonano za pomocą programu komputerowego *Recs*⁶, implementującego algorytmy metod chaosu deterministycznego. Interfejs programu bazuje na technologii WPF (*Windows Presentation Forms*). Oprogramowanie to pozwala na analizowanie dowolnego szeregu czasowego pod kątem analizy fraktalnej.

Praca składa się z sześciu rozdziałów. W pierwszym rozdziale zatytułowanym „Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa. Wybrane zagadnienia” autor zaprezentował zagadnienia kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw, przedstawiając: kondycję ekonomiczną przedsiębiorstwa w wybranych teoriach ekonomicznych, istotę kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa w aspekcie jego upadłości, istotę kondycji ekonomicznej spółki giełdowej w aspekcie jej bankructwa, wybrane metody oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. Takie ujęcie miało na celu nie tylko zdefiniowanie podstawowych pojęć związanych z tematem pracy ale pokazanie roli wybranych modeli predykcji bankructwa.

Rozdział drugi zatytułowany „Wybrane elementy teorii chaosu deterministycznego” został poświęcony istocie chaosu deterministycznego. W rozdziale zostały zaprezentowane przykłady zastosowania teorii chaosu w zagadnieniach ekonomicznych, między innymi na rynku kapitałowym, rynku walutowym. W rozdziale zostały omówione wybrane zagadnienia dotyczące fraktali.

Rozdział trzeci zatytułowany „Weryfikacja wykładników Lapunowa, wymiarów fraktalnych, wykładników Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy i stworzenie rankingu powyższych mierników w celu oceny kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie - badania empiryczne” dotyczy omówienia przesłanek zastosowania teorii chaosu do badania kondycji ekonomicznej spółek na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie jak również metodyki badań empirycznych.

Rozdział czwarty zatytułowany „Wykładniki Lapunowa wyznacznikiem fraktalności i tempa tracenia zdolności przewidywania przyszłych zachowań spółek akcyjnych z polskiej giełdy - w świetle wyników badań empirycznych” to głównie prezentacja i analiza wyników badań empirycznych oraz weryfikacja hipotezy H1. W rozdziale tym poddano analizie wykładniki Lapunowa jako wyznaczniki fraktalności i

⁵ T. Siemieniuk, *Wykorzystanie teorii chaosu do badania bankructwa spółek giełdowych w Polsce*, maszynopis, Warszawa 2017.

⁶ Program *Recs* opracowany został na Wydziale Informatyki Politechniki Białostockiej.

tempa tracenia zdolności przewidywania przyszłych zachowań spółek akcyjnych z polskiej giełdy. Struktura rozdziału objęła: istotę wykładników Lapunowa, opracowanie wyników badań, analizę oraz weryfikację hipotezy badawczej H1, wnioski końcowe z badań.

Rozdział piąty zatytułowany „Wykorzystanie wymiarów fraktalnych do oceny kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce – w świetle wyników badań empirycznych” stanowiący prezentację i analizę wyników badań empirycznych poświęcony został weryfikacji hipotezy H2. W rozdziale omówiono zagadnienia związane z wykorzystaniem wymiarów fraktalnych do badania kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce, tj.: istotę wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego, opracowanie wyników badań, analizę oraz weryfikację hipotezy badawczej H2, wnioski końcowe z badań.

Rozdział szósty zatytułowany „Wykorzystanie analizy R/S do oceny kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce – w świetle wyników badań empirycznych” poświęcony został weryfikacji hipotezy H3. W rozdziale tym poddano analizie wykładniki Hursta w celu zbadania kondycji ekonomicznej wybranych spółek giełdowych w Polsce. W rozdziale zaprezentowano: istotę analizy R/S, opracowanie wyników badań, analizę oraz weryfikację hipotezy badawczej H3, wnioski końcowe z badań.

Jak wskazano wyżej, na podstawie rozwijanej w ramach dysertacji tematyki zweryfikowano w rozdziale czwartym, piątym i szóstym hipotezę główną, stanowiącą, iż kondycję ekonomiczną spółek giełdowych w Polsce można prognozować, czyli przewidywać przyszłe zachowania danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie, stosując teorię chaosu deterministycznego. Uszczegółowieniem hipotezy głównej są hipotezy szczegółowe dotyczące mierników wynikających z teorii chaosu deterministycznego.

Na podstawie zebranego materiału autor wskazuje, iż niniejsza dysertacja stanowi próbę nowego podejścia - analizy fraktalnej polskiego rynku kapitałowego na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie w aspekcie ich kondycji ekonomicznej. Rozwijając powyższą kwestię, w pracy doktorskiej podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, jakie współczynniki mogą świadczyć o przyszłym bankructwie spółki, której kondycję reprezentuje szereg czasowy notowań giełdowych jej akcji. W pracy pokazano możliwości wykorzystania metod chaosu deterministycznego do oceny kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce. Reasumując, na dzień dzisiejszy wykorzystanie metod chaosu do wspomaganiania decyzji inwestycyjnych drobnych

inwestorów giełdowych jest na razie ograniczone ze względu na ograniczenia dotyczące oprogramowania. Natomiast wskaźniki powyższe mogą w praktyce być okresowo szacowane i publikowane przez analityków giełdowych.

Kończącą część pracy stanowi zakończenie - zawierające podsumowanie rozważań oraz wskazanie kierunków potencjalnych dalszych badań.

ROZDZIAŁ 1.

KONDYCJA EKONOMICZNA PRZEDSIĘBIORSTWA. WYBRANE ZAGADNIENIA

1.1. Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa w wybranych teoriach ekonomicznych

Literatura przedmiotu wskazuje na dojrzałość jak i zmienność teorii ekonomicznych. Jako przykład można podać dzieło Arystotelesa pt. „*Ekonomika*”, w którym dokonano podziału na ekonomikę w wąskim znaczeniu oraz chrematystykę, czyli wiedzę na temat zdobywania pieniędzy⁷. W publikacji wskazano, iż ekonomika jest nauką o gospodarstwie domowym, w skład którego wchodzi człowiek (w rozumieniu mężczyzna) i jego mienie, który sadzi, że w ekonomice należałoby określić precyzyjnie kwestie dotyczące pożycia z żoną, jak również należy ustalić, jaką żona powinna być.

Ze współczesnego punktu widzenia powyższa teoria odbiega znacznie od aktualnie obowiązujących teorii ekonomicznych. W starożytnej Grecji nie występowało rozróżnienie majątku osobistego i majątku firmy, gdyż nie istniało pojęcie „przedsiębiorstwo”. Rodzina stanowiła podstawową jednostkę gospodarczą i państwową, a jej „pierwszymi i najważniejszymi częściami”, według Arystotelesa, byli „pan i niewolnik, mąż i żona, ojciec i dzieci”, a naturalnym źródłem bogactwa – uprawa ziemi. Myślenie, że „niewolnik jest żywą własnością”, a każdy sługa w domu – narzędziem, że mężczyzna sprawuje władzę nad niewolnikami uprawiającymi ziemię, a kobieta – nad służbą domową, było myśleniem naturalnym. Zdobyciem pieniędzy zajmowali wówczas kupcy, którzy pożyczali na procent i rzemieślnicy. Zajęcia przez nich wykonywane były traktowane za poniżające, gdyż nie wymagały moralności, jak w przypadku handlu i pożyczania na procent lub osobistej pracy fizycznej, jak w przypadku rzemiosła⁸.

Zawarta w dziełach Arystotelesa analiza stosunków gospodarczych jest nieodłączna od ich moralnego wartościowania. Gospodarstwo domowe jest według autora „konieczne i chwalebne”, handel „z naturą niezgodny, gdyż oparty na wyzysku drugich; a już najzupełniejszą słuszością znieawidzone jest rzemiosło lichwiarza, ponieważ osiąga się

⁷ M. Chigerowa, *Wstęp*, [w:] *Arystoteles, Dzieła wszystkie*, t. 6, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001, s. 228-231.

⁸ *Arystoteles.....*, op. cit., s. 28, 29, 39, 233.

zysk z samego pieniądza”⁹. Należy zaznaczyć, iż powyższe podejście do handlu i pożyczania na procent jest traktowane za naturalne, aż do chwili powstania kapitalizmu. Stwierdza się, iż Adam Smith, w drugiej połowie XVIII wieku wciąż wykładał nie „czystą” ekonomię, ale filozofię moralną, w zakres której „wchodziły zagadnienia teologii, etyki, prawa i polityki wraz z ekonomią”¹⁰. Jako filozof, a nie ekonomista, zadawał sobie pytanie, jaki cel „przyświeca całej tej harówce i krzątaniu doczesnej”, „jaki jest cel skąpstwa i ambicji, pogoni za bogactwem, władzą i zaborczością?” i odpowiadał, że nie jest nim zaspokojenie naturalnych potrzeb, ponieważ to mogą zapewnić „zarobki najuboższego robotnika”¹¹. Zdaniem Smitha, „do zdobycia bogactw i uniknięcia biedy” dążymy „głównie ze względu na uczucia innych ludzi”, twierdząc, iż „próżność, a nie wygoda, czy przyjemność obchodzi nas tutaj”. Smith był świadomy, iż „człowiek ekonomiczny” nie istnieje, a zwykły człowiek nie jest istotą racjonalną *par excellence*, kieruje się on bowiem w życiu uczuciami, nawet wówczas, gdy podejmuje działalność ekonomiczną¹².

Według Adama Smitha irracjonalnie zachowują się państwa, które posiadają i rozszerzają swoje kolonie. Jak twierdzi Smith: „mimo wszystkich krzywdzących poczynań, jakie przedsiębrały wszystkie kraje w Europie dla zapewnienia sobie wszelkich korzyści, które płyną z handlu z własnymi koloniami, żaden z tych krajów nie zdołał zapewnić sobie nic poza koniecznością ponoszenia kosztów utrzymywania w czasie pokoju i obrony w razie wojny tego aparatu ucisku, jaki w swoich koloniach stworzył”¹³. Połączenie powyższych irracjonalizmów, jednostek i państw, nie może stworzyć racjonalizmu, co dowodzi, że osądzanie Smitha o „wulgarną doktrynę spontanicznej harmonii interesów” jest niesprawiedliwe. Według M. Blauga, historyczna analiza działalności gospodarczej przeprowadzona przez Smitha w dziele „Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów” sprowadza się do tego, że „potężny motyw interesu osobistego działa na rzecz ogólnego dobrobytu tylko w określonych układach instytucjonalnych”¹⁴. W związku z powyższym związana z nazwiskiem Smitha, teoria wolnej konkurencji i niewidzialnej ręki rynku stanowi teorię normatywną, która mówi, jak

⁹ *Arystoteles*....., op. cit., s. 38-39.

¹⁰ D. Petsch, *Słowo wstępne*, [w:] A. Smith, *Teoria uczuć moralnych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1989, s. XIV.

¹¹ A. Smith, *Teoria uczuć moralnych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1989, s. 72.

¹² *Ibidem*, s. 72-73.

¹³ A. Smith, *Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, t. 2, s. 262.

¹⁴ M. Blaug, *Teoria ekonomii. Ujęcie retrospektywne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994, s. 82.

mógłby na polu gospodarczym istnieć idealny *homo oeconomicus*, a nie jak faktycznie funkcjonują rzeczywiste jednostki. Z. Sadowski oceniając dzieło Smitha pisze, iż swoją ideą „racjonalnej gospodarki wolnorynkowej, Smith wyrażał tylko swoje oczekiwania co do sposobu jej funkcjonowania”¹⁵, ale nie omawiał stanu faktycznego.

Podział na dwie sfery: opisową i normatywną, dokonany przez Smitha nie jest prezentowany wyraźnie u dziewiętnastowiecznych przedstawicieli teorii klasycznej, iż „nigdy naprawdę nie podjęto prób sprawdzenia słuszności doktryn klasycznych przez skonfrontowanie ich ze zgromadzonymi już w połowie XIX stulecia materiałami statystycznymi”¹⁶.

Kondycja ekonomiczna w neoklasycznej teorii przedsiębiorstwa

Warunki funkcjonowania kapitalistycznych przedsiębiorców pomiędzy XVIII a XX wiekiem zmieniły się, co znalazło odzwierciedlenie w teorii neoklasycznej. W stosunku do teorii klasycznej, która w analizach ekonomicznych bierze pod uwagę nieskończoną liczbę czynników (w tym psychologicznych), określanych jako zewnętrzne/egzogeniczne wobec procesów gospodarczych, teoria neoklasyczna znacznie ogranicza ich liczbę. Jako przykład można podać, iż odsuwa ona na margines rozważań teoretycznych takie czynniki, jak: wzrost ludności i jej potrzeb, postęp techniczny, a nawet upływ czasu. Umożliwia to budowanie bardziej wyrazistych modeli gospodarowania.

W teorii neoklasycznej trudno znaleźć takie pojęcia jak kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa. Dostrzega ona więc niejednorodność „podmiotów” gospodarczych, co oznacza, że inne możliwości działania posiada pojedyncze przedsiębiorstwo, a inne monopol. W związku z powyższym można stwierdzić, iż uzależnia ona ryzyko złej kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa od struktur funkcjonujących na rynku. Zastępuje ona hipotezę „niewidzialnej ręki rynku”, która wszystkie podmioty gospodarcze traktuje jednakowo, takimi pojęciami jak konkurencja doskonała, konkurencja monopolistyczna oraz konkurencja oligopolistyczna. Najsilniejsze ryzyko upadłości przedsiębiorstwa można zauważyć w konkurencji doskonałej. Ryzyko maleje w konkurencji monopolistycznej, a spada w konkurencji oligopolistycznej. Natomiast w czystym monopolu ryzyko osiąga wynik bliski zeru. Konkurencja doskonała opisuje sposób zaprzestania funkcjonowania na

¹⁵ Z. Sadowski, *Przedmowa do wydania drugiego*, [w:] A. Smith, *Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, t. 1, s. X.

¹⁶ M. Blaug, *Teoria ekonomii...*, op. cit., s. 700.

rynku przedsiębiorstwa, które traktuje cenę jako wielkość daną i ma wpływ jedynie na obniżenie kosztów swej produkcji. Takie przedsiębiorstwo podlega procesowi zamknięcia w sytuacji, gdy cena nie jest w stanie pokryć jednostkowego kosztu zmiennego. W teorii neoklasycznej nie ma miejsca na upadek monopolu, który dyktuje cenę, natomiast upadłość w konkurencji doskonałej zmierza do wyeliminowania przedsiębiorstw generujących zbyt wysokie koszty, aby na ich miejsce mogły pojawić się nowe, lepiej radzące sobie z problemem złej kondycji ekonomicznej. W monopolu doskonałym i oligopolu występuje zjawisko, w której nieefektywne jednostki, wchodzące w ich skład, mają szansę utrzymać się na rynku. W związku z tym do opisu ich zachowań rynkowych stosuje się pojęcie konkurencji niedoskonałej¹⁷. Według teorii neoklasycznej, „ryzyko upadłości uzależnione jest od rodzaju rynku, na którym dane przedsiębiorstwo funkcjonuje. Ryzyko rośnie wraz ze wzrostem stopnia konkurencji na rynku. Z największym ryzykiem upadłości spotkać się zatem można w warunkach doskonałej konkurencji. Upadłość jest tutaj naturalną konsekwencją niedostosowania się przedsiębiorstwa do rynku. Warunkiem przetrwania podmiotu na rynku doskonale konkurencyjnym jest maksymalizacja zysku, czyli odpowiednio dobrana wielkość produkcji do danych cen i kosztów. Nieco mniejsze ryzyko upadłości istnieje na rynku niedoskonałej konkurencji. Zależy ono między innymi od rodzaju przedsiębiorstwa, faktycznej konkurencji, czy też zapotrzebowania na dany produkt. Nie powinno natomiast zbankrutować przedsiębiorstwo działające w oligopolu, ponieważ ma ono znaczny wpływ na ustalanie warunków panujących na rynku. Oczywiście nie dopuszcza się również możliwości bankructwa przedsiębiorstwa monopolistycznego, które przecież samo dyktuje ceny. Teoria neoklasyczna głosi zatem, iż upadłość jest wynikiem odstąpienia przedsiębiorstwa od maksymalizacji zysku. Jednocześnie przedsiębiorstwo oddziałuje korzystnie na gospodarkę, wpływając na zmianę zaangażowania zasobów”¹⁸.

¹⁷ M. Pieńkowska, *Ujęcie upadłości w teorii przedsiębiorstwa*, [w:] E. Mączyńska (red.), *Ekonomiczne aspekty upadłości przedsiębiorstw w Polsce*, „Materiały i Prace Instytutu Funkcjonowania Gospodarki Narodowej”, Tom XCII, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa 2005, s. 19-27.

¹⁸ M. Pieńkowska, *Ujęcie upadłości*, op. cit., s. 19-27.

Kondycja ekonomiczna w teorii przedsiębiorstwa F. Knighta

Nawiązując do powyższych teorii można stwierdzić, iż teoria F. Knighta wyróżnia się tym, iż nie ogranicza ilości czynników uwzględnianych w analizach ekonomicznych oraz nie traktuje sytuacji na rynku jako niezmiennej w czasie. Zachodzące zmiany, według Knighta, powodują, że funkcjonowanie przedsiębiorstwa nie może opierać się na wnioskowaniu, bazując na przeszłości i naprawie sytuacji na ich podstawie, ale musi opierać się na „antycypacji konsumpcji” oraz spekulacji co do ceny własnego produktu końcowego¹⁹. Można zgodzić się z poglądami Knighta dotyczącymi stwierdzenia, iż, aby dana jednostka gospodarcza poradziła sobie na rynku, musi stale monitorować sytuację rynkową i na bieżąco dostosowywać do niej swoje decyzje. Teoria powyższa wymaga jednak od przedsiębiorcy uwzględnienia ryzyka i niepewności, czyli czynników w danej chwili nieobserwowalnych, takich jednak, które mogą, choć nie muszą, nastąpić. Rozróżnienie „ryzyka” i „niepewności Knight przejął od J. H. von Thünera i dopracował te pojęcia. „Przedsiębiorca kreuje przedsiębiorstwo, ponieważ nie ma rynku na pomysły, co zrobić w warunkach niepewności. Przedsiębiorstwa różnią się w osądach dotyczących tego, jakie granice są dla nich optymalne. Wybór jednych przynosi im sukces, wybór innych doprowadza ich do trudności finansowych lub nawet bankructwa”²⁰. W związku z powyższym, ryzyko występuje w sytuacji, gdy mamy możliwość oszacować prawdopodobieństwo wystąpienia określonych zdarzeń, zaś niepewność w sytuacji, gdy mamy do czynienia z wydarzeniami/czynnikami bezprecedensowymi. O ile można ubezpieczyć się od ryzyka, co oznacza, że można również na nim zarobić, to natura niepewności nie daje możliwości ubezpieczenia się od niej. Nie da się jej skapitalizować, ani wkalkulować w płace. W związku z powyższym, przedsiębiorca, który w koncepcji Knighta odgrywa główną rolę na rynku, podejmuje decyzje nie tylko na podstawie obserwacji, antycypacji, ale przede wszystkim ze świadomością istnienia niemożliwej do oszacowania niepewności i możliwego do oszacowania ryzyka²¹. Z aktualnego punktu widzenia teoria Knighta jest teorią nowoczesną, jednak nie udało się przekonać do niej ówczesnych teoretyków, uznano ją za rodzaj dodatku do teorii głównego, neoklasycznego nurtu.

¹⁹ M. Blaug, *Teoria ekonomii...*, op. cit., s. 470.

²⁰ A. Noga, *Teorie przedsiębiorstw*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2009, s. 144.

²¹ M. Blaug, *Teoria ekonomii...*, op. cit., s. 470.

Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa w teorii Josepha Schumpetera

Koncepcja J. Schumpetera uznana została dziesięć lat po ukazaniu się książki Knighta (w roku 1912) za dodatek do teorii neoklasycznej, czyli związek przedsiębiorczości z dynamiczną niepewnością, który Schumpeter uczynił podstawą swojej teorii. Podobnie jak koncepcja A. Smitha, stanowi ona próbę odtworzenia sytuacji wzorcowego funkcjonowania kapitalizmu, a nie jest opisem rzeczywistego działania. Schumpeter w swej koncepcji uwzględnia fakt, iż proces życia społecznego, w którego ramach funkcjonuje kapitalistyczne przedsiębiorstwo „jest funkcją wielu zmiennych”, w tym również takich, które nie poddają się jakimkolwiek pomiarowi. W związku z powyższym teoria ta opisuje działanie wzorca przy założeniu, że nie pojawiają się żadne znaczące, a zarazem zewnętrzne wobec systemu gospodarowania tendencje, wpływające na kapitalistyczne przedsiębiorstwo. Przykładem wewnętrznego/normalnego czynnika funkcjonowania wzorca kapitalistycznego przedsiębiorstwa są dla Schumpetera powtarzające się depresje, zaś przykładami czynników zewnętrznych są: wojny, rewolucje, ale i polityka fiskalna, zmiana ustawodawstwa pracy itp.²². W związku z powyższym można stwierdzić, iż Schumpeter odrzucił podstawowe, założenie koncepcji neoklasycznej, polegające na świadomym ograniczaniu ilości czynników branych pod uwagę w analizach ekonomicznych. Obiektywnie oceniał „neoklasycznych” teoretyków, podkreślając fakt, iż „same te fragmenty rzeczywistości były na ogół postrzegane prawidłowo” oraz że „na ogół poprawnie” prezentowano „ich formalne właściwości”. Jednakże ogólna ocena teorii neoklasycznej wypadła negatywnie, ponieważ, według niego, „z tego typu cząstkowej analizy nie wynikają (...) żadne wnioski dotyczące kapitalistycznej rzeczywistości”, a jeśli je „mimo wszystko wyciągniemy, możemy mieć słuszość jedynie przez czysty przypadek”²³.

Analizując fazy cyklu należy zwrócić uwagę na fakt, iż w odróżnieniu od tradycyjnych koncepcji konkurencji, w których nie dostrzegano niczego poza ceną, autor przyjął, że w rzeczywistości kapitalistycznej liczy się „konkurencja nowych towarów, nowej technologii, nowych źródeł podaży, nowych typów organizacji”²⁴. W związku z powyższym, zdaniem Schumpetera, uzyskanie stanu równowagi na rynku jest niemożliwe,

²² J. Schumpeter, *Kapitalizm, socjalizm, demokracja*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, s. 75-79.

²³ Ibidem, s. 100-101.

²⁴ J. Schumpeter, *Kapitalizm...*, op. cit., s. 103.

gdyż przedsiębiorstwa ciągle zmierzają do poprawy swojej sytuacji, stosując innowacje, do których zaliczył²⁵:

- wprowadzanie nowszych i tańszych źródeł środków produkcji;
- zastępowanie dóbr dotychczas produkowanych tańszymi, mającymi służyć tym samym celom;
- tworzenie nowych produktów, lepiej zaspokajających potrzeby;
- poszukiwanie nowych rynków zbytu;
- wprowadzanie zupełnie nowych produktów na rynek.

Zdaniem Schumpetera, cykl życia przedsiębiorstw jest porównywalny z życiem ludzkim, ponieważ jednostki gospodarcze umierają zarówno zaraz po urodzeniu, jak i w wyniku chorób czy wypadków, a także śmiercią naturalną, przez którą rozumiał upadek przedsiębiorstwa z powodu jego nienadążania za postępem²⁶. Schumpeter w słabej kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw widział aspekty pozytywne, polegające na eliminowaniu przedsiębiorstw nieefektywnych. W swoich rozważaniach stwierdza, iż przedsiębiorstwa dłużej funkcjonujące na rynku są mniej narażone na upadłość, ze względu na wcześniejsze wypracowanie pewnych mechanizmów dostosowawczych. Po analizie literatury przedmiotu należy stwierdzić, iż Schumpeter nie był optymistycznie nastawiony do funkcjonowania kapitalizmu jako pewnego systemu gospodarczego. Powodem jego pesymizmu była obserwacja, że kapitalizm nie sprawdza się jako system społeczny. Rozpatrując jako całość nie można mówić o fiasku ekonomicznym, ale jego sukcesy na polu ekonomii „godzą w podstawy społecznych instytucji, które go chronią”, co oznacza, że w dłuższej perspektywie czasu czeka go samozniszczenie. Polityka, która w ramach systemu kapitalistycznego próbuje rozwiązywać ważne problemy społeczne (bezrobocie, bieda), jak na przykład czynił to amerykański New Deal w latach trzydziestych w USA, w ocenie Schumpetera, „na długą metę nie daje się pogodzić z efektywnym funkcjonowaniem systemu prywatnej przedsiębiorczości”²⁷.

²⁵ J. Schumpeter, *Teoria rozwoju gospodarczego*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1960, s. 213-217.

²⁶ J. Schumpeter, *Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, McGraw-Hill Book Company, New York 1939, s. 95.

²⁷ J. Schumpeter, *Kapitalizm.....*, op. cit., s. 76-79.

Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa w ekonomii instytucjonalnej

Zgodnie z założeniami ekonomii instytucjonalnej, w funkcjonowaniu gospodarki należy uwzględnić instytucje, transakcje stanowiące podstawową jednostkę analizy oraz ograniczoną racjonalność ludzi. Instytucje w omawianej koncepcji, podobnie jak w socjologii, są rozumiane szeroko – obejmują bowiem zarówno niepisane wzorce zachowań, których celem jest określenie praw i obowiązków uczestników rynku, jak i uregulowania prawne określające sposób funkcjonowania przedsiębiorstwa jako podmiotu prawnego. Celem menedżera przedsiębiorstwa jest dostosowanie się do niepisanych i pisanych reguł funkcjonowania, a słaba kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa jest jedynie w tym dążeniu niepowodzeniem, które w zamyśle ma być rzadkością²⁸.

Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa a koszty transakcyjne według Ronalda H. Coase'a

Ronald H. Coase zerwał z poglądami neoklasyków, których zdaniem, nie istnieją jakiegokolwiek koszty związane z zawieraniem transakcji. Według H. Coase'a, „koszty istnieją, wśród których wyróżnić można:

- 1) koszty koordynacji, czyli koszty ustalania cen, warunków transakcji, koszty pozyskania informacji;
- 2) koszty motywacji, czyli koszty wynikające z niedoskonałości umów, z niekompletności informacji;
- 3) koszty egzekucji, ponoszone w wypadku, gdy umowa nie dojdzie do skutku”²⁹.

Oprócz kosztów transakcyjnych występujących w wymianie rynkowej, wskazał on także na koszty transakcyjne wewnątrz samej firmy, które w szczególności dotyczą koordynacji produkcji. Przedsiębiorca podejmując decyzje dotyczące sposobu organizacji procesu produkcyjnego, zatrudnienia i kontroli pracowników, poprzez umiejętność koordynacji procesów zachodzących w przedsiębiorstwie wywiera zdaniem Coase'a znaczący wpływ na kształtowanie się wyników ekonomicznych danego podmiotu gospodarczego³⁰.

²⁸ K. J. Delancy, *Strategic Bankruptcy*, University of California Press, 1998, s. 51, podano za: B. Prusak, *Ekonomiczna analiza.....*, op. cit., s. 37.

²⁹ T. Gruszecki, *Współczesne teorie przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002, s. 254-255, podano za: B. Prusak, *Ekonomiczna analiza.....*, op. cit. s. 37.

³⁰ T. Gruszecki, *Współczesne teorie.....*, op. cit., s. 37.

Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa w teorii kontraktualnej przedsiębiorstwa

Kontraktualna teoria przedsiębiorstwa postrzega dany podmiot jako system różnych umów, które są zawierane przez przedsiębiorcę z właścicielami dóbr. Od przedsiębiorcy zależy w jaki sposób zostanie zorganizowany proces produkcyjny. W związku z tym umowy są zawierane w taki sposób, aby były najbardziej efektywne. Zgodnie z teorią kontraktualną słaba kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa, jest uzależnione od umiejętności przedsiębiorcy w tworzeniu, kontrolowaniu i egzekwowaniu zawartych umów. W odniesieniu do powyższej teorii, jej twórcy wysuwają określone postulaty dotyczące „zewnątrza” firmy, czyli treści prawa i postępowania organów sądowych, które zajmują się przedsiębiorstwami, czyli zagwarantowania efektywnego zawierania i egzekwowania umów, aby regulacje prawne oraz funkcjonowanie sądów były również efektywne. Za twórców teorii kontraktualnej uważa się: A. Alchiana i H. Demsetza³¹.

Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa w teoriach menedżerskich

Menedżerska teoria przedsiębiorstwa związana jest z oddzieleniem funkcji menedżera od właściciela oraz traktowanie celów przedsiębiorstwa przez poszczególne grupy interesu. Za twórców szkoły menedżerskiej uważa się A. A. Berle i G. C. Meansa. W teoriach menedżerskich za słabą kondycję ekonomiczną przedsiębiorstwa odpowiedzialność ponosi menedżer, który realizuje podstawowe cele przedsiębiorstwa. Zgodnie z teorią menedżerską słaba kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa traktowana jest jako skutek błędów popełnionych przez menedżera w zarządzaniu danym podmiotem gospodarczym³².

Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa w informacyjnej teorii przedsiębiorstwa

Zgodnie z informacyjną teorią przedsiębiorstwa, sukces przedsiębiorstwa lub jego porażka związana jest efektywnością przepływu informacji. Przedsiębiorstwo jest jednostką organizacyjną, która w lepszy sposób zapewnia wymianę informacji, niż rynek. W sytuacji słabej kondycji przedsiębiorstwa efektywność transferu informacji w określonej

³¹ A. Alchian, H. Demsetz, *Production, Information Cost and Economic Organization*, “The American Economic Review”, Vol. 62, No.5/ 1972, s. 777- 795, podano za: B. Prusak, *Ekonomiczna analiza.....*, op. cit. s. 38.

³² A. A. Berle, Gardiner Coit Means, *The Modern Corporation and Private Property*, Transaction Publishers, Washington 1991.

jednostce przedsiębiorstwa jest niższa niż ma to miejsce na rynku, następuje wówczas przejście przez jednostkę gospodarczą o lepszej efektywności przepływu informacji. W przypadku niższego przepływu informacji w przedsiębiorstwie w porównaniu z rynkiem, zostaje takie przedsiębiorstwo wyeliminowane, a jego jednostki organizacyjne wchodzi w skład podmiotów o bardziej efektywnej strukturze informacji. Do rozwoju informacyjnej teorii przedsiębiorstwa przyczynili się japońscy ekonomiści: M. Aoki, I. Nonaka, H. Takeuchi³³.

Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa w teorii struktury kapitału

Struktura kapitału w przedsiębiorstwie stanowi jedną z głównych kwestii w zarządzaniu finansami danego podmiotu gospodarczego. W okresie ostatnich kilkudziesięciu lat zaszły w tym zakresie znaczące zmiany. Przełom w analizie struktury kapitałowej i jej oddziaływania na wartość przedsiębiorstwa jest związany z nazwiskami Franco Modiglianiego, który w roku 1944 zasłynął artykułem „Preferencja płynności oraz teoria procentu i pieniądza”, oraz jego kolegi, M. H. Millera. Modigliani i Miller wydali publikację, w której zaprezentowali pierwszy model dotyczący powyższego problemu. Autorzy słusznie uznali, iż model ten nie nadaje się ani do opisu rzeczywistości gospodarczej, ani do prognozowania zdarzeń na rynku. W modelu nie uwzględniono wpływu na wartość przedsiębiorstwa opodatkowania podmiotów gospodarczych, jak również kosztów jego upadłości. Koncepcja modelu zakładała, że zwiększenie udziału wartości rynkowej długu w stosunku do wartości rynkowej kapitałów własnych nie oddziałuje na wartość firmy. Wartość podmiotu gospodarczego finansującego się długiem i kapitałem własnym jest równa wartości podmiotu finansującego się tylko kapitałem własnym. Z koncepcji wynikało, iż struktura finansowania nie wywiera wpływu na średni ważony koszt kapitału, który mimo zwiększenia zadłużenia w strukturze finansowania, pozostaje bez zmian. Wartość przedsiębiorstwa nie zmienia się wyłącznie na skutek zmian struktury finansowania, lecz jest zależna od przyszłej rentowności przedsiębiorstwa oraz ryzyka związanego z jego działalnością. W kolejnych latach Modigliani i Miller zaproponowali korektę powyższej teorii. Zmiana polegała na uwzględnieniu wpływu opodatkowania przedsiębiorstwa na wartość firmy³⁴.

³³ B. Prusak, *Ekonomiczna analiza upadłości przedsiębiorstw. Ujęcie międzynarodowe*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2011, s. 43.

³⁴ M. Blaug, *Teoria ekonomii...*, op. cit., s. 658.

Wyżej omówione modele pomijały fakt, iż przedsiębiorstwa mogły być niewypłacalne. Skupiając się na tym założeniu, można dojść do teoretycznego wniosku, że najlepiej finansować przedsiębiorstwo tylko długiem, ponieważ taka struktura finansowania minimalizuje koszty pozyskania kapitału i jednocześnie umożliwia zmaksymalizowanie wartości przedsiębiorstwa. Biorąc pod uwagę jednak praktyczne aspekty zadłużania przedsiębiorstwa, należy przyznać, że wzrost zadłużenia w przedsiębiorstwie może powodować zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki. Do korzyści zalicza się wpływ efektu tarczy podatkowej oraz pozytywny efekt działania dźwigni finansowej. Negatywnym rezultatem jest natomiast to, że nadmierne zadłużenie może prowadzić do niewypłacalności przedsiębiorstwa, a w następstwie do wzrostu zarówno kosztu kapitału obcego, jak i własnego. Z powyższego wynika, iż istnieje pewien optymalny poziom zadłużenia, przy którym następuje minimalizacja średniego ważonego kosztu kapitału i zarazem maksymalizacja wartości przedsiębiorstwa. Przyczyną wzrostu wartości średniego ważonego kosztu kapitału wskutek wzrostu zadłużenia są koszty upadłości i koszty przedstawicielstwa. Koszty te pojawiają się wówczas, gdy przedsiębiorstwo osiąga słabą kondycję ekonomiczną³⁵.

Kondycja ekonomiczna przedsiębiorstwa w teorii cyklu życia przedsiębiorstwa

Analizując cykl życia przedsiębiorstwa, w modelu zaprezentowanym przez F.J. Lydena, „można wyróżnić następujące fazy:

- faza pierwsza: znalezienie i dostosowanie się do właściwego dla przedsiębiorstwa miejsca, postawienie odpowiedniego celu;
- faza druga: zgromadzenie zasobów kapitałowych, materiałowych i ludzkich niezbędnych do rozpoczęcia i zwiększania produkcji;
- faza trzecia: dążenie do określonych w fazie pierwszej celów, uzyskanie jak najlepszych efektów ekonomicznych;
- faza czwarta: postępowanie według wypracowanych wcześniej wzorców i procedur działania”³⁶.

Rozwój przedsiębiorstwa, pobudzonego do dalszego rozwoju przez kryzys, stało się punktem wyjścia do opracowania przez L.E. Greinera teorii fazowego modelu wzrostu³⁷. W

³⁵ B. Prusak, *Ekonomiczna analiza upadłości przedsiębiorstw.....*, op. cit. s. 43-45.

³⁶ F.J. Lyden, *Using Parson's Functional Analysis in the Study of Public Organizations*, “Administrative Science Quarterly”, 1975, Vol. 20, podano za: B. Prusak, *Ekonomiczna analiza.....*, op. cit. s. 52.

modelu zakłada się, iż przyszłość przedsiębiorstwa jest bardziej determinowana przez jego historię niż czynniki zewnętrzne. W związku z tym, iż fazy wzrostu przedsiębiorstwa są zakłócanie przez kryzysy, to podczas ich trwania podmiot gospodarczy powinien przeprowadzić takie zmiany organizacyjne, które powrócą go na ścieżkę rozwoju. Oznacza to konieczność wyciągania wniosków takich sytuacji. Brak odpowiednich wniosków w postaci dostosowania funkcjonowania przedsiębiorstwa do nowej, kryzysowej sytuacji prowadzi do stagnacji lub nawet upadku danego podmiotu gospodarczego. Według Greinera, nie tylko faza kryzysu, ale każda faza rozwoju koniunkturalnego przedsiębiorstwa jest determinowana przez fazę poprzednią i stanowi punkt wyjścia do kolejnej fazy jego rozwoju.

Problem faz kryzysu w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa stał się przedmiotem zainteresowania nie tylko zachodnich, lecz i polskich ekonomistów. Na uwagę zasługują koncepcje K. Zimniewicza i Z. Dworzeckiego. Według K. Zimniewicza, faza kryzysu nie następuje nagle. Jej symptomy pojawiają się dużo wcześniej, niż jest to w stanie zauważyć niedoświadczony decydent. Celem koncepcji Zimniewicza jest wykazanie, jakie symptomy nie świadczące o kryzysie w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa trzeba brać pod uwagę, aby przygotować się na kryzys lub uchronić się przed nim³⁸.

Jak pisze B. Prusak, K. Zimniewicz wyróżnił następujące fazy kryzysu³⁹:

1. fazę kryzysu potencjalnego: jej symptomem jest brak dostrzegalnych różnic w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa, widoczne są tylko niewielkie odchylenia od „normalnego” funkcjonowania przedsiębiorstwa, które jest łatwo zniwelować;
2. fazę kryzysu ukrytego: symptomy kryzysu są tu wyraźniejsze, w związku z tym większa jest możliwość wykrycia nieprawidłowości.
3. fazę kryzysu ostrego: w tej fazie kryzys osiąga punkt kulminacyjny rozwoju. Nasilają się trudności, zauważalne są już nie tylko symptomy, ale skutki kryzysu. Pojawia się konieczność podejmowania ważnych decyzji w krótkim czasie przy ograniczonych wariantach wyboru. Mimo to, wciąż można uniknąć upadłości przedsiębiorstwa.
4. fazę bankructwa.

³⁷ L.E. Greiner, *Evolution and Revolution as Organizations Grow*, Harvard Business Review, Cambridge 1972, podano za: B. Prusak, *Ekonomiczna analiza....*, op. cit. s. 53.

³⁸ K. Zimniewicz, *Nauka o organizacji i zarządzaniu*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Poznań 1990, s. 226-227, podano za: B. Prusak, *Ekonomiczna analiza....*, op. cit. s. 58.

³⁹ B. Prusak, *Ekonomiczna analiza....*, op. cit. s. 58.

W koncepcji Z. Dworzeckiego fazy kryzysu są bardziej szczegółowo scharakteryzowane jak u K. Zimniewicza. Zaletą koncepcji Dworzeckiego jest to, iż potencjalnie lepiej przygotowuje ona przedsiębiorcę do dostrzeżenia nadchodzącego kryzysu. Zamiast mówić o „odchyleniach” w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa, wskazuje on wprost na symptomy pierwszych dwóch faz kryzysu, decydujących o wczesnym jego rozpoznaniu i zlikwidowaniu. Według Z. Dworzeckiego, „w pierwszej fazie w postawach i zachowaniach ludzi wobec przedsiębiorstwa, a także w postawach pracujących w przedsiębiorstwie następuje:

- spadek zaufania do przedsiębiorstwa i w przedsiębiorstwie;

Faza druga:

- charakteryzuje się czekaniem aż wszystko wróci do normy lub podejmowaniem nieskutecznych prób uzyskania pomocy z zewnątrz;

Faza trzecia

- to kryzys, możliwy jeszcze do opanowania;

Faza czwarta

- postępowanie sanacyjne lub likwidacyjne;

Faza piąta

- przebudowa lub likwidacja przedsiębiorstwa;

Faza szósta

- wychodzenie z kryzysu”⁴⁰.

Zgodnie z podejściem Argentiniego, którego koncepcja została omówiona w publikacji L. Bednarskiego, fazy kryzysu charakteryzują się następującymi symptomami⁴¹:

1. stopniowe utrwalenie niedomagań w działalności przedsiębiorstwa, nie wywołujących poważnych zmian;
2. pojawienie się skutków niedomagań w postaci błędów i pogłębiania się niesprawiedliwości;
3. ujawnienie się istotnych zakłóceń w działalności podmiotu gospodarczego, zwłaszcza w sferze wypłacalności;
4. ogłoszenie upadłości przedsiębiorstwa.

Zdaniem K. Opolskiego i T. Potockiego, „wszystkie czynniki związane z funkcjonowaniem przedsiębiorstwa, nie są tak dotkliwe, jak zapoczątkowane kryzysem zmiany w wymiarze socjologicznym i kulturowym społeczeństw, które już skutkują w zmieniających się zachowaniach konsumenckich i inwestycyjnych, przebudowie wartości osobistych i

⁴⁰ Z. Dworzecki, *Skuteczne zarządzanie w sytuacjach kryzysu*, TNOiK, Warszawa 1995, s. 18-24, podano za: B. Prusak, *Ekonomiczna analiza....*, op. cit. s. 59.

⁴¹ L. Bednarski, *Symptomy i ocena zagrożeń sytuacji finansowej przedsiębiorstwa*, „Pieniądze i Więź”, 1992, nr1(2), s. 46.

inną perspektywą postrzegania banku jako instytucji zarządzanej nadwyżkami finansowymi. Te z kolei zmiany mogą wyznaczać kierunki rozwoju i koncentracji bogactwa i sektora finansowego w przyszłości”⁴².

Jak podaje J. Wilkin, „analiza obecnego kryzysu gospodarczego, skłania zarówno do zbudowania nowego paradygmatu ekonomicznej roli państwa, jak i do znalezienia nowych podstaw symbiozy państwa, rynku i społeczeństwa obywatelskiego”⁴³.

W dysertacji przeanalizowano podstawowe teorie wskazujące na różne przyczyny słabej kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw.

1.2. Istota kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa w aspekcie jego upadłości

Upadłość jest pojęciem trudnym do zdefiniowania⁴⁴. Warto zauważyć, iż innym terminem określającym termin upadłość jest słowo „konkurs”, wywodzące się z łaciny od wyrażenia *concursum creditorum*, co oznacza zgromadzenie wierzycieli⁴⁵. Takie znaczenie słowa „konkurs” przytacza „Słownik wyrazów obcych”, informując, iż jest to „zbiorowe działanie wierzycieli w celu zbadania stanu majątkowego niewypłacalnego dłużnika i rozdzielenia masy upadłościowej”⁴⁶. W powszechnym rozumieniu terminy upadłość i bankructwo są traktowane jako synonimy finansowego niepowodzenia przedsiębiorstwa, czyli sytuacji, gdy wysokość długu danego podmiotu przekracza możliwości jego spłaty. Przedsiębiorstwo jest uznawane za bankruta w sytuacji, kiedy nie jest w stanie funkcjonować bez pomocy z zewnątrz. Jak już wspomniano, termin „upadłość” często jest zamiennie używany z terminem „bankructwo”. Tymczasem są to pojęcia różne, gdyż instytucja upadłości pozwala na odrodzenie się przedsiębiorstwa, które zostało uznane za bankruta, dłużnik zostaje zwolniony z płacenia zobowiązań, które wykraczają poza wartość jego majątku. W związku z powyższym po przeprowadzeniu postępowania upadłościowego podmiot gospodarczy może założyć nowe przedsiębiorstwo, nie obawiając się, że nadal będą na nim ciążyły niespłacone zobowiązania z poprzednio

⁴² K. Opolski, T. Potocki, *Kryzys i jego wpływ na poziom bogactwa narodów*, „Mazowsze, Studia Regionalne”, 2010, nr 4, s.53-63.

⁴³ J. Wilkin, *Instytucjonalne teorie państwa - przegląd wybranych koncepcji*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. *Ekonomia* (3), 2009, nr 74, s. 77.

⁴⁴ T. Korol, B. Prusak, *Upadłość przedsiębiorstwa a wykorzystanie sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2005, s. 10.

⁴⁵ B. Prusak, *Zarys historyczny unormowania upadłości przedsiębiorstw w skali międzynarodowej*, w: *Ekonomiczne i prawne aspekty upadłości przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2007, s. 15.

⁴⁶ J. Tokarski (red.), *Słownik wyrazów obcych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980, s. 381.

prowadzonej działalności. Trzeba pamiętać, że część wierzycieli na tym straci⁴⁷. Rozpatrując terminologię pojęć, nie sposób zaprzeczyć, iż upadłość i bankructwo są ze sobą ściśle powiązane. Warto podkreślić, że nie można tych pojęć stosować zamiennie. Między nimi występują różnice, które znajdują odzwierciedlenie zarówno w terminologii prawnej (a tym samym w postępowaniu prawnym) i terminologii ekonomicznej.

W przepisach prawnych kwestie upadłości przedsiębiorstw w Polsce reguluje Ustawa z dnia 28 lutego 2003 roku. Zgodnie z przepisami powyższej ustawy, upadłość przedsiębiorstwa oznacza podjęcie w stosunku do podmiotu gospodarczego postępowania mającego na celu albo jego likwidację, albo możliwość zawarcia układu z wierzycielami. Polskie prawo upadłościowe precyzyjnie określa przesłanki umożliwiające ogłoszenie upadłości. Zgodnie z art. 10 Ustawy: „upadłość ogłasza się w stosunku do dłużnika, który stał się niewypłacalny”. Przez niewypłacalność rozumie w tym wypadku sytuację, w której dłużnik „nie wykonuje swoich wymagalnych zobowiązań pieniężnych”. Analiza artykułu 11 Ustawy pozwala stwierdzić, że definicja z ustawy pokrywa się z powszechnie rozumianym pojęciem upadłości. Przypadek, gdy przedsiębiorstwo nie jest w stanie spłacać zobowiązań wobec swoich wierzycieli w ustalonych terminach, stanowi podstawę do uznania go za bankruta. Istotną kwestię stanowi fakt, iż w świetle polskiego prawa upadłościowego możliwe jest ogłoszenie upadłości nawet w stosunku do dłużnika, który na bieżąco wykonuje swoje zobowiązania (w przypadku, gdy wartość zobowiązań przekracza wartość jego całego majątku)⁴⁸.

Z ekonomicznego punktu widzenia za bankruta można uznać podmiot gospodarczy, który nie jest w stanie samodzielnie kontynuować działalności bez udzielenia jej pomocy z zewnątrz. Przykładowymi formami pomocy może być⁴⁹:

- umorzenie części długów;
- przesunięcie w terminie spłaty długów;
- zawarcie z bankiem umowy o restrukturyzacji długu;
- dokapitalizowanie/ przejęcie przedsiębiorstwa przez inne podmioty;
- pomoc państwowa, przykładowo: udzielenie gwarancji, przejęcie zarządu, dokapitalizowanie.

⁴⁷ T. Korol, B. Prusak, *Upadłość przedsiębiorstwa*,op. cit., s. 10.

⁴⁸ Ustawa z dnia 28 lutego 2003 r., *Prawo upadłościowe i naprawcze*, Dz. U. Nr 60, poz. 535 z późniejszymi zmianami.

⁴⁹ T. Korol, B. Prusak, *Upadłość przedsiębiorstwa*,op. cit., s. 12.

Nie każde bankructwo ekonomiczne musi oznaczać upadłość w rozumieniu prawa, lecz prawie każda upadłość w sensie prawnym oznacza bankructwo ekonomiczne. Wyjątek od powyższej zasady stanowi sytuacja, kiedy wszczęcie postępowania upadłościowego jest zamierzone, a celem takiej decyzji jest na przykład zwolnienie przedsiębiorstwa od wcześniej podjętych zobowiązań wobec pracowników i związków zawodowych. Taka strategia ma umożliwić obniżenie kosztów działalności jednostki gospodarczej. Omówione działanie jest legalne jedynie w Stanach Zjednoczonych. Przykładem jest zamierzone wszczęcie procedury upadłościowej o charakterze układu przez Continental Airlines oraz Eastern Air Lines, która to procedura miała na celu obejście zawartych wcześniej z pracownikami umów w celu obniżenia kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa. Upadłość w aspekcie prawnym, w przeciwieństwie do bankructwa ekonomicznego, jest ustalana sądownie. Definiuje się ją „jako specjalny rodzaj przymusu zaspokojenia wierzytelności, dopuszczalnego w razie niewypłacalności dłużnika i skierowanego do całego jego majątku. Zatem pojęcie upadłości z punktu widzenia prawa jest równoznaczne z postępowaniem prawnym, obejmującym między innymi ogłoszenie upadłości podmiotu czy przeprowadzenie procesu upadłościowego”⁵⁰.

W przypadku prawnych przesłanek ogłoszenia upadłości, należy ustalić, czy⁵¹:

1. dłużnik jest jednostką niewypłacalną, co oznacza, że nie jest w stanie regulować swoich wymagalnych zobowiązań. W celu ustalenia, czy taki stan ma miejsce, bada się rzeczywistą wartość majątku dłużnika i porównuje się ją z wartością długów. Jeśli wartość majątku jest mniejsza od wartości długów, istnieje przesłanka do ogłoszenia upadłości;
2. dłużnik posiada majątek, który wystarcza na pokrycie kosztów postępowania upadłościowego.

Oprócz prawnych przesłanek ogłoszenia upadłości, precyzyjnie trzeba ustalić kryteria podziału upadłościowego. W tym celu powinno się brać pod uwagę poniższe aspekty.

- a) formę prowadzenia działalności. Z punktu widzenia form prowadzenia działalności wyróżnia się dwa rodzaje upadłości⁵²:

⁵⁰ T. Korol, B. Prusak, *Upadłość przedsiębiorstwa*op. cit., s. 12.

⁵¹ T. Korol, B. Prusak, *Upadłość przedsiębiorstwa*op. cit., s. 13.

⁵² *Bankruptcy Act 1996*, Annual Report 1999-2000, p. 7., podano za: T. Korol, B. Prusak, *Upadłość przedsiębiorstwa a wykorzystanie sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2005, s. 14.

- upadłości biznesowe, to jest takie, w których zostaje ogłoszona upadłość jednostki bezpośrednio angażującej swój majątek w prowadzenie interesu;
 - upadłości konsumenckie, to jest takie, gdy zostaje ogłoszona upadłość osoby, której zawód i przyczyna bankructwa nie jest bezpośrednio związana z zaangażowaniem przez nią swojego majątku w prowadzenie działalności.
- b) formę przeprowadzonego postępowania upadłościowego. Tu możliwości jest więcej. Można mieć do czynienia z⁵³:
- upadłością dążącą do całkowitej likwidacji majątku przedsiębiorstwa i zaspokojenia wierzycieli;
 - restrukturyzacją przedsiębiorstwa poprzez upadłość, w której rezultacie przedsiębiorstwo dalej funkcjonuje, ale zmienia się właściciel w wyniku sprzedaży całego przedsiębiorstwa bądź na skutek przejęcia zarządu przez dotychczasowych wierzycieli;
 - restrukturyzacją w wyniku realizacji układu w ramach postępowania upadłościowego (nie zmieniają się właściciele, ale mogą dołączyć nowi udziałowcy).
- c) rodzaj bankructwa. W tym przypadku chodzi o ustalenie, czy bankructwo było symulowane (fałszywe), to znaczy, czy do upadłości podmiotu gospodarczego doprowadzono celowo, wcześniej wyprowadzając z niego środki pieniężne⁵⁴, czy nie.

W literaturze przedmiotu wydziela się fazy kryzysu przedsiębiorstwa, gdzie można wskazać kategorie upadłości, do których można zaliczyć⁵⁵:

- a) niewydolność, która w sensie ekonomicznym oznacza, że osiągnięta stopa zwrotu na zainwestowanym kapitale jest niższa niż z innych podobnych inwestycji; niewydolność nie przesądza o „być albo nie być” firmy, ponieważ przedsiębiorstwo może być niewydolne przez wiele lat, o ile nie ma przy tym (prawie) żadnych przeterminowanych zobowiązań, które są egzekwowane prawnie;
- b) niewypłacalność, która determinuje pojawienie się kolejnych stadiów ujemnych wyników firmy. Są nimi: zaprzestanie obsługi zobowiązań i upadłość.

Uszczegóławiając można wyróżnić różne formy niewypłacalności, a mianowicie⁵⁶:

⁵³ T. Korol, B. Prusak, *Upadłość przedsiębiorstwa a wykorzystanie sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2005, s. 14.

⁵⁴ B. Prusak, *Upadłość – mit klęski, czy szansa na odrodzenie*, „Prace Naukowe Katedry Ekonomii i Zarządzania Przedsiębiorstwem”, t. I, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2002, s. 45-47.

⁵⁵ E. I. Altman, E. Hotchkiss, *Trudności finansowe a upadłość firmy*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2007, s. 18-22.

- niewypłacalność techniczna, która oznacza, że firma nie może spłacić bieżących zobowiązań, czyli nie ma płynności finansowej;
- niewypłacalność w sensie upadłości, która oznacza, iż zobowiązania przedsiębiorstwa są wyższe niż wartość całego majątku według uczciwej wyceny;
- niewypłacalność pogłębiająca się, która oznacza, że firma jest utrzymywana „przy życiu” bez potrzeby i ze szkodą dla jej majątku, oraz jej zobowiązań, szczególnie wobec wierzycieli.

Zaprezentowane dotychczas terminologiczne doprecyzowania są istotne w momencie wszczęcia procesu upadłościowego, a w konsekwencji ogłoszenia upadłości przedsiębiorstwa. Najważniejszym aspektem w badaniach nad upadłością przedsiębiorstw jest ustalenie ich przyczyn. Dotychczas omówiono teorie przyczyn upadłości, jednakże interesujące i pouczające byłoby skonfrontowanie ich z empirycznymi badaniami zjawiska upadłości. Godnym uwagi materiałem empirycznym na interesujący temat jest publikacja B. Prusaka pt. „Ekonomiczne i prawne aspekty upadłości przedsiębiorstw” oparta na badaniach ankietowych, prowadzonych wśród syndyków, nadzorców i zarządców sądowych. Na podstawie analizy upadłości przedsiębiorstw w województwie warmińsko-mazurskim w latach 1999-2004 B. Prusak wyróżnił następujące kategorie upadłości przedsiębiorstw⁵⁷:

„Wewnętrzne, związane ze sferą operacyjną, takie jak:

- nieumiejętne zarządzanie przedsiębiorstwem przez zarząd/dyrektora naczelnego;
- brak planów rozwoju przedsiębiorstwa;
- nieopłacalność produkcji;

Zewnętrzne o charakterze mikroekonomicznym, takie jak:

- trudności w ściąganiu należności lub brak zapłaty (zatory płatnicze);
- spadek sprzedaży;
- gwałtowny spadek cen zbytu na produkty firmy;

Zewnętrzne o charakterze makroekonomicznym, do których należą:

- zbyt wysokie obciążenia podatkowe;
- wysokie koszty pracy;
- brak możliwości pozyskania nowych źródeł zasilania finansowego;

⁵⁶ E. I. Altman, E. Hotchkiss, *Trudności finansowe.....*op. cit., s. 19.

⁵⁷ B. Prusak, *Ekonomiczne i prawne aspekty upadłości przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2007, s. 30-31.

Wewnętrzne, związane ze sferą finansową, czyli:

- utrata płynności finansowej;
- nadmierne zadłużenie;
- wydłużenie terminów płatności dla odbiorców;

Wewnętrzne związane ze sferą wewnątrzorganizacyjną, do których można zaliczyć:

- brak doświadczenia;
- niskie kwalifikacje menadżerskie średniej i wyższej kadry pracowniczej;
- brak redukcji zatrudnienia w odpowiednim czasie;
- niska wydajność pracy w porównaniu z konkurencją;

Wewnętrzne, związane z nadzorem właścicielskim, do których należą:

- konflikt we władzach spółki;
- niekorzystny wpływ zarządu na działanie przedsiębiorstwa;
- defraudowanie środków pieniężnych przez wspólnika (wspólników);

Tragiczne zdarzenia losowe, takie jak:

- tragiczne zdarzenia losowe przy jednoczesnym braku stosownego ubezpieczenia;
- wypadek (choroba lub śmierć) właścicieli (zarządzających);
- inne wypadki losowe, na przykład pożar części produkcyjnej zakładu.

Upadłość celowa lub upadłość symulowana⁵⁸.

Podkreślenia wymaga fakt, iż B. Prusak nie poprzestał na ogólnym skategoryzowaniu przyczyn upadłości, lecz analizował je według przynależności branżowej przedsiębiorstw. W publikacji dokonał analizy sytuacji upadających przedsiębiorstw: budowlanych, handlowych, produkcyjnych i usługowych, w wyniku czego ustalił 10 przyczyn ich upadłości, a następnie uszeregował je od najczęściej do najrzadziej występujących. Głównymi przyczynami upadłości przedsiębiorstw budowlanych są, według B. Prusaka, utrata płynności finansowej oraz nieumiejętne zarządzanie przedsiębiorstwem przez zarząd lub dyrektora naczelnego, podczas gdy w przypadku przedsiębiorstw handlowych podstawowymi przyczynami upadłości jest wzrost konkurencji krajowej, w tym pojawienie się hipermarketów oraz trudności w ściąganiu należności lub brak zapłaty (zatory płatnicze). Przyczyn upadłości przedsiębiorstw produkcyjnych B. Prusak upatruje w: nadmiernym zadłużeniu, braku nowych odbiorców produktów a także nieumiejętnym zarządzaniu podmiotem gospodarczym, natomiast

⁵⁸ B. Prusak, *Ekonomiczne i prawne aspekty*.....op. cit., s.30-31.

upadłość przedsiębiorstw usługowych najczęściej jest spowodowany brakiem doświadczenia, niskimi kwalifikacjami menadżerskimi średniej i wyższej kadry kierowniczej, jak również utratą płynności finansowej⁵⁹.

Jak pisze D. Mirowska-Wierzbicka, „kluczową rolę w każdym postępowaniu upadłościowym odgrywa syndyk, który jest powoływany do prowadzenia postępowania upadłościowego. Jego rola w tym postępowaniu zbliżona jest do roli menedżerów w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Syndyk ma obowiązek dążyć w trakcie postępowania do jak najwyższego zaspokojenia roszczeń wierzycieli dzięki jak najkorzystniejszemu zbyciu majątku oraz ponoszeniu jak najniższych kosztów. Z tej samej puli środków finansowych, z której zaspakajane są roszczenia wierzycieli pokrywane jest również jego wynagrodzenie. Syndyk powinien więc działać w imieniu i na rzecz wierzycieli. Pomiędzy obiema stronami tworzy się zatem swoista relacja agencji”⁶⁰.

1.3. Istota kondycji ekonomicznej spółki giełdowej w aspekcie jej bankructwa

Jeśli chodzi o spółki giełdowe to w odróżnieniu od przedsiębiorstw, charakteryzują się one wysokim ryzykiem, co wywołuje niepokój wśród ich akcjonariuszy, związany z ich akcjami w momencie, gdy spółka charakteryzuje się słabą kondycją ekonomiczną. Giełda jest jednym z podmiotów gospodarki rynkowej. Jest miejscem, gdzie są zawierane transakcje, których cenę kształtuje podaż i popyt. Giełda papierów wartościowych jest to szczególna instytucja finansowa, która podlega ścisłym i rygorystycznym regulacjom. Giełda pełni szereg funkcji: mobilizacja kapitału, transformacja kapitału, wycena wartości⁶¹. Nad bezpieczeństwem i zgodnością z prawem transakcji i działań, prowadzonych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie przez kupujących i sprzedających, czuwa w Polsce Komisja Nadzoru Finansowego⁶². Giełda pozwala na przepływ kapitału od inwestorów, którzy posiadają wolne środki finansowe, do tych,

⁵⁹ B. Prusak, *Ekonomiczne i prawne aspekty*op. cit., s. 33-36.

⁶⁰ D. Mirowska-Wierzbicka, *Determinanty efektywności postępowań upadłościowych przedsiębiorstw w Polsce*, autoreferat rozprawy doktorskiej, Warszawa 2016, s. 4.

⁶¹ Z. Dobosiewicz, *Giełda: Zasady działania, inwestorzy, rynki giełdowe*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013, s. 35-37.

⁶² M. Dusza, *Najgroźniejsze przestępstwa giełdowe*, Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2011, s. 141.

którzy w danym momencie ich nie posiadają, lecz potrzebują. Przepływ ten polega na kupowaniu i sprzedawaniu: akcji, obligacji itp.⁶³.

Spółka akcyjna jest najbardziej rozwiniętą i skomplikowaną spółką kapitałową. Osobowość prawną spółka nabywa wraz z wpisaniem do rejestru sądowego KRS. Zgodnie z obecnie obowiązującymi uregulowaniami prawnymi, kapitał zakładowy spółki akcyjnej powinien wynosić co najmniej 500 tys. zł, natomiast minimalny próg wartości akcji, emitowanych przez spółkę, nie jest ograniczony prawnie i może wynosić nawet 1 grosz. Istotne jest to, iż według prawodawcy, akcjonariusze nie ponoszą odpowiedzialności za zobowiązania spółki⁶⁴.

Jak podaje K. Górka, w Polsce największy odsetek bankructwa notuje się w grupie giełdowych spółek akcyjnych, czyli przedsiębiorstw na ogół większych. Z jego badań wynika, iż przyczyną tego stanu rzeczy jest fakt, iż spółki giełdowe zobowiązane są do: „przekazywania na zewnątrz więcej informacji o sobie niż pozostałe przedsiębiorstwa, co art. osłabia ich pozycję konkurencyjną w przetargach. Również są one bardziej zaangażowane w walce konkurencyjnej na niwie postępu technicznego i wdrażaniu nowych technologii, co wiąże się z większym ryzykiem i dość często skutkuje przeinwestowaniem”⁶⁵. Problematyka bankructwa spółki giełdowej podobnie jak w przypadku nienotowanego na giełdzie przedsiębiorstwa, ma miejsce wówczas, gdy spółka staje się niewypłacalna, czyli nie reguluje swoich wymagalnych zobowiązań, lub gdy jej zobowiązania przekraczają wartość jej majątku, nawet jeśli na bieżąco reguluje powyższe zobowiązania⁶⁶.

Uregulowania polskiego prawa upadłościowego i naprawczego przewidują następujące tryby upadłości⁶⁷:

- upadłość likwidacyjną,
- upadłość układową.

Upadłość likwidacyjna wiąże się z sprzedażą majątku dłużnika, a wygenerowane w ten sposób przychody dzieli się między wierzycieli spółki. Następstwem likwidacji jest

⁶³ R.G. Allen, *Jak pomnożyć źródła swoich dochodów*, Wolters Kluwer Polska, Kraków 2006, s. 61.

⁶⁴ P. Horosz, *Prawne podstawy przedsiębiorczości*, Oficyna Wolters Kluwer Business, Warszawa 2009, s. 127.

⁶⁵ K. Górka, *Postępowanie upadłościowe w procesach restrukturyzacji finansowej przedsiębiorstw*, „Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy” nr 20/2011, s. 118-131.

⁶⁶ S. Morawska, *Ekonomia i prawo upadłości przedsiębiorstw*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2012, s. 207-209.

⁶⁷ E. Mączyńska, *Cykle życia i bankructwa przedsiębiorstw*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2011, s.195-212.

wykreślenie spółki z Rejestru Przedsiębiorców Krajowego Rejestru Sądowego i wykluczenie akcji z notowań na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie⁶⁸.

Celem upadłości likwidacyjnej jest sprzedaż majątku niewypłacalnego podmiotu-dłużnika w celu zaspokojenia roszczeń wierzycieli z uzyskanych ze sprzedaży zasobów pieniężnych. Po dokonaniu zajęcia majątku dłużnika następuje jego zabezpieczenie i cały zarząd przejmuje syndyk masy upadłościowej. W kolejnym kroku syndyk dokonuje spisu inwentarza oraz oszacowania całej masy upadłości. Już na etapie postępowania upadłościowego w formie likwidacyjnej dłużnik nie może dysponować już swoim majątkiem i nie ma wpływu na funkcjonowanie swojego podmiotu. Po dokonaniu spisu inwentarza i oszacowaniu całego majątku dłużnika syndyk sporządza plan likwidacyjny, w którym szczegółowo wskazuje, w jaki sposób będzie odbywała się sprzedaż majątku upadłego. Syndyk powinien wskazać, czy sprzedaż będzie odbywała się w całości czy poprzez sprzedaż poszczególnych składników majątku masy upadłościowej. Wynagrodzenie syndyka pokrywane jest ze sprzedawanego majątku, ponadto jeszcze przed rozpoczęciem całego procesu likwidacji ma on prawo sprzedać ruchomości, jeśli potrzebne są środki na pokrycie kosztów postępowania. Upadłość likwidacyjna przeprowadzana jest, gdy dotychczasowe działania niewypłacalnego przedsiębiorcy nie dają żadnych podstaw dla uznania jego wiarygodności i rzetelności w wykonaniu układu⁶⁹.

Jak pisze A. Wojtasik, „W przypadku upadłości likwidacyjnej dochodzi do wyprzedazy majątku dłużnika i spłacenia z uzyskanych środków zobowiązań wobec wierzycieli. Po zakończeniu takiego postępowania upadłościowego podmiot przestaje istnieć. Upadłość likwidacyjna oznacza, iż w jak najkrótszym czasie nastąpi zakończenie działalności przedsiębiorstwa, ale otwiera możliwości pozbycia się części lub całości zadłużenia. W każdym przypadku o rodzaju upadłości decyduje sąd, kierując się interesem wierzycieli bada, w którym rozwiązaniu roszczenia wierzycieli zostaną zaspokojone w wyższym stopniu. Jeśli wierzyciele w postępowaniu układowym mogą zostać zaspokojeni w wyższym stopniu a restrukturyzacja zadłużenia przyniesie odpowiedni skutek to powinien zostać orzeczony układ, w przeciwnym wypadku powinno zostać rozpoczęte postępowanie likwidacyjne. Można stwierdzić, że skuteczniejszym sposobem zaspokojenia wierzycieli jest jednak ogłaszana wobec przedsiębiorstwa upadłość likwidacyjna. Należy dodać, że podmiot pozostający w upadłości likwidacyjnej w obrocie gospodarczym

⁶⁸ E. Mączyńska, *Cykle życia.....*, op. cit., s.195-212.

⁶⁹ <https://poradnikprzedsiębiorcy.pl/-czym-sie-rozni-upadlosc-likwidacyjna-od-upadlosci-ukladowej> (dostęp 22.11.2019).

posługuje się nazwą z przyrostkiem <<w likwidacji>>. Sąd może zmienić formę postępowania upadłościowego w postępowaniu układowym na likwidacyjny w sytuacji, kiedy przedsiębiorstwo nie realizuje postanowień układu z wierzycielami, jak również możliwa jest zmiana postępowania likwidacyjnego na układowe, kiedy zaistnieją przesłanki do kontynuacji działalności przedsiębiorstwa. Możliwe jest to wówczas, kiedy syndyk otrzyma nie zaliczone w skład masy upadłościowej należności upadłego a dodatkowo, jeśli zmiana ta będzie wiązać się z korzyścią dla wierzycieli⁷⁰.

Rozpatrując zalety i wady upadłości likwidacyjnej można stwierdzić, iż do głównych zalet omawianej upadłości można zaliczyć: zachowanie całości dochodów z nowej działalności przedsiębiorcy po przeprowadzeniu postępowania upadłościowego, jak również fakt, iż przedsiębiorca może rozpocząć działalność w ramach nowego przedsięwzięcia jeszcze przed zakończeniem postępowania. W przypadku wierzycieli, jeżeli zależy im na szybkim odzyskaniu należności, upadłość likwidacyjna jest bardziej korzystna niż upadłość układowa, mogą oni nie dopuścić do przegłosowania formy układowej. Upadłość likwidacyjna oprócz zalet posiada również wady. Do głównych wad można zaliczyć fakt, iż przedsiębiorca nie może kontynuować działalności w ramach dotychczasowej firmy i nie może korzystać z przywilejów upadłości układowej, takich jak: zarząd majątkiem, który obejmuje syndyk masy upadłościowej. Przedsiębiorca w przypadku upadłości likwidacyjnej zobowiązany jest wydać syndykowi kompletną dokumentację i udzielić niezbędnych informacji i wyjaśnień. Należy podkreślić fakt, iż często bez zezwolenia nie można dłużnikowi opuszczać kraju⁷¹.

Jeśli chodzi o upadłość z możliwością zawarcia układu mamy do czynienia z nieco innym celem. Zawarcie układu z wierzycielami ma doprowadzić nie do zniknięcia spółki, lecz do restrukturyzacji jej zobowiązań. Zawsze gdy zachodzi prawdopodobieństwo, iż w postępowaniu układowym wierzyciele zostaną zaspokojeni w bardziej satysfakcjonujący sposób, niż po przeprowadzeniu upadłości likwidacyjnej, sąd powinien ogłosić upadłość układową dłużnika. Tak więc, celem upadłości układowej jest doprowadzenie do zawarcia układu pomiędzy upadłym a wierzycielem. Dzięki takiemu porozumieniu dłużnik zyskuje możliwość kontynuowania prowadzenia swojej działalności mimo, że toczy się

⁷⁰ A.. Wojtasik, *Upadłość układowa a upadłość likwidacyjna - podobieństwa i różnice prawno-ekonomicznych skutków procesu upadłościowego przedsiębiorstw w Polsce*, „STUDIA EKONOMICZNE REGIONU ŁÓDZKIEGO” nr XVIII/2015, POLSKIE TOWARZYSTWO EKONOMICZNE ODDZIAŁ W ŁÓDZI, s. 114-115.

⁷¹ <https://spiralazadluzenia.pl/restrukturyzacja/upadlosc-likwidacyjna-przedsiębiorstwa.html> (dostęp: 24.11.2019).

postępowanie upadłościowe. Warunkiem przeprowadzenia postępowania układowego, jest uprawdopodobnienie przez dłużnika, że jego wierzyciele w drodze układu zostaną zaspokojeni w większym stopniu, niż zostaliby zaspokojeni przy przeprowadzeniu postępowania upadłościowego, obejmującego likwidację majątku dłużnika. Poza uprawdopodobnieniem powyższego stanu dłużnik musi zachowywać się w sposób, który umożliwi mu wykonanie zawartego układu. Aby zawarcie układu było możliwe, musi on zostać zaakceptowany poprzez głosowanie przez wszystkich wierzycieli, a następnie zatwierdzenie przez sąd⁷².

Według A. Wojtasika, „W przypadku upadłości układowej celem zawarcia układu jest restrukturyzacja zobowiązań upadłego i objęcie ich harmonogramem spłaty. Po wykonaniu układu przedsiębiorstwo pozostaje na rynku jako podmiot gospodarczy kontynuujący swoją działalność. Upadła jednostka w obrocie gospodarczym funkcjonuje pod dotychczasową nazwą rozszerzoną o przyrostek: <<w upadłości układowej>>. Propozycje układowe w zakresie restrukturyzacji zobowiązań dłużnika mogą obejmować w szczególności: odroczenie wykonania zobowiązań, rozłożenie spłaty długów na raty, zmniejszenie sumy długów, konwersję wierzytelności na udziały lub akcje, zmianę, zamianę lub uchylenie prawa zabezpieczającego określoną wierzytelność. Propozycje układowe mogą wskazywać jeden lub więcej sposobów restrukturyzacji. Aby układ był możliwy, wierzyciele muszą go przyjąć, czyli wyrazić zgodę na warunki restrukturyzacji zadłużenia poprzez głosowanie, a następnie przyjęty układ musi zatwierdzić sąd wydając odpowiednie postanowienie. Ważnym aspektem układu jest możliwość zachowania zarządu nad przedsiębiorstwem w rękach upadłego. Jest on jednak kontrolowany przez nadzorcę sądowego”⁷³.

Porównując upadłość likwidacyjną z upadłością układową można zauważyć istotne różnice z punktu widzenia inwestorów akcjonariuszy. Jak pisze R. Lewandowski, „Różne tryby upadłości pociągają bowiem za sobą odmienne skutki dla akcjonariuszy upadłej spółki. Prawo upadłościowe opiera się na kilku zasadach, które trzeba przestrzegać przy postępowaniu upadłościowym. Są to: zasada optymalizacji i zasada dominacji grupowego interesu wierzycieli”⁷⁴. Z kolei A. Adamska, E. Mączyńska twierdzi, „iż w przypadku wyboru upadłości układowej akcje spółki publicznej dalej są notowane na giełdzie i mogą

⁷² <https://spiralazadluzenia.pl/restrukturyzacja/upadlosc-likwidacyjna-przedsiębiorstwa.html> (dostęp: 24.11.2019).

⁷³ A. Wojtasik, *Upadłość układowa a upadłość likwidacyjna*, op. cit., s. 114.

⁷⁴ R. Lewandowski, P. Wołowski, *Prawo upadłościowe i naprawcze*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2011, s. 28-29.

stanowiąc przedmiot obrotu. Ten rodzaj upadłości nie jest często w Polsce wybierany, o czym świadczą statystyki, które mówią, iż liczba postępowań reorganizacyjnych to zaledwie 15-20% postępowań upadłościowych⁷⁵. Jak pisze Z. Koźny, M. Ożog, „Analizując zapisy <<Ustawy o ofercie publicznej>>⁷⁶ można stwierdzić, iż przewiduje ona odmienne skutki, w związku z upadłością likwidacyjną spółki notowanej na giełdzie. Zgodnie z zapisami zawartymi w art. 91 ustawy, dopiero po okresie sześciu miesięcy od uprawomocnienia się postanowienia o ogłoszeniu upadłości spółki, obejmującego likwidację jej majątku, lub postanowienia o oddaleniu wniosku ze względu na brak możliwości zaspokojenia kosztów postępowania z majątku spółki, zgodnie z przepisami prawa następuje skutek w postaci zaprzestania podlegania przez spółkę obowiązkom, wynikającym z ustawy i dochodzi do wycofania akcji z obrotu na rynku regulowanym. Z chwilą zniesienia dematerializacji akcji powstaje stan zawieszenia w sferze obrotu akcjami, utrzymujący się do czasu wydania dokumentu akcji akcjonariuszom. Do tego momentu nie można zawierać umowy kupna-sprzedaży akcji na warunkach, wskazanych przez <<Kodeks Cywilny>>. Dopiero, gdy akcjonariusze otrzymają z powrotem dokumenty akcji, obrót akcjami danej spółki będzie znów możliwy, jednakże będzie on wówczas miał charakter wyłącznie prywatny. Transfer praw z akcji będzie odbywał się na zasadach wskazanych w przepisach <<Kodeksu Cywilnego>>, zgodnie z którymi przeniesienie praw do akcji imiennych nastąpi poprzez przelew połączony z wydaniem dokumentu. Rozpatrując problematykę akcji na okaziciela stwierdzamy, iż do przeniesienia praw do akcji dochodzi w chwili wydania dokumentu akcji nabywcy. Skutki w postaci zniesienia dematerializacji akcji upadłej spółki powstaną dopiero po upływie sześciu miesięcy od uprawomocnienia się postanowienia o ogłoszeniu upadłości likwidacyjnej spółki. Nie zostaną zawieszony również notowania akcji upadłej spółki. W przypadku ogłoszenia upadłości likwidacyjnej spółki, jej akcjonariusze po zakończeniu postępowania upadłościowego nie będą dysponowali już żadnym majątkiem, który mógłby zostać podzielony między nich. W tym wypadku akcjonariusze nie otrzymują nic za swoje akcje. Czytając przepisy prawa upadłościowego i naprawczego w Polsce, należy stwierdzić, iż akcjonariusz nie jest wierzycielem spółki z tytułu posiadanych w niej akcji. W takich przypadkach nie ma możliwości wypłaty jakichkolwiek kwot akcjonariuszom spółki,

⁷⁵ A. Adamska, E. Mączyńska, *Upadłości, bankructwa i naprawa przedsiębiorstw*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2013, s. 65.

⁷⁶ Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o ofercie publicznej i warunkach wprowadzania instrumentów finansowych do zorganizowanego systemu obrotu oraz o spółkach publicznych, Dz.U. 2005 nr 184 poz. 1539.

którzy nie są jednocześnie jej wierzycielami z innych tytułów. Jednak, jeśli po zakończeniu postępowania upadłościowego pozostanie w spółce jakiś majątek, ulega on podziałowi między akcjonariuszy zgodnie z art. 474 *Kodeksu Spółek Handlowych*. Przepisy te stanowią, iż majątek, pozostały po przeprowadzeniu postępowania upadłościowego, dzieli się między akcjonariuszy w stosunku do dokonanych przez każdego z nich wpłat na kapitał zakładowy. Natomiast, gdy statut spółki stanowi o uprzywilejowaniu konkretnych akcji, wówczas przy podziale majątku należy przede wszystkim spłacić akcje uprzywilejowane, w granicach sum wpłaconych na każdą z nich, a następnie dopiero spłacić w ten sam sposób akcje zwykłe. Stosownie do art. 474 *Kodeksu Spółek Handlowych* statut może określić inne, od opisanych wyżej, reguły podziału majątku pomiędzy akcjonariuszy⁷⁷. Jednak niezależnie od przyjętych reguł podziału, można go dokonać dopiero po upływie roku od dnia zaistnienia ostatniego zgłoszenia o otwarciu likwidacji i wezwania wierzycieli do zgłoszenia wierzytelności.

Reasumując, ogłoszenie upadłości spółki przynosi jej akcjonariuszom złe skutki. Fakt ten stwierdza doświadczenie, które pokazuje, że upadłe spółki po przeprowadzeniu likwidacji bardzo często nie dysponują już żadnym majątkiem, który mógłby zostać podzielony między akcjonariuszy. Czasami inna spółka jest skłonna kupić akcje upadającej spółki i uratować ją przed bankructwem, a przy okazji na tym zarobić⁷⁸.

E. Mączyńska twierdzi, „iż restrukturyzacja przedsiębiorstwa i przeprowadzenie spółki przez postępowanie upadłościowe, zakończone powodzeniem (zawarcie układu z wierzycielami i wykonanie układu) może doprowadzić do wzrostu wartości akcji posiadanych przez spółkę. Restrukturyzacja spółki może polegać na zwiększeniu poziomu kapitału obrotowego, ponieważ przedsiębiorstwa najczęściej tracą płynność z powodu zbyt niskiego poziomu tego kapitału”⁷⁹. Z kolei T. Korol, E. Mączyńska piszą, iż „w zależności od preferencji, akcje można sprzedać i w ten sposób zarobić na inwestycji lub pozostać akcjonariuszem spółki i otrzymywać dywidendę w przypadku, gdy spółka osiąga już zysk. Warto tu mieć na uwadze fakt, iż od chwili zainwestowania w spółkę, zagrożoną

⁷⁷ Z. Koźny, M. Ożog, *Kodeks spółek handlowych komentarz*, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk 2010, s.1009.

⁷⁸ B. Rozwadowska, *Fuzje i przejęcia*, Studio Emka, Warszawa 2012, s. 45-47.

⁷⁹ E. Mączyńska, *Procesy upadłościowe i naprawcze w Polsce na tle doświadczeń Unii Europejskiej*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2013, s.120.

upadłością lub już upadłą, do czasu doprowadzenia spółki do generowania zysku może minąć bardzo długi okres”⁸⁰.

P. Masiukiewicz podaje, iż „Jednym z wariantów zarabiania na akcjach upadłej spółki jest ich zakup w chwili, gdy wycena rynkowa danej akcji jest niższa od jej wyceny bilansowej. Ma to miejsce z reguły w przypadku ogłoszenia upadłości spółki. Inwestorzy wówczas sprzedają akcje upadłej spółki, a ich wartość rynkowa spada poniżej wartości bilansowej. Taka inwestycja ma sens tylko wtedy, gdy można przewidzieć, że po zakończeniu procedury upadłościowej spółki pozostanie jeszcze jakiś majątek do podziału między akcjonariuszy, a wartość bilansowa akcji przewyższy ich wartość rynkową. Wówczas akcjonariusze otrzymają za posiadane akcje więcej pieniędzy niż wydali, kupując je po cenie rynkowej”⁸¹. Należy jednak pamiętać, iż szybka ekspansja i gra na giełdzie bez limitów przy niedostatecznej kontroli może przerodzić się w nadużycia i afery finansowe.

1.4. Wybrane metody oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw

Analizując literaturę przedmiotu należy zgodzić się z twierdzeniem T. Korola, iż „obecny globalny kryzys finansowy dowiódł, że nawet najlepsze międzynarodowe koncerny powinny nieustannie monitorować sytuację finansową swoją i firm, z którymi współpracują”⁸². Jak trafnie zauważyła w swojej pracy K. Dębowska, w odniesieniu do spółki giełdowej, przeprowadzanie pełnej analizy kondycji finansowej jest bez wątpienia bardzo pracochłonne, to dlatego właśnie w rozwiązaniu tego problemu z pomocą przyszły modele prognozowania kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa⁸³. Jak piszą E. Piątek, M. Konat-Staniek, „Literatura ekonomiczna do najczęściej stosowanych narzędzi oceny zagrożenia przedsiębiorstwa niewypłacalnością, a w konsekwencji upadłością (bankructwem), zalicza analizę wskaźnikową, analizę dyskryminacyjną stosowaną w 30% przypadków, analizę logitową (w 21%), sieci neuronowe (9%), oraz rzadziej wykorzystywane systemy eksperckie, teorię chaosu”⁸⁴. W tym podrozdziale zawarto

⁸⁰ T. Korol, E. Mączyńska, *Dynamiczno-statyczny model prognozowania upadłości spółek giełdowych*, [w:] *Bankructwa przedsiębiorstw. Wybrane aspekty instytucjonalne*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2008, s. 207-218.

⁸¹ P. Masiukiewicz, *Międzynarodowe bankructwa i afery bankowe*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2009, s. 85.

⁸² T. Korol, *Prognozowanie upadłości firm przy wykorzystaniu miękkich technik obliczeniowych*, „Finansowy Kwartalnik Internetowy „e-Finanse” 2010, vol. 6, nr 2, s. 12.

⁸³ K. Dębowska, *Prognozowanie upadłości przedsiębiorstw za pomocą wybranych metod wielowymiarowej analizy statystycznej*, „Zarządzanie i finanse” 2012, vol. 10, nr 1., s. 175.

⁸⁴ M.A. Aziz, H.A. Dar, (2004). *Predicting Corporate Bankruptcy: Whiter Do We Stand?* Pobrano z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?jsessionid=464BBA5B5129D1B9903E01508E0D1A7F?do>

przegląd i charakterystykę wybranych metod oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa: analizę wskaźnikową, analizę dyskryminacyjną, modele logitowe, sztuczne sieci neuronowe. Wykaz wybranych metod oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa omówionych w dysertacji zawiera tabela nr 1.

Tabela 1. Wybrane metody oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa

Wybrane metody oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa	Wybrane publikacje dotyczące metod oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa
Analiza wskaźnikowa	T. Waśniewski, W. Skoczylas (2004) M. Sierpińska, T. Jachna (1997) W. Bień (2011)
Analiza dyskryminacyjna: – Model Altmana – model J. Gajdki i S. Stosa, – model E. Mączyńskiej, – model poznański.	D. Letkowski (2014) E. Bombiak (2010) E. Mączyńska, M. Zawadzki (2006) B. Prusak (2005) D. Appenzeller, K. Szarzec (2004) M. Hamrol, B. Czajka, M. Piechocki (2004) J. Gajdka, D. Stos (2003) A. Hołda (2001) E. I. Altman (2000) D. Wierzba (2000) D. Hadasik (1998) M. Pogodzińska, S. Sojak (1995)
Modele logitowe	D. Grochowina (2014) J. Pociecha (2014) A. Ptak-Chmielewska(2012) J. Kisielińska, A. Waszkowski(2010) J. Andrasik (2005)
Sztuczne sieci neuronowe	T. Korol, B. Prusak (2009) I. Bose, R. Mohapatra (2001) B. Lisboa, A. Vellido(1999) M. Grabowski(1997)

Źródło: opracowanie na podstawie A. Gniadkowska-Szymańska, M. Bolek, *Ocena kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa na rynku kapitałowym w świetle Prawa upadłościowego*, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 1/2018 (91), s.14-16.

i=10.1.1.138.7653&rep=rep1&type=pdf, za: E. Piątek, M. Konat-Staniek, *Metody identyfikacji niewypłacalności i ocena zagrożenia bankructwem*, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 4/2017 (88), s. 378.

Zastosowanie analizy wskaźnikowej

Analiza wskaźnikowa stanowi jeden z najważniejszych obszarów analizy ekonomicznej, zwanej analizą finansową. Analiza wskaźnikowa jest to rozwinięcie wstępnej analizy sprawozdań finansowych. Na podstawie tych sprawozdań można obliczyć wskaźniki, za pomocą których można dokonać charakterystyki różnych aspektów ekonomicznej działalności danego przedsiębiorstwa. Jak pisze N. Siemieniuk „Analiza finansowa zajmuje się metodami, procedurami i technikami postępowania badawczego oraz tworzeniem zasad posługiwania się nimi w badaniach zjawisk należących do gospodarki finansowej w przedsiębiorstwie. Rezultaty takiej analizy mają dużą wartość poznawczą i użytkową zarówno dla kierownictwa przedsiębiorstwa jak i inwestorów giełdowych. Kierownictwo przedsiębiorstwa wykorzystuje wyniki analizy do zarządzania gospodarką finansową, wyboru strategii działania prowadzenia bieżącej działalności”⁸⁵. Analiza wskaźnikowa pozwala z kolei określić możliwości finansowe danego podmiotu gospodarczego.

Wykorzystując analizę wskaźnikową możemy zbadać różne sfery działalności przedsiębiorstwa⁸⁶. Przez lata w finansach stworzono ogromną liczbę wskaźników. Do najbardziej powszechnych i najczęściej używanych należy zaliczyć⁸⁷:

- wskaźnik płynności finansowej – mierzy zdolność przedsiębiorstwa do wywiązywania się z zobowiązań krótkoterminowych;
- wskaźnik efektywności (wykorzystania majątku) – pokazuje, jak firma zamienia swoje należności i zapasy na gotówkę;
- wskaźnik wypłacalności (zadłużenia) – mówi o zadłużeniu spółki i jej zdolności do likwidacji powstałego zadłużenia;
- wskaźnik rentowności (zyskowość) – ocenia jakie zyski osiąga dane przedsiębiorstwo z poniesionych nakładów;
- wskaźniki giełdowe – ocenia wartość rynkową przedsiębiorstwa, która zależy od ceny jej akcji;
- wskaźniki oceny *cash flow* (przepływów pieniężnych).

⁸⁵ N. Siemieniuk, *Fraktale właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s.54-55.

⁸⁶ T. Waśniewski, W. Skoczyła, *Teoria i praktyka analizy finansowej w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo FRRwP, Warszawa, 2004, s. 357.

⁸⁷ M. Sierpińska, T. Jachna, *Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997, s. 206.

Analiza wskaźnikowa nabiera na znaczeniu wówczas, kiedy porówna się jej wskaźniki ze wskaźnikami obliczonymi z poprzednich okresów lub też ze wskaźnikami innych przedsiębiorstw. Pozwala to na obiektywną ocenę sytuacji ekonomiczno-finansowej danego podmiotu gospodarczego. Wskaźniki finansowe umożliwiają ocenę: zyskowności przedsiębiorstwa, wielkości posiadanego majątku, źródeł jego pokrycia, stopnia płynności finansowej i zdolności do obsługi zadłużenia⁸⁸.

Zalety analizy wskaźnikowej są następujące⁸⁹:

- ukazuje zmiany w badanym zjawisku, będące wynikiem decyzji gospodarczych podejmowanych w ciągu okresu sprawozdawczego;
- jest szybką i efektywną metodą uzyskiwania wglądu w operacje gospodarcze;
- dostarcza informacji o funkcjonowaniu przedsiębiorstwa;

Do wad analizy wskaźnikowej można zaliczyć⁹⁰:

- wymaga wyważonego doboru wskaźników;
- powinna być uzupełniona innymi narzędziami analitycznymi;
- jej podstawą jest wyłącznie przeszłość przedsiębiorstwa.

Analiza wskaźnikowa wraz z analizą otoczenia może służyć przewidywaniu warunków funkcjonowania przedsiębiorstwa w przyszłości⁹¹.

Zastosowanie analizy dyskryminacyjnej

Analiza dyskryminacyjna stanowi podsumowanie analizy finansowej przedsiębiorstwa. Analiza dyskryminacyjna klasyfikuje badane przedsiębiorstwo na pewnym poziomie, lecz jest to wyłącznie pogładowe szacowanie zasobów i możliwości ekonomicznych przedsiębiorstwa.

Jak wskazuje D. Letkowski, "modele dyskryminacyjne stanowią funkcję dyskryminacyjną, która dopuszcza syntetyczną miarę oceny zagrożenia finansowego

⁸⁸ W. Bień, *Zarządzanie finansami przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2011, s. 167.

⁸⁹ B. Olzacka, R. Pałczyńska-Gościniak, *Jak ocenić firmę. Metodyka badań przykłady liczbowe*, Wydawnictwo ODDK, Gdańsk, 2003, s. 98.

⁹⁰ B. Olzacka, R. Pałczyńska-Gościniak, *Jak ocenić firmę...*, op. cit., s. 100.

⁹¹ M. Sierpińska, T. Jachna, *Ocena przedsiębiorstwa...*, op. cit., s. 278.

przedsiębiorstwa”⁹² Według D. Letkowskiego, najbardziej znanym i najpopularniejszym modelem oceny słabej kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw jest Model Altmana⁹³.

Altman był prekursorem w zastosowaniu wielowymiarowej analizy dyskryminacyjnej w badaniach dotyczących kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. W roku 1968 pojawił się jego pierwszy model, do oszacowania którego Altman użył próby składającej się z 66 firm. Połowa wybranych przedsiębiorstw produkcyjnych charakteryzowała się dobrą kondycją ekonomiczną, a pozostała zbliżającym się upadkiem. Próba ta została zbadana z wykorzystaniem 22 wskaźników, z których do modelu wybrano 5⁹⁴.

Wykorzystując wielowymiarową analizę dyskryminacyjną w badaniach dotyczących kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw, dla wybranych wskaźników dobrano odpowiednie współczynniki. Ostateczna wersja modelu przybrała następującą postać (wzór 1)⁹⁵.

$$X = 1,2 X_1 + 1,4 X_2 + 3,3 X_3 + 0,6 X_4 + 0,999 X_5$$

Legenda:

X - oznacza wynik całkowity;

X₁ - oznacza kapitał pracujący definiowany jako różnica pomiędzy aktywami, a zobowiązaniami bieżącymi;

X₂ - oznacza rentowność skumulowanego zysku zatrzymanego w przedsiębiorstwie;

X₃ - oznacza iloraz EBIT/aktywa;

X₄ - oznacza iloraz wartości rynkowej przedsiębiorstwa/księgową wartość zadłużenia;

X₅ - oznacza iloraz przychodów ze sprzedaży/ aktywa.

Wzór 1. Model Altmana

Źródło: P. Gołaszewski, P. Urbanek, E. Walińska, *Analiza sprawozdań finansowych*, Wydawnictwo FRR, Łódź 2001, s. 63.

⁹² D. Letkowski, *Weryfikacja skuteczności wykorzystania funkcji dyskryminacyjnej do przewidywania zmian kursów akcji*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 804, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 67 (2014), s. 316.

⁹³ Ibidem, s. 316.

⁹⁴ E. I. Altman, *Predicting financial distress of companies: revisiting the Z-score and ZETA® models*, New York 2000, s. 6-8.

⁹⁵ P. Gołaszewski, P. Urbanek, E. Walińska, *Analiza sprawozdań finansowych*, Wydawnictwo FRR, Łódź 2001, s. 63.

Model Altmana stanowi jedno z najpopularniejszych narzędzi do badania kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. Opiera się on na trzech podstawowych założeniach⁹⁶:

1. Im wyższy poziom bieżących aktywów przedsiębiorstwa, tym mniejsze prawdopodobieństwo utraty płynności finansowej;
2. Im większy poziom zadłużenia przedsiębiorstwa, tym większe prawdopodobieństwo jego niewypłacalności;
3. Im większy udział aktywów niepracujących, tym mniejsza zdolność przedsiębiorstwa do generowania zysków.

Pierwotnie model został stworzony w celu badania kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw na rynku amerykańskim. Altman zastrzegł, iż nie musi on działać w innych gospodarkach, tym bardziej w tych, które dokonały znacznych zmian i udoskonalień na przestrzeni ostatnich lat⁹⁷.

Wielu przedsiębiorców niejednokrotnie stoi przed realną możliwością utraty płynności. Brak środków na spłacenie zaciągniętych zobowiązań może spowodować tzw. efekt domina u kontrahentów. Zastosowanie analizy dyskryminacyjnej powinno skutecznie ograniczyć powyższy scenariusz. Systemy wczesnego ostrzegania należy zaliczyć do narzędzi, które pozwalają ocenić aktualną kondycję finansową przedsiębiorstw. Są to narzędzia o charakterze prewencyjnym. Stosuje się je do ograniczenia ryzyka związanego z wystąpieniem upadłości przedsiębiorstw. Jednym z modeli, a przy tym najczęściej wykorzystywanym i najbardziej znanym, jest model opracowany przez E. Altmana⁹⁸. Klasyfikację zagrożenia upadłością według E. Altmana prezentuje tabela nr 2.

Tabela 2. Kwalifikacja zagrożenia upadłością według E. Altmana

Wartość wskaźnika Z	Poziom zagrożenia upadłością
1,8 lub mniej	bardzo wysoki
1,81 – 2,99	nieokreślony
3,0 i więcej	niewielki

Źródło: A. Stabryła, *Zarządzanie strategiczne w teorii i praktyce firmy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, s. 359.

⁹⁶ A. Stabryła, *Zarządzanie strategiczne w teorii i praktyce firmy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa- Kraków 2002, s. 123-124.

⁹⁷ Ibidem, s. 124.

⁹⁸ P. Wajda, *Wykorzystanie analizy dyskryminacyjnej w ocenie ryzyka upadłości przedsiębiorców*, „Przegląd Corporate Governance”, 2009, tom 1, s. 29-34.

Po zmodyfikowaniu modelu zagrożenia upadłością E. Altmana, nowa formuła wygląda następująco (wzór 2)⁹⁹.

$$Z_{\text{score}} = W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_n X_n$$

Legenda:

W_0 - oznacza parametr stały;

W_i - określa współczynniki funkcji dyskryminacyjnej dla $i = 1, 2, \dots, n$;

X_i - określa zmienne objaśniające wskaźniki finansowe dla $i = 1, 2, \dots, n$.

Wzór 2. Nowa formuła modelu zagrożenia upadłością E. Altmana

Źródło: M. Miosionek-Schweda, *Model Altmana jako narzędzie do oceny ryzyka upadłości przedsiębiorstw*, w: W. Ronka-Chmielowiec, *Ubezpieczenia wobec wyzwań XXI wieku*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2014, nr 342, s. 166.

Model Altmana należy do jednych z najpopularniejszych metod dyskryminacyjnych. Główną jego zaletą jest możliwość ograniczenia analizy do najważniejszych wielkości oraz prosta metoda obliczania. Pozwala on analizować niemal każde przedsiębiorstwo z dowolnego sektora, a wynik analizy umożliwia jednoznaczną interpretację¹⁰⁰.

Analizując literaturę przedmiotu należy stwierdzić, iż model Altmana ma pewne niedoskonałości. Nie uwzględnia on zmian zjawisk ekonomicznych i opiera się na danych z przeszłości, w związku z czym wynik może nie pokrywać się z rzeczywistością. Model Altmana stanowi kombinację kilku wskaźników, do których można ustalać dowolne wagi. Konstrukcje niektórych wskaźników są przedmiotem polemiki, przede wszystkim skumulowany wynik finansowy oraz wartość rynkowa kapitału. Przez skumulowany wynik finansowy E. Altman rozumiał zysk zatrzymany na potrzeby przedsiębiorstwa od początku jego istnienia. Stąd przedsiębiorstwa, które funkcjonują dość krótko, są dyskryminowane na rzecz „dojrzałych” przedsiębiorstw. Poza tym w przypadku polskiego systemu rachunkowości, ustalenie wartości skumulowanego wyniku finansowego może być niemożliwe. Wynika to z innego ujęcia sprawozdawczości niż w Stanach Zjednoczonych. Kolejne wady modelu E. Altmana to: brak uwzględnienia czynników jakościowych i aktualnej koniunktury gospodarczej, model opracowano w Stanach

⁹⁹ M. Miosionek-Schweda, *Model Altmana jako narzędzie do oceny ryzyka upadłości przedsiębiorstw*, w: W. Ronka-Chmielowiec, *Ubezpieczenia wobec wyzwań XXI wieku*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2014, nr 342, s. 166.

¹⁰⁰ P. Wajda, *Wykorzystanie analizy dyskryminacyjnej.....*, op. cit. s. 29-34.

Zjednoczonych, gdzie panują inne warunki gospodarcze niż w Polsce oraz inny system rachunkowości, możliwość doboru niewłaściwego modelu do analizy, brak możliwości wykorzystania modelu w sektorze finansowym. E. Altman przestrzegał przed wyciąganiem zbyt pochopnych wniosków. Swój system uznał za mało reprezentatywny, który nie ma zastosowania w przedsiębiorstwach handlowych i usługowych oraz funkcjonujących w innych krajach¹⁰¹.

Do popularnych modeli w analizie dyskryminacyjnej, opracowanych przez polskich badaczy należy zaliczyć¹⁰²:

- model J. Gajdki i S. Stosa,
- model E. Mączyńskiej,
- model poznański.

Model J. Gajdki i S. Stosa jest jednym z pierwszych modeli opracowanych dla warunków funkcjonowania polskich przedsiębiorstw. Trafność prognoz opartych na tym modelu wyniosła 93%¹⁰³.

Jak podaje E. Bombiak, „Wśród wskaźników stosowanych w modelu dominuje wskaźnik rentowności majątku, określający efektywność wykorzystania zaangażowanych zasobów majątkowych. Istotną rolę ogrywają także wskaźniki rentowności sprzedaży i udziału kapitałów obcych w finansowaniu majątku przedsiębiorstwa. Mniejsze znaczenie przypisuje się natomiast wskaźnikowi efektywności zaangażowanych zasobów majątkowych oraz udziału zobowiązań bieżących w kosztach uzyskania przychodu”¹⁰⁴.

¹⁰¹ S. Jędrzejewski, *Identyfikacja ryzyka upadłości przedsiębiorstw*, Ostrów Wielkopolski 2005, s. 91-92.

¹⁰² E. Bombiak, *Modele dyskryminacyjne jako metoda oceny sytuacji finansowej przedsiębiorstwa*, Zeszyty Naukowe Akademii Podlaskiej w Siedlcach, „Administracja i Zarządzanie” (13) 2010, nr 86, s. 145.

¹⁰³ J. Gajdka, D. Stos, *Wykorzystanie analizy dyskryminacyjnej w ocenie kondycji finansowej przedsiębiorstw*, [w:] R. Borowiecki (red.), *Restrukturyzacja w procesie przekształceń i rozwoju przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 1996, s. 59-63.

¹⁰⁴ E. Bombiak, *Modele dyskryminacyjne* op. cit., s. 145.

Konstrukcję modelu wyraża wzór 3¹⁰⁵.

$$Z = 0,7732059 - 0,0856425 * X_1 + 0,0007747 * X_2 + 0,9220985 * X_3 + 0,6535995 * X_4 - 0,594687 * X_5$$

Legenda:

X₁ - oznacza iloraz przychodów ze sprzedaży/aktywa ogółem,

X₂ - oznacza iloraz zobowiązań krótkoterminowych/koszt wytworzenia produkcji sprzedanej pomnożony przez 365,

X₃ - oznacza iloraz zysku netto/aktywa ogółem,

X₄ - oznacza iloraz zysku brutto/przychody ze sprzedaży netto,

X₅ - oznacza iloraz zobowiązań ogółem/aktywa ogółem.

Wzór 3. Konstrukcja modelu J. Gajdki i S. Stosa

Źródło: J. Wojnar, *Ocena skuteczności modeli analizy dyskryminacyjnej do prognozowania zagrożenia finansowego spółek giełdowych*, <http://zn.mwse.edu.pl/ebooki/24/219-231.pdf> (dostęp 25.10.2018).

Model E. Mączyńskiej również jest modelem dostosowanym do polskich warunków. Model ten powstał na podstawie wyników analizy kilku tysięcy przedsiębiorstw. W modelu E. Mączyńskiej w grupie wskaźników stosowanych w konstrukcji modelu dominują wskaźniki efektywności wykorzystania majątku oraz rentowności przychodów ze sprzedaży. Znaczącą uwagę w modelu przypisuje się ocenie zdolności kredytowej, która określa możliwość regulowania zobowiązań z wygospodarowanej nadwyżki pieniężnej. Mniejszą rolę odgrywają w tym wypadku wskaźniki zaangażowania zapasów, produktywności majątku oraz stopnia zadłużenia¹⁰⁶. Jak podają E. Mączyńska, M. Zawadzki „W przypadku gdy wynik wynosi mniej niż 0, przedsiębiorstwo charakteryzuje się słabą kondycją ekonomiczną. Jeżeli wynik jest większy od 0, ale jednocześnie mniejszy niż 1, przedsiębiorstwo ma dość słaby wynik finansowy, lecz nie jest zagrożone upadłością. Jeśli wynik znajduje się w przedziale między 1 a 2 stwierdza się, że

¹⁰⁵ J. Wojnar, *Ocena skuteczności modeli analizy dyskryminacyjnej do prognozowania zagrożenia finansowego spółek giełdowych*, <http://zn.mwse.edu.pl/ebooki/24/219-231.pdf> (dostęp 25.10.2018).

¹⁰⁶ E. Bombiak, *Modele dyskryminacyjne*op. cit., s. 146.

przedsiębiorstwo posiada dobrą kondycję ekonomiczną, natomiast wynik powyżej 2 oznacza przedsiębiorstwo w bardzo dobrym stanie pod względem finansowym”¹⁰⁷. Sytuację powyższą odzwierciedla wzór 4¹⁰⁸.

$$W = 1,5 * X_1 + 0,08 * X_2 + 10,0 * X_3 + 5,0 * X_4 + 0,3 * X_5 + 0,1 * X_6$$

Legenda:

X₁ – zysk brutto + amortyzacja/zobowiązania,

X₂ – suma bilansowa /zobowiązania,

X₃ – wynik finansowy przed opodatkowaniem/suma bilansowa,

X₄ – wynik finansowy/ roczne przychody,

X₅ – zapasy/roczne przychody,

X₆ – roczne przychody /suma bilansowa.

Wzór 4. Konstrukcja modelu E. Mączyńskiej

Źródło: E. Mączyńska, M. Zawadzki, *Dyskryminacyjne modele predykcji bankructwa przedsiębiorstw*, „*Ekonomista*”, 2/2006, s. 205–235; podano za: J. Wojnar, *Ocena skuteczności modeli analizy dyskryminacyjnej do prognozowania zagrożenia finansowego spółek giełdowych*, <http://zn.mwse.edu.pl/ebooki/24/219-231.pdf> (dostęp 25.10.2018).

Model poznański stanowi jedną nowszych aplikacji oceny sytuacji finansowej przedsiębiorstw w Polsce. Został on opracowany przez M. Hamrola, B. Czajkę i M. Piechockiego na podstawie badania sprawozdań finansowych 100 polskich spółek prawa handlowego. Filozofia modelu jest oparta na wielkości stałej i czterech wskaźnikach finansowych. Jego skuteczność została określona na poziomie 92,98%¹⁰⁹. Jak stwierdza E. Bombiak, „Wśród wskaźników wykorzystywanych w konstrukcji modelu poznańskiego dominuje wskaźnik rentowności sprzedaży. Duże znaczenie przypisuje się także wskaźnikowi udziału kapitału stałego w finansowaniu majątku przedsiębiorstwa, informującego o stabilności finansowej podmiotu. Mniejszą rolę odgrywają: wskaźnik rentowności majątku oraz wskaźnik płynności finansowej, informujący o możliwości

¹⁰⁷ E. Mączyńska, M. Zawadzki, *Dyskryminacyjne modele predykcji bankructwa przedsiębiorstw*, „*Ekonomista*”, 2/2006, s. 205–235; podano za: J. Wojnar, *Ocena skuteczności modeli analizy dyskryminacyjnej do prognozowania zagrożenia finansowego spółek giełdowych*, <http://zn.mwse.edu.pl/ebooki/24/219-231.pdf> (dostęp 25.10.2018).

¹⁰⁸ Ibidem.

¹⁰⁹ M. Hamrol, B. Czajka, M. Piechocki, *Upadłości przedsiębiorstwa – model analizy dyskryminacyjnej*, „*Przegląd Organizacji*”, 2004, nr 6, s. 35-39, podano za: E. Bombiak, op. cit., s. 146.

regulowania zobowiązań bieżących”¹¹⁰. Jeżeli wynik jest mniejszy niż 0, przedsiębiorstwo prezentuje złą kondycję ekonomiczną, a jeśli większy jest w dobrej kondycji finansowej. Opisaną zależność wyraża wzór 5¹¹¹.

$$FD = 3,562 * X_1 + 1,588 * X_2 + 4,288 * X_3 + 6,719 * X_4 - 2,368$$

Legenda:

X₁ – zysk netto/majątek całkowity,

X₂ – majątek obrotowy – zapasy/zobowiązania krótkoterminowe,

X₃ – kapitał stały/majątek całkowity,

X₄ – wynik finansowy ze sprzedaży/przychody ze sprzedaży.

Wzór 5. Konstrukcja modelu poznańskiego

Źródło: J. Wojnar, *Ocena skuteczności modeli analizy dyskryminacyjnej do prognozowania zagrożenia finansowego spółek giełdowych*, <http://zn.mwse.edu.pl/ebooki/24/219-231.pdf> (dostęp 25.10.2018).

Zastosowanie modeli dyskryminacyjnych do oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa posiada ograniczenia. Można do nich zaliczyć: dezaktualizację wynikającą ze zmian warunków gospodarowania podmiotów, modele opracowane w innych krajach nie mają zastosowania w warunkach odrębności rozwoju przedsiębiorstw w Polsce, złożoność konstrukcji modeli, brak uwzględniania elementów jakościowych¹¹². Jedną z najważniejszych wad modeli dyskryminacyjnych jest ich dezaktualizacja, wynikająca z ewolucji warunków gospodarowania podmiotów – modele opracowane kilkanaście lat wcześniej mogą wykazywać braki w prognozowaniu sytuacji jednostek funkcjonujących obecnie. W celu usunięcia tej wady, konieczne jest wykorzystanie modeli opracowanych w ostatnich kilku latach¹¹³. Kolejna wada dotyczy systemu rachunkowości oraz warunków prawnych funkcjonowania przedsiębiorstw. Modele aplikowane w innych krajach nie sprawdzają się w warunkach funkcjonowania przedsiębiorstw w Polsce. W wyniku czego, do oceny sytuacji finansowej polskich przedsiębiorstw wymaga się

¹¹⁰ E. Bombiak, *Modele dyskryminacyjne*op. cit., s. 146.

¹¹¹ J. Wojnar, *Ocena skuteczności modeli*.....op. cit., <http://zn.mwse.edu.pl/ebooki/24/219-231.pdf> (dostęp 25.10.2018).

¹¹² E. Bombiak, *Modele dyskryminacyjne*op. cit., s. 147-148.

¹¹³ J. Gajdka, D. Stos, *Wykorzystanie analizy* op. cit., s. 36.

aplikowanie modeli, które uwzględniają specyfikę polskiego rynku¹¹⁴. Według J. Gajki i D. Stosa, „złożona konstrukcja modeli jest przyczyną tego, że każdy z nich rozpatruje odmienne parametry diagnostyczne, co może skutkować rozbieżnością w ocenie sytuacji przedsiębiorstw w ujęciu odrębnych modeli. Aby zmniejszyć tę wadę, można próbować oceny kondycji podmiotów z wykorzystaniem wielu modeli, co ograniczy prawdopodobieństwo niewłaściwej diagnozy”¹¹⁵. Wadą modeli dyskryminacyjnych jest również brak elementów jakościowych związanych z nieprzewidywalnym czynnikiem ludzkim, a mających ogromny wpływ zarówno na obecną, jak i przyszłą kondycję finansową przedsiębiorstwa. Zalicza się do nich m.in. poziom kompetencji i zaangażowania pracowników w pracę. Kompetencje i postawy zatrudnionych decydują o efektywności wykorzystania innych czynników produkcji, co oddziałuje na wyniki ekonomiczne i sytuację finansową przedsiębiorstwa¹¹⁶. Mimo wymienionych ograniczeń, modele dyskryminacyjne są bardzo użyteczne, szczególnie gdy celem badania jest rozróżnienie badanych podmiotów na stabilne finansowo oraz te, które znajdują się w trudnej kondycji ekonomicznej¹¹⁷. Analiza dyskryminacyjna stanowi atrakcyjne podejście metodyczne w badaniach zdolności przedsiębiorstwa do kontynuowania działalności gospodarczej, która wynika z jednej z nadrzędnych zasad rachunkowości. Konsekwencją niespełnienia zasady kontynuacji działania jest właściwa wycena składników aktywów i pasywów.

Zastosowanie modeli logitowych

Kryzysy ekonomiczne, zmieniająca się sytuacja gospodarcza na rynku, czy złe zarządzanie przedsiębiorstwem to tylko niektóre z ewentualnych przyczyn oddziałujących na złe wyniki finansowe przedsiębiorstw. Dlatego tak ważne jest badanie kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. Narzędziem, które dostarcza informacji w tym zakresie jest analiza finansowa wykonana za pomocą różnych metod i modeli oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. Wśród nich wyodrębnia się model logitowy. Opiera się on na wskaźnikach finansowych, których analiza stanowi część analizy finansowej przedsię-

¹¹⁴ E. Bombiak, *Modele dyskryminacyjne*op. cit. s. 148.

¹¹⁵ J. Gajka, D. Stos, *Wykorzystanie analizy dyskryminacyjnej*, op. cit., s. 34.

¹¹⁶ M. Jerzemowska (red.), *Analiza ekonomiczna w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2006, s. 344.

¹¹⁷ M. Sukiennik, *Zastosowanie analizy dyskryminacyjnej do oceny stanu finansowego przedsiębiorstw*, Krakowska Konfederacja Młodych Uczonych, Kraków 2007, s. 494.

biorstwa¹¹⁸. Modele logitowe zalicza się do klasycznych modeli klasyfikacji binarnej, w których zmienna objaśniana przyjmuje tylko dwie wartości. Przy badaniu kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa, w modelu tym jest analizowany wpływ zmiennych objaśniających, które mogą być cechami jakościowymi lub ilościowymi, na zmienną objaśnianą o charakterze jakościowym, przy założeniu logistycznej postaci analitycznej natężenia poszczególnych zmiennych objaśniających. Jeśli zmienna objaśniana ma charakter dwudzielny (przedsiębiorstwa o dobrej kondycji finansowej, przedsiębiorstwa o złej kondycji), to mamy do czynienia z modelem dwumianowym. Gdy zmienna objaśniana jest cechą jakościową wielowariantową, to mamy do czynienia z modelem wielomianowym uporządkowanym¹¹⁹. Modele logitowe stosuje się do określania prawdopodobieństwa, z jakim w przyszłości wystąpi określony wariant zmiennej objaśnianej, w zależności od działania innych czynników (zmiennych niezależnych)¹²⁰. Do szacowania wartości parametrów w modelu logitowym wykorzystuje się metodę największej wiarygodności lub metodę ważoną najmniejszych kwadratów. W przypadku pojawienia się w modelu zmiennej dychotomicznej nie można posłużyć się metodą najmniejszych kwadratów, gdyż nie będzie spełniony warunek o stałości wariancji¹²¹. W modelu logitowym wartości zmiennej objaśnianej wskazują na występowanie lub brak wystąpienia zdarzenia, które chcemy prognozować. Funkcja prawdopodobieństwa, w przypadku gdy zmienna zależna jest zmienną dychotomiczną, sprowadza się do funkcji logistycznej (regresji logistycznej, modelu logistycznego) i przyjmuje postać wyrażoną wzorem 6¹²².

¹¹⁸ D. Grochowina, *Wpływ metod imputacji danych na skuteczność klasyfikacyjną modelu logitowego zastosowanego do prognozowania upadłości przedsiębiorstw*, „*Ekonomia XLV*”, 2014, nr 2, s. 188-189.

¹¹⁹ J. Pocięcha (red.), *Statystyczne metody prognozowania bankructwa w zmieniającej się koniunkturze gospodarczej*, Wydawnictwo Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków 2014, s. 22.

¹²⁰ D. Grochowina, *Wpływ metod imputacji.....*, op. cit., s. 189-190.

¹²¹ A. Ptak-Chmielewska, *Wykorzystanie modeli przeżycia i analizy dyskryminacyjnej do oceny ryzyka upadłości przedsiębiorstw*, „*Ekonometria*”, 2012, nr 4 (38), s. 163

¹²² J. Kisielińska, A. Waszkowski, *Polskie modele do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw i ich weryfikacja*, Zeszyty naukowe SGGW w Warszawie „*Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*”, 2010, nr 82, str. 19.

$$P(x) = \frac{e^x}{1 + e^x} = \frac{1}{1 + e^{-x}}.$$

Legenda:

$$X = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k,$$

a_0, a_1, \dots, a_k – oznaczają wartości oszacowania współczynników.

Wzór 6. Konstrukcja modelu logitowego

Źródło: J. Kisielińska, A. Waszkowski, *Polskie modele do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw i ich weryfikacja*, Zeszyty naukowe SGGW w Warszawie „Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej”, 2010, nr 82, str. 19.

Wartość minimalna funkcji jest osiągnięta, gdy zmienna X dąży do $-\infty$, zaś maksimum – gdy zmienna powyższa dąży do $+\infty$. Granice te w odniesieniu do tak zdefiniowanej funkcji logistycznej $P(x)$ przyjmują wartości odpowiednio (wzór 7, 8)¹²³.

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} P(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} = 0,$$

Wzór 7. Granice funkcji logistycznej $P(x)$, gdy zmienna X dąży do $-\infty$

Źródło: D. Grochowina, *Wpływ metod imputacji danych na skuteczność klasyfikacyjną modelu logitowego zastosowanego do prognozowania upadłości przedsiębiorstw*, „Ekonomia XLV”, 2014, nr 2, s. 188-189.

¹²³ D. Grochowina, *Wpływ metod imputacji*op. cit., s. 190.

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} P(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} = 1$$

Wzór 8. Granice funkcji logistycznej $P(x)$, gdy zmienna X dąży do $+\infty$

Źródło: D. Grochowina, *Wpływ metod imputacji danych na skuteczność klasyfikacyjną modelu logitowego zastosowanego do prognozowania upadłości przedsiębiorstw*, „Ekonomia XLV”, 2014, nr 2, s. 188-189.

Z powyższej zależności wynika, iż wartości funkcji logitowej znajdują się w przedziale $\langle 0;1 \rangle$, gdzie 0 oznacza przedsiębiorstwo o dobrej kondycji finansowej, natomiast 1 przedsiębiorstwo o złej kondycji finansowej. Im wartość wskaźnika jest bliższa 0, tym mniejsze prawdopodobieństwo zaistnienia zagrożenia upadłością w stosunku do danego przedsiębiorstwa. Dlatego modele logitowe umożliwiają łatwiejszą interpretację wyników niż model liniowej funkcji dyskryminacyjnej, gdzie zakres zmian teoretycznie może przyjmować wartości z przedziału $\langle -\infty; +\infty \rangle$ ¹²⁴. Modele logitowe do oceny kondycji ekonomicznej polskich przedsiębiorstw są stosowane od początku XXI wieku. Jeden z pierwszych modeli tego typu, oszacowanych dla gospodarki polskiej, zamieszczony został w pracy Hołda o następującej postaci funkcji logistycznej (wzór 9)¹²⁵.

$$L_H = -0,52 + 4,50 \text{ WPI} - 7,98 \text{ SZ}^* + 0,93 \text{ RM} + 2,31 \text{ WOZO}^* + 7,32 \text{ ZOM}^*$$

Legenda:

WPI – wskaźnik płynności,

SZ* – przeskalowany wskaźnik zadłużenia,

RM – wskaźnik przychodów ogółem,

WOZO* – przeskalowany wskaźnik obrotowości,

ZONI* – przeskalowany wskaźnik zyskowności netto.

Wzór 9. Model logitowy Hołdy

Źródło: J. Pociecha (red.), *Statystyczne metody prognozowania bankructwa w zmieniającej się koniunkturze gospodarczej*, Wydawnictwo Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków 2014, s. 26.

¹²⁴ J. Kisielińska, A. Waszkowski, *Polskie modele do prognozowania.....*, op. cit., s. 19.

¹²⁵ J. Pociecha (red.), *Statystyczne metody prognozowania*, op. cit., s. 26.

Reasumując można stwierdzić, iż modele logitowe są w miarę prostym narzędziem badania kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. Mogą one służyć do budowy systemów wczesnego ostrzegania przy zagrożeniu przerwania ciągłości działalności przedsiębiorstw różnej wielkości. Modele logitowe cechuje duża dokładność klasyfikacji oraz skłonność do redukcji zmiennych objaśniających, gdyż jego celem nie jest wyjaśnianie wpływu zmiennych objaśniających na zmienną objaśnianą, ale dokładność klasyfikacji¹²⁶. Modele logitowe posiadają istotne zalety w stosunku do modeli dyskryminacyjnych. Opierają się na słabszych założeniach, gdyż nie jest wymagana normalność rozkładu poszczególnych zmiennych objaśniających, a wskaźniki finansowe z reguły mają rozkład asymetryczny. Modele nie wymagają założenia o równości macierzy wariancji/kowariancji w grupie przedsiębiorstw o dobrej kondycji ekonomicznej i przedsiębiorstw o złej kondycji ekonomicznej.

Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych

Rozwój nauk matematycznych, biologicznych oraz informatycznych przyczynił się do powstania sztucznych sieci neuronowych (SSN). Stanowią one algorytmy, których działanie zostało oparte na funkcjonowaniu komórek nerwowych człowieka. Sztuczne sieci neuronowe są stale rozwijającą się dziedziną nauki, która znajduje coraz to nowe zastosowania¹²⁷. Dzięki zdolności uczenia się, adaptacji oraz uogólniania nabytej wiedzy, sieci neuronowe pozwalają na niemal idealne odwzorowanie wielowymiarowych zbiorów danych. Jednym ze współczesnych zastosowań sztucznych sieci neuronowych jest ocena kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. Jak podaje M. Grabowski, „Do głównych zalet sztucznych sieci neuronowych zaliczmy:

- Nieliniowość i nieparametryczność. W rzeczywistości społeczno-gospodarczej istnieje ogromna liczba zagadnień, w których wiedza na temat badanego zjawiska jest niewystarczająca, nie jest znana ani analityczna postać modelu, ani nie są znane rozkłady zmiennych losowych. Przewaga metod opartych na sieciach neuronowych nad klasycznymi metodami statystycznymi polega na tym, iż są one nieliniowymi metodami nieparametrycznymi, czyli nie jest konieczne określanie *a priori* postaci funkcji tworzącej model ani zakładanie parametrów, czy też postaci rozkładów losowych danych. W wyniku procesu uczenia się sieć nabywa zdolności przewidywania wyjściowych

¹²⁶ J. Andrasik, *Klasyfikacja metod prognozowania stanu zagrożenia upadłością przedsiębiorstw*, „Barometr Regionalny”, 2005, nr 1(4), s. 22.

¹²⁷ R. Tadeusiewicz, *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1991, s. 15.

sygnałów wyłącznie na podstawie obserwacji, bez konieczności stawiania w sposób jawny hipotez o naturze związku pomiędzy danymi wejściowymi i przewidywanymi wynikami.

- Adaptacyjność. Bardzo ważną cechą SSN jest ich reakcja na zmieniające się charakterystyki zewnętrzne. Wydaje się, że znaczenie tego atrybutu jest szczególnie istotne w zastosowaniach w prognozowaniu bankructwa przedsiębiorstw. Zmieniające się realia ekonomiczne powodują, że modele analizy dyskryminacyjnej z biegiem czasu tracą swoje właściwości predykcyjne. Zatem wykorzystanie narzędzi i metod analiz ekonomicznych „pracujących w czasie rzeczywistym” w obliczu coraz szybciej zmieniających się warunków życia gospodarczego będzie nabierać coraz większego znaczenia.
- Równoległość. Sztuczne sieci neuronowe są układem przetwarzającym informację w sposób równoległy. Umożliwiają jednoczesne analizowanie kilku wielkości, uwzględniając nie tylko każdą z nich z osobna, ale i ich współzależności.
- Miara wiarygodności. Sztuczne sieci neuronowe nie tylko dokonują klasyfikacji, lecz dostarczają informację o stopniu wiarygodności przynależności do danej grupy. Cecha ta może pozwolić na eliminowanie danych, które charakteryzują się niejednoznacznością.
- Uniwersalność. Sztuczne sieci neuronowe składają się z wielu identycznych elementów przetwarzających dane. Stąd zasady budowy sieci są bardzo uniwersalne. Oznacza to, iż ta sama pod względem architektury sieć może być stosowana do rozwiązywania wielu różnych problemów o tej samej podmiotowości¹²⁸.

Liczne zalety sztucznych sieci neuronowych, ich wysoka użyteczność i skuteczność sprawiają, iż wykorzystanie ich w badaniach ekonomicznych staje się coraz popularniejsze. Sztuczne sieci neuronowe mają szerokie zastosowanie w dziedzinie szeroko rozumianej ekonomii, począwszy od: np. segmentacji rynku, prognozowania kursów walut, upadłości przedsiębiorstw, stóp procentowych, problematyki budżetowania, aż po obszar zarządzania (np. model zarządzania ryzykiem)¹²⁹.

¹²⁸ M. Grabowski, *Przesłanki i możliwości zastosowań sieci neuronowych w ekonomii i zarządzaniu*, Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, nr 493, 1997, s. 52-54, podano za: Korol T., Prusak B., op. cit., s. 124-125.

¹²⁹ I. Bose, R. Mohapatra, *Business Data Mining- A Machine Learning Perspective*, "Information and Management Journal", nr 39, 2001, s. 211-224; B. Lisboa, A. Vellido, *Neural Networks in Business: A Survey of Applications (1992-1998)*, "Expert Systems with Application", nr 17, 1999, s. 51-70, podano za: Korol T., Prusak B., op. cit., s. 125-126.

Sztuczne sieci neuronowe oprócz zalet posiadają również i wady. Do jednej z nie-licznych należy złożony i trudny do zinterpretowania proces przyznawania wag poszczególnym zmiennym, określane mianem „czarnej skrzynki”; sieci neuronowe nie przedstawiają bowiem przebiegu wnioskowania prowadzącego do określonej oceny – dają jedynie sam jego wynik, bez możliwości prześledzenia kolejnych przesłanek prowadzących do ostatecznej konkluzji. Kolejną, wymienianą często wadą, jest problem przetrenowania sieci, co sprawia, że opracowana sieć nie nauczyła się poprawnego klasyfikowania obiektów, a jedynie nauczyła się na pamięć poprawnej klasyfikacji. Powoduje to zawyżone skuteczności próby uczącej oraz gorsze wyniki próby testowej, której dana sieć nie zna. Sieci neuronowe nie sprawdzają się również tam, gdzie potrzeba jasnych i precyzyjnych wyników, czyli przy rozmaitych skomplikowanych obliczeniach, np. obsłudze kont bankowych. Wynika to z faktu, iż sztuczne sieci neuronowe są odzwierciedleniem ludzkiego mózgu, który nie jest przystosowany do precyzyjnego operowania liczbami¹³⁰.

Podsumowując wybrane metody oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw, można stwierdzić, iż teoretycy są zgodni co do tego, iż działające w otoczeniu rynkowym przedsiębiorstwa podlegają pewnym cyklom, przechodzą pewne stadia, od powstania do momentu osiągnięcia fazy dojrzałości, a niejednokrotnie do momentu upadłości. Są równocześnie zgodni, że na ogół zarządzający w mniejszym stopniu zajmują się szukaniem nowych możliwości rozwojowych przedsiębiorstw, natomiast skupiają większą uwagę na utrzymaniu ich stabilności. Powoduje to, że zaczynają oni działać w sposób rutynowy, według sformalizowanych wzorców postępowania. Często zdarza się tak, że po osiągnięciu sukcesu rynkowego zarządzających przedsiębiorstwami ogarnia entuzjazm i nie są oni w stanie obiektywnie ocenić panującej sytuacji. Brak działań ze strony zarządu lub niewłaściwie podjęte kroki o charakterze zaradczym mogą przyczynić się do wystąpienia najpierw symptomów natury psychologicznej, takich jak: zaślepienie, bezczynność, błędy w działaniu, które z kolei pociągają za sobą niepożądane zmiany w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa, takie jak: kryzys, brak (lub nieumiejętne podjęcie) działań antykryzysowych, upadłość¹³¹.

¹³⁰ T. Korol, B. Prusak, *Upadłość przedsiębiorstw a wykorzystanie sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2009, s. 120-123.

¹³¹ W. Weitzel, E. Johnson, *Decline In Organizations – A Literature Integration and Extension*, podano za: L. Bednarski, *Symptomy i ocena zagrożeń sytuacji finansowej przedsiębiorstwa*, „Pieniądze i Więź”, 1999, nr 1 (2), s. 46.

Nie w każdym przypadku kryzys prowadzi do złej kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa. Powyższy scenariusz jest jednym z możliwych, gdyż, zgodnie z ideą cyklu życia organizacji, kryzys jest jednym z jego etapów. Dlatego może on poprzedzać zarówno złą kondycję ekonomiczną, jak i być źródłem rozwoju przedsiębiorstwa¹³². Wszyscy badacze są zgodni co do tego, że słaba kondycja ekonomiczna nie występuje nagle, lecz jest poprzedzona okresem długotrwałego kryzysu, który definiuje się „jako nieplanowany proces, czyli ciąg zdarzeń przebiegających w określonym czasie, będących zagrożeniem dla egzystencji przedsiębiorstwa”¹³³. Mimo, że różne teorie faz rozwoju przedsiębiorstw i faz ich kryzysu usiłują na podstawie badań empirycznych i analiz teoretycznych dostarczyć narzędzi do prawidłowego zarządzania nimi, niewiele jednostek gospodarczych znalazło sposób na „długowieczność”. Zdecydowana większość ulega likwidacji samoistnie lub z powodu niewypłacalności¹³⁴.

Przeanalizowana literatura przedmiotu świadczy o tym, że badanie kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa jest procesem skomplikowanym, mającym swoje podłoże w naukach ekonomicznych, społecznych, prawnych, dlatego wzbudziła zainteresowanie autora dysertacji.

¹³² T. Korol, B. Prusak, *Upadłość przedsiębiorstwa a wykorzystanie sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2005, s. 34-35.

¹³³ K. Zimmiewicz, *Nauka o organizacji i zarządzaniu*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Poznań 1990, s. 223.

¹³⁴ B. Prusak, *Ekonomiczne i prawne aspekty*, op. cit., s. 9.

ROZDZIAŁ 2.

WYBRANE ELEMENTY TEORII CHAOSU DETERMINISTYCZNEGO

2.1. Istota chaosu deterministycznego

W literaturze z zakresu teorii chaosu istnieje wiele równoważnych definicji chaosu deterministycznego. Jednym z powodów takiej sytuacji jest to, iż teoria chaosu powstała na pograniczu kilku dyscyplin naukowych. Do najpowszechniej akceptowanych zaliczamy definicję zaproponowaną w 1986 roku przez Królewskie Towarzystwo Naukowe w Londynie, które opisało chaos jako „przypadkowe wydarzenia pojawiające się w deterministycznym systemie”¹³⁵.

W mitologii greckiej chaos opisywany jest jako uosobienie próżni pierwotnej, czyli stanu przed uporządkowaniem elementów wszechświata¹³⁶. Chaos był pierwotnym stanem egzystencji i składał się z pierwiastków uważanych przez starożytnych Greków za podstawę świata: wody, powietrza, ziemi i ognia. Według słownika PWN „chaos jest to stan całkowitego bezładny, czy też bezładna materia w pustej przestrzeni, z której ukształtował się kosmos”¹³⁷. Na podstawie monografii E. Petersa pt. *Teoria chaosu a rynki kapitałowe* można stwierdzić, iż „teoria chaosu jest teorią osobliwą. Pierwszą bowiem rzeczą, jakiej się z niej dowiadujemy, jest to, że chaos tak naprawdę nie jest chaosem. Chaos, mówiąc najprościej, to porządek udający bałagan. To system, w którym przypadek i konieczność, złożoność i prostota współlistnieją ze sobą i przenikają się wzajemnie. Uczni odkryli chaos bardzo niedawno. Jest to o tyle dziwne, że nie jest on ani abstrakcyjną matematyczną konstrukcją, ani nieuchwytną cząstką elementarną, którą można zaobserwować jedynie we wnętrzach gwiazd lub w potężnych akceleratorach, lecz najbardziej naturalną i najczęściej spotykaną formą rzeczywistości”¹³⁸.

¹³⁵ A. Gabryś, *Zarządzanie wartością spółki w kontekście teorii chaosu*, Wydawnictwo Aurea Mediocritas, Warszawa 2007, s. 13.

¹³⁶ P. Grimal, *Słownik mitologii greckiej i rzymskiej*, Ossolineum, Wrocław 2008.

¹³⁷ <https://sjp.pwn.pl/slowniki/chaos.html> (dostęp 21.11.2018).

¹³⁸ <https://www.marketinvestor.pl/ksiazki> (dostęp 21.11.2018).

Z pojęciem chaosu związane jest pojęcie determinizmu. Jest to teoria, która mówi, że każde zdarzenie jest kreślone i zdeterminowane od zdarzenia je poprzedzającego w czasie. W związku z tym wszystkie zdarzenia są połączone związkiem przyczynowo-skutkowym. Determinizm wyklucza powstawanie zdarzeń w sposób losowy bądź przypadkowy¹³⁹. Jeśli chodzi o chaos deterministyczny należy zaznaczyć, że nie istnieje jedna, powszechnie akceptowana definicja chaosu deterministycznego, czyli chaosu w systemach dynamicznych¹⁴⁰. Jedną z pierwszych osób używających tego określenia był Heinz G. Schuster¹⁴¹. Z kolei E. E. Peters definiuje chaos jako „deterministyczny, nieliniowy system dynamiczny, którego wyniki wyglądają na losowe”¹⁴². A. Jakimowicz uważa, że nazwa chaos deterministyczny wynika z pojawiającego się w wielu układach deterministycznych chaosu, który jest typową cechą charakterystyczną tych układów¹⁴³. Można stwierdzić, że w literaturze przedmiotu istnieje wiele definicji chaosu w deterministycznych układach dynamicznych. „Definicje te nie zawsze są równoważne (jednoznaczne), ponieważ wywodzą się z różnych dyscyplin matematycznych, tj. teoria równań różniczkowych i różnicowych, jakościowa teoria układów dynamicznych czy teoria ergodyczna. Pomimo wielości definicji deterministycznego chaosu spotykanych w literaturze, badacze (naukowcy) są zgodni, że prawidłowa definicja chaosu powinna dobrze oddawać naturę dynamiki chaotycznej, czyli zakładać istnienie dynamiki nieokresowej w badanym układzie deterministycznym, wrażliwość na zmianę warunków początkowych oraz istnienie pewnego istotnego mechanizmu deterministycznego odpowiedzialnego za rekurencyjne zachowanie się układu”¹⁴⁴. Jak z powyższego wynika „termin <<chaos deterministyczny>> stanowi połączenie dwóch przeciwstawnych zjawisk, z jednej strony chaosu, określanego jako bezład, przypadkowość oraz z drugiej strony determinizmu, związanego z ładem i harmonią”¹⁴⁵.

¹³⁹ <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/determinizm;3892112.html> (dostęp 10.11.2018).

¹⁴⁰ N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Teoria chaosu deterministycznego a decyzje inwestorów giełdowych*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 855, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia”, 2015, nr 74, t.1, s. 182.

¹⁴¹ H. G. Schuster, *Chaos deterministyczny*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993, s. 15.

¹⁴² E. E. Peters, *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, Wydawnictwo WIG Press, Warszawa 1997, s. 242.

¹⁴³ A. Jakimowicz, *Od Keynesa do teorii chaosu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012, s. 321.

¹⁴⁴ M. Miśkiewicz-Nawrocka, *Modele ekonomiczne z dynamiką chaotyczną*, „Studia Ekonomiczne” nr 132/2013, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, „Zastosowania metod matematycznych w ekonomii i zarządzaniu”, s. 56-66.

¹⁴⁵ J. Kwiatkowski, W. Orzeszko, *Identyfikacja chaosu deterministycznego w polskich szeregach finansowych*, VII Ogólnopolskie seminarium Naukowe, „DYNAMICZNE MODELE EKONOMETRYCZNE”, Toruń 2001.

Według E. E. Petersa, *chaos deterministyczny* to nieliniowy system dynamiczny, którego wyniki wyglądają na losowe, jednak są skutkiem określonych ścisłych praw naukowych. Według teorii chaosu deterministycznego istnieją procesy generowane przez deterministyczne reguły, których burzliwy przebieg wydaje się być zaprzeczeniem regularności i porządku. Oznacza to, że chaotyczne systemy dynamiczne mogą generować wyniki wyglądające na losowe, chociaż takimi w istocie nie są. System chaotyczny jest wrażliwy na zmiany warunków początkowych¹⁴⁶.

Jak podaje Z. Gontar, *chaos deterministyczny* to nieregularny ruch, otrzymywany z układu nieliniowego, w którym ewolucję stanu układu w czasie określają prawa dynamiki, przy czym znana jest wcześniejsza historia tego układu. Przewidywania, które dotyczą układów chaotycznych dla dłuższych okresów są praktycznie niemożliwe. Zwykle można ustalić ich warunki początkowe jedynie ze skończoną dokładnością, a błędy obliczeń dla takich układów rosną wykładniczo. Możliwe jest prognozowanie tych układów w krótkim horyzoncie czasowym. W teorii chaosu zakłada się, że złożoność zjawisk może być przyczyną znacznie odmiennych w czasie zachowań układów (wykładniczym rozbieganiem się trajektorii w przestrzeni fazowej) o podobnych portretach fazowych na poszczególnych etapach cyklu. Zjawiska dynamiczne mogą być opisane modelami dynamicznymi, których nieregularność zależy od stopnia ich nieliniowości¹⁴⁷.

Chaos deterministyczny wiąże się z nieregularnym ruchem w układzie nieliniowym, determinowanym prawami dynamiki, przy znanej wcześniejszej historii układu. Przewidywania zachowania układów chaotycznych są praktycznie niemożliwe, ponieważ dla bardzo zbliżonych warunków początkowych ze względu na nieliniowość, mogą być diametralnie różne zachowania danego układu. Ze względu na taką właściwość systemów w przestrzeni fazowej możliwe jest rozsądne prognozowanie zachowania układu jedynie w krótkich odstępach czasowych. Układy chaotyczne są zjawiskiem pośrednim między układami rozwiązywalnymi a zjawiskami całkowicie stochastycznymi. Klasyfikacja określonego układu do jednej z tych grup zjawisk nie jest do końca wyraźna i często zmienia się wraz ze zmianą parametrów samego układu¹⁴⁸.

Można wyróżnić trzy drogi (scenariusze) dochodzenia do chaosu w układach dynamicznych. Pierwsza jest zwana drogą bifurkacji albo podwajania okresu. Została ona

¹⁴⁶ E.E. Peters, *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, WIG-Press, Warszawa 1997, s. 242.

¹⁴⁷ Z. Gontar, *Teoria chaosu*, [w:] J. S. Zieliński (red.), *Inteligentne systemy w zarządzaniu. Teoria i praktyka*, PWN, Warszawa 2000, s. 250.

¹⁴⁸ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 98.

odkryta w prostych równaniach różnicowych, w których kolejne iteracje wahają się pomiędzy wartościami stabilnymi, a liczba tych wartości wzrasta do nieskończoności przy zamianie parametrów równania, co z kolei oznacza przejście układu do chaosu. Drugi scenariusz przejścia do chaosu jest nazwany *scenariuszem intermitencji*. Występuje wówczas, gdy regularne rozwiązanie równania przerywane jest przypadkowo rozłożonym sygnałem chaotycznym. Kolejny, trzeci scenariusz dochodzenia do chaosu jest związany z występowaniem tzw. *dziwnych atraktorów*, tzn. specjalnych obszarów w przestrzeni fazowej, wokół których skupiają się kolejne iteracje równań opisujących konkretne zjawisko. System uważa się za deterministyczny, jeżeli nie zawiera zmiennych losowych. Zachowanie systemu dynamicznego jest natomiast stochastyczne jeżeli przejście z jednego stanu do drugiego związane jest wyłącznie ze zjawiskiem losowym. Układy chaotyczne charakteryzują się obiema powyższymi cechami oraz¹⁴⁹:

- nieliniowością,
- występowaniem zachowań nieregularnych,
- występowaniem dziwnego atraktora o wymiarze fraktalnym,
- występowaniem wrażliwości na stany początkowe.

Wymiar fraktalny jest to liczba stanowiąca ilościowy opis sposobu, w jaki obiekt wypełnia swoją przestrzeń. W geometrii fraktalnej jest to liczba ułamkowa, która świadczy o występowaniu chaosu w danym układzie, czyli świadczy o jego fraktalnych własnościach. Szacunkiem wymiaru fraktalnego jest wymiar korelacyjny, jest to najbliższa liczba całkowita, wyższa od wymiaru fraktalnego, określająca minimalną liczbę zmiennych konieczną do sporządzenia modelu dynamiki systemu. Im liczba ta jest mniejsza, tym układ jest prostszy, im większa, tym bardziej złożony¹⁵⁰. Teoria chaosu odnosi się do nieliniowych modeli dynamiki. Modele te są używane głównie w dziedzinie fizyki i meteorologii do modelowania zachowania układów pozornie losowych, a należą do nich m.in.: oscylacje wahadła, prądy powietrzne lub oceaniczne. W analizowanej teorii chaosu równania matematyczne są wysoce wrażliwe na błędy oszacowań parametrów. W wyniku wrażliwości, błędy te podwajają się z każdym dniem okresu prognozy. Stąd mimo, że niedokładność prognozy wystąpi na dziesiątym miejscu po przecinku, to po miesiącu nieścisłość ta urośnie do liczb całkowitych; w efekcie prognozowanie oparte na modelach chaosu jest ograniczone do kilku dni naprzód. Narzędziem teorii chaosu, znajdującym

¹⁴⁹ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 98-99.

¹⁵⁰ E.E. Peters, *Teoria chaosu* , op. cit., s. 246-247.

zastosowanie w analizie szeregów, jest wykładnik Hursta. Jego wykorzystanie bazuje na spostrzeżeniu faktu, iż liczne procesy naturalne wykazują bardzo długie cykle, a więc ich teraźniejsze obserwacje zależą od obserwacji z przeszłości.

Rewolucję w zastosowaniu teorii chaosu w dziedzinie finansów wywołał krach na rynkach finansowych pod koniec 1987 roku. Wielu ekonomistów zaczęło poważnie myśleć o wykorzystaniu teorii dynamiki nieliniowej oraz teorii chaosu do opisu i przewidywania zachowań rynków kapitałowych¹⁵¹. Istota chaosu deterministycznego tkwi we wrażliwości układu na warunki początkowe. Symbolem tej teorii jest atraktor Lorenza. Układ Lorenza przedstawia wpływ zmian wartości typowych parametrów dla nieliniowych układów na ich wrażliwość, przez co mogą wystąpić skokowe, nagłe przejścia od dynamiki regularnej do chaotycznej, są to tzw. bifurkacje¹⁵².

Atraktor jest oznaką chaosu oraz pomostem łączącym fraktale i chaos. Analizując struktury geometryczne, zauważa się fraktale (jest to związane z wymiarem Hausdorffa atraktorów), jeśli analizujemy układy dynamiczne, to ma się do czynienia z chaosem (związane jest z wykładnikami Lapunowa)¹⁵³. Fraktal jest to obiekt lub proces wykazujący w swojej strukturze samopodobieństwo, dokładne w sensie statystycznym lub matematycznym, w dużym zakresie powiększeń. Edward Lorenz, który odkrył, że nie sposób opracować prognozy pogody na dłużej niż kilka dni naprzód, gdyż równania opisujące stan atmosfery są chaotyczne, stwierdził, że nawet machnięcie skrzydeł motyla w Brazylii może wywołać tornado w Teksasie. W roku 1963 ukazała się jego praca, w której wykazał, iż niewielka zmiana w jednym z punktów atmosfery może być przyczyną dużych zmian w innym jej obszarze. Od tamtego czasu fakt, że małe zaburzenia mogą prowadzić do rewolucyjnych zmian w różnych dziedzinach nauki, zjawisko to nazwano efektem motyla. Przedstawia ono zachowanie układów nieliniowych, wrażliwych na niewielkie zmiany warunków początkowych¹⁵⁴.

Jak pisze M. Gajer, w praktyce funkcjonowania systemów, nie jesteśmy w stanie przewidzieć zmian dla dłuższego okresu czasowego, można ustalić warunki na początek ze skończoną dokładnością, ponieważ zmiana jednej cyfry na którymś z miejsc po przecinku,

¹⁵¹ N. Siemieniuk, J. Kilon, *Technologie informatyczne na rynku kapitałowym*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Finansów i Zarządzania w Białymstoku, Białystok 2006, s. 91.

¹⁵² P. Fritzkowski, *O chaosie deterministycznym.*, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015, s. 4-5.

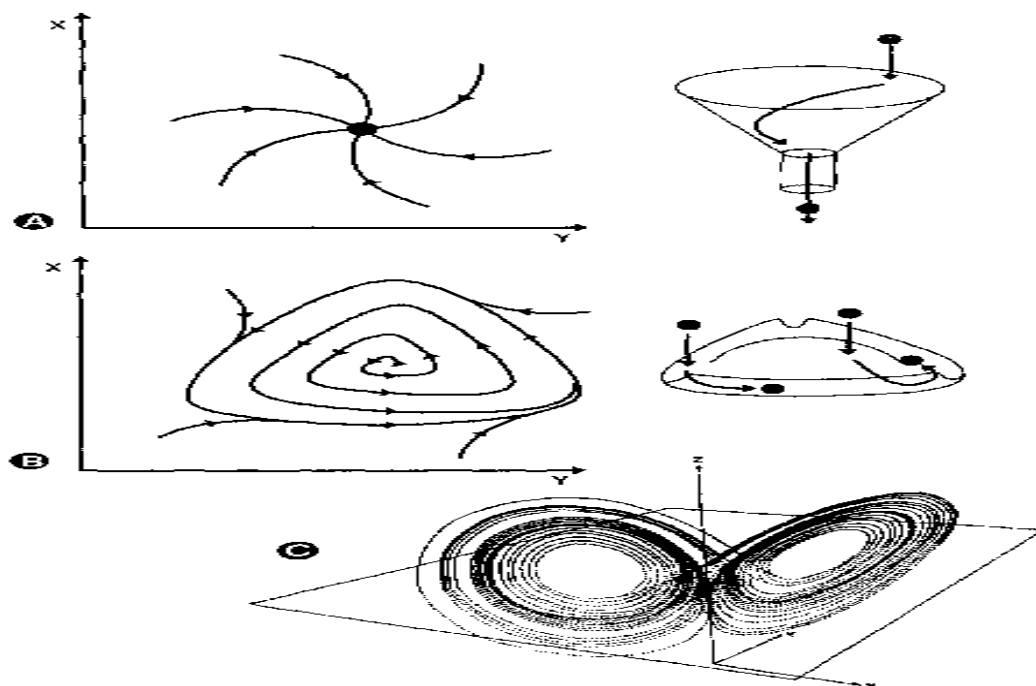
¹⁵³ J. Demkowski, *Efekt motyla i dziwne atraktor. O układzie Lorenza.*, Wydziału Matematyki i Informatyki, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009, s. 5.

¹⁵⁴ J. S. Zieliński, *Inteligentne systemy*op. cit., s. 4, 257.

zaczynając od pewnego momentu symulacji, powoduje wzrost błędu obliczeń w sposób wykładniczy. Uzyskanie dokładnej trajektorii w nieskończenie długim zasięgu czasowym wymagałoby przedstawienia nieskończenie wielu cyfr po przecinku, a to nie jest możliwe w praktyce¹⁵⁵.

Stosowane w ramach teorii chaosu deterministycznego metody pozwalają na jakościowy opis zachowań układów dynamicznych. W takich przypadkach możliwe jest modelowanie określonych zachowań układów dynamicznych na podstawie uproszczonego modelu danego zjawiska (np. ekonomicznego), dla którego formułuje się równania różnicowe. Graficzna interpretacja danych w przestrzeni fazowej jest bardzo ważna w przypadku nieliniowych systemów dynamicznych. Umożliwia ona zobrazowanie liczby rozwiązań, która w wielu przypadkach jest bardzo duża lub nawet nieskończona. Wiele spośród systemów chaotycznych (lub uważanych za chaotyczne) posiada nieskończoną liczbę rozwiązań w przestrzeni o określonym wymiarze. Portrety zachowań takich systemów są przyciągane do pewnego obszaru przestrzeni, a zbiór możliwych rozwiązań ma wymiar niecałkowity (fraktalny). Obserwowanie danych odbywa się poprzez naniesienie zmiennych systemu na układ współrzędnych i zaznaczenie punktów odpowiadających wartościom tych zmiennych w danej chwili czasowej. Powstaje w ten sposób wykres, który jest portretem fazowym (trajektorią zmian) w przestrzeni fazowej, której wymiar zależy od liczby zmiennych koniecznych do opisanie systemu. Jako przykład można podać trzy typy atraktorów w przestrzeni fazowej zaprezentowane na rysunku nr 1.

¹⁵⁵ M. Gajer, *Czy chaos deterministyczny jest chaosem?* „Przeglądy-Poglądy. Wiadomości elektrotechniczne” 2004 nr 5, Wydawnictwo SIGMA-NOT, Warszawa 2004, s. 18-19.



Rysunek 1. Trzy typy atraktorów

Legenda:

A - Punkt stały i jego mechaniczny odpowiednik;

B - Cykl graniczny;

C - Atraktor Lorenza – atraktor dziwny, czyli chaotyczny atraktor.

Źródło: <https://rs.maszyna.pl/~boberov/Kippin/127Granice%20z%c5%82o%c5%bcono%c5%9bci/127-06.htm> (dostęp 28.02.2018).

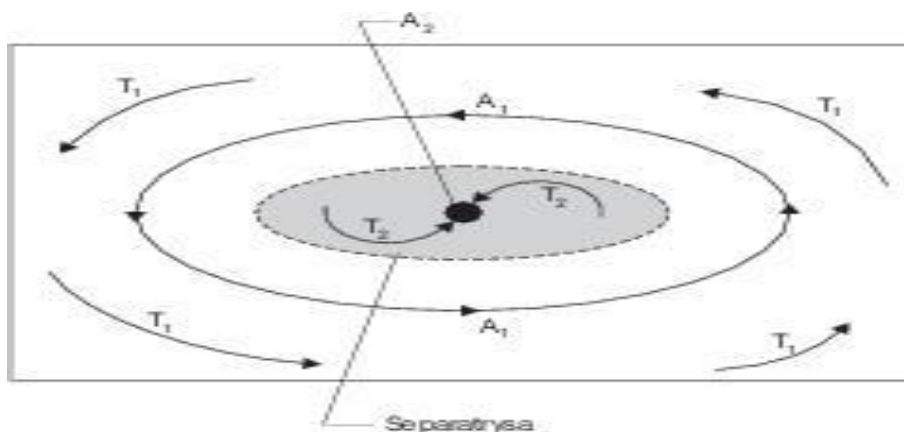
Ważną własnością trajektorii jest to, że trajektorie nie przecinają się, co wynika z faktu, że poprzednie i przyszłe stany układów deterministycznych są określone jednoznacznie przez stan układu w danej chwili. Atraktor jest zbiorem w przestrzeni fazowej, który ma tę własność, że każdy punkt pozostający w jego pobliżu zbliża się do niego w czasie zmierzającym do nieskończoności. Atraktor nie może być podzielony na mniejsze podzbiory nawet gdyby każdy z nich zachowywał opisaną własność. Dziwny atraktor jest to specjalny obszar w przestrzeni fazowej wokół którego skupiają się kolejne iteracje równań opisujących dane zjawisko. Takimi zbiorami są np. zbiór Julii lub Mandelbrota. Przestrzeń fazowa jest to wykres pokazujący wszystkie możliwe stany systemu¹⁵⁶.

¹⁵⁶ H. G. Schuster, *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993, s. 132, 145-149.

Aby więc zbiór A przestrzeni n - wymiarowej był atraktorem musi charakteryzować się następującymi cechami ¹⁵⁷:

- A jest zbiorem niezmienniczym: każda trajektoria, która startuje w A pozostaje w A przez cały czas,
- A przyciąga wszystkie trajektorie, które startują wystarczająco blisko A ,
- A jest zbiorem minimalnym Najprostszymi przykładami atraktorów są punkty i cykle graniczne, ale są również atraktory o wielu wymiarach fraktalnych. Jeżeli system dynamiczny posiada więcej niż jeden atraktor poszczególne obszary przyciągania oddzielone są od siebie zbiorami punktów, które nie zbiegają do żadnego z atraktorów. Takie zbiory punktów noszą nazwę separatrysy.

Schematyczny portret fazowy posiadający dwa atraktory w przestrzeni fazowej prezentuje rysunek nr 2.



Rysunek 2. Schematyczny portret fazowy posiadający dwa atraktory

Legenda:

A_1 – cykl graniczny

A_2 – punkt krytyczny

T_1 – trajektorie z basenu przyciągania atraktora A_1

T_2 – trajektorie z basenu przyciągania atraktora A_2

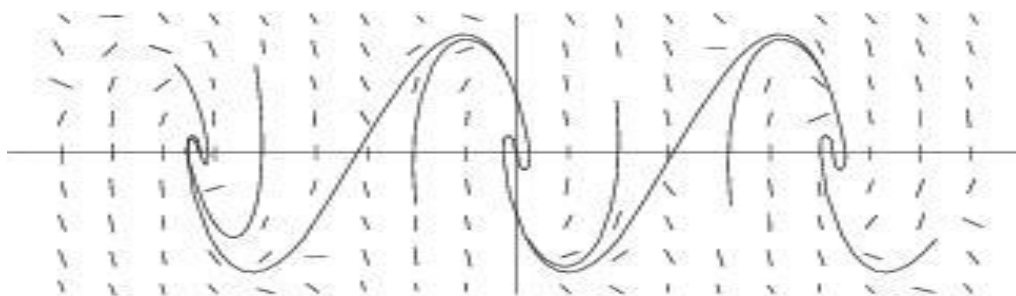
Źródło: H. Zawadzki, *Chaotyczne systemy dynamiczne*. AE, Katowice 1996; podano za: N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 133.

Atraktory mogą występować w dowolnych rodzajach systemów dynamicznych. Jednym z najprostszyc tego rodzaju systemów jest zachowanie tłumionego wahadła¹⁵⁸.

¹⁵⁷ J. Kudrewicz, *Fraktale i chaos*, WNT, Warszawa 1993, s. 58.

¹⁵⁸ G.Baker, J.Gollub, *Wstęp do dynamiki układów chaotycznych*, PWN, Warszawa 1998, s. 27.

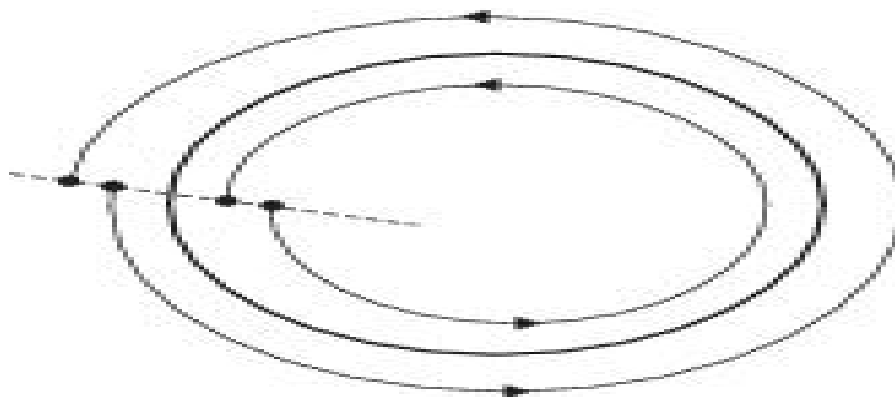
Typowe trajektorie ruchu tłumionego wahadła przedstawia rysunek nr 3.



Rysunek 3. Schematyczny portret fazowy tłumionego wahadła, kierunki zakreślenia wskazują baseny przyciągania

Źródło: N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 134.

W przypadku występowania układów wielowymiarowych analiza ich nastęca wiele trudności. H. Poincare opracował metodę, która pozwala na analizę złożonych układów fazowych. Zastosowanie tej metody pozwala na redukcję wymiarów przestrzeni stanów oraz zastosowanie znacznie prostszych metod numerycznych, a tym samym komputerów do badania takich systemów¹⁵⁹. Schematyczny przekrój wyżej omówionego układu prezentuje rysunek nr 4.



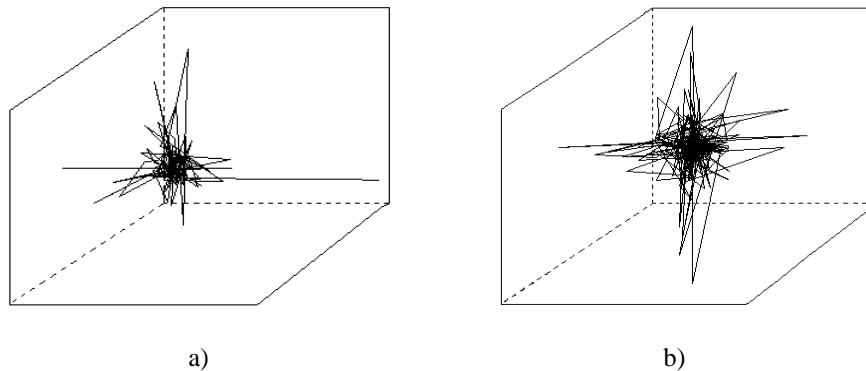
Rysunek 4. Schematyczny przekrój Poincare – kropki w układzie cyklu granicznego

Źródło: I. Stewart, *Czy bóg gra w kości. Nowa matematyka chaosu*, PWN, Warszawa 1996; podano za: N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 136.

Przy rekonstrukcji atraktora badanych układów dynamicznych w dysertacji oparto się na obserwacji jego kształtu w przestrzeni fazowej podczas zmiany wartości opóźnienia czasowego. Korzystając z tej metody, przyjęto $\tau=7$ dni dla wszystkich sygnałów.

¹⁵⁹ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości.....*, op. cit, s. 136.

Atraktory dla tej wartości τ posiadają wyraźny punkt przyciągania, zaś dla sygnału stochastycznego byłyby sześcianem równomiernie wypełniającym przestrzeń fazową. Atraktory układów dla wartości $\tau=7$ dla dwóch badanych spółek z polskiej giełdy przedstawiono na rysunku nr 5.



Rysunek 5. Atraktor szeregu zwrotów notowań akcji a) spółki Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011, b) spółki Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012

Źródło: Opracowanie własne.

Można zatem stwierdzić, że w literaturze istnieje wiele definicji chaosu w deterministycznych układach dynamicznych. Jak możemy przeczytać: “Definicje te nie zawsze są równoważne (jednoznaczne), ponieważ wywodzą się z różnych dyscyplin matematycznych, tj. teoria równań różniczkowych i różnicowych, jakościowa teoria układów dynamicznych czy teoria ergodyczna. Pomimo wielości definicji chaosu deterministycznego spotykanych w literaturze, badacze (naukowcy) są zgodni, że prawidłowa definicja chaosu powinna dobrze oddawać naturę dynamiki chaotycznej, czyli zakładać istnienie dynamiki nieokresowej w badanym układzie deterministycznym, wrażliwość na zmianę warunków początkowych oraz istnienie pewnego istotnego mechanizmu deterministycznego odpowiedzialnego za rekurencyjne zachowanie się układu”¹⁶⁰.

¹⁶⁰ M. Miśkiewicz-Nawrocka, *Modele ekonomiczne z dynamiką chaotyczną*, “Studia Ekonomiczne”, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, nr 132/ 2013 , s 56-66.

2.2. Wybrane przykłady zastosowania chaosu deterministycznego w zagadnieniach ekonomicznych

W założeniach ekonomistów XX wieku dominowały głównie paradygmaty liniowe, które polegały na założeniu, że każdy bodziec powoduje proporcjonalną do jego siły reakcję. Tymczasem gospodarka mało kiedy bywa uporządkowana, w najmniej odpowiednim momencie reakcja staje się niewspółmierna do bodźca i imituje kierunek wykładniczy, co jest strukturą nieliniowości. Światowy kryzys gospodarczy oraz jego konsekwencje ukazały słuszność teorii wielu współczesnych ekonomistów, którzy pokazali niedoskonałość modeli liniowych¹⁶¹.

Bazując na teorii chaosu można stwierdzić, iż nie są możliwe do opracowania długofalowe metody sterowania gospodarką, do których można zaliczyć: materializm historyczny K. Marksa, instrumentalizm A. Lowe'a czy koncepcje planowania R. L. Heilbronera. Przyszłość gospodarczą można jedynie kształtować. Jednak człowiek nigdy nie pozna stanu gospodarki, który wystąpiłby bez jego ingerencji. Gleick zauważył, że ingerencje te byłyby podobne do tasowania dobrze już potasowanej talii kart. Z pewnością przyszłość będzie inna, lecz nie można przewidzieć, czy przyniesie dobrobyt, czy nie. W ten sposób teoria chaosu kwestionuje znaczną część dotychczasowego dorobku ekonomii. Jak pokazuje praktyka, sytuacja nie jest całkowicie beznadziejna, o czym świadczą spektakularne sukcesy specjalistów od chaosu na rynkach finansowych. Okazało się bowiem, że chaos może być kontrolowany. Duże nadzieje wiąże się z tzw. algorytmem OGY, który dzięki umiejętnemu zaburzaniu parametrów stanu umożliwia przekształcenie chaotycznego zachowania systemu w zachowanie periodyczne. W niektórych sytuacjach działanie porządkujące może również wywoływać przypadkowy szum zewnętrzny, a uzyskana w ten sposób kontrola nad chaosem jest znacznie ograniczona. Sterowanie chaosem jest bardzo ważnym zagadnieniem i trudno zgodzić się z poglądem, który reprezentują I. Prigogine i I. Stengers, że parametry charakteryzujące populacje naturalne utrzymują je poza obrębem obszaru chaosu. Z chaosu do porządku i odwrotnie można przejść manipulując parametrami kontrolnymi. Sposób ten jest jednak nieodpowiedni, gdy system wykazuje zachowanie chaotyczne w całym zakresie zmienności parametrów. Współczesne badania naukowe potwierdzają możliwość kontroli chaosu w układach rzeczywistych. Stwierdza się, że chaos jest zjawiskiem pozytywnym, gdyż w każdej chwili

¹⁶¹ M. Pawłowska, A. Jakimowicz, *Źródła niestabilności struktur rynkowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010, s. 123.

można go przekształcić w pożądaną stan periodyczny. Mimo to przydatność algorytmu OGY w polityce makroekonomicznej nie została dotychczas zbadana. Aktualnie możemy być świadkami formowania się nowej dziedziny nauki o nazwie ekonofizyka. Ma ona charakter interdyscyplinarny, a zajmuje się zastosowaniami metod i modeli fizycznych do analizy zjawisk gospodarczych. Jest to kolejny przykład zasady izomorfizmu Bertalanffy'ego, gdyż okazuje się, że obiekty fizyczne i ekonomiczne mogą mieć wspólną teorię. Ekonomia jako nauka jest zarówno systemem adaptacyjnym, jak i uczącym się. Do analizy skutków pojawienia się nowych procedur metodologicznych w ekonomii można użyć krzywej uczenia się, przedstawionej przez J. Żyżyńskiego. Ilustruje ona ewolucję w czasie celów nauki. Jest to typowa funkcja, w ramach której wyodrębnia się: poszczególne fazy rozwoju danej nauki, wzrost sprawności realizacji procedur badawczych, doskonalenie procedur, kształtowanie nowego schematu informacyjnego i wprowadzanie nowych procedur. Najczęściej wystąpienie nowych sposobów dowodzenia twierdzeń i formułowania teorii poprzedza nowy okres w rozwoju danej dziedziny wiedzy, związany z gwałtownym wzrostem efektywności procesu uczenia się¹⁶².

Jak píše W. Orzeszko, „Analiza własności fraktalnych systemów dynamicznych prowadzi do interesujących, z punktu widzenia ekonomisty, wniosków. Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

- źródłem złożonej cykliczności zjawisk ekonomicznych mogą być czynniki endogeniczne (deterministyczne);
- pozornie losowe szeregi czasowe mogą pochodzić od bardzo prostych (np. jednowymiarowych) systemów generowanych przez deterministyczne reguły;
- znajomość deterministycznych praw ewolucji oraz stanów początkowych systemu nie jest równoważna możliwością dokładnego prognozowania jego przyszłości;
- powodem pojawiania się w szeregach obszarów różnej zmienności mogą być bifurkacje polegające np. na przejściu od dynamiki regularnej do chaotycznej. Innym źródłem występowania nagłych zmian w przebiegu procesu może być, spowodowane zaburzeniami zewnętrznymi, przeskakiwanie trajektorii systemu do obszarów przyciągania innych atraktorów lub sama funkcja generująca;
- rynki opisywane przez systemy chaotyczne nie są efektywne, gdyż można je prognozować przy wykorzystaniu wiedzy o stanach z przeszłości. Z drugiej strony żaden z inwestorów nie może „pokonać rynku”, przewidując jego stan z

¹⁶² A Jakimowicz., *Od Keynesa do teorii chaosu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, s. 404.

odpowiednio dużym wyprzedzeniem czasowym;

- analizując powyższe wnioski można skonstatować, iż postawienie wyraźniej granicy pomiędzy losowością a determinizmem jest niezwykle trudne¹⁶³.

Wykorzystanie systemów chaotycznych do analizy zjawisk ekonomicznych jest naturalnym uzupełnieniem modelowania liniowego. Jednak nie oznacza to, że zawsze ma ono znaczącą przewagę. W tym przypadku wiele zależy od rodzaju nieliniowości, a czasem i od przedmiotu badania. Przykładowo, nieliniowości w systemie mogą być tak słabe, że aproksymowanie ich modelem liniowym nie prowadzi do istotnych błędów w poznaniu własności rzeczywistego procesu. Jednak podejście to może być dość ryzykowne, szczególnie w przypadku systemów wielowymiarowych, gdzie nawet pozornie niewielkie nieliniowości mogą zasadniczo wpływać na podstawowe własności modelu¹⁶⁴. W związku z powyższymi wnioskami płynące z modelu nieliniowego i aproksymującego go modelem liniowego mogą być całkowicie rozbieżne¹⁶⁵.

Przykładem zastosowania teorii chaosu jest rynek walutowy. Rynek walutowy to „całokształt transakcji wymiany walut, a więc transakcji kupna-sprzedaży jednej waluty za drugą”¹⁶⁶. Rynek powyższy charakteryzuje się przede wszystkim najwyższą płynnością aktywów. Wyróżnia się na nim trzy podstawowe grupy podmiotów, tj. inwestorzy zajmujący się spekulacją, przedsiębiorstwa zajmujące się handlem transgranicznym oraz banki. Zgodnie z elementarnymi prawami ekonomii, kursy wymiany walut są prostą, *stricte* deterministyczną funkcją zależną od popytu i podaży walut. Tym, co uniemożliwia jasną prognozę stanu układu, czyli w tym przypadku wysokości kursu wymiany, są czynniki oddziałujące na popyt i podaż¹⁶⁷. Podstawowym problemem funkcjonowania rynku walutowego jest sprecyzowanie wszystkich elementów decydujących o zakupie lub sprzedaży danej waluty.

Na kursy walut wpływa wiele czynników. W związku z tym, wielu ekonomistów i inwestorów zadaje sobie pytanie, czy istnieje jakiś algorytm, który pozwala dokładnie

¹⁶³ W. Orzeszko, *Identyfikacja i prognozowanie chaosu deterministycznego w ekonomicznych szeregach czasowych*, Polskie Towarzystwo Ekonomiczne, Warszawa 2005, s. 37.

¹⁶⁴ E. N. Lorenz, *Deterministic Non-Periodic Flows*, „Jurnal of Atmospheric Sciences” 1963, vol. 20, s. 27, podano za: W. Orzeszko, op. cit., s. 34.

¹⁶⁵ J. B. Bullard, A. Butler, *Nonlinearity and Chaos in Economic Models: Implication for Policy Decisions*, The Federal Reserve Bank of St. Luis, 1991, s. 3, podano za: W. Orzeszko, op. cit., s. 34.

¹⁶⁶ J. Penc, *Encyklopedia Zarządzania. Podstawowe kategorie i terminy*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Studiów Międzynarodowych, Łódź 2008.

¹⁶⁷ T. Siemieniuk N. Siemieniuk, *Использование теории хаоса в описании валютного рынка в Польше*, [w:] „Образование, экономика, право в современном информационном обществе”, VIII międzynarodowa konferencja, Moskiewski Technologiczny Uniwersytet „BTY”, Moskiewski Uniwersytet im. S. Witte, Moskwa 2012, s. 158.

prognozować zachowanie kursów w przyszłości. Część specjalistów w poszukiwaniu sięgnęła po teorię chaosu. Wskazują przy tym, że wahania kursów walut są procesem nieliniowym i wielowymiarowym, a przez to możliwym do opisanie z wykorzystaniem dynamiki chaotycznej. Ich głównym celem jest wykazanie, że rynki nie zachowują się na zasadzie *random walk*, czyli całkowicie losowo, ale że istnieje możliwe do zdefiniowania równanie matematyczne opisujące rynek walutowy. Tworzy się również modele możliwe do zdefiniowania matematycznie. Są to jednak modele teoretyczne, które pomijają wiele zmiennych występujących w rzeczywistości. Ze względu na swoje uproszczenie, wykorzystują one syntetyczne ciągi danych, pozbawione „szumu”, o którym wcześniej była mowa. Dla takich systemów możliwe jest wyznaczenie wykładników Lapunowa, będących ścisłym wyznacznikiem chaotyczności układu. Jednakże złożoność modeli rośnie bardzo szybko w porównaniu ze wzrostem ilości branych pod uwagę zmiennych, a ich zachowanie staje się praktycznie nieodróżnialne od losowego przy posiadanych środkach obliczeniowych. Mimo to, przyjmuje się, że nie należy traktować rynku walutowego jako całkowicie losowego, na którym żadna cena, żadne wydarzenie ani żadna zmiana nie są ze sobą powiązane¹⁶⁸.

Kursy walut na rynku ulegają trendom. Oznacza to, że jeśli poziom ceny zaczyna podążać w konkretnym kierunku, istnieje duże prawdopodobieństwo, że będzie to kontynuować aż do czasu, kiedy coś ważnego zmieni ogólny obraz rynku. Jednak kursy walut, nie tylko na polskim rynku, nigdy nie poruszają się po linii prostej. Aby zrozumieć, dlaczego kursy walut poruszają się nieregularnie, a nie po linii prostej, należy sięgnąć właśnie do wcześniej opisanie teorii chaosu. Na rynku kluczem do osiągnięcia sukcesu jest rozpoznawanie formacji cenowych, a są to dokładnie nieliniowe układy, które powstają na wykresie jednodominutowym i na wykresie dziennym. Niezwykle trudno rozpoznać taki układ w krótkim czasie, lecz gdy weźmie się pod uwagę szerszy układ czasowy, to obserwowany system zaczyna nabierać kształtu i będą widoczne pewne tendencje. Na rynku walutowym częścią teorii chaosu jest geometria fraktalna. Traktując skrótowo, zakłada się, że układ, który prezentuje określony wykres piętnastominutowy, w zasadzie będzie powtórzony na wykresie godzinnym, dziennym i tygodniowym. Ma to związek z pewnym trendem, a trend to powtarzający się układ, tzw. tendencja rozwojowa jako własność konkretnego szeregu czasowego pokazująca systematyczny spadek lub wzrost jego wartości w określonym czasie. Stąd też rozróżnia się trzy rodzaje trendów, mianowicie: trend wzrostowy

¹⁶⁸ T. Siemieniuk N. Siemieniuk, *Использование теории хаоса.....*, op. cit., s. 159.

(hossa), trend spadkowy (bessa) i trend boczny. Pierwszy trend, tzw. hossa, przedstawia kurs waluty, który zmienia się z tendencją wzrostową, czyli lokalne minima znajdują się coraz wyżej na wykresie, zaś cena rośnie. Z kolei trend spadkowy przedstawia kurs waluty zmieniający się z tendencją spadkową. W tym przypadku lokalne maksima plasują się coraz niżej, a cena spada. Trend boczny jest określany mianem tzw. trendu horyzontalnego. W tym trendzie kurs waluty ani zdecydowanie nie rośnie, ani nie ma tendencji spadkowej. Oznacza to, że kurs waluty waha się, ale w taki sposób, że mieści się w pewnym zakresie. Omawiane wyżej rodzaje trendów prezentuje rysunek nr 6.



Rysunek 6. Rodzaje trendów na rynku walutowym

Źródło: <https://mfiles.pl/pl/index.php/Plik:Trend.png> (dostęp 23.11.2019).

Wykorzystanie złożonej matematyki i innych narzędzi analitycznych pozwala na przybliżone oczekiwania co do stanu rynku w relatywnie niedalekiej przyszłości, jednak wraz ze wzrostem długości prognozy, jej dokładność dąży do zera, m.in. ze względu na tzw. efekt motyla. Zasadniczym czynnikiem uniemożliwiającym precyzyjne prognozowanie zachowania rynku walut jest jego złożoność. Jak już wcześniej wspomniano, w teorii chaosu deterministycznego przyjmuje się założenie, że złożoność pewnych zjawisk może być przyczyną mocno różniącego się zachowania układów w

czasie, czyli mamy do czynienia z wykładniczym rozbieganiem się trajektorii w przestrzeni fazowej, o podobnych portretach fazowych w początkowych fazach cyklu.

Powyższą teorię można wykorzystać w przewidywaniu kursów walut. Kursy walut na rynku ulegają pewnym trendom, a mianowicie poziom ceny zaczyna podążać w konkretnym kierunku, zatem istnieje duże prawdopodobieństwo, iż taki stan rzeczy będzie kontynuowany aż do momentu, gdy coś ważnego zmieni ogólny obraz rynku. Jednak kurs walut, na polskim rynku nigdy nie porusza się po linii prostej. Jest bardzo trudno rozpoznać taki układ w krótkim czasie, jednak jeśli weźmie się pod uwagę szerszy układ czasowy, to obserwowany system zaczyna nabierać kształtu i będą widoczne pewne tendencje w kształtowaniu się kursu walut. Do tego jest wykorzystywana wcześniej opisana geometria fraktalna¹⁶⁹. Teoria chaosu oferuje również inne spojrzenie na mechanizm funkcjonowania rynku kapitałowego. Zakłada, iż rynek kapitałowy jest nieliniowym systemem dynamicznym, który rozwija się dzięki prawom chaosu deterministycznego. Z teorią chaosu jest związana zaproponowana przez E. Petersa, hipoteza rynku fraktalnego, która wskazuje m.in. na długoterminową pamięć rynku (wpływ informacji z przeszłości) oraz niepełne uwzględnienie informacji o fundamentalnym charakterze w wycenie rynkowej akcji. Na podstawie hipotezy rynku fraktalnego można stwierdzić, iż na kształtowanie kursów spółek notowanych na giełdzie oddziałuje wiele czynników, od informacji napływających na rynek dotyczących spółki oraz sytuacji makroekonomicznej, poprzez poziom cen z przeszłości czy wreszcie fakt, że decyzje inwestycyjne są podejmowane przez ludzi. Cena rynkowa jest wypadkową tych trzech oddziaływań. Badania związane z możliwościami zastosowania teorii chaosu na rynku kapitałowym w znacznej mierze poprawiły: rozumienie funkcjonowania rynku kapitałowego, zachowanie cen, ryzyka oraz formułowanie oczekiwań względem przyszłości. Stwierdzenie, czy szeregi czasowe zmian cen generowane przez rynek kapitałowy wykazują własności chaosu deterministycznego jest niezwykle ważne zarówno z praktycznego, jak i teoretycznego punktu widzenia. Teoretycznie wiedza na temat chaotyczności systemu jest niezmiernie istotna pod względem prawidłowej konstrukcji modelu tłumaczącego dynamikę rynku kapitałowego. Zmiany w modelu rozumienia rynku kapitałowego mogą powodować zmiany w innych teoriach finansowych, które korzystają z danych, a także w założeniach związanych z jego funkcjonowaniem. Na płaszczyźnie

¹⁶⁹ T. Siemieniuk, N. Siemieniuk, *Deterministic chaos in modeling economic processes*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe, Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2015, Nr 234, s. 162.

praktycznej posiadanie takiego modelu może umożliwić krótkoterminowe prognozy z akceptowalnym poziomem błędów, a więc usprawnić proces tworzenia strategii inwestycyjnych oraz działania związane z konsekwentnym zwiększeniem wartości rynkowej spółek notowanych na rynku giełdowym. Wykorzystując prace naukowe dotyczące zastosowania teorii chaosu, do analizy szeregów czasowych generowanych przez rynek kapitałowy została opracowana hipoteza rynku fraktalnego. Hipoteza ta jest alternatywną do teorii efektywności informacyjnej próbą opisu funkcjonowania rynku kapitałowego. Tłumaczy ona występowanie tzw. zjawiska samopodobieństwa szeregów cenowych (opisywanego za pomocą wymiaru fraktalnego) oraz kształtuje podział ryzyka pomiędzy uczestników rynku. Została ona zaproponowana przez E. Petersa jako teoria dokładniej wyjaśniająca obserwacje empiryczne niż teoria efektywności informacyjnej rynku. Gwałtowne ruchy cen nie są tu anomaliami, a integralną częścią teorii. Wyjaśnienie zachowania się inwestorów następuje poprzez centralne dla teorii pojęcia rynku i horyzontu inwestycyjnego¹⁷⁰.

Narzędziem teorii chaosu, znajdującym zastosowanie w analizie szeregów finansowych, jest wykładnik Hursta. Wykładnik ten pozwala na odróżnienie szeregów losowych od nielosowych. Wykorzystuje się do tego analizę przeskalowanych zakresów. Wielkość wykładnika Hursta wskazuje, czy zjawisko chaosu występuje na Giełdzie Papierów Wartościowych, a więc, jeśli¹⁷¹:

- $H = 0,5$, wówczas dany szereg jest losowy;
- $0 < H < 0,5$ szereg jest antypersystentny lub ergodyczny;
- $0,5 < H < 1$ szereg jest chaotyczny.

Wysoka wartość wykładnika Hursta oznacza, że inwestowanie w dane akcje jest obciążone niższym ryzykiem. Ważną wartością charakteryzującą układ chaotyczny jest wymiar fraktalny, który cechuje sposób wypełnienia przestrzeni przez dany system i wskazuje na liczbę stopni swobody tego systemu. Wymiar korelacyjny jest szacunkiem wymiaru fraktalnego, a określa go najbliższa liczba całkowita, wyższa od wymiaru fraktalnego, która określa minimalną liczbę zmiennych koniecznych do sporządzenia modelu dynamiki systemu. Zależność jest taka, że im liczba jest większa, tym układ bardziej złożony i odwrotnie, im liczba mniejsza, tym układ prostszy. Wrażliwość układu na zmiany warunków początkowych wskazuje wykładnik Lapunowa. Umożliwia on określenie tego,

¹⁷⁰ A. Gabryś, *Zarządzanie wartością spółki w kontekście teorii chaosu...*, op. cit., s. 2, 18-19.

¹⁷¹ E. E. Peters, *Teoria chaosu.....*op.cit., s. 67, podano za N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości.....*, op. cit., s.145.

w jaki sposób prognozowanie jest oparte na niedokładnym szacunku warunków wyjściowych i może odbiegać od rzeczywistego rozwoju danego systemu. Pokazuje on również tempo, w jakim traci się zdolność przewidywania przyszłych zachowań. Wykładnik Lapunowa jest liczbą dodatnią dla układów chaotycznych. Analiza fraktalna pozwala ustalić prawdopodobieństwo określonych zachowań rynku i modelowania alternatywnych scenariuszy jego zachowań¹⁷².

Według wielu praktyków i teoretyków rynków kapitałowych, takim przykładem jest także zygzakowata linia wykresu giełdowego. Graficzna reprezentacja wyników spółek giełdowych, szczególnie z długiego okresu, przypomina wykresy generowane przez układy chaotyczne. Problem jednak polega na tym, że stosunkowo łatwo jest stworzyć równania generujące chaos, natomiast zdecydowanie gorzej odczytać takie równania z konkretnych wykresów giełdowych.

Jak wskazuje K. Borowski, „W ciągu ostatnich kilku lat obserwuje się dwa odrębne nurty analizy technicznej: pierwszy – powrót metod wykorzystujących teorię chaosu i fraktali i drugi – bazujący na średnich ruchomych. Połączenie obu niezależnych trendów doprowadziło do wykształcenia nowego narzędzia analizy technicznej, tj. średniej ruchomej, do tworzenia której zastosowanie znajdują zdobycze teorii fraktali”¹⁷³. Metoda ta została nazwana fraktalną, adaptacyjną średnią ruchomą w analizie technicznej (FRAMA).

Analizując literaturę przedmiotu, można sformułować konkluzję, iż zasadniczym osiągnięciem teorii chaosu jest wykazanie, że istnieją nieliniowe systemy dynamiczne, które mogą w pewnych warunkach zachowywać się chaotycznie, tzn. w sposób nieregularny i nieuporządkowany, pomimo swojej deterministycznej natury. Przydatność analizy fraktalnej w analizie szeregów czasowych wynika m.in. z faktu, iż szeregi czasowe generowane przez układ deterministyczny mogą wyglądać podobnie do szeregów czasowych wygenerowanych dzięki mechanizmowi błędzenia losowego. Badania poświęcone rynkom kapitałowym świadczą o tym, że w przypadku szeregów czasowych generowanych przez rynek kapitałowy zarówno w Polsce, jak i na świecie występuje zjawisko chaosu deterministycznego i nieliniowe zależności w szeregach czasowych generowanych przez rynki kapitałowe. Złożoność zjawisk na rynkach kapitałowych powoduje, że nie jest możliwe wykrycie wszystkich zmiennych wpływających na

¹⁷² N. Siemieniuk, J. Kilon, *Technologie informatyczne na rynku kapitałowym*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Finansów i Zarządzania w Białymstoku, Białystok 2006, s. 97.

¹⁷³ K. Borowski, *Zastosowanie fraktalnej, adaptacyjnej średniej ruchomej w analizie technicznej (FRAMA)*, Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów, Zeszyt Naukowy 69, Warszawa 2006, s.49.

zachowanie układu. Opisywane przez równania modelowe dziwne atraktory rzadko zdarzają się w rzeczywistości, niemniej na ich podstawie można stwierdzić, czy system jest liniowy, czy chaotyczny. Z uwagi na fakt, iż wykrycie wszystkich zmiennych opisujących układ jest mało realne, celowe staje się budowanie przestrzeni fazowej na podstawie mniejszej liczby zmiennych i danych z przeszłych okresów czasowych¹⁷⁴.

2.3. Wybrane zagadnienia teorii fraktali

Obiekty nazywane *fraktalami*, pojawiły się po raz pierwszy w pod koniec XIX wieku. Ówczesni matematycy tworzyli obiekty matematyczne, których nie dało się wówczas sklasyfikować. Nazwy fraktali pochodzą od nazwisk badaczy: krzywe Penao, Hilberta czy Kocha. Bachlier w 1900 roku zaproponował model dynamiki cen akcji, odnoszący się do klasycznego ruchu Browna. Model ten był prostym przykładem fraktala. Na początku XX wieku matematycy nie przejawiali zainteresowania obiektami zwanymi fraktalami i prace naukowe, dotyczące badania powyższych obiektów zostały zaprzestane do roku 1977 roku. Na początku XX wieku fraktalami zainteresował się B. Mandelbrot. Jego uwagę zwróciło podobieństwo wykresów cen akcji niezależnie od skali. Mandelbrot stwierdził, że do opisu takich obiektów nie da się użyć klasycznej geometrii euklidesowej i zaproponował dla nich nową nazwę – *fraktal* (łac. - *ułamkowy*). Dalsze prace Mandelbrota stanowiły bodziec do rozwoju tej dziedziny wiedzy, dzisiaj używanej do modelowania zachowań między innymi giełdy¹⁷⁵.

Jak twierdzi E. Peters „jednym z najbardziej użytecznych i fascynujących odkryć matematycznych jest geometria fraktalna. Matematycy dzięki fraktalom stworzyli systemy opisujące naturalne kształty przy pomocy kilku prostych zasad. Fraktale są najlepszym opisem większości naturalnych kształtów oraz szeregów czasowych. Jak wynika z literatury przedmiotu i praktyki natura jest nieliniowa, a fraktale są geometrią chaosu. Euklides opisał naturę za pomocą symetrycznych obiektów: punktu, jednowymiarowej

¹⁷⁴ T. Siemieniuk, *Wybrane aspekty wykorzystania teorii chaosu do opisu funkcjonowania spółek akcyjnych na Giełdzie Papierów Wartościowych*, [w:] N. Siemieniuk, G. Michalczyk (red.), *Technologie informacyjne w zarządzaniu organizacjami*, Wydawnictwa Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2012, s. 248.

¹⁷⁵ C. A. Los, Yalamova R., *Multifractal Spectral Analysis of the 1987 Stock Market Crash*, “International Research Journal of Finance and Economics”, Issue 4 (2006), R. Rak, *Ilościowe charakterystyki fluktuacji i korelacji na polskim rynku akcji*, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2008; za: M. Hałaczkiwicz, *Multifraktalna analiza szeregów czasowych na przykładzie indeksów giełdowych*, Politechnika Białostocka, Białystok 2010, s. 6.

prostej, dwuwymiarowej płaszczyzny oraz trójwymiarowej bryły. Istnieją różne, symetryczne bryły: kule, stożki walce i prostopadłościanny, które są gładkie, pozbawione dziur i nie są w żaden sposób pofałdowane. Grecy wierzyli, że symetria i całkowitość bryły oznaczają doskonałość, a natura tworzy tylko rzeczy doskonałe. Geometria fraktalna stwarza perspektywę widzenia rzeczywistości zupełnie odmienną niż ta z punktu geometrii euklidesowej. W rzeczywistości natura nie jest symetryczna. Dowodem na stwierdzenie, że geometria euklidesowa nie jest w stanie prawidłowo opisać przedmiotu naturalnego, może być fakt, że w tej geometrii im bliżej przyglądamy się przedmiotowi, tym bardziej staje się on prostszy. Trójwymiarowa bryła staje się dwuwymiarową płaszczyzną, a ta z kolei jednowymiarową linią, która ostatecznie sprowadza się do punktu. Z przedmiotami naturalnymi opisywanymi regułami geometrii fraktalnej jest całkowicie inaczej, ponieważ podczas zbliżania się do takich przedmiotów zauważamy coraz więcej szczegółów, w taki sposób zachowują się także fraktale¹⁷⁶.

Jak pisze M. Majewska, samo pojęcie fraktala wywodzi się od łacińskiego przymiotnika *fractus* i rozwinięte zostało przez matematyka amerykańskiego B. Mandelbrota w ramach przedstawionej przez niego teorii geometrii fraktalnej w pracy pt.: „Fraktalna geometria przyrody”, która została opublikowana w 1982 roku. Charakterystyczną cechą tych struktur jest samopodobieństwo, polegające na tym, że każda z ich części zawiera strukturę całości, ale nie są to obiekty identyczne. Przykładem może być figura geometryczna złożona z drobinek, gdzie każda z tych drobinek sama składa się z takich samych drobinek i tak w nieskończoność. W naturze fraktalem będzie, np. łańcuch górski, linie brzegowe czy kształty warzyw tj. słonecznik czy kalafior. Fraktale stanowią obiekty o nieskończonej regularnej strukturze, które w procesie transformacji nie ulegają zmianie, w tym sensie, że zasada ich konstrukcji pozostaje stała. Może się jednak zmieniać ich rozmiar, orientacja i położenie. Obiekty fraktalne można opisać prostymi regułami matematycznymi. W wyniku ich zastosowania powstają złożone struktury obiektów podobnych do siebie¹⁷⁷.

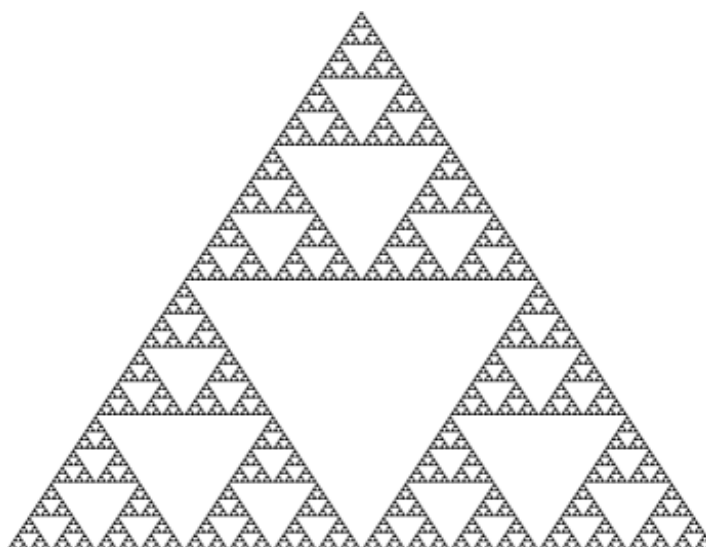
Jako definicję fraktali E. Peters zaproponował, że „fraktal jest obiektem, którego części pozostają w pewnej relacji do całości”¹⁷⁸. Można więc stwierdzić, że fraktal to kształt, którego częśćka jest taka sama jak całość i niezależnie od przybliżenia, fraktale w

¹⁷⁶ E. Peters, *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, WIG – Press, Warszawa 1997, s. 47-48.

¹⁷⁷ M. Majewska, *Organizacja fraktalna jako strategia rozwoju współczesnego przedsiębiorstwa*, w: *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego* nr 737/2013, s. 166.

¹⁷⁸ E. Peters, *Teoria chaosu.....op. cit.*, s. 49.

nieskończoność będą przypominały całość. Kształty fraktalne tworzy się na różne sposoby, a jedną z najprostszych metod jest wielokrotna iteracja reguły generującej. Przykładem może być tzw. trójkąt Sierpińskiego (rysunek 7), gdzie punktem wyjścia jest trójkąt równoramienny. Z trójkąta usuwa się mniejszy trójkąt równoramienny i w ten sposób otrzymuje się trzy małe trójkąty oraz pusty obszar między nimi w kształcie trójkąta równoramiennego. Z każdego uzyskanego pełnego trójkąta można wykluczać mniejsze trójkąty, procedurę tę można powtarzać w nieskończoność uzyskując trójkąt zawierający w sobie nieskończenie wiele mniejszych trójkątów. Gdyby powiększyć fragment tej struktury, można zaobserwować jeszcze więcej szczegółów, tj. więcej małych trójkątów zawartych w trójkątach większych. Tak uzyskany trójkąt Sierpińskiego, jest nieskończoną złożonością wygenerowaną w skończonej przestrzeni przy pomocy prostej reguły. Nie da się opisać trójkąta Sierpińskiego przy pomocy geometrii euklidesowej, ponieważ nie jest on figurą jednowymiarową - nie jest linią, a także nie jest figurą dwuwymiarową, gdyż znajdują się w nim dziury. W rzeczywistości liczba jego wymiarów znajduje się pomiędzy 1 a 2, a dokładnie wynosi 1,58. Jest to wymiar ułamkowy, który jest główną cechą rozpoznawczą fraktali ¹⁷⁹.



Rysunek 7. Trójkąt Sierpińskiego

Źródło: <http://mathworld.wolfram.com/SierpinskiSieve.html> (dostęp 18.12.2019).

Innymi przykładami kształtu fraktalnego mogą być dywan Sierpińskiego i płatek śniegu Kocha. Zarówno trójkąt i dywan Sierpińskiego, jak i płatek śniegu Kocha są fraktalami symetrycznymi. Jednak zgodnie z wcześniejszymi rozważaniami, w

¹⁷⁹ H. -O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe, *Granice chaosu. Fraktale*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002, s. 120-122

rzeczywistości naturalne przedmioty nigdy nie są naprawdę symetryczne. Tak i w tym przypadku przedstawione fraktale symetryczne nie oddadzą prawdziwej natury rynków kapitałowych, bardziej realistycznymi kształtami w tej sytuacji są fraktale losowe. Linie brzegowe to z kolei przykład fraktali losowych, które obserwowane z góry mają wygląd łagodnych, nieregularnych linii. Wraz ze zmniejszeniem wysokości obserwacji linie brzegowe są bardziej postrzępione, natomiast przy maksymalnym obniżeniu przyjmują kształt pojedynczych elementów. Można je porównać do cen akcji, gdyż stopy zwrotu oraz zygawkowata linia cen akcji mają identyczny wygląd. Wraz ze zmniejszeniem odległości oglądania szeregów czasowych można dostrzec więcej szczegółów. Fraktale losowe są skutkiem wybierania losowego reguł tworzących, używanych w różnych skalach. M. Bernsley opracował system generowania kształtów fraktalnych, określane jako deterministyczny system iteracyjny. Podzbiorem systemu są fraktale, które powstały w wyniku stosowania losowo deterministycznej reguły. Algorytmy te określa się jako grę w chaos¹⁸⁰. Koncepcja fraktali okazała przełomem w dziedzinie nauki, ponieważ struktury o omawianej wyżej charakterystyce są dostrzegalne niemal wszędzie w przyrodzie, począwszy od kształtu płatka śniegu, poprzez szron na szybie, liście drzew, czy linie brzegowe, aż po kształty warzyw, czy ludzkich płuc. Fraktale możemy podzielić na¹⁸¹:

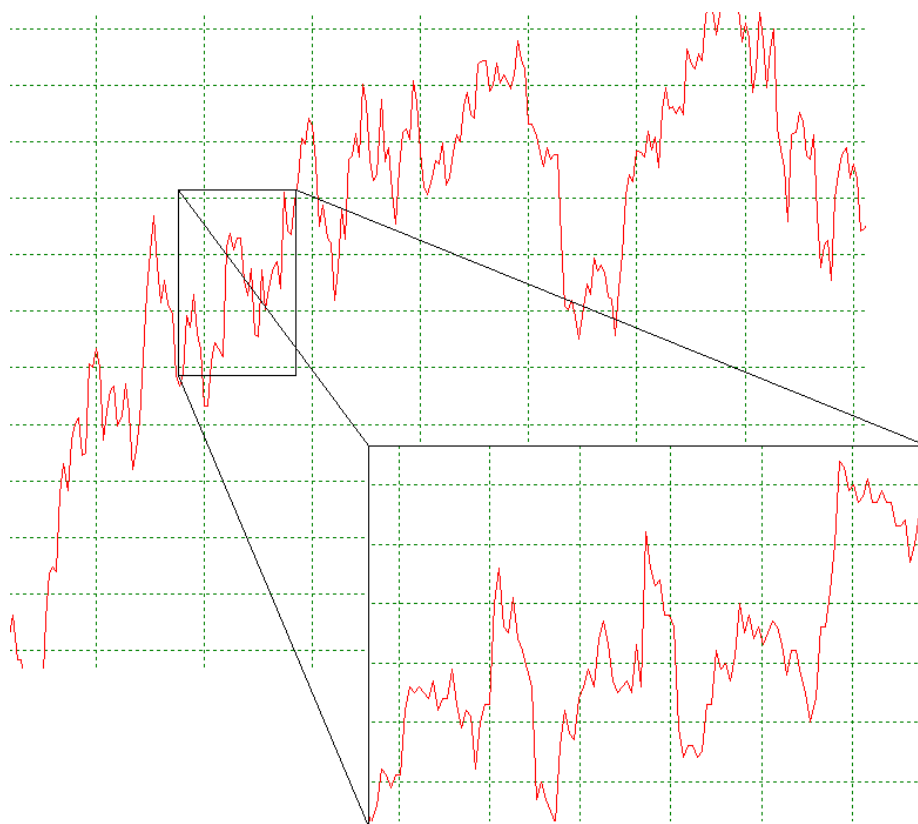
- fraktale matematyczne,
- fraktale naturalne - obiekty posiadające właściwości fraktalne w tylko pewnych skalach, występujące w naturze.

Wyróżnione wyżej obiekty różnią się tym, że fraktale matematyczne tworzą perfekcyjne, nieskończone struktury. Jedną z głównych cech fraktali jest, samopodobieństwo, które można opisać, jako podobieństwo obiektu do samego siebie, niezależnie od skali. Takim samopodobieństwem, cechują się tylko fraktale matematyczne, jednak definicję samopodobieństwa można osłabić, zakładając, że obiekty są podobne tylko w sensie statystycznym. W tym wypadku, przykładem będą dane finansowe, gdzie fragment danych w ujęciu dziennym jak i w ujęciu rocznym, podlegają takiemu samemu rozkładowi prawdopodobieństwa (rysunek 8). Samopodobieństwem statystycznym cechują

¹⁸⁰ E. Peters, *Teoria chaosu.....* op. cit., s. 49-56

¹⁸¹ R. Rak, *Ilościowe charakterystyki fluktuacji i korelacji na polskim rynku akcji*, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2008; za: M. Hałaczkiwicz, *Multifraktalna analiza.....*op. cit., s. 6.

się głównie fraktale występujące w naturze, najistotniejszą cechą, która odróżnia je od fraktali matematycznych jest ich skończoność¹⁸².



Rysunek 8. Samopodobieństwo danych finansowych (FW20M10)

Źródło: M. Hańczkiewicz, *Multifraktalna analiza szeregów czasowych na przykładzie indeksów giełdowych*, Politechnika Białostocka, Białystok 2010, s. 8.

Z pojęciem fraktala wiąże się pojęcie dziwnego atraktora, które ulega ciągłej ewolucji i nie jest do końca jednoznaczne. Trudno jest sformułować jednoznaczną definicję matematyczną, którą można zastosować w analizie danych eksperymentalnych. Atraktor chaotyczny, inaczej dziwny jest zbiorem stanów w przestrzeni stanów układu, który posiada bardzo charakterystyczne właściwości¹⁸³:

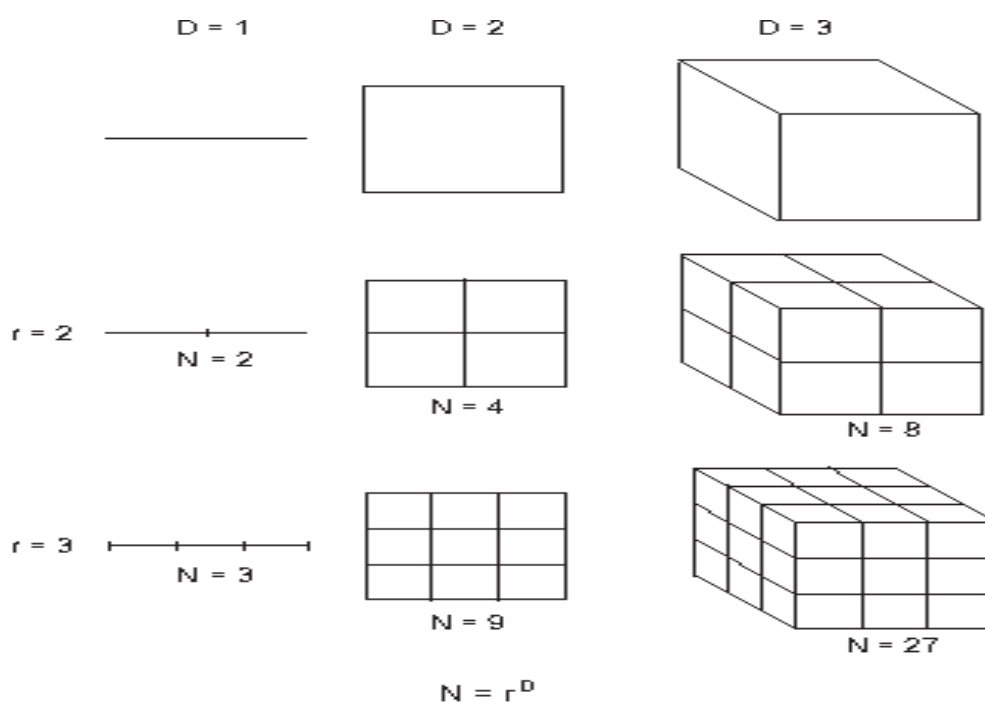
- zbiór jest zbiorem przyciągającym się, tak że system startujący z warunkami początkowymi z basenu przyciągania ostatecznie kończy się w zbiorze,
- zbiór posiada skomplikowaną strukturę geometryczną.

¹⁸² M. Hańczkiewicz, *Multifraktalna analiza szeregów czasowych na przykładzie indeksów giełdowych*, Politechnika Białostocka, Białystok 2010, s. 6.

¹⁸³ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości.....op. cit.*, s. 123

Jak podaje H.G. Schuster, dziwny atraktor jest wrażliwy na warunki początkowe. W przypadku zmniejszania się objętości nie wszystkie długości zmniejszają się i punkty, które znajdowały się na atraktorze wystarczająco blisko siebie, będą oddalały się wykładniczo w miarę upływu czasu¹⁸⁴.

Cecha mówiąca o skomplikowanej strukturze geometrycznej eliminuje ze zbioru dziwnych atraktorów zbiory, które są sumą skończonej liczby izolowanych punktów przestrzeni (punkt, zbiór punktów), oraz gładkie elementy k-wymiarowe. Część naukowców uznaje, że dodatkową cechą dziwnych atraktorów jest to, że ich rozmiar nie jest liczbą całkowitą. Inaczej mówiąc dziwne atraktory mają tzw. wymiar fraktalny – są fraktalami. Jeżeli weźmiemy obiekt umieszczony w przestrzeni euklidesowej D i zmniejszymy jego liniowy rozmiar $1/r$ w każdym kierunku w przestrzeni to jego rozmiar (długość, pole powierzchni, objętość) zmniejszy się $N = r^D$ razy w stosunku do oryginalnego (rysunek 9)¹⁸⁵.



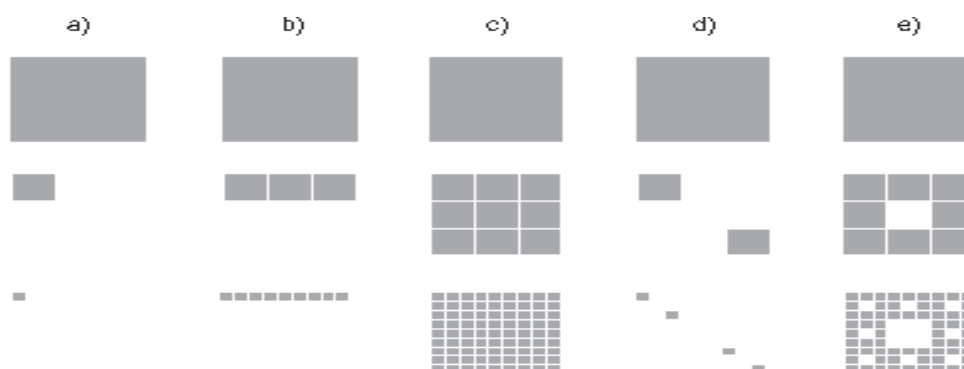
Rysunek 9. Zmiana rozmiaru w przestrzeni euklidesowej D -wymiarowej

Źródło: N.Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*. Białystok : Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku 2001, s. 124.

¹⁸⁴ H.G Schuster, op.cit., s. 145-149

¹⁸⁵ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości.....op. cit.*, s. 123

Jak podaje N. Siemieniuk, „Element D otrzymany tym sposobem nie musi mieć rozmiaru wyrażonego liczbą całkowitą, jak to ma miejsce w geometrii euklidesowej. Może być ułamkiem w geometrii fraktalnej. Takie podejście do <<rozmiaru>> nazwane jest od nazwiska niemieckiego matematyka Hausdorffa wymiarem Hausdorffa. Dziwne atraktory są zatem zbiorami, których wymiar Hausdorffa nie jest liczbą całkowitą. Wymiar fraktalny nie musi zawierać się w przedziale (0, 1). Za pomocą odpowiedniej metody można przekształcić euklidesowy kwadrat we fraktal, którego wymiar fraktalny będzie równy 1.8928. W każdym z poniższych przykładów każdy kwadrat będzie podzielony na dziewięć kwadratów o równych rozmiarach ($r_1 = 1/9$). Iteracja przeprowadzana jest n-razy. Aby przedstawić punkt euklidesowy (rysunek 10 a) zachowujemy tylko jeden kwadrat w każdej iteracji ($N_1 = N_n = 1$). W następnym przykładzie (rysunek 10 b) zatrzymujemy tylko trzy najwyższe kwadraty w każdej iteracji ($N_1 = 3$ $N_2 = 9$). Dzięki temu procesowi odkrywamy euklidesową linię o wymiarze jeden. Ostatnią euklidesową figurą, która wywodzi się z tego przykładu jest płaszczyzna (rysunek 10 c). Aby to osiągnąć zatrzymujemy wszystkie kwadraty we wszystkich iteracjach. W celu otrzymania figury o wymiarze fraktalnym będziemy zachowywać tylko dwie części w górnym lewym i dolnym prawym rogu w każdej iteracji (rysunek 10 d) Z drugiej strony, jeżeli usuniemy tylko środkową część w każdej iteracji otrzymamy figurę jak na rysunku 10 e. Najprostszymi przykładami <<dziwnych traktorów>> są zbiory będące atraktorami układów iterowanych odwzorowań”¹⁸⁶.

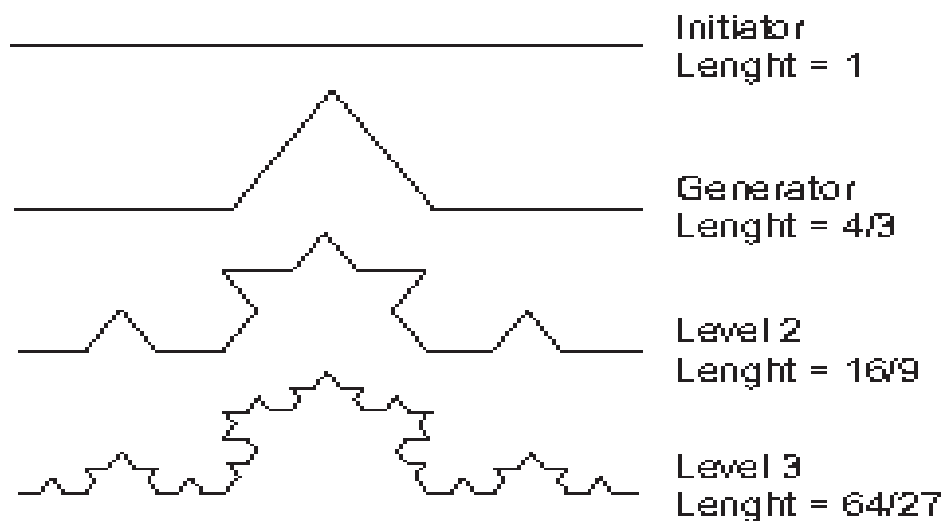


Rysunek 10. Prezentacja wymiaru fraktalnego na przykładzie kwadratu euklidesowego

Źródło: N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*. Białystok: Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku 2001, s. 124.

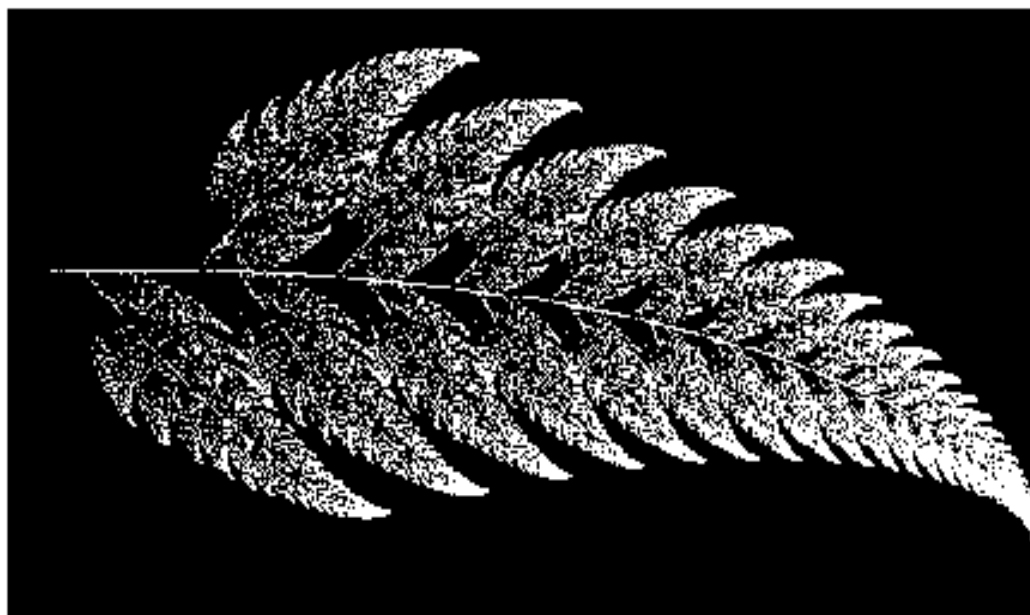
¹⁸⁶ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości.....op. cit.*, s. 124

Jako przykład fraktali można podać: omówiony wyżej trójkąt Sierpińskiego (rysunek 7), krzywą Kocha (rysunek 11), czy liść paproci (rysunek 12).



Rysunek 11. Przykład konstrukcji krzywej Kocha

Źródło: N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*. Białystok : Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku 2001, s. 125.



Rysunek 12. Liść paproci jako przykład fraktala

Źródło: N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*. Białystok: Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku 2001, s. 131.

Podsumowując, fraktal oznacza „rodzaj figury geometrycznej, płaskiej lub przestrzennej, zazwyczaj charakteryzującej się własnością samopodobieństwa – małe fragmenty fraktala, oglądane w odpowiednim powiększeniu, wyglądają tak samo jak obiekt pierwotny”¹⁸⁷. Tak więc, cechą charakterystyczną fraktali jest ich samopodobieństwo i związany z tym wymiar fraktalny. Chcąc zdefiniować fraktal, należy odwołać się do pojęcia wymiaru fraktalnego. Fraktalem określa się taki obiekt, którego wymiar fraktalny jest ułamkiem, czyli nie jest liczbą całkowitą. Zagadnienia dotyczące wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego omówione zostały w rozdziale piątym dysertacji.

¹⁸⁷ https://mfiles.pl/pl/index.php/Organizacja_fraktalna (dostęp 13.09.2019)

ROZDZIAŁ 3.

WERYFIKACJA WYKŁADNIKÓW LAPUNOWA, WYMIARÓW FRAKTALNYCH, WYKŁADNIKÓW HURSTA DLA SPÓŁEK AKCYJNYCH Z POLSKIEJ GIEŁDY I STWORZENIE RANKINGU POWYŻSZYCH MIERNIKÓW W CELU OCENY KONDYCJI EKONOMICZNEJ SPÓŁKI NA GIEŁDZIE PAPIERÓW WARTOŚCIOWYCH W WARSZAWIE – BADANIA EMPIRYCZNE

3.1. Przesłanki zastosowania teorii chaosu do badania kondycji ekonomicznej spółek na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie

W literaturze przedmiotu można spotkać często pytanie dotyczące możliwości przewidywania (np. na podstawie postaci równań różniczkowych opisujących ewolucję układu) czy w danym systemie będzie występował chaos deterministyczny. Odpowiedź jest pozytywna, czyli, możliwe jest przyszłe przewidzenie występowania w określonym systemie chaosu deterministycznego. Z matematycznego punktu widzenia, wszystkie nieliniowe układy dynamiczne o więcej niż dwóch stopniach swobody mogą przejawiać chaos. Podstawowym warunkiem koniecznym do pojawienia się chaosu jest nieliniowość równań opisujących dynamikę danego systemu. Z drugiej strony chaos nie pojawia się jeśli istnieje możliwość podania rozwiązania analitycznego równań ewolucji układu dla dowolnej chwili czasu. Nieliniowe równania ewolucji układu można rozwiązać numerycznie, krok po kroku, od stanu początkowego, do wybranego momentu końcowego. Tylko w takich przypadkach może uwidocznić się wrażliwość układu na warunki początkowe. Z teoretycznego punktu widzenia może wydawać się, że konieczna dla chaosu wrażliwość na warunki początkowe wymaga szczególnego dopasowania parametrów równania, co w przyrodzie może zdarzyć się przypadkowo. Stworzyłoby to z chaosu osobliwość rzadko mogącą występować w świecie fizycznym. W ostatnich latach stało się oczywiste, że zjawisko chaosu deterministycznego występuje powszechnie w szeregu dziedzinach działalności i pociąga za sobą daleko idące konsekwencje w wielu dyscyplinach nauki ¹⁸⁸.

Od końca lat osiemdziesiątych trwa dyskusja na temat, czy w ekonomicznych lub

¹⁸⁸ <http://www.iwiedza.net/download/chaos.pdf>(dostęp 13.10.2019)

finansowych szeregach czasowych jest obecny chaos (oparty na dynamice nielinernej), który można wykorzystać w badaniach dotyczących funkcjonowania rynków kapitałowych (Peters E.E., 1997; Bullard J. B., Butler A., 1993; Nazarko J., Siemieniuk N., Mosdorf R., 1999; Orzeszko W., 2005; Siemieniuk N., 2001; Chorafas D.N., 1994; Levy H., Sarnat M., 1990; Dockner E.J., Prskawetz A., Feichtinger G., 1997; Jaditz T., Sayers C. L., 1993; Siemieniuk, N., Siemieniuk T., 2015). Natomiast rozwiązania z zakresu badania kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce wywodzące się z teorii chaosu dopiero powstają.

Jak dotąd niewiele badań posługiwało się dynamiką nieliniarną do badania kondycji ekonomicznej spółek giełdowych. W literaturze przedmiotu brakuje wyników takich badań pomimo, iż powyższa problematyka jest przedmiotem licznych badań i analiz. Wykorzystuje się tu różne metody i narzędzia badawcze. Próby opisu problematyki bankructwa są podejmowane w ramach wielu dyscyplin naukowych, np. ekonomii, matematyki. Rozmaitość stosowanych teorii i metod znajduje swój wyraz w różnorodności uzyskiwanych wyników i prognoz. Osiągnięcie sukcesu w tym zakresie jest niezmiernie skomplikowane, ponieważ rynek kapitałowy jest bardzo dynamiczny i prawie nigdy nie znajduje się w równowadze. Strategie działania na tym rynku są, z metodologicznego punktu widzenia, najtrudniejsze ze zbioru wszystkich strategii stosowanych w gospodarce. Istniejący od początku lat 1990. polski rynek kapitałowy również nie jest tu wyjątkiem. Inwestorzy poszukują uzasadnienia dla swoich decyzji inwestycyjnych, stosując między innymi analizę fundamentalną, techniczną czy portfelową. W celu przewidywania przyszłego zachowania się rynku, konstruowane są rozmaite modele formalne, heurystyczne, irracjonalne, które nigdy nie dają pełnej pewności sukcesu i są obciążone, zwykle znacznym, ryzykiem inwestycyjnym.

Jak pisał M. Łuczak, „Wykorzystanie matematyki chaosu i teorii fraktali w predykcji szeregów czasowych to niewątpliwie wyjątkowa koncepcja, rewolucjonizująca dotychczasowe myślenie o rynkach kapitałowych. Mimo, iż została ona stworzona przeszło trzydzieści lat temu, jest ona wciąż na marginesie nauk finansowych. Niedoceniona, niechciana, dopiero teraz, bardzo ostrożnie wkracza na pole zarezerwowane dotychczas dla koncepcji tradycyjnych”¹⁸⁹.

¹⁸⁹ M. Łuczak, *Zastosowanie fraktali do pozyskiwania wiedzy o rynkach kapitałowych*, Polskie Towarzystwo Zarządzania Wiedzą, Seria: Studia i Materiały, nr 4, 2005, s. 104.

Można więc stwierdzić, iż teoria chaosu jest jedną z nowszych koncepcji opisu rynku kapitałowego. Stanowi ona próbę odejścia od idei efektywności rynków kapitałowych w stronę bardziej uniwersalnego widzenia mechanizmów rządzących giełdą. Znajduje to swój wyraz w opisie za pomocą dynamicznych systemów nieliniowych. Stanowi to przewagę nad pozostałymi metodami analizy rynku kapitałowego, które opisują jego funkcjonowanie jako system liniowy, a wykresy akcji spółek wskazują na to, że nie są to linie proste a zygzakowate, charakterystyczne dla systemów nieliniowych.

Jak pisze A. Gabryś, „Badania dotyczące możliwości zastosowania teorii chaosu na rynku kapitałowym w znaczącym stopniu poprawiły rozumienie funkcjonowania rynku kapitałowego, zachowanie cen, ryzyka oraz formułowanie oczekiwań względem przyszłości. Stwierdzenie czy szeregi czasowe zmian cen generowane przez rynek kapitałowy wykazują własności chaosu deterministycznego jest niezwykle ważne zarówno z praktycznego jak i teoretycznego punktu widzenia. Teoretycznie wiedza na temat chaotyczności systemu jest bardzo ważna dla prawidłowej konstrukcji modelu tłumaczącego dynamikę rynku kapitałowego. Zmiany w modelu rozumienia rynku kapitałowego mogą powodować zmiany innych teorii finansowych, które korzystają z danych lub założeniach związanych z jego funkcjonowaniem. Na płaszczyźnie praktycznej posiadanie takiego modelu może umożliwić krótkoterminowe prognozy z akceptowalnym poziomem błędów, a więc usprawnić proces tworzenia strategii inwestycyjnych jak i działania związane z konsekwentnym zwiększeniem wartości rynkowej spółek notowanych na rynku giełdowym”¹⁹⁰.

Dysertacja stanowi próbę nowego podejścia do oceny kondycji ekonomicznej spółek funkcjonujących na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Uzyskane przez autora wyniki analiz dla polskiej giełdy będą jednym ze sposobów wypełnienia luki w zakresie wykorzystania teorii chaosu deterministycznego w procesie przewidywania bankructwa funkcjonujących na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie spółek akcyjnych. Rozwijając powyższą kwestię, w pracy doktorskiej podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, jakie współczynniki mogą świadczyć o przyszłym bankructwie spółki, której kondycję reprezentuje szereg czasowy notowań giełdowych jej akcji. Reasumując, celem pracy doktorskiej jest pokazanie możliwości wykorzystania metod chaosu deterministycznego do oceny kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce.

¹⁹⁰ A. Gabryś, *Zarządzanie wartością spółki w kontekście teorii chaosu*, Wydawnictwo Aurea Mediocritas, Warszawa 2007, s. 18.

Biorąc pod uwagę cel rozprawy, sformułowano **hipotezę główną** brzmiącą: Kondycję ekonomiczną spółek giełdowych w Polsce można prognozować, czyli przewidywać przyszłe zachowania danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie, stosując teorię chaosu deterministycznego.

W celu zweryfikowania przyjętej w pracy hipotezy głównej dokonano jej dezagregacji na trzy funkcje szczegółowe. Na tej podstawie wyodrębniono trzy hipotezy szczegółowe, brzmiące następująco:

Hipoteza 1: Dodatnie wykładniki Lapunowa stanowią wyznacznik fraktalności polskich spółek giełdowych i określają tempo, w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań danej spółki na giełdzie. W dysertacji zakłada się, iż spółki akcyjne notowane na polskiej giełdzie posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa i są systemami chaotycznymi.

Hipoteza 2: Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają wysoki wymiar fraktalny w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej.

Hipoteza 3: Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej.

3.2. Metodyka badań empirycznych

Celem badania było oszacowanie wykładników Lapunowa, wymiarów fraktalnych, wymiarów korelacyjnych, wykładników Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy i stworzenie rankingu powyższych mierników w celu oceny kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

Badania zostały przeprowadzone na szeregach notowań akcji szesnastu spółek z polskiej giełdy. Do badań wytypowano osiem spółek funkcjonujących na GPW w Warszawie i osiem, które istniały do momentu ogłoszenia ich upadłości i zaprzestania notowań. Do analizy wybrano następujące spółki, które funkcjonowały w czasie przeprowadzania badań na polskiej giełdzie: Dębica, Emperia, KGHM, mBank (do listopada 2013 roku funkcjonującego pod nazwą BRE), PKOBP, Próchnik, PZU, Żywiec. Wśród spółek, które ogłosiły upadłość i zaprzestały funkcjonowania na polskiej giełdzie, do badań zakwalifikowano następujące: Krosno, Pronox, Swarzędz, Techmex, Tonsil, Toora, Universal, Zntklapy. Nazwy spółek akcyjnych objętych analizą i zakres terminowy badań zawiera tabela 3.

Tabela 3. Wykaz spółek akcyjnych wytypowanych do analizy fraktalnej

Nazwa spółki akcyjnej	Zakres terminowy badań
Dębica	02.01.1995-29.12.2016
Emperia	03.01.1995-29.12.2016
KGHM	10.07.1997-29.12.2016
Krosno	02.01.1995-29.10.2009
mBank	02.01.1995-29.12.2016
PKOBP	10.11.2004-29.12.2016
Próchnik	02.01.1995-29.12.2016
Pronox	18.07.2007-05.04.2009
PZU	12.05.2010-29.12.2016
Swarzędz	02.01.1995-14.01.2011
Techmex	19.05.2004-11.03.2011
Tonsil	02.01.1995-29.07.2005
Toora	30.12.1995-20.06.2008
Universal	02.01.1995-17.05.1999
Zntklapy	07.11.2007-05.02.2010
Żywiec	02.01.1995-29.12.2016

Źródło: opracowanie własne.

W pracy zawarto analizę szeregu notowań akcji spółek, takich jak: Dębica, Emperia, mBank (poprzednio jako BRE), Próchnik, Żywiec, Krosno, Swarzędz, Tonsil, Toora, Universal od 1995 roku¹⁹¹; KGHM od 1997 roku; PKOBP, Techmex od 2004 roku; Pronox, Zntklapy od 2007 roku; PZU od 2010 roku, czyli od momentu wprowadzenia spółki na giełdę. Dla wszystkich spółek przy budowie szeregów czasowych notowań akcji wybrano kurs zamknięcia.

Pierwszy etap badań z wykorzystaniem metod chaosu deterministycznego zakończono w 2016 roku dla następujących spółek: Dębica, Emperia, mBank (poprzednio jako BRE), KGHM, PKOBP, Próchnik, PZU, Żywiec. Następny etap badań objął kolejne lata (2016-2018) funkcjonowania spółek na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie celem wykazania poprawności weryfikacji hipotez szczegółowych dysertacji.

¹⁹¹ Od tego roku notowania odbywały się codziennie i tworzyły kompletne szeregi czasowe.

Dla spółek bankrutów badania zakończono w roku, w którym sąd ogłosił upadłość spółki na polskiej giełdzie, czyli: dla spółki Universal badania zakończono w 1999 roku, dla Tonsil w 2005 roku, dla spółki Toora w 2008 roku, dla Krosno, Pronox badania zakończono w 2009 roku, dla spółki Zntklapy w 2010 roku, natomiast dla Swarzędz, Techmex badania zakończono w 2011 roku.

Przeprowadzenie analizy fraktalnej wymaga stworzenia szeregu pokazującego zmiany wartości cen akcji w poszczególnych dniach. Wyznaczony w ten sposób szereg czasowy służy do budowy szeregów czasowych pokazujących zmiany wartości cen akcji wybranych spółek na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie w przedziałach czasowych o stałej liczbie dni.

W analizie rynków kapitałowych stosuje się logarytmiczne stopy zwrotu, zapisane następującą zależnością¹⁹²:

$$S_t = \ln(P_t / P_{(t-1)})$$

Legenda:

S_t – oznacza logarytmiczną stopę zwrotu w okresie t ,

P_t – oznacza cenę w okresie t .

Wzór 10. Logarytmiczne stopy zwrotu cen akcji

Źródło: E.E.Peters *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, Wydawnictwo Wig Press, Warszawa 1997, s. 84.

Eliminację trendu można także osiągnąć stosując analizę widma mocy szeregu, usuwając pierwsze jego częstotliwości, lub eliminując linię regresji $Y = AX+B$.

W celu uwzględnienia inflacji można analizować szereg postaci (wzór 11)¹⁹³.

$$S_i = \ln(P_i) - (a \cdot \ln(\text{CPI}) + \text{constant})$$

Legenda:

CPI – oznacza indeks cen konsumpcyjnych

Wzór 11. Szereg czasowy cen konsumpcyjnych uwzględniający inflację

Źródło: E. E. Peters *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, Wydawnictwo Wig Press, Warszawa 1997, s. 161.

¹⁹² Peters E.E., *Teoria chaosu*....., op.cit., s. 84.

¹⁹³ Ibidem, s. 161.

W zależności od tego jakimi danymi dysponuje się stosuje się jeden lub drugi wzór. Dobór wzoru na podstawie którego przeprowadzona zostanie obróbka danych jest ściśle związany z rodzajem i charakterem szeregu, którym się dysponuje. Aby zgromadzone dane można było poddać analizie dzięki metodom opartym na teorii chaosu deterministycznego, dokonano eliminacji linii trendu. Operacja ta może zostać wykonana za sprawą kilku metod. Pierwsza metoda polega na badaniu szeregu czasowego zwrotów cen akcji wybranych spółek z polskiej giełdy. Na odcinku czasowym $(i-\tau, i)$ stopa zwrotu definiowana jest następująco(wzór 12)¹⁹⁴.

$$S_i^\tau = \frac{P_i - P_{i-\tau}}{P_{i-\tau}}$$

Legenda:

P_i – kurs akcji w danym dniu,

τ – odstęp czasowy liczony w dniach.

Wzór 12. Stopa zwrotu cen akcji

Źródło: A. Weron, R. Weron, *Inżynieria finansowa. Wycena instrumentów pochodnych. Symulacje komputerowe. Statystyka rynku*, WNT, Warszawa 1998, s. 283.

Druga metoda opiera się na analizie widma mocy badanego sygnału. Eliminacja pierwszych częstotliwości widma, przenoszących główną informację o kształcie szeregu, powoduje usunięcie trendu. Zmiany stanu układu dynamicznego w czasie, opisywane są przez funkcje czasu $F(t)$ w przypadku czasu ciągłego lub szeregu czasowego w przypadku próbkowania w regularnych odstępach czasowych. Każdą funkcję zależną od czasu $F(t)$ można zastąpić superpozycją jej składowych okresowych. Rozkład funkcji $F(t)$ na składowe nosi nazwę rozkładu widmowego. W zależności od charakteru funkcji $F(t)$ można ją przedstawić na dwa sposoby. Funkcję okresową można zastąpić złożeniem zbioru funkcji o częstotliwościach będących całkowitymi wielokrotnościami częstotliwości podstawowej. Złożenie liniowe tych funkcji nosi nazwę szeregu Fouriera. Jeżeli $F(t)$ jest funkcją okresową o okresie T tzn. $F(t) = F(t+nT)$ to częstości wszystkich

¹⁹⁴ A. Weron, R. Weron, *Inżynieria finansowa. Wycena instrumentów pochodnych. Symulacje komputerowe. Statystyka rynku*, WNT, Warszawa 1998, s. 283.

składowych są całkowitymi wielokrotnościami częstości podstawowej $1/T = \omega_0/2\pi$. Szereg Fouriera w postaci zespolonej przybiera postać (wzór 13)¹⁹⁵.

$$F(t) = \sum_{n \rightarrow -\infty}^{\infty} (a_n e^{in\omega_0 t})$$

Wzór 13. Szereg Fouriera w postaci zespolonej

Źródło: G. Baker., J. Gollub, *Wstęp do dynamiki układów chaotycznych*, PWN, Warszawa 1998, s. 37.

Wartość amplitudy można otrzymać ze wzoru nr 14¹⁹⁶.

$$a_n = \frac{\omega_0}{2\pi} \int_{-\pi/\omega_0}^{\pi/\omega_0} F(t) e^{-in\omega_0 t}$$

Legenda:

a_n – oznacza amplitudę n- tej składowej o częstości $n\omega_0$.

Wzór 14. Konstrukcja wzoru wartości amplitudy

Źródło: G. Baker., J. Gollub, *Wstęp do dynamiki układów chaotycznych*, PWN, Warszawa 1998, s. 38.

Częstszym zjawiskiem są jednak funkcje nieokresowe, dla których widmo wyraża się przez oscylacje z kontinuum częstości. Widmo takie nosi nazwę transformaty Fouriera. Taki rodzaj reprezentacji funkcji zmiennej w czasie ma szczególne znaczenie w przypadku dynamicznych układów chaotycznych. Transformata Fouriera stanowi ogólną postać szeregu Fouriera. Ponieważ przyjmuje się, że okres T funkcji F(t) może być nieskończenie wielki, funkcja F(t) może zostać opisana nawet jeżeli nie jest okresowa. W przypadku funkcji nieokresowych dyskretny zbiór częstości składowych staje się ciągłym zbiorem częstości widmowych. Amplituda składowej a_n zamieniona zostaje transformatą Fouriera $a(\omega)\delta\omega$. Szereg Fouriera przekształca się w transformatę Fouriera w wyniku transformacji:

$$T \rightarrow \infty,$$

¹⁹⁵ G. Baker., J. Gollub, *Wstęp do dynamiki układów chaotycznych*, PWN, Warszawa 1998, s. 37.

¹⁹⁶ G. Baker., J. Gollub, *Wstęp do dynamiki.....*, op. cit., s. 38.

$$n\omega_0 \rightarrow \omega,$$

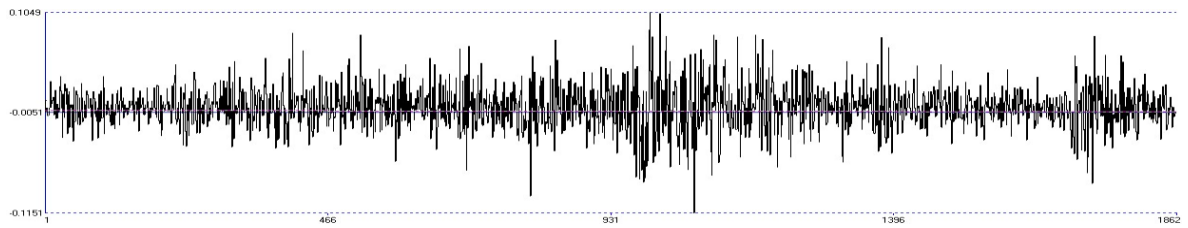
$$a_n \rightarrow a(\omega)d\omega$$

Transformata Fouriera $a(\omega)$ jest często w postaci zespolonej, wówczas definiuje się funkcję rzeczywistą tzw. widmo mocy¹⁹⁷:

$$S(\omega) = |a(\omega)|^2$$

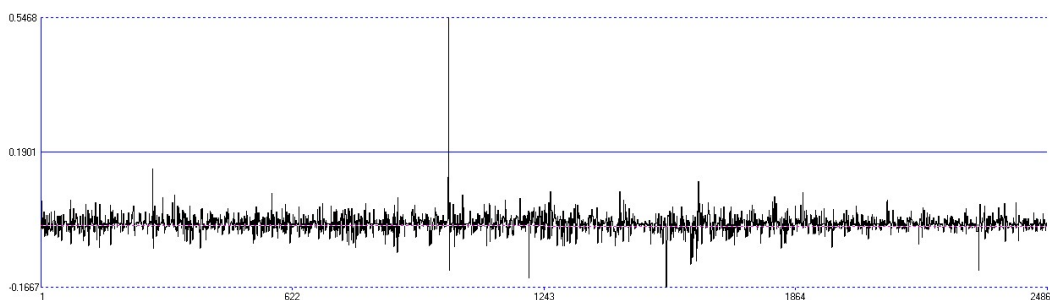
Za pomocą transformaty Fouriera analizować można przebiegi czasowe, których własności nie znamy.

Jak wykazano w publikacjach¹⁹⁸, dla danych giełdowych bardziej odpowiednią metodą obróbki danych eksperymentalnych jest budowa szeregu zwrotów notowań akcji. Dlatego też w pracy doktorskiej, zakładając opóźnienie czasowe $\tau=7$, zbudowano, zgodnie ze wzorem nr 12, szeregi zwrotów przedstawione na rysunkach 13- 28. Tak dobrana wartość opóźnienia czasowego pozwala wyeliminować skutki pamięci krótkoterminowej, o której może świadczyć między innymi trend występujący w szeregach czasowych.



Rysunek 13. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Dębica w okresie 02.01.1995-29.12.2016

Źródło: opracowanie własne.

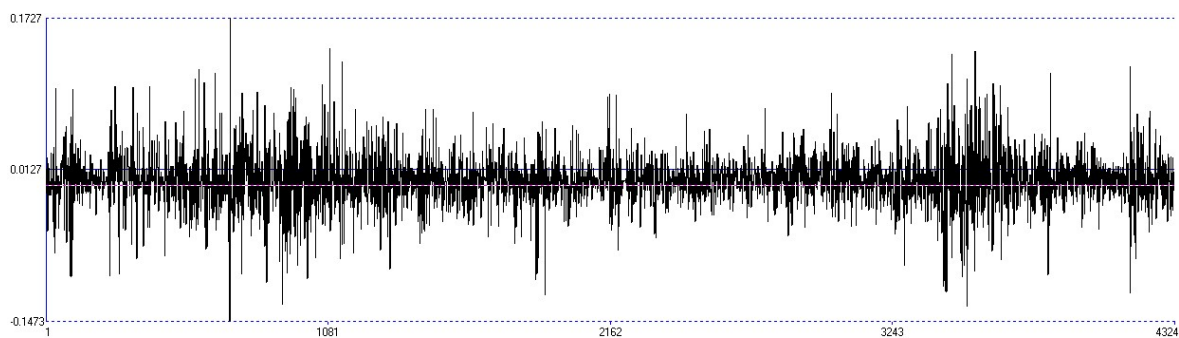


Rysunek 14. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Emperia w okresie 03.01.1995-29.12.2016

Źródło: opracowanie własne.

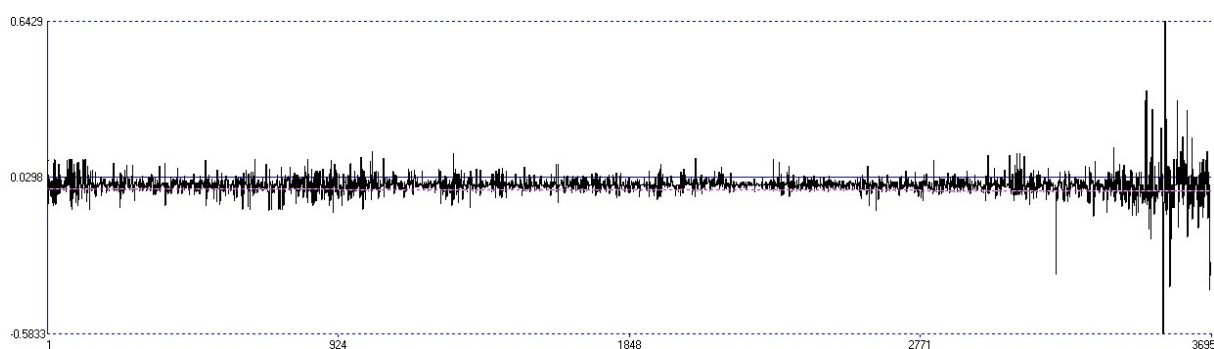
¹⁹⁷ G. Baker., J. Gollub, *Wstęp do dynamiki*,op. cit., s. 40.

¹⁹⁸ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości.....*,op. cit. 156-164; N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Teoria chaosu....*, op. cit., s. 185; N. Siemieniuk, J. Kilon, *Technologie informatyczne*, op. cit., s. 91.



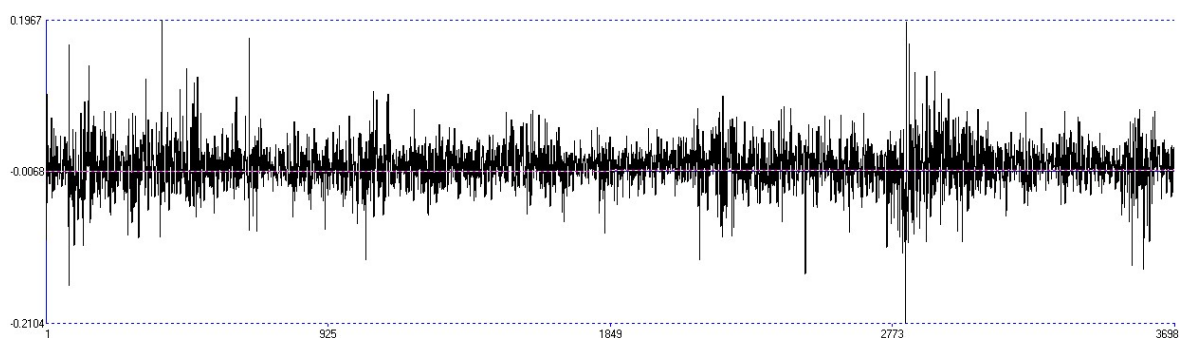
Rysunek 15. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu KGHM w okresie 10.07.1997-29.12.2016

Źródło: opracowanie własne.



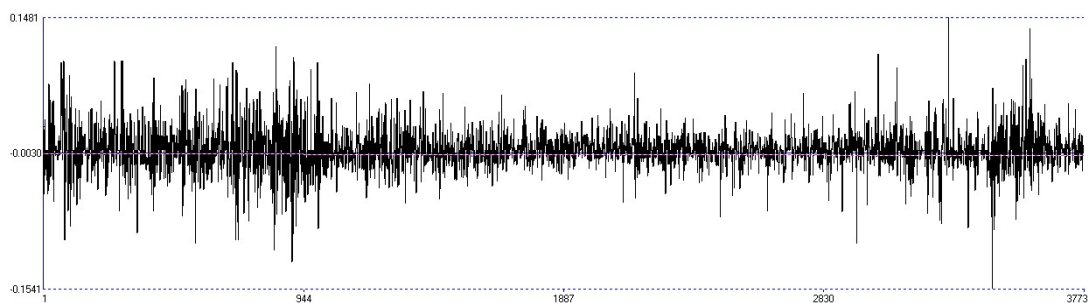
Rysunek 16. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Krosno w okresie 02.01.1995-29.10.2009

Źródło: opracowanie własne.



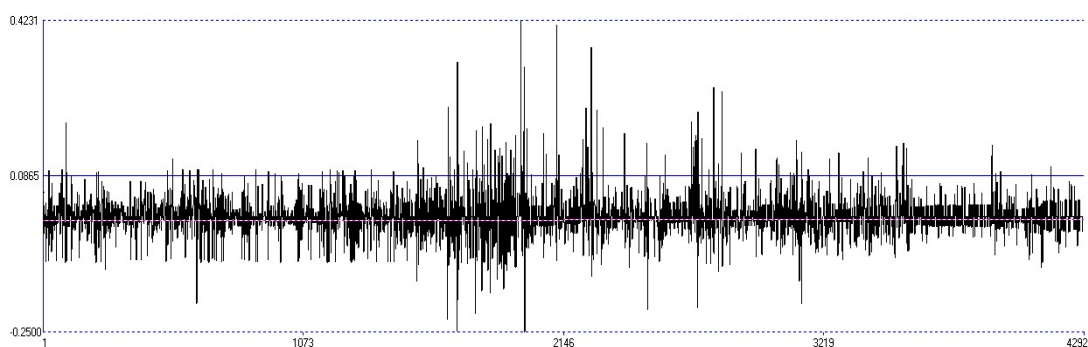
Rysunek 17. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu mBanku w okresie 02.01.1995-29.12.2016

Źródło: opracowanie własne.



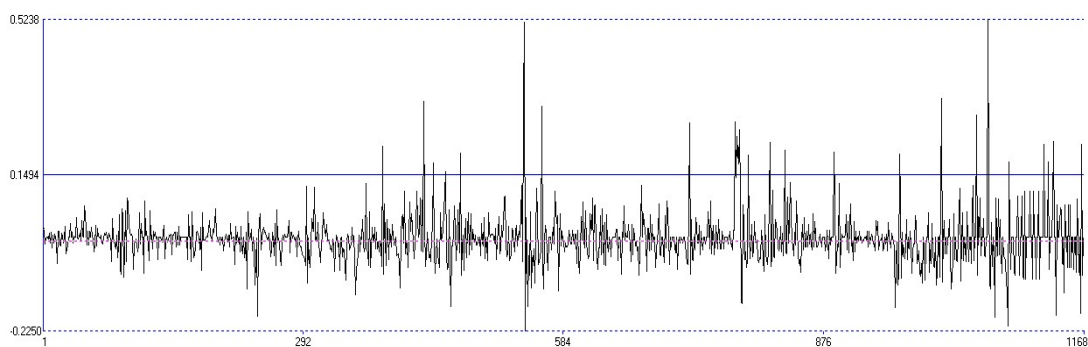
Rysunek 18. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu PKO BP w okresie 10.11.2004-29.12.2016

Źródło: opracowanie własne.



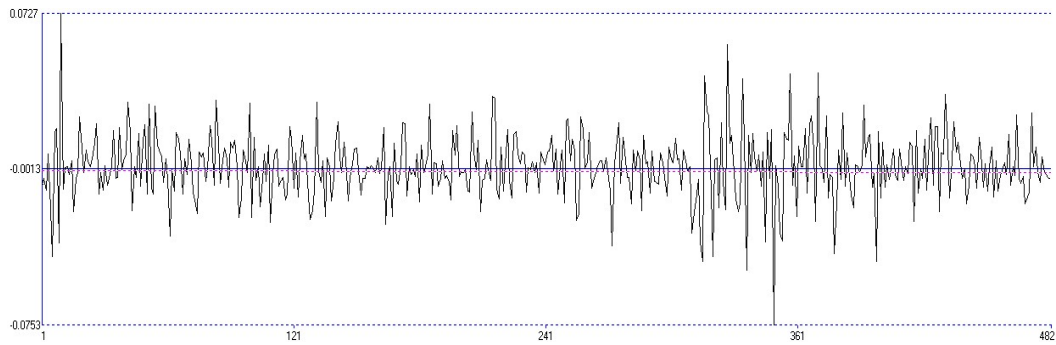
Rysunek 19. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Próchnik w okresie 02.01.1995-29.12.2016

Źródło: opracowanie własne.



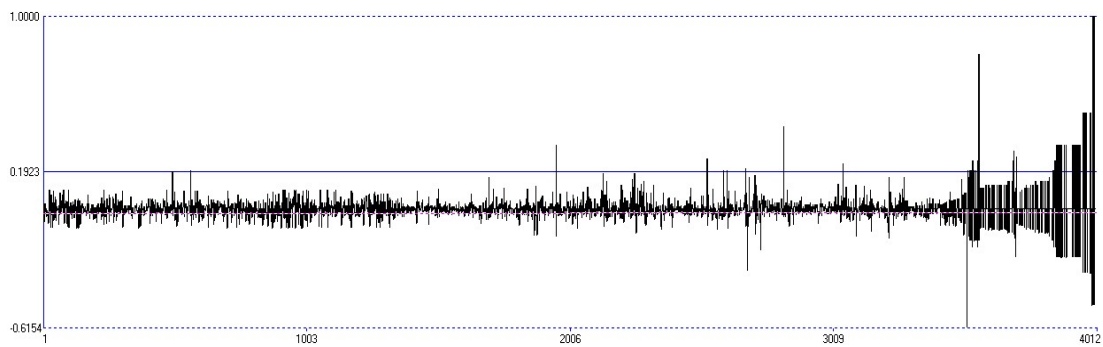
Rysunek 20. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Pronox w okresie 18.07.2007-05.04.2009

Źródło: opracowanie własne.



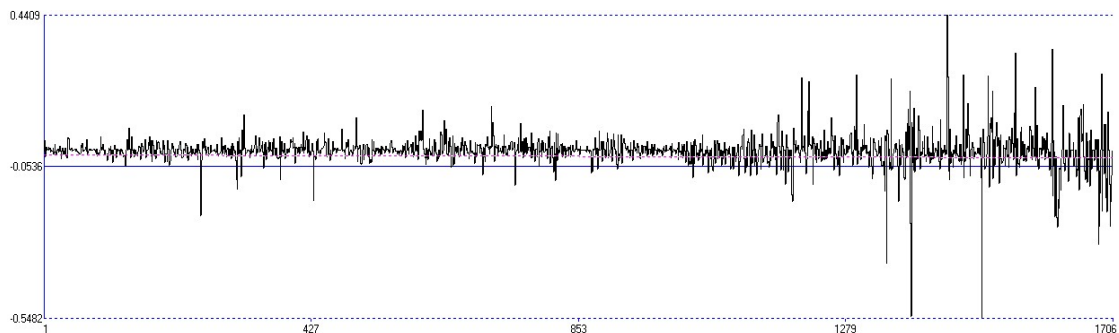
Rysunek 21. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu PZU w okresie 12.05.2010-29.12.2016

Źródło: opracowanie własne.



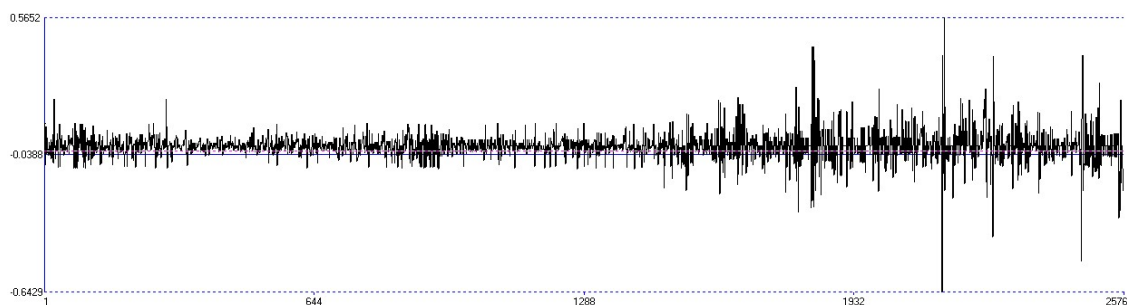
Rysunek 22. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 23. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Techmex w okresie 19.05.2004-11.03.2011

Źródło: opracowanie własne.



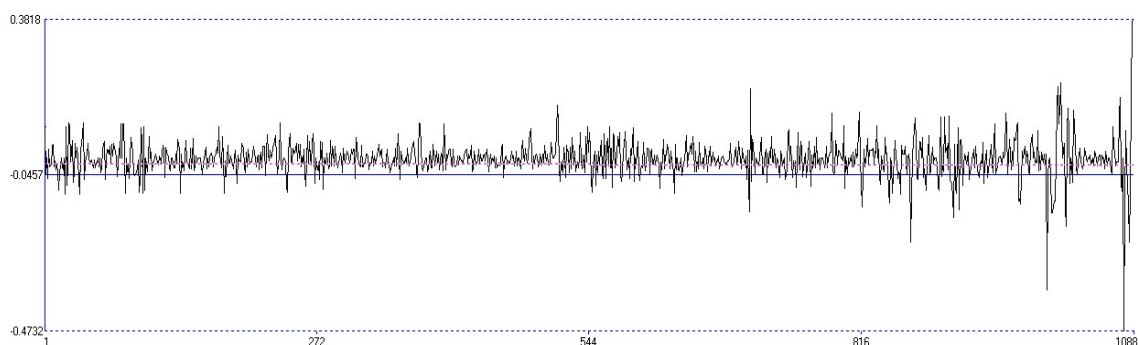
Rysunek 24. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Tonsil w okresie 02.01.1995-29.07.2005

Źródło: opracowanie własne.



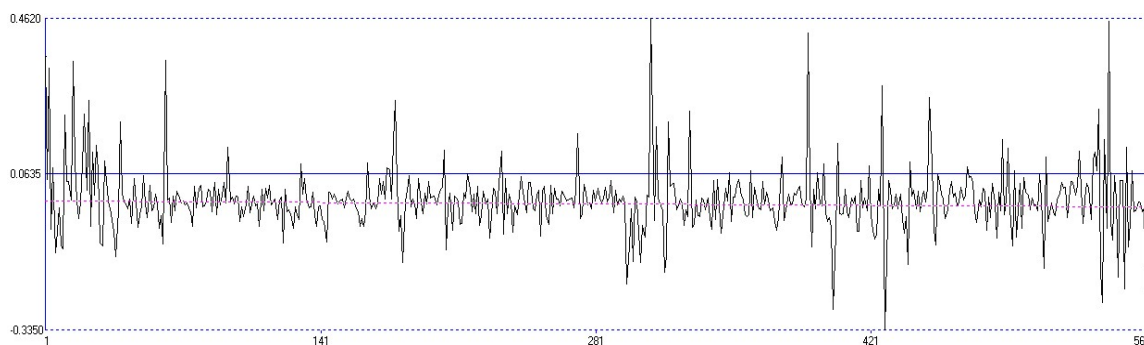
Rysunek 25. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Toora w okresie 30.12.1995-20.06.2008

Źródło: opracowanie własne.



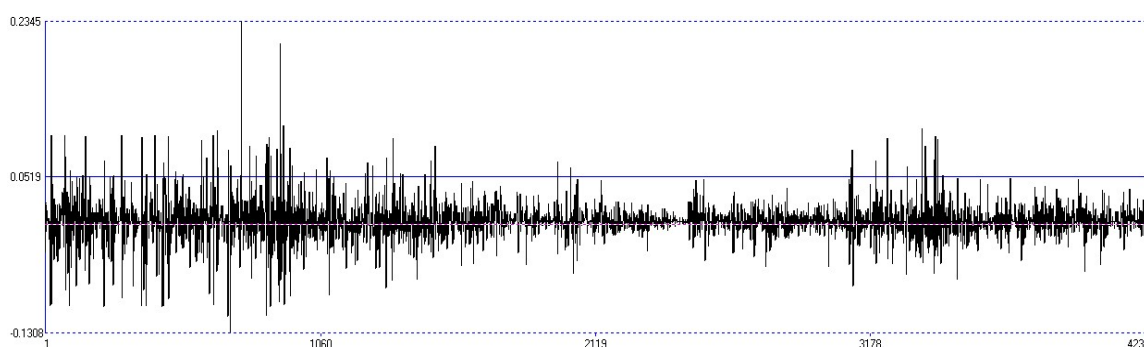
Rysunek 26. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Universal w okresie 02.01.1995-17.05.1999

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 27. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Zntklapy w okresie 07.11.2007-05.02.2010

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 28. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Żywiec w okresie 02.01.1995-29.12.2016

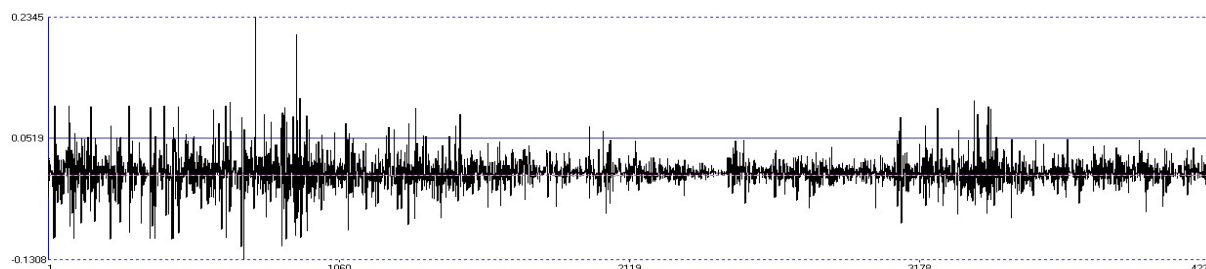
Źródło: opracowanie własne.

Eliminacja trendu w badanym szeregu czasowym notowań kursów akcji pozwala na wyeliminowanie skutków sygnałów płynących z rynku, np. zmiana przez inwestorów decyzji dotyczących zakupu lub sprzedaży akcji, kierujących się w jednym wypadku nadzieją na wzrosty kursów akcji, a z drugiej strony desperacją związaną ze spadkami kursów w obliczu nieuchronnej upadłości danej spółki na giełdzie. Dane dotyczące szeregu czasowego notowań spółki Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012 z trendem prezentuje rysunek nr 29. Na rysunku nr 30 przedstawiono szereg czasowy stóp zwrotu Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012 po wyeliminowaniu trendu z szeregu.



Rysunek 29. Szereg czasowy notowań spółki Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012 (szereg z trendem)

Źródło: <https://www.bankier.pl/inwestowanie/profile/quote.html?symbol=ZYWIEC> (dostęp: 12.09.2012).

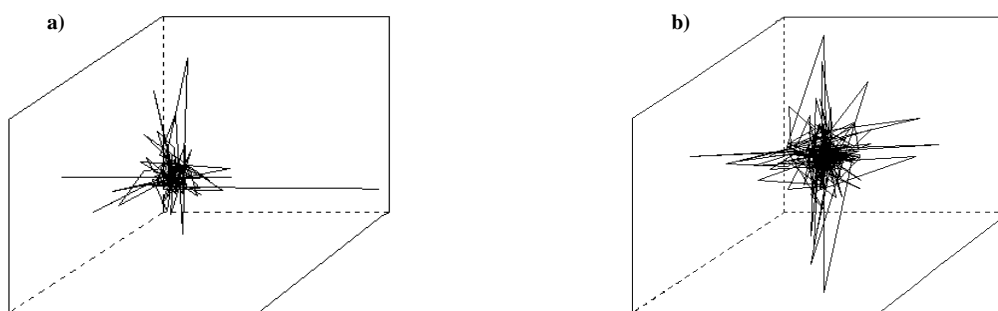


Rysunek 30. Szereg czasowy zwrotów notowań akcji Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012 (szereg po wyeliminowaniu trendu)

Źródło: opracowanie własne.

Przy rekonstrukcji atraktora badanych układów dynamicznych oparto się na obserwacji jego kształtu w przestrzeni fazowej podczas zmiany wartości opóźnienia czasowego. Korzystając z tej metody, przyjęto $\tau=7$ dni dla wszystkich sygnałów. Atraktory dla tej wartości τ posiadają wyraźny punkt przyciągania, zaś dla sygnału stochastycznego byłyby sześcianem równomiernie wypełniającym przestrzeń fazową¹⁹⁹. Atraktory układów dla wartości $\tau=7$ dla dwóch badanych spółek z polskiej giełdy przedstawiono na rysunku nr 31.

¹⁹⁹ *Przestrzeń fazowa* jest to wykres pokazujący wszystkie możliwe stany systemu (Siemieniuk N. (2001), s. 132).



Rysunek 31. Atraktor szeregu zwrotów notowań akcji a) spółki Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011, b) spółki Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012

Źródło: Opracowanie własne.

Badania dotyczące analizy fraktalnej na podstawie indeksu WiG z wykorzystaniem obu wyżej opisanych metod prezentuje tabela nr 4, gdzie pokazano porównanie wartości wykładnika Hursta dla indeksów giełdowych wybranych rynków kapitałowych, dane dla innych giełd niż giełda polska podano na podstawie pracy E.E. Petersa „Teoria chaosu a rynki kapitałowe”²⁰⁰.

Tabela 4. Wartości wykładnika Hursta dla wybranych rynków kapitałowych

Badany indeks	Wartość wykładnika Hursta
WIG (na podstawie szeregu przyrostów)	0,70
WIG (na podstawie analizy widma mocy szeregu)	0,88
S&P 500	0,78
MSCI Niemcy	0,72
MSCI Japonia	0,68
MSCI Wielka Brytania	0,68

Źródło: N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 159.

Porównując dane z tabeli 4., dotyczące indeksu WIG dla młodej polskiej giełdy z indeksami dla dojrzałych rynków kapitałowych z Niemiec, Japonii i Wielkiej Brytanii należy stwierdzić, iż wykorzystanie do eliminacji trendu w badanym szeregu czasowym stóp zwrotu daje bardziej wiarygodne wyniki (zbliżone do wyników otrzymanych dla rynków kapitałowych z dłuższym stażem niż polski rynek kapitałowy) niż wykorzystanie do

²⁰⁰ E. E. Peters, *Teoria chaosu*.....,op. cit., s. 91.

eliminacji trendu w badanym szeregu analizy widma mocy, na podstawie, której otrzymano wynik wykładnika Hursta w wysokości 0,88 (najbliższy maksymalnemu czyli 1), należy stwierdzić, iż jest to niewiarygodny, za idealny wynik jaki może osiągnąć indeks WIG na młodym polskim rynku kapitałowym. W związku z powyższym w pracy doktorskiej do eliminacji trendu w szeregach czasowych spółek z polskiej giełdy, wykorzystanych do analizy fraktalnej zastosowano metodę zwrotów cen akcji. Kolejny krok analizy fraktalnej dotyczył weryfikacji hipotezy głównej i hipotez szczegółowych dysertacji. Jak podano wyżej weryfikację hipotezy głównej stanowią następujące hipotezy szczegółowe dysertacji:

H1: Dodatkowo wykładniki Lapunowa stanowią wyznacznik fraktalności polskich spółek giełdowych i określają tempo, w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań danej spółki na giełdzie. W dysertacji zakłada się, iż spółki akcyjne notowane na polskiej giełdzie posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa i są systemami chaotycznymi (czwarty rozdział dysertacji);

H2: Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają wysoki wymiar fraktalny w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej (piąty rozdział dysertacji);

H3: Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej (szósty rozdział dysertacji).

Wykładnik Lapunowa jest miarą dynamiki atraktora i wyznacznikiem wrażliwości układu na zmiany warunków początkowych, czyli tego, w jaki sposób prognozowanie oparte na niedokładnym szacunku warunków wyjściowych będzie odbiegać od rzeczywistego rozwoju danego systemu. Wykładnik Lapunowa wyraża tempo, w jakim traci się zdolność przewidywania przyszłych zachowań systemu. W przypadku systemów chaotycznych wykładnik Lapunowa jest liczbą dodatnią²⁰¹. Wyniki badań własnych dotyczących wykładnika Lapunowa i weryfikacji hipotezy szczegółowej H1 zawarto w podrozdziałach 4.2 i 4.3 dysertacji.

Trajektorie układu chaotycznego w przestrzeni fazowej nie tworzą żadnego pojedynczego obiektu geometrycznego, takiego jak okrąg lub torus, tworzą zaś obiekty nazywane dziwnymi atraktorami, których struktura przypomina strukturę fraktala. Wymiar fraktalny opisuje, w jaki sposób układ wypełnia swoją przestrzeń i jest skutkiem wszystkich czynni-

²⁰¹ N. Siemieniuk, *Wykorzystanie teorii chaosu deterministycznego do analizy rynków kapitałowych na przykładzie indeksu WiG*, „Optimum. Studia Ekonomiczne”, 2009, nr 4(44), s. 95.

ków wpływających na ten układ. Wymiar fraktalny jest ważną informacją o systemie, ponieważ umożliwia określenie minimalnej liczby zmiennych dynamicznych, potrzebnych do opisanego układu. Jednocześnie wymiar fraktalny stanowi dolną granicę liczby możliwych stopni swobody. Wyniki badań dotyczących analizy wymiaru fraktalnego i weryfikacji hipotezy szczegółowej H2 zawarto w piątym rozdziale dysertacji.

Wykładnika Hursta jest miarą, która powinna być bliska liczbie 1 dla sygnału chaotycznego, zaś dla szeregów stochastycznych – liczbie 0,5. W przypadku danych giełdowych, wartość wykładnika jest zwykle liczbą z zakresu od 0,5 do 1, przy czym wysoka wartość określa układ bardziej zdeterminowany, zaś bliższa 0,5 mówi, że sygnał bardziej przypomina „szum”. Wyniki badań dotyczących analizy i weryfikację hipotezy szczegółowej H3 fraktalnej zawiera szósty rozdział dysertacji.

ROZDZIAŁ 4.

WYKŁADNIKI LAPUNOWA WYZNACZNIKIEM FRAKTALNOŚCI I TEMPA TRACENIA ZDOLNOŚCI PRZEWIDYWANIA PRZYSZŁYCH ZACHOWAŃ SPÓLEK AKCYJNYCH Z POLSKIEJ GIELDY - W ŚWIETLE WYNIKÓW BADAŃ EMPIRYCZNYCH

4.1. Istota wykładników Lapunowa

Wykładniki Lapunowa są jednym z narzędzi teorii chaosu deterministycznego, które mierzą wrażliwość systemów dynamicznych na zmianę warunków początkowych. Dodatni wykładnik mierzy rozciąganie się przestrzeni stanów, czyli określa, w jaki sposób prognoza oparta na niedokładnym szacunku danych wyjściowych będzie odbiegać od rzeczywistego rozwoju systemu. W drugim ujęciu wykładnik Lapunowa pozwala wyznaczyć czas, po którym zaniknie wartość naszych prognoz. Ujemny wykładnik Lapunowa jest miarą zbieżności punktów przestrzeni fazowej, czyli precyzuje, ile czasu potrzebuje system na powrót do stanu pierwotnego po wcześniejszym zaburzeniu go. Określenie wartości wykładników Lapunowa jest ścisłym kryterium chaotyczności. Układ jest chaotyczny, jeśli posiada przynajmniej jeden dodatni wykładnik Lapunowa. W takiej sytuacji w przestrzeni fazowej blisko leżące trajektorie po pewnym czasie mogą dowolnie od siebie oddalić się. Choć dla idealnie dokładnie zadanych parametrów początkowych, można dokładnie przewidzieć zachowanie się układu, to w praktyce, nawet gdy warunki początkowe znane są ze skończoną dokładnością, w krótkim czasie układ staje się nieprzewidywalny²⁰².

Dla danych pomiarowych w postaci szeregu czasowego: $\{x_n\} = \{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n\}$ niemożliwe jest wyznaczenie wszystkich współczynników Lapunowa. Możliwe jest natomiast wyznaczenie wartości największego wykładnika Lapunowa. W tym przypadku na atraktorze zanurzonym w D wymiarowej przestrzeni wybiera się dwa punkty odległe od siebie o co najmniej jeden okres orbitalny. Odległość tych punktów wynosi $L(\tau_j)$. Następnie jest obliczana odległość wybranych punktów po upływie pew-

²⁰² M. Miśkiewicz, *Zastosowanie wykładników Lapunowa i wykładnika Hursta do predykcji kursów walutowych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2007, s. 5-7.

nego czasu ewolucji. Nowa odległość pary punktów wynosi $L'(\tau_{j+1})$. Największy wykładnik Lapunowa jest obliczany według wzoru 15²⁰³.

$$L_1 = \frac{1}{\tau} \sum_{j=1}^m \log_2 \frac{L'(\tau_{j+1})}{L(\tau_j)}$$

Legenda:

m – oznacza wymiar pojemnościowy,

τ – oznacza opóźnienie czasowe.

Wzór 15. Konstrukcja największego wykładnika Lapunowa

Źródło: E.E. Peters, *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, Wydawnictwo Wig Press, Warszawa 1997, s. 156.

Wyznaczenie największego wykładnika Lapunowa możliwe jest w przypadku, gdy są znane takie charakterystyki atraktora, jak: wymiar fraktalny, średni czas orbitalny oraz opóźnienie czasowe. Natomiast do wyznaczenia wymiaru fraktalnego atraktora konieczna jest znajomość wielkości opóźnienia czasowego – wielkości niezbędnej do rekonstrukcji atraktora. Dla długich szeregów czasowych wyniki obliczeń wartości L_1 dążą do stabilnej wartości, która jest oszacowaniem wielkości największego wykładnika Lapunowa. Wykładnik Lapunowa wskazuje, czy zachowanie układu dynamicznego jest chaotyczne. Można go zdefiniować w postaci równania (wzór 16)²⁰⁴.

$$\lambda(z_o) = \lim_{N \rightarrow \infty} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{N} \ln \left| \frac{f^N(z_o + \tau) - f^N(z_o)}{\tau} \right|$$

Legenda:

z_o – warunek początkowy,

f' – pochodna odwzorowania określającego zachowanie układu.

Wzór 16. Wykładnik Lapunowa

Źródło: H.G. Schuster, *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, Wydawnictwo WPN, Warszawa 1993, s. 35.

²⁰³ E.E. Peters, *Teoria chaosu*, op. cit., s. 156.

²⁰⁴ H.G. Schuster, *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, Wydawnictwo WPN, Warszawa 1993, s. 35.

Parametr f^N w powyższym wzorze jest N -krotnym złożeniem funkcji f występującej w równaniu opisującym zachowanie układu dynamicznego. Jest on miarą zmiany odległości pomiędzy dwoma początkowymi punktami (z_0) i $(z_0+\tau)$, które ewoluują przez N iteracji. Współczynnik Lapunowa jest również miarą utraty informacji o układzie w jednej iteracji. W przypadku, gdy $\lambda > 0$, o układzie dynamicznym mówimy, że jego zachowanie jest chaotyczne²⁰⁵. Jeżeli dla układu dynamicznego dwukrotnie wyznaczy się jednakowy punkt startu, to wykładnik Lapunowa wyznaczy średni wzrost błędów pomiędzy wartościami punktu dla określonego czasu T . Wykładnik oblicza się dla każdego wymiaru. Jeśli któryś z wykładników równy jest 0, wówczas do opisanego systemu wystarczą zwykle równania różniczkowe. Jeżeli którykolwiek z wykładników Lapunowa układu jest większy od zera, to przyjmuje się, że układ jest chaotyczny.

Podsumowując, można stwierdzić, iż²⁰⁶:

- jeśli wykładnik Lapunowa jest < 0 , to orbita zmierza do stabilnego punktu (np. tłumione wahadło);
- jeśli wykładnik Lapunowa jest $= 0$, to orbita zmierza do neutralnego stałego punktu, a to oznacza, że system znajduje się w stabilnym stadium rozwoju;
- jeśli wykładnik Lapunowa jest > 0 , to orbita jest niestabilna i chaotyczna, a dwa bliskie stany początkowe oddalają się od siebie z upływem czasu.

Wykładnik Lapunowa układu dynamicznego jest zatem miarą charakteryzującą tempo separacji nieskończenie bliskich trajektorii. Pozwala on ustalić zachowanie się układu dynamicznego w stosunku do określonych zmiennych (parametrów). Współczynnik Lapunowa służy do badania układów dynamicznych. Za jego pomocą Lapunow badał jak szybko wzrasta odległość pomiędzy dwiema bliskimi trajektoriami w czasie ewolucji. Jeśli układ dynamiczny jest chaotyczny, odległość taka rośnie w czasie t wykładniczo, a współczynnik, zwany wykładnikiem Lapunowa, jest dodatni. Wykładniki Lapunowa umożliwiają ocenę zjawiska chaotycznego w tzw. przestrzeni fazowej, ta zaś jest sposobem obrazowania wielowymiarowych zjawisk dynamicznych²⁰⁷. W praktyce, ważne jest określenie zachowania układu w przyszłości. Występowanie dodatniego współczynnika Lapunowa nie pozwala na prognozowanie ewolucji pojedynczego stanu w dłuższym okresie. Im wykładnik Lapunowa jest wyższy, tym większa jest chaotyczność

²⁰⁵ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości.....*, op. cit., s. 152.

²⁰⁶ A. Ossowski, *Analiza jakościowa w zagadnieniach dynamiki i sterowania układów mechatronicznych*, PAN, Warszawa 2007, s. 80-86.

²⁰⁷ A. Ossowski, *Analiza jakościowa.....*, op. cit., s. 85.

systemu oraz większa jest niepewność prognozy. Jednak orbity się rozbiegają, punkty nie ewoluują w nieskończoność i dlatego system chaotyczny może w nieskończoność zbiegać do atraktora – pewnego ograniczonego punktu²⁰⁸.

Wykładnik Lapunowa jest miarą dynamiki atraktora. Jest on wyznacznikiem wrażliwości układu na zmiany warunków początkowych, czyli tego, w jaki sposób prognozowanie oparte na niedokładnym szacunku warunków wyjściowych będzie odbiegać od rzeczywistego rozwoju danego systemu. Wykładnik Lapunowa wyraża również tempo, w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań systemu. W przypadku systemów chaotycznych wykładnik Lapunowa jest liczbą dodatnią²⁰⁹. Chaotyczne systemy dynamiczne wyróżnia duża wrażliwość na warunki początkowe. Ważnym sposobem wyznaczania wrażliwości układu na warunki początkowe jest analiza widmowa Lapunowa, która pozwala na wykrywanie obecności tej właściwości w sygnałach eksperymentalnych i układach dynamicznych, do których można zaliczyć polską giełdę²¹⁰.

4.2. Opracowanie wyników badań, analiza oraz weryfikacja hipotezy badawczej H1

Celem podrozdziału jest weryfikacja hipotezy H1 sformułowanej następująco: Dodatkowo wykładniki Lapunowa stanowią wyznacznik fraktalności polskich spółek giełdowych i określają tempo, w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań danej spółki na giełdzie. W dysertacji zakłada się, iż spółki akcyjne notowane na polskiej giełdzie posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa i są systemami chaotycznymi. Aby zweryfikować tak sformułowaną hipotezę, dokonano analizy wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy za pomocą metod chaosu deterministycznego z wykorzystaniem wykładników Lapunowa (tabela 5.).

W tabeli 5. podano wyniki obliczeń wartości największego wykładnika Lapunowa dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy. Z uwagi na niewielką liczbę danych (GPW funkcjonuje od 12 kwietnia 1991 roku) obliczenia dla wybranych spółek z Giełdy Papierów Wartościowych w Warszawie przeprowadzono dla $\tau=7$.

²⁰⁸ J. Kwiatkowski, W. Orzeszko, *Dynamiczne Modele Ekonometryczne*, „VII Ogólnopolskie Seminarium Naukowe”, Toruń, 2001, s. 315.

²⁰⁹ N. Siemieniuk, *Wykorzystanie teorii chaosu deterministycznego.....*, op. cit., s. 95.

²¹⁰ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości*, op. cit., s. 150.

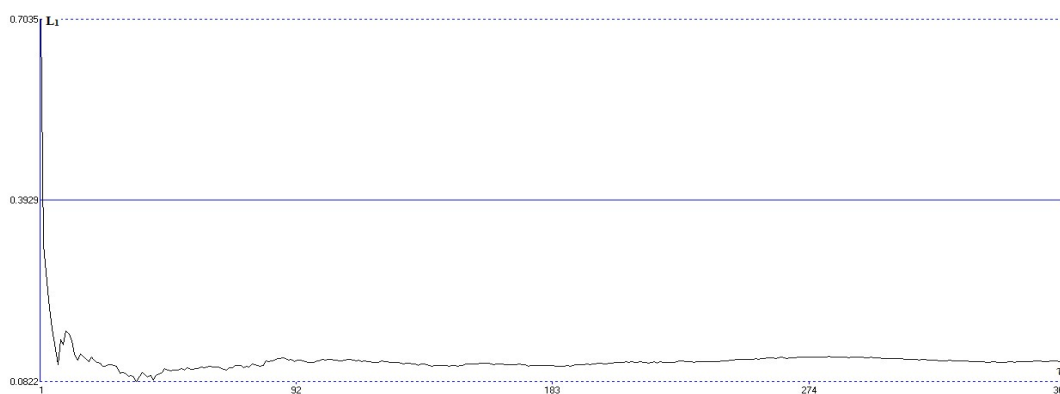
Tabela 5. Wartość wykładnika Lapunowa dla wybranych spółek akcyjnych na polskiej giełdzie

Nazwa spółki akcyjnej	Wartość wykładnika Lapunowa	Cykl w miesiącach 1/wykładnik L Czas utraty informacji
Dębica	0,027	$(1/0,027)*7/30=8,6$
Emperia	0,022	$(1/0,022)*7/30=10,6$
KGHM	0,028	$(1/0,028)*7/30=8,3$
Krosno	0,089	$(1/0,089)*7/30=2,6$
mBank	0,019	$(1/0,019)*7/30=12,2$
PKOBP	0,024	$(1/0,024)*7/30=9,7$
Pronox	0,091	$(1/0,091)*7/30=2,5$
Próchnik	0,030	$(1/0,030)*7/30=7,7$
PZU	0,021	$(1/0,021)*7/30=11,1$
Swarzędz	0,095	$(1/0,095)*7/30=2,4$
Techmex	0,056	$(1/0,056)*7/30=4,1$
Tonsil	0,064	$(1/0,064)*7/30=3,6$
Toora	0,041	$(1/0,041)*7/30=5,6$
Universal	0,079	$(1/0,079)*7/30=2,9$
Zntklapy	0,101	$(1/0,101)*7/30=2,3$
Żywiec	0,018	$1/0,018)*7/30=12,9$

Źródło: opracowanie własne.

Jak wspomniano wyżej, wyznacznikiem wrażliwości układu na zmiany warunków początkowych (dynamiki atraktora) jest wykładnik Lapunowa. Pozwala on na oszacowanie tego, w jaki sposób prognozowanie oparte na niedokładnym szacunku warunków wyjściowych będzie odbiegać od rzeczywistego rozwoju danego systemu. Wykładnik Lapunowa wyraża również tempo, w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań systemu. W przypadku układów chaotycznych wykładnik Lapunowa jest liczbą dodatnią. Wykładnik Lapunowa dla spółki akcyjnej spółki Dębica wynosi 0,027 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe jest analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Kolejna analiza dotyczy zdolności przewidywania przyszłych zachowań spółki Dębica na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Według E. E. Petersa, wykładniki Lapunowa można interpretować na dwa sposoby. Po pierwsze, oznaczają one, że na przykład w przypadku rynku amerykańskiego tracimy zdolność przewidywania w tempie 0,0241 bitów na miesiąc. Gdybyśmy potrafili zmierzyć warunki początkowe z dokładnością jednego bita, po 42 miesiącach stracilibyśmy całkowicie zdolność prognozowania. Jest to interpretacja nastawiona na

przyszłość. Istnieje również interpretacja zwrócona ku przeszłości, która mówi, że po 42 miesiącach system traci pamięć o warunkach wyjściowych. Można powiedzieć, iż po okresie 42 miesięcy zanikają korelacje między zdarzeniami²¹¹. Powołując się na E. E. Petersa, można stwierdzić, iż dla spółki Dębica system traci informację po około 8,6 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Dębica na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych, co oznacza, że po 8,6 miesiąca należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Jak podano dla danych pomiarowych w postaci szeregu czasowego niemożliwe jest wyznaczenie wszystkich współczynników Lapunowa. Możliwe jest natomiast wyznaczenie wartości największego wykładnika Lapunowa. Dla długich szeregów czasowych wyniki obliczeń wartości wykładników Lapunowa dążą do stabilnej wartości, która jest oszacowaniem największego wykładnika Lapunowa. Na rysunku nr 32 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Dębica w okresie 02.01.1995-29.12.2016. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe jest oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Dębica za pomocą metod chaosu deterministycznego.



Rysunek 32. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Dębica w okresie 02.01.1995- 29.12.2016

Legenda:

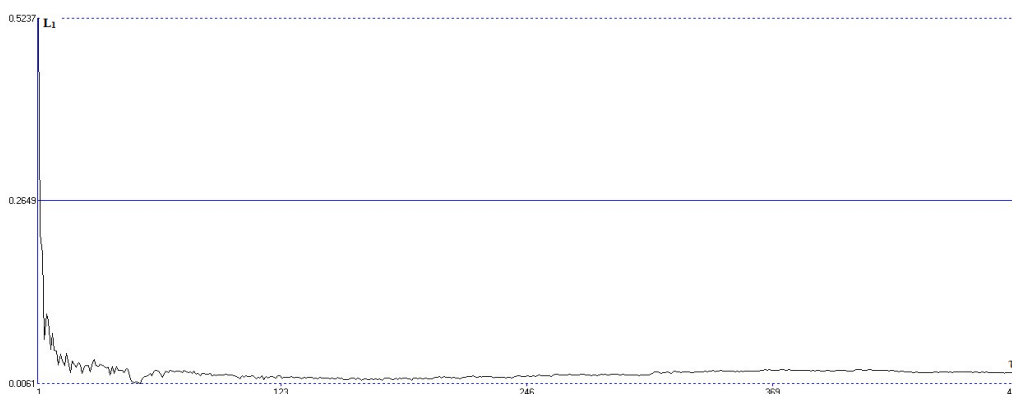
oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y- L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

²¹¹ E. E. Peters, *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, WIG PRESS, Warszawa 1997, s. 174-175.

Kolejną spółką akcyjną, funkcjonującą na polskiej giełdzie, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Emperia. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Emperia wynosi 0,022 (tabela 5.) co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe jest analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Emperia system traci informację po około 10,6 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Emperia na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych, a to świadczy o tym, że po 10,6 miesiąca należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Na rysunku nr 33 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Emperia w okresie 03.01.1995- 29.12.2016. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe jest oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Emperia za pomocą metod chaosu deterministycznego.



Rysunek 33. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Emperia w okresie 03.01.1995- 29.12.2016

Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y - L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, funkcjonującą na polskiej giełdzie, poddaną analizie fraktalnej jest spółka KGHM. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki KGHM wynosi 0,028 (tabela 5.) co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe jest analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki KGHM system traci informację po około 8,3 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym

okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki KGHM na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych, a to świadczy o tym, że po 8,3 miesiąca należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Na rysunku nr 34 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji KGHM w okresie 10.07.1997- 29.12.2016. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe jest oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie dokonanie analizy notowań akcji KGHM za pomocą metod chaosu deterministycznego.



Rysunek 34. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji KGHM w okresie 10.07.1997- 29.12.2016

Legenda:

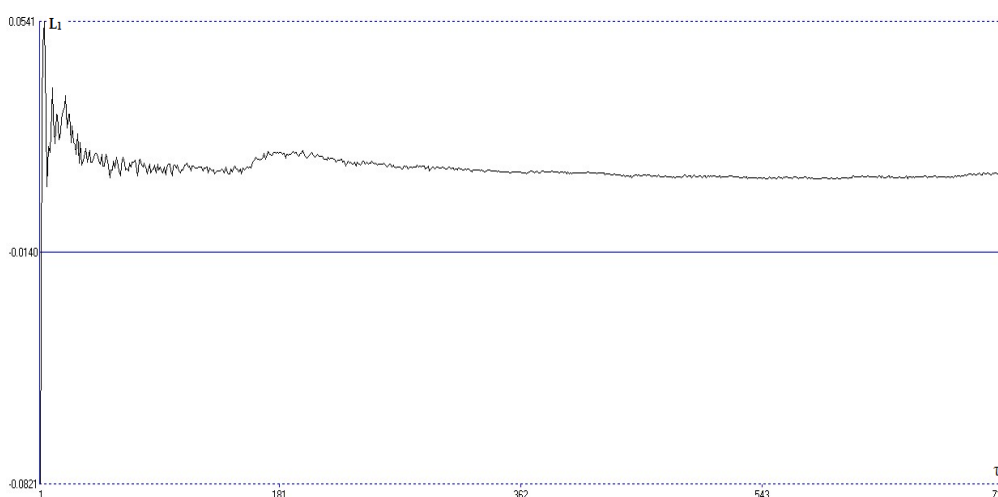
oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y- L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Krosno. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Krosno wynosi 0,089 (tabela 5.) co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe było analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Krosno system traci informację po około 2,6 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Krosno na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych. Na rysunku nr 35 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu

czasowego dla notowań akcji Krosno w okresie 02.01.1995-29.10.2009. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe było oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Krosno za pomocą metod chaosu deterministycznego. W 2009 roku ogłoszono upadłość firmy obejmującą likwidację majątku. Decyzję podjął Sąd Rejonowy w Krośnie 27 marca 2009 roku, dalszą analizę fraktalną, wskazującą na słabą kondycję spółki Krosno, zawarto w kolejnych rozdziałach dysertacji.



Rysunek 35. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Krosno w okresie 02.01.1995- 29.10.2009

Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y- L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, funkcjonującą na polskiej giełdzie, poddaną analizie fraktalnej jest spółka mBank. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki mBank wynosi 0,019 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe jest analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki 0,019 system traci informację po około 12,2 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki mBank na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych, co oznacza, że po 12,2 miesiąca należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Na rysunku nr 36 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji dla chaotycznego szeregu czasowego dla

notowań akcji mBank w okresie 02.01.1995-29.12.2016. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe jest oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji mBank za pomocą metod chaosu deterministycznego.



Rysunek 36. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji mBank w okresie 02.01.1995-29.12.2016

Legenda:

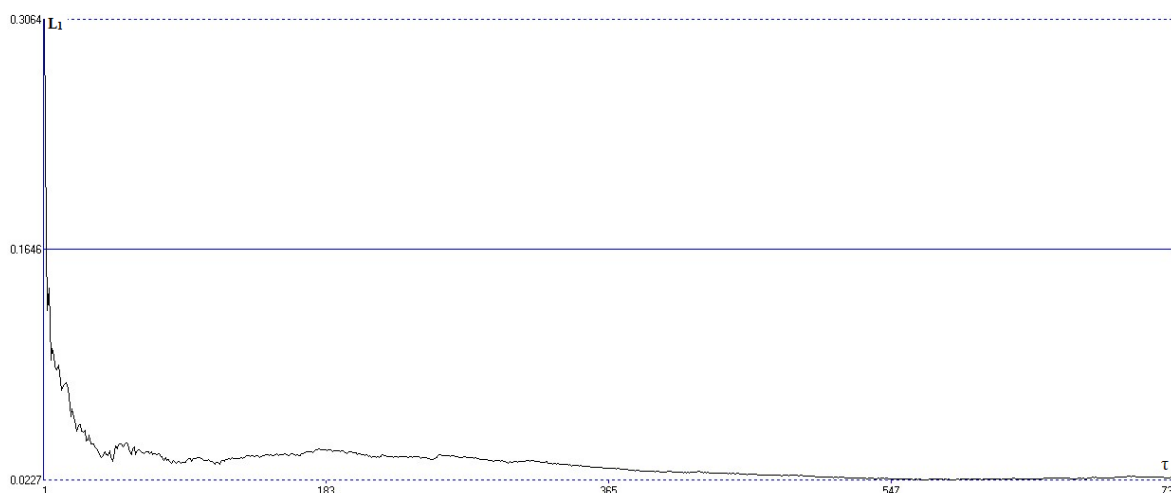
oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y - L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, funkcjonującą na polskiej giełdzie, poddaną analizie fraktalnej jest PKOBP. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji PKOBP wynosi 0,024 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe jest analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki PKOBP system traci informację po około 9,7 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki PKOBP na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych, a to świadczy o tym, że po 9,7 miesiąca należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Na rysunku nr 37 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji PKOBP w okresie 10.11.2004-29.12.2016. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe jest oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy

notowań akcji PKOBP za pomocą metod chaosu deterministycznego.



Rysunek 37. Zbieżność największego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji PKOBP w okresie 10.11.2004-29.12.2016

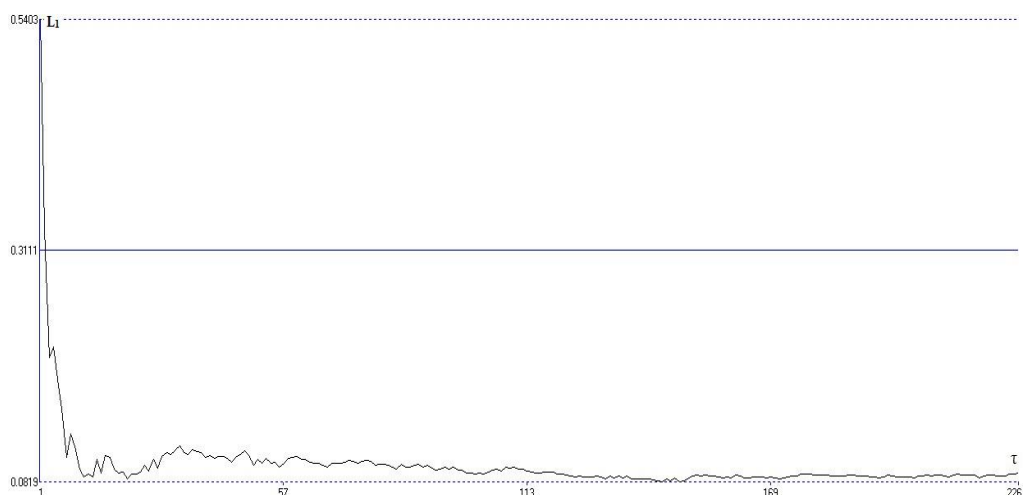
Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y - L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Pronox. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Pronox wynosi 0,091 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe było analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Pronox system traci informację po około 2,5 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Pronox na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych. Na rysunku nr 38 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Pronox w okresie 18.07.2007-05.04.2009. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe było oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Pronox za pomocą metod chaosu deterministycznego. W dniu 27 maja 2009 roku Zarząd Pronox Technology SA złożył w Sądzie Rejonowym w Katowicach wniosek o ogłoszenie upadłości z możliwością zawarcia układu, a dalszą analizę fraktalną wskazującą na słabą kondycję spółki Pronox zawarto w kolejnych rozdziałach dysertacji.



Rysunek 38. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Pronox w okresie 18.07.2007-05.04.2009

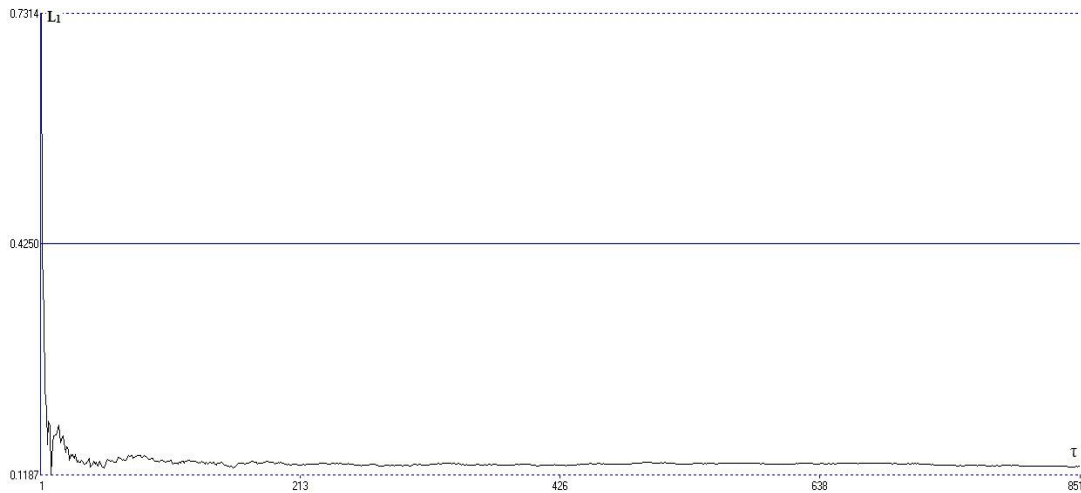
Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y- L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, funkcjonującą na polskiej giełdzie, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Próchnik. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Próchnik wynosi 0,030 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe jest analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Próchnik system traci informację po około 7,7 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Próchnik na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych, a to świadczy o tym, że po 7,7 miesiąca należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Na rysunku nr 39 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji dla chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Próchnik w okresie 02.01.1995-29.12.2016. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe jest oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Próchnik za pomocą metod chaosu deterministycznego.



Rysunek 39. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Próchnik w okresie 02.01.1995- 29.12.2016

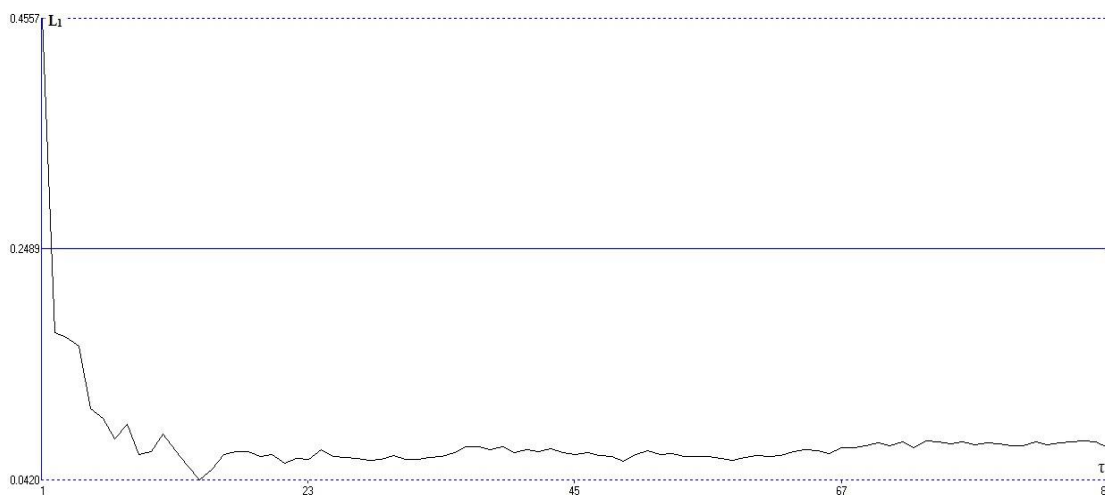
Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y- L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, funkcjonującą na polskiej giełdzie, poddaną analizie fraktalnej jest spółka PZU. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki PZU wynosi 0,021 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe jest analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki PZU system traci informację po około 11,1 miesiąca (5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki PZU na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych, co oznacza, że po 11,1 miesiąca należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Na rysunku nr 40 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji PZU w okresie 12.05.2010-29.12.2016. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe jest oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji PZU za pomocą metod chaosu deterministycznego.



Rysunek 40. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji PZU w okresie 12.05.2010-29.12.2016

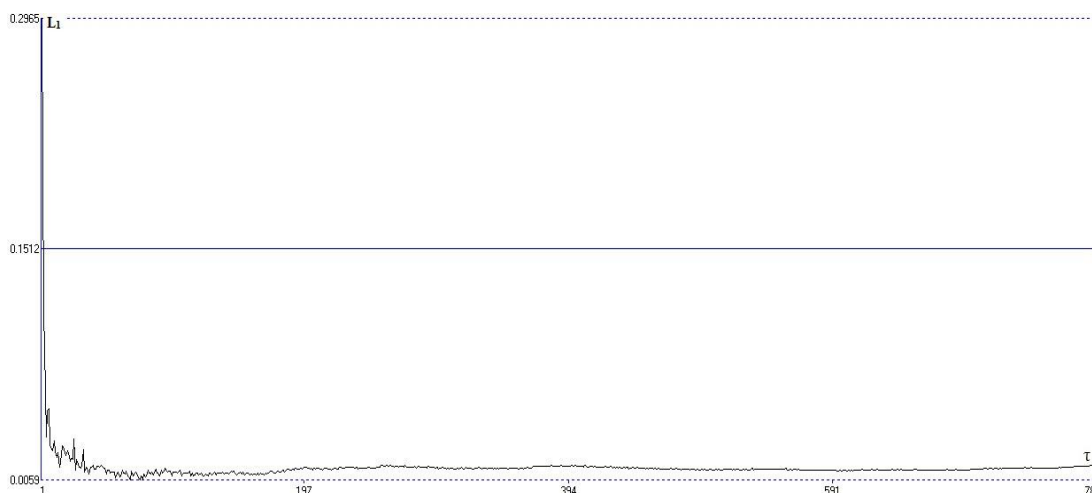
Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y - L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Swarzędz. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Swarzędz wynosi 0,095 (tabela 5.) co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe było analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Swarzędz system traci informację po około 2,4 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Swarzędz na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych. Na rysunku nr 41 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe było oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Swarzędz za pomocą metod chaosu deterministycznego. Sąd Rejonowy Poznań-Stare Miasto w Poznaniu postanowieniem z dnia 7 lipca 2010 roku ogłosił upadłość obejmującą likwidację majątku dłużnika Swarzędz Meble SA w likwidacji z siedzibą w Swarzędzu, a dalszą analizę, fraktalną wskazującą na słabą kondycję spółki Swarzędz, zawarto w kolejnych rozdziałach dysertacji.



Rysunek 41. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011

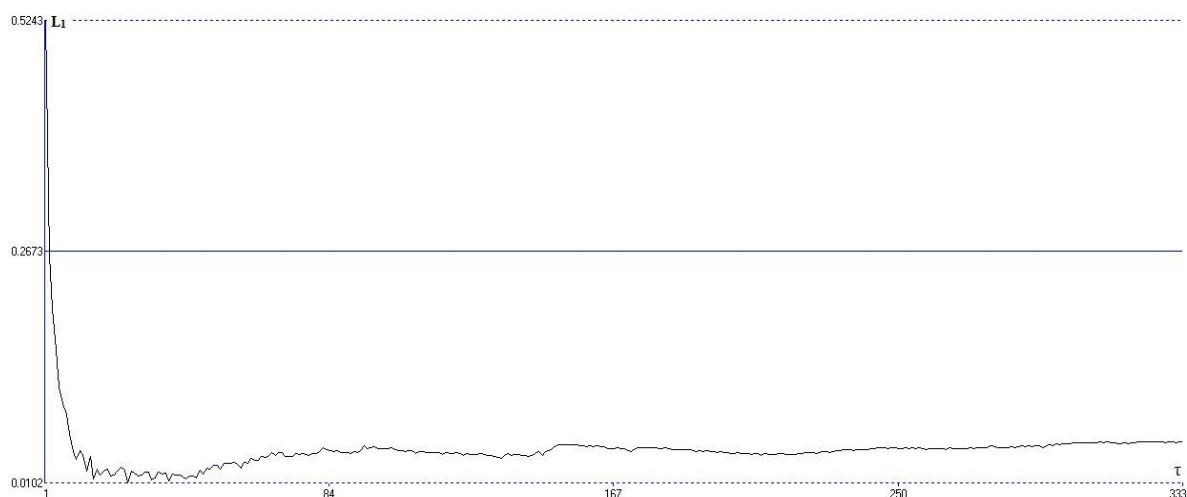
Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y - L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Techmex. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Techmex wynosi 0,056 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe było analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Techmex system traci informację po około 4,1 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Techmex na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych. Na rysunku nr 42 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Techmex w okresie 19.05.2004-11.03.2011. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe było oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Techmex za pomocą metod chaosu deterministycznego. W 2010 roku ogłoszono upadłość firmy obejmującą likwidację majątku. Decyzję podjął Sąd Rejonowy 5 listopada 2010 roku, dalszą analizę fraktalną, wskazującą na słabą kondycję spółki Techmex, zawarto w kolejnych rozdziałach dysertacji.



Rysunek 42. Zmiany wartości wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Techmex w okresie 19.05.2004-11.03.2011

Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y - L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Tonsil. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Tonsil wynosi 0,064 (tabela 5.) co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe było analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Tonsil system traci informację po około 3,6 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Tonsil na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych. Na rysunku nr 43 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Tonsil w okresie 02.01.1995-29.07.2005. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe było oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Tonsil za pomocą metod chaosu deterministycznego. W dniu 7 kwietnia 2004 roku decyzją sądu ogłoszono upadłość firmy Tonsil, natomiast 8 lutego 2006 roku datę zakończenia postępowania upadłościowego, a dalszą analizę fraktalną, wskazującą na słabą kondycję spółki Tonsil, zawarto w kolejnych rozdziałach dysertacji.



Rysunek 43. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Tonsil w okresie 02.01.1995-29.07.2005

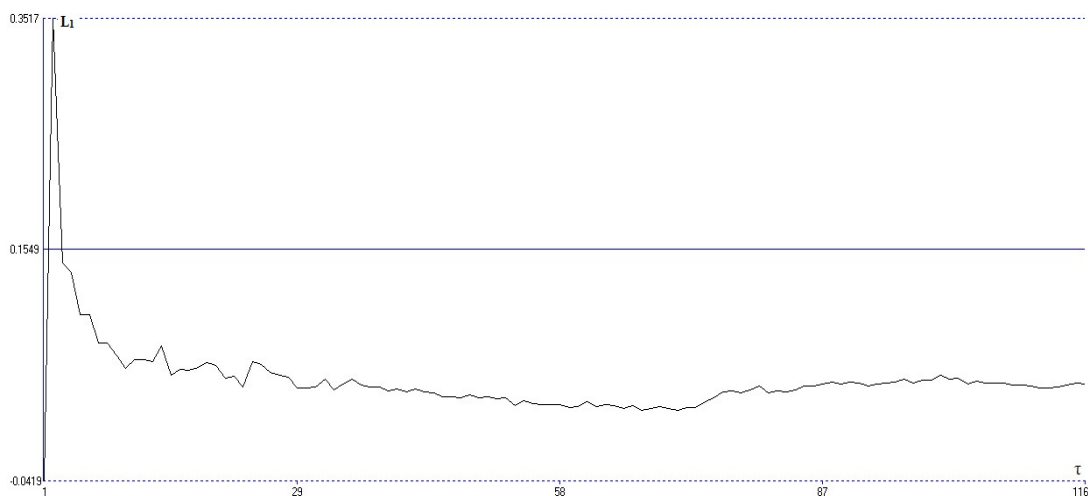
Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y - L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Toora. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Toora wynosi 0,041 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe było analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Toora system traci informację po około 5,6 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Toora na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych. Na rysunku nr 44 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Toora w okresie 30.12.1995-20.06.2008. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe było oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Toora za pomocą metod chaosu deterministycznego. Sąd Rejonowy w Tarnobrzegu postanowieniem z dnia 15 listopada 2007 roku ogłosił upadłość obejmującą likwidację majątku dłużnika TOORA Poland SA w Nisku. Dalszą analizę fraktalną, wskazującą na słabą kondycję spółki Toora, zawarto w kolejnych rozdziałach dysertacji.



Rysunek 44. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Toora w okresie 30.12.1995- 20.06.2008

Legenda:

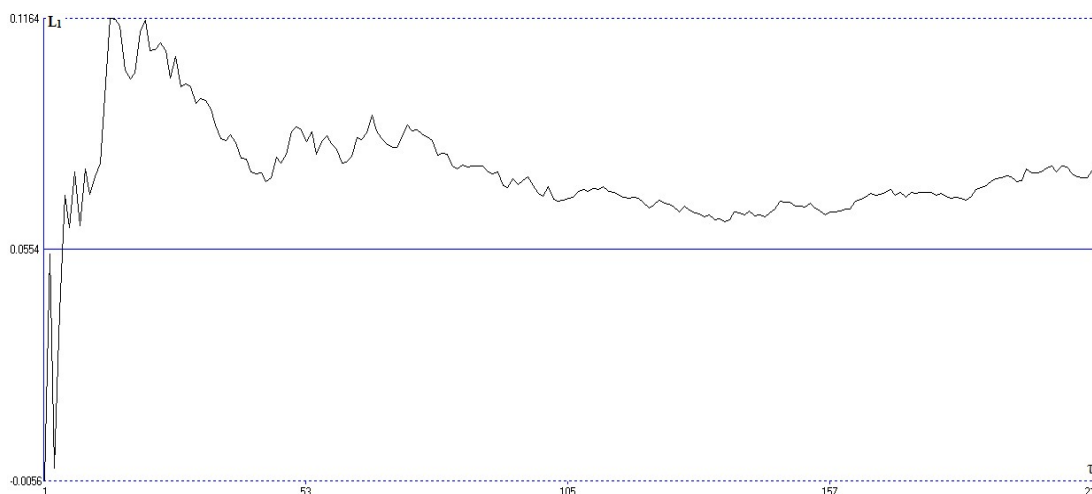
oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y- L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Universal. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Universal wynosi 0,079 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe było analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Universal system traci informację po około 2,9 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Universal na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych. Na rysunku nr 45 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Universal w okresie 02.01.1995-17.05.1999. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe było oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Universal za pomocą metod chaosu deterministycznego. Postanowieniem z dnia 11 lipca 2013 roku Sąd Rejonowy dla miasta stołecznego Warszawy w Warszawie stwierdził zakończenie postępowania upadłościowego Universal SA z siedzibą w Warszawie. Dalszą analizę fraktalną, wskazującą

na słabą kondycję spółki Universal, zawarto w kolejnych rozdziałach dysertacji.



Rysunek 45. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Universal w okresie 02.01.1995-17.05.1999

Legenda:

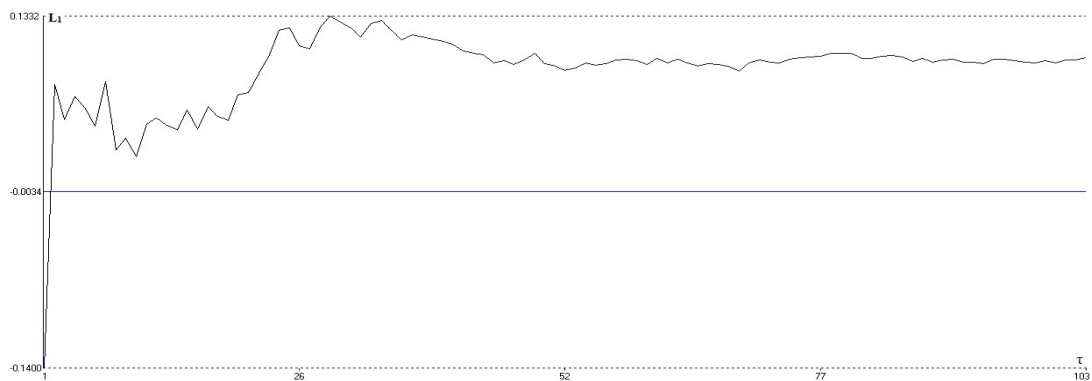
oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y- L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Zntklapy. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Zntklapy wynosi 0,101 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe było analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Dla spółki Zntklapy system traci informację po około 2,3 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Zntklapy na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych. Na rysunku nr 46 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Zntklapy w okresie 07.11.2007-05.02.2010. Jak wynika z rysunku, wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe było oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji Zntklapy za pomocą metod chaosu deterministycznego. 28 lipca 2009 roku Gospodarczy Sąd Rejonowy w Białymstoku ogłosił upadłość likwidacyjną Zakładów Naprawczych Taboru Kolejowego SA w Łapach. Dalszą analizę fraktalną, wskazującą na słabą kondycję spółki Zntklapy, zawarto w kolejnych

rozdziałach dysertacji.



Rysunek 46. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Zntklapy w okresie 07.11.2007-05.02.2010

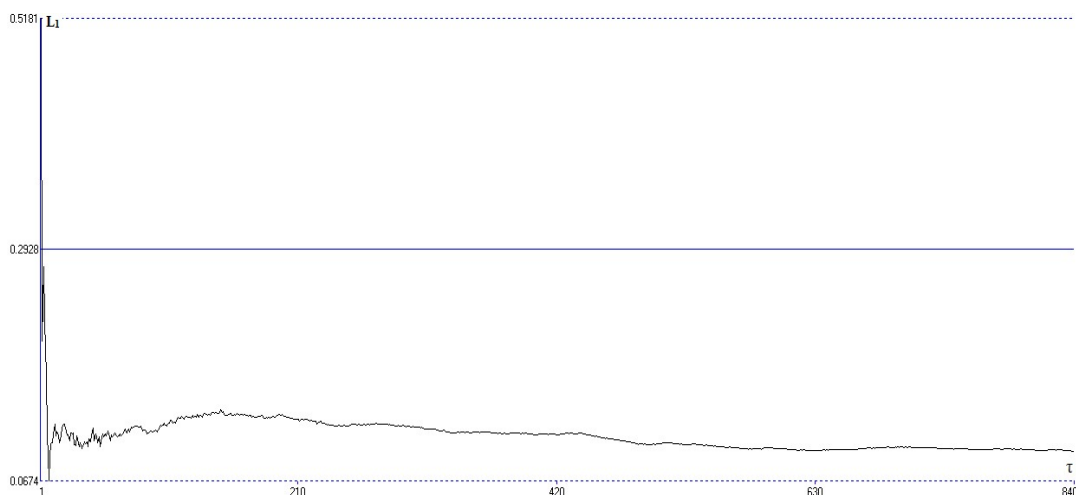
Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y - L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną spółką akcyjną, funkcjonującą na polskiej giełdzie, poddaną analizie fraktalnej jest spółka Żywiec. Wykładnik Lapunowa dla notowań akcji spółki Żywiec wynosi 0,018 (tabela 5.), co oznacza, że jest to układ chaotyczny i możliwe jest analizowanie funkcjonowania spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego.



Rysunek 47. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Żywiec w okresie 02.01.1995-29.12.2016

Legenda:

oś X - τ (oznacza opóźnienie czasowe)

oś Y - L_1 (wartość największego wykładnika Lapunowa)

Źródło: opracowanie własne.

Dla spółki Żywiec system traci informację po około 12,9 miesiąca (tabela 5.), czyli po tym okresie tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań akcji spółki Żywiec na polskiej giełdzie i tracimy zdolność prognozowania, czyli tracimy pamięć o warunkach wyjściowych, co oznacza, że po 12,9 miesiąca należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Na rysunku 47 podano wyniki obliczeń wykładnika Lapunowa w funkcji czasu ewolucji w stosunku do chaotycznego szeregu czasowego dla notowań akcji Żywiec w okresie 02.01.1995-29.12.2016. Jak wynika z rysunku nr 47 wykładniki Lapunowa dążą do stabilnej wartości, co potwierdza, że możliwe jest oszacowanie największego wykładnika Lapunowa, a co za tym idzie, dokonanie analizy notowań akcji spółki Żywiec za pomocą metod chaosu deterministycznego.

4.3. Wnioski końcowe z badań

Celem podrozdziału 4.2 była weryfikacja hipotezy H1: **Dodatnie wykładniki Lapunowa stanowią wyznacznik fraktalności polskich spółek giełdowych i określają tempo, w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań danej spółki na giełdzie. W dysertacji zakłada się, iż spółki akcyjne notowane na polskiej giełdzie posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa i są systemami chaotycznymi.**

Hipoteza H1 – **potwierdzona.**

Badania autora dysertacji zawarte w podrozdziale 4.2 wykazały, iż spółki akcyjne z polskiej giełdy, które zostały poddane analizie, posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa (tabela 5.), czyli są systemami chaotycznymi, co oznacza, że istnieje możliwość analizy za pomocą narzędzi chaosu deterministycznego. Na podstawie danych z tabeli 7. można stwierdzić, iż zależność dotycząca czasu utraty informacji a kondycji określonej spółki akcyjnej została zweryfikowana pozytywnie, czyli spółki o dobrej kondycji ekonomicznej posiadają dłuższy czas utraty informacji w miesiącach w porównaniu ze spółkami, które zbankrutowały na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Potwierdzają to również wyniki analizy dla wybranych spółek z polskiej giełdy zaprezentowane na rysunkach: 32- 47.

Na podstawie analizy literatury przedmiotu można sformułować konkluzję, iż jednym z narzędzi teorii chaosu deterministycznego są wykładniki Lapunowa, które mierzą wrażliwość systemów dynamicznych na zmianę warunków początkowych. Dodatni wykładnik mierzy rozciąganie się przestrzeni stanów, czyli określa, w jaki sposób prognoza oparta na

niedokładnym szacunku danych wyjściowych będzie odbiegać od rzeczywistego rozwoju systemu. W drugim ujęciu wykładnik Lapunowa pozwala ustalić czas, po którym zaniknie wartość naszych prognoz. Ujemny wykładnik Lapunowa jest miarą zbieżności punktów przestrzeni fazowej, czyli precyzuje ile czasu potrzebuje system na powrót do stanu pierwotnego po wcześniejszym zaburzeniu go²¹². Wyznaczenie wartości wykładników Lapunowa jest ścisłym kryterium chaotyczności. Układ jest chaotyczny, jeśli posiada przynajmniej jeden dodatni wykładnik Lapunowa. W takiej sytuacji w przestrzeni fazowej blisko leżące trajektorie mogą po pewnym czasie dowolnie oddalić się od siebie. Choć dla idealnie i dokładnie zadanych parametrów początkowych jesteśmy w stanie dokładnie przewidzieć zachowanie się układu, to w praktyce, nawet gdy warunki początkowe znane są ze skończoną dokładnością, w krótkim czasie układ staje się nieprzewidywalny. Jak wcześniej podkreślono, w praktyce ważne jest zdefiniowanie zachowania układu w przyszłości. Występowanie dodatniego współczynnika Lapunowa nie pozwala na prognozowanie ewolucji pojedynczego stanu w dłuższym okresie. Im wykładnik Lapunowa jest wyższy, tym większa jest chaotyczność systemu oraz większa jest niepewność prognozy.

Jak wyżej wskazano, badania autora dysertacji wykazały, iż spółki akcyjne z polskiej giełdy, które zostały poddane analizie, posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa (tabela 5.), czyli są systemami chaotycznymi, co oznacza, że istnieje możliwość analizy za pomocą narzędzi chaosu deterministycznego. Kolejnym aspektem analizy fraktalnej było zbadanie zależności, że im wykładnik Lapunowa jest wyższy, tym większa jest chaotyczność systemu oraz większa jest niepewność prognozy. Tabela 6. pokazuje wielkości wykładnika Lapunowa od najmniejszego do największego. Na podstawie tych danych można stwierdzić, iż zależność powyższa została zweryfikowana pozytywnie, czyli spółki o dobrej kondycji ekonomicznej mają niższy wykładnik Lapunowa w porównaniu ze spółkami, które zbankrutowały na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

²¹² M. Miśkiewicz, *Zastosowanie wykładników Lapunowa i wykładnika Hursta do predykcji kursów walutowych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2007, s. 5-7.

Tabela 6. Ranking wykładnika Lapunowa dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy

Nazwa spółki akcyjnej	Wartość wykładnika Lapunowa
Żywiec	0,018
mBank	0,019
PZU	0,021
Emperia	0,022
PKOBP	0,024
Dębica	0,027
KGHM	0,028
Próchnik	0,030
Toora	0,041
Techmex	0,056
Tonsil	0,064
Universal	0,079
Krosno	0,089
Pronox	0,091
Swarzędz	0,095
Zntklapy	0,101

Źródło: opracowanie własne.

Jak wspomniano wyżej, wykładnik Lapunowa pozwala określić czas, po którym zaniknie wartość naszych prognoz. Choć dla idealnie i dokładnie zadanych parametrów początkowych jesteśmy w stanie dokładnie przewidzieć zachowanie się układu, to w praktyce, nawet gdy warunki początkowe znane są ze skończoną dokładnością, w krótkim czasie układ staje się nieprzewidywalny.

Tabela 7. Wartość wykładnika Lapunowa i czas utraty informacji w miesiącach dla wybranych spółek akcyjnych na polskiej giełdzie

Nazwa spółki akcyjnej	Wartość wykładnika Lapunowa	Czas utraty informacji w miesiącach
Żywiec	0,018	12,9
mBank	0,019	12,2
PZU	0,021	11,1
Emperia	0,022	10,6
PKOBP	0,024	9,7
Dębica	0,027	8,6
KGHM	0,028	8,3
Próchnik	0,030	7,7
Toora	0,041	5,6
Techmex	0,056	4,1
Tonsil	0,064	3,6
Universal	0,079	2,9
Krosno	0,089	2,6
Pronox	0,091	2,5
Swarzędz	0,095	2,4
Zntklapy	0,101	2,3

Źródło: opracowanie własne.

Celem pracy po weryfikacji hipotez, jest oszacowanie wykładników Lapunowa, wymiarów fraktalnych, wymiarów korelacyjnych, wykładników Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy i stworzenie rankingu powyższych mierników w celu oceny kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Analizując wyniki badań zawarte w podrozdziale 4.2 i 4.3 dysertacji można stwierdzić, iż cel dotyczący oszacowanie wykładników Lapunowa i stworzenie rankingu powyższych mierników w celu oceny kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie został zrealizowany. Został również osiągnięty cel teoretyczny sformułowany następująco: istota i znaczenie wykładników Lapunowa w analizie fraktalnej rynków kapitałowych, jak również cel poznawczy: identyfikacja wykładników Lapunowa na przykładzie wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy. Cel metodyczny dotyczący wykładników Lapunowa: weryfikacja możliwości wykorzystania wykładników Lapunowa do pomiaru fraktalności polskich spółek

giełdowych i określenia tempa w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań spółki akcyjnej na polskiej giełdzie również został zrealizowany w podrozdziałach 4.1, 4.2 i 4.3 pracy doktorskiej. W powyższych podrozdziałach wykazano również możliwość wykorzystania wykładników Lapunowa wynikających z teorii chaosu deterministycznego do oceny ryzyka inwestowania w konkretne akcje w aspekcie kondycji ekonomicznej danej spółki na polskiej giełdzie, a tym samym został zrealizowany cel wdrożeniowy. Analizę wymiaru fraktalnego i wykładnika Hursta zmierzającą do weryfikacji kolejnych hipotez badawczych zawarto w piątym i szóstym rozdziale dysertacji.

ROZDZIAŁ 5.

WYKORZYSTANIE WYMIARÓW FRAKTALNYCH DO OCENY KONDYCJI EKONOMICZNEJ SPÓŁEK GIEŁDOWYCH W POLSCE - W ŚWIETLE WYNIKÓW BADAŃ EMPIRYCZNYCH

5.1. Istota wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego

Wymiar fraktalny opisuje, w jaki sposób układ wypełnia swoją przestrzeń i jest skutkiem wszystkich czynników wpływających na ten układ. Najczęściej obiekt umieszcza się w przestrzeni, której wymiar jest większy niż wymiar fraktalny obiektu. Przestrzeń taką nazywamy wymiarem pojemnościowym lub topologicznym. Umieszczenie obiektu fraktalnego w wymiarze pojemnościowym, większym od jego wymiaru fraktalnego, nie powoduje zmiany ich wymiaru. Wymiar fraktalny zależy od sposobu wypełniania swojej przestrzeni przez obiekt lub szereg czasowy. Aby wyznaczyć wymiar fraktalny dla danej struktury, należy zmierzyć, jak zagęszcza się ona w przestrzeni²¹³. Historycznie jednym z pierwszych sposobów wyznaczania wymiaru fraktalnego było zastosowanie metody box-counting. Jest ona związana bezpośrednio z wprowadzonym wymiarem pudełkowym przez Kołmogorowa. Kołmogorow zdefiniował wymiar w n-wymiarowej przestrzeni euklidesowej w postaci algorytmu (wzór 17)²¹⁴.

$$D = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\log N(h)}{\log(1/h)}$$

Legenda:

h – oznacza długość krawędzi pudełka: kwadratu w przypadku przestrzeni dwuwymiarowej lub sześcianu dla przestrzeni trójwymiarowej,

$N(h)$ – oznacza minimalną liczbę pudełek potrzebnych do pokrycia całego obiektu.

Wzór 17. Wymiar Kołmogorowa w n-wymiarowej przestrzeni euklidesowej

Źródło: W. Ratajczak, *Metodologiczne aspekty fraktalnego modelowania rzeczywistości*, Uniwersytet im A. Mickiewicza, Instytut Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej, Poznań, 1998, s. 12.

²¹³ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości.....*, op. cit., s. 89.

²¹⁴ W. Ratajczak, *Metodologiczne aspekty fraktalnego modelowania rzeczywistości*, Uniwersytet im A. Mickiewicza, Instytut Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej, Poznań, 1998, s. 12.

Wymiar fraktalny definiuje się następująco (wzór 18)²¹⁵.

$$D_q = \frac{1}{q-1} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln \sum_i p_i^q}{\ln \varepsilon}, \quad q \in \mathbb{R} - \{1\}$$

$$D_q = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\sum_i p_i \ln p_i}{\ln \varepsilon} \quad q = 1$$

Legenda:

D_q – oznacza wymiar fraktalny,

i – oznacza numer pudełka o rozmiarze ε ,

p_i – oznacza prawdopodobieństwo tego, że wartość zmiennej losowej znajduje się w i -tym pudełku.

Wzór 18. Wymiar fraktalny- algorytm

Źródło: M. Yamaguti, C.P.C. Prado, *A direct calculation of the spectrum of singularities $f(\alpha)$ of multifractals*, "Physics Letters A", 1995, Volume 206, Issues 5-6, s. 318-322.

Oszacowując liczbę pudełek $N(\varepsilon) = \sum_i p_i^q$ potrzebnych do pokrycia obiektu, odnajdujemy wymiar D , spełniający relacje podczas skalowania $N(\varepsilon) \sim \varepsilon^{-(q-1)D}$. Wymiar $D_{q=0}$ jest szukanym wymiarem pudełkowym badanej serii, zwanym także wymiarem nośnika. $D_{q=1}$ – oznacza tzw. wymiar informacyjny, natomiast $D_{q=2}$ wymiar korelacyjny²¹⁶. W odniesieniu do multifraktali zastosowanie metody zliczania pudełek (dla wymiaru pudełkowego) lub okręgów (dla wymiaru samopodobieństwa) sprawia, że w wyniku nie zostaje uwzględniona miara poszczególnych elementów zbioru, a jedynie ich ilość. Rozwiązaniem tego problemu jest wprowadzenie punktowego wykładnika Höldera α

²¹⁵ M. Yamaguti, C.P.C. Prado, *A direct calculation of the spectrum of singularities $f(\alpha)$ of multifractals*, "Physics Letters A", 1995, Volume 206, Issues 5-6, s. 318-322.

²¹⁶ A.B. Chhabra, C. Meneveau, R.V. Jensen, K.R. Sreenivasan, *Direct determination of the $f(\alpha)$ singularity spectrum and its application to fully developed turbulence*, "Phys. Rev. A", 1989, Volume 40.

określającego relację między miarą elementu a wielkością pudełka, które obejmuje ten element (wzór 19)²¹⁷.

$$\alpha = \frac{\log \mu(box)}{\log(\varepsilon)}$$

Legenda:

$\mu(box)$ – miara przypisana do pudełka,

ε – rozmiar pudełka.

Wzór 19. Punktowy wykładnik Höldera

Źródło: P. Oświęcimka, *Multifraktalne charakterystyki finansowych szeregów czasowych*, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2005.

Miara μ dla poszczególnych odcinków zmniejsza się wykładniczo, w miarę jak odcinki dążą do rozmiaru punktu. Zatem α może być rozumiane jako stopień lokalnej różnorodności miary μ , lub jako siła osobliwości. Od wartości α zależy $f(\alpha)$, czyli „spektrum osobliwości”. Dla każdej wartości α jest wyznaczana wartość N_α , która jest liczbą pudełek o wykładniku Höldera równym α (wzór 20)²¹⁸.

$$f(\alpha) = \frac{\log N_\alpha}{\log \varepsilon}$$

Legenda:

ε – oznacza wielkość pudełka o wykładniku Höldera równym α .

Wzór 20. Spektrum osobliwości dla α

Źródło: G. H. Schuster, *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993, s. 133.

²¹⁷ P. Oświęcimka, *Multifraktalne charakterystyki finansowych szeregów czasowych*, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2005.

²¹⁸ G. H. Schuster, *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993, s. 133.

Wartość $f(\alpha)$ można rozpatrywać jako wymiar Hausdorffa dla pudełka, którego miarę osobliwości określa α . Wartość ta informuje o tym jak często występuje stopień zróżnicowania miary równy α . Najczęściej obiekt umieszcza się w przestrzeni, której wymiar jest większy niż wymiar fraktalny obiektu. Przestrzeń taką nazywa się wymiarem pojemnościowym lub topologicznym. Umieszczenie obiektu fraktalnego w wymiarze pojemnościowym większym od jego wymiaru fraktalnego nie powoduje zmiany ich wymiaru. Wymiar fraktalny zależy od sposobu wypełniania swojej przestrzeni przez obiekt lub szereg czasowy. Aby wyznaczyć wymiar fraktalny dla danej struktury, należy zmierzyć, jak zagęszcza się ona w przestrzeni²¹⁹. Wyraża to wzór 21²²⁰.

$$D_2 = \lim_{l \rightarrow 0} \frac{1}{\ln l} \ln \sum_i p_i^2,$$

Legenda:

θ – funkcja skokowa Heaviside'a określająca ilość par punktów atraktora, których odległość jest mniejsza od 1.

Wzór 21. Algorytm wyznaczania wymiaru korelacyjnego dla danych eksperymentalnych

Źródło: G. H. Schuster, *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993, s. 133.

Obliczenia funkcji $C_2(l)$ wykonuje się dla τ określonego w oparciu o następującą zależność (wzór 22)²²¹.

$$\tau = \frac{N *}{n}$$

Legenda:

n – oznacza wymiar zanurzenia rekonstruowanego atraktora .

Wzór 22. Algorytm wyznaczania wartości τ

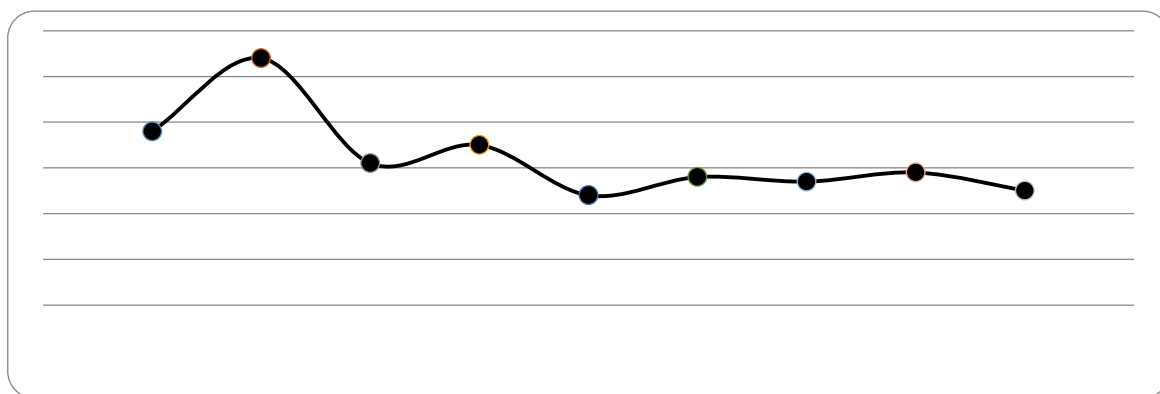
Źródło: N. Siemieniuk, *Fraktale właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 145.

²¹⁹ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości...*, op. cit., s. 147.

²²⁰ G. H. Schuster, *Chaos deterministyczny.....*, op. cit., s. 133.

²²¹ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości...*, op. cit., s. 145.

Wymiar zanurzenia jest liczbą geometrycznych współrzędnych potrzebnych do wiernego odzwierciedlenia całego atraktora. Jest to też liczba stopni swobody (liczba niezależnych zmiennych) niezbędnych do reprezentacji dynamicznego systemu²²². Jak pisze N. Siemieniuk „Atraktor jest zbiorem w przestrzeni fazowej, który ma tę własność, że każdy punkt pozostający w jego pobliżu zbliża się do niego w czasie zmierzającym do nieskończoności. Wymiar fraktalny oblicza się wyznaczając wartość współczynnika kierunkowego prostej regresji przechodzącej przez środkową część krzywej $\ln C_2(I)$. Dla sygnału stochastycznego wymiar fraktalny rośnie wraz z wymiarem zanurzenia. Jeżeli badany sygnał ma charakter chaosu deterministycznego, to wielkość współczynnika kierunkowego prostej regresji zdąży do wielkości stałej D_2 . Określa ona wymiar korelacyjny badanego atraktora. Wyznaczenie wymiaru korelacyjnego przeprowadza się dla wymiaru zanurzeniowego $M > 2D + 1$, gdzie D jest wymiarem korelacyjnym rozpatrywanego atraktora. Na wykresie funkcji $\ln C_2^n(I) / (\ln I)$ dla ustalonego I , wielkość K_2 można wyznaczyć jako różnicę między wielkościami $\ln C_2^{n-1} - \ln C_2^n$. Na rysunku 48 pokazano zmiany entropii K_2 w funkcji wymiaru zanurzenia. Wraz ze wzrostem wymiaru zanurzenia wartość entropii K_2 zdąży do wartości stałej”²²³.



Rysunek 48. Zmiany entropii K_2 w funkcji wymiaru zanurzenia

Źródło: N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 149.

²²² J. S. Zieliński, *Inteligentne systemy w zarządzaniu. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000., s. 255.

²²³ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości.....*, op. cit., s. 132,148.

Według E. Olejarczyka, „W przypadku gdy w układzie pojawiają się szумы stochastyczne, przebieg funkcji $\ln(C(I))$ może być bardziej złożony. Złożoność może być analizowana bezpośrednio w domenie czasowej, bez konieczności rekonstrukcji atraktora w wielowymiarowej przestrzeni fazowej. W tym celu stosuje się pojęcie wymiaru fraktalnego. Wyznaczenie wymiaru atraktora wymaga długich, stacjonarnych odcinków sygnału, co zwiększa także czas obliczeniowy. Wymiar fraktalny pozwala na analizę zdarzeń o krótkim czasie trwania i przedstawienie wyników bezpośrednio w domenie czasowej. Wymiar fraktalny jest ważną informacją o systemie, ponieważ umożliwia ustalenie minimalnej liczby zmiennych dynamicznych, potrzebnych do opisu układu. Jednocześnie wymiar fraktalny stanowi dolną granicę liczby możliwych stopni swobody”²²⁴.

Trajektorie układu chaotycznego w przestrzeni fazowej nie tworzą żadnego pojedynczego obiektu geometrycznego, takiego jak okrąg lub torus, tworzą zaś obiekty nazywane dziwnymi atraktorami, których struktura przypomina strukturę fraktala. Wymiar fraktalny opisuje, w jaki sposób układ wypełnia swoją przestrzeń i jest skutkiem wszystkich czynników wpływających na ten układ. Wymiar fraktalny można zastosować również do charakterystyki szeregów czasowych. Za wymiar szeregu czasowego przyjmuje się wymiar krzywej będącej wykresem rozważanego szeregu. Zdefiniowana w ten sposób miara określa stopień poszarpania wykresu, a zatem w sposób naturalny można przyjąć, że im większy jest wymiar szeregu, tym większa jego zmienność. Niesie to praktyczne konsekwencje dla zastosowania wymiaru fraktalnego w analizie ryzyka inwestowania w papiery wartościowe. Papiery, których szeregi cen mają większy wymiar, są bardziej zmienne, a co za tym idzie, bardziej ryzykowne²²⁵.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji wybranych spółek obliczone zostaną wymiary korelacyjne przy opóźnieniu czasowym $\tau=7$ używając metody Grassberger-Procaccia²²⁶. Dla danych eksperymentalnych wymiar korelacyjny n_2 w oparciu o zaproponowany przez Grassberger – Procaccia algorytm wyznacza się z następującej zależności (wzór 23)²²⁷.

²²⁴ E. Olejarczyk, *Analiza sygnałów EEG metodą wymiaru fraktalnego*, Wydawnictwo PAN, Warszawa 2005, s. 10.

²²⁵ W. Orzeszko, *Wymiar fraktalny szeregów czasowych a ryzyko inwestowania*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2010, s. 58.

²²⁶ P. Grassberger, I. Procaccia, *Characterization of strange attractors*, “Physical Review Letters” 1983, vol. 50, s.346-349.

²²⁷ G. H. Schuster, *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993, s. 133.

$$n_2 = \lim_{I \rightarrow 0} \frac{1}{\ln I} \ln \sum_i p_i^2$$

$$\text{gdzie: } \sum_i p_i^2 \approx \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} \Theta(I - |x_i - x_j|) = C_2(I)$$

Legenda:

Θ – oznacza funkcję Heaviside'a określającą ilość par punktów (x_i, x_j) atraktora, których odległość jest mniejsza od I ,

N – liczebność badanego zbioru,

I – odległość między punktami x_i, x_j atraktora,

C_2 – całka korelacyjna.

Wzór 23. Algorytm Grassberger - Procaccia

Źródło: G. H. Schuster, *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993, s. 133.

Wielkość C_2 zwana całką korelacyjną wyraża prawdopodobieństwo znalezienia się pary punktów atraktora w odległości mniejszej od I . W miarę zwiększania się wartości I , C_2 powinna rosnąć w tempie I^2 . Wymiar fraktalny oblicza się wyznaczając wartość współczynnika kierunkowego prostej regresji przechodzącej przez środkową część krzywej $\ln C_2(I)$. Dla sygnału stochastycznego wymiar fraktalny rośnie wraz z wymiarem zanurzenia. Jeżeli badany sygnał ma charakter chaosu deterministycznego, to wielkość współczynnika kierunkowego prostej regresji zdąży do wielkości stałej n_2 . Określa ona wymiar korelacyjny badanego atraktora²²⁸. Z wymiarem fraktalnym wiąże się pojęcie wymiaru korelacyjnego. Wymiar korelacyjny jest szacunkiem wymiaru fraktalnego i jest to najbliższa liczba całkowita, wyższa od wymiaru fraktalnego, określająca minimalną liczbę zmiennych, konieczną do sporządzenia modelu dynamiki systemu. Im liczba ta jest mniejsza, tym układ jest prostszy, im większa, tym bardziej złożony. Jeżeli liczba zmiennych przekracza 9 można mówić o tzw. multifraktalu.

Analiza fraktalna dokonana w podrozdziale w 5.2 ma na celu wyznaczenie wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego zrekonstruowanego atraktora dla szeregów

²²⁸ T. S. Parker, L. O. Chua, *Chaos: A Tutorial for Engineers, Proceedings of the IEEE*, vol. 75, no. 8, 1987, za: N. Siemieniuk, *Fraktale właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 148.

notowań akcji wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy w celu zbadania kondycji spółki z polskiej giełdy i podania informacji do podjęcia decyzji inwestycyjnych dla inwestorów giełdowych.

5.2. Opracowanie wyników badań, analiza oraz weryfikacja hipotezy badawczej H2

Celem rozdziału jest weryfikacja hipotezy H2 sformułowanej następująco: notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają wysoki wymiar fraktalny w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej. Aby zweryfikować tak sformułowaną hipotezę, dokonano analizy wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy za pomocą metod chaosu deterministycznego z wykorzystaniem wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego (tabela 8.).

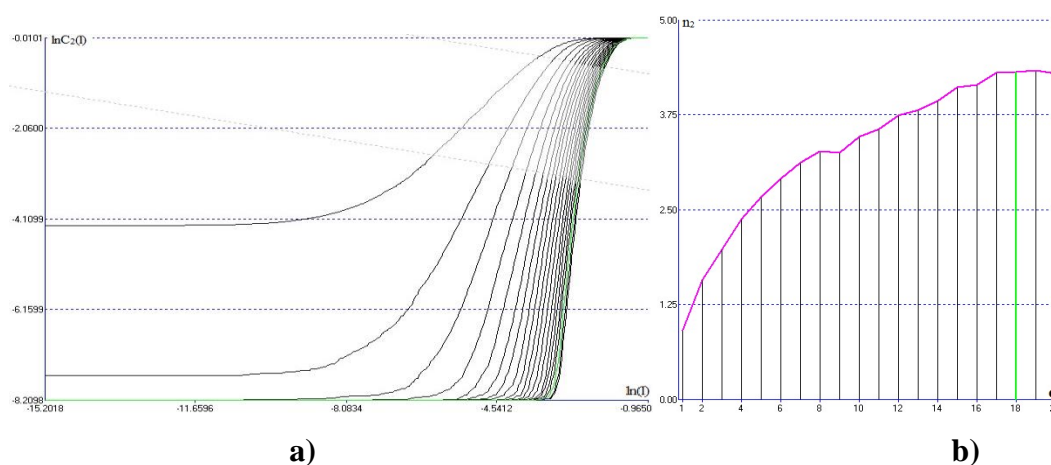
Tabela 8. Wymiar fraktalny i korelacyjny dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy

Nazwa spółki	Wymiar fraktalny	Wymiar korelacyjny (liczba zmiennych)
Dębica	4,30	5
Emperia	3,59	4
KGHM	4,28	5
Krosno	8,60	9
mBank	4,29	5
PKOBP	3,03	4
Pronox	6,77	7
Próchnik	8,51	9
PZU	4,75	5
Swarzędz	7,26	8
Techmex	6,86	7
Tonsil	5,94	6
Toora	5,23	6
Universal	8,11	9
Zntklapy	6,50	7
Żywiec	3,06	4

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 8. podano wartości wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego otrzymanego dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy. Rysunki: 49 – 64 przedstawiają wymiary fraktalne w odniesieniu do szeregów notowań akcji wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Dębica obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 02.01.1995-29.12.2016 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 49. Wymiary korelacyjne stabilizują się od siedemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 4,30. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu pięciu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Dębica. Wymiar fraktalny równy 4,30 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą pięciu zmiennych.



Rysunek 49. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Dębica w okresie 02.01.1995- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C_2(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

Legenda:

a)

Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$

Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$

b)

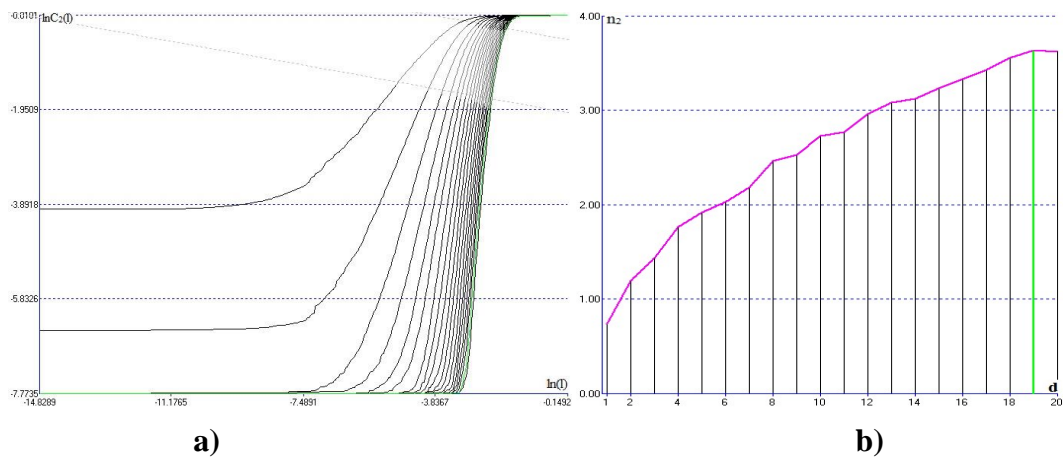
Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)

Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Emperia obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 03.01.1995-29.12.2016 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 50. Wymiary korelacyjne stabilizują się od osiemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 3,59.

Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu czterech niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Emperia. Wymiar fraktalny równy 3,59 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą czterech zmiennych.



Rysunek 50. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Emperia w okresie 03.01.1995- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

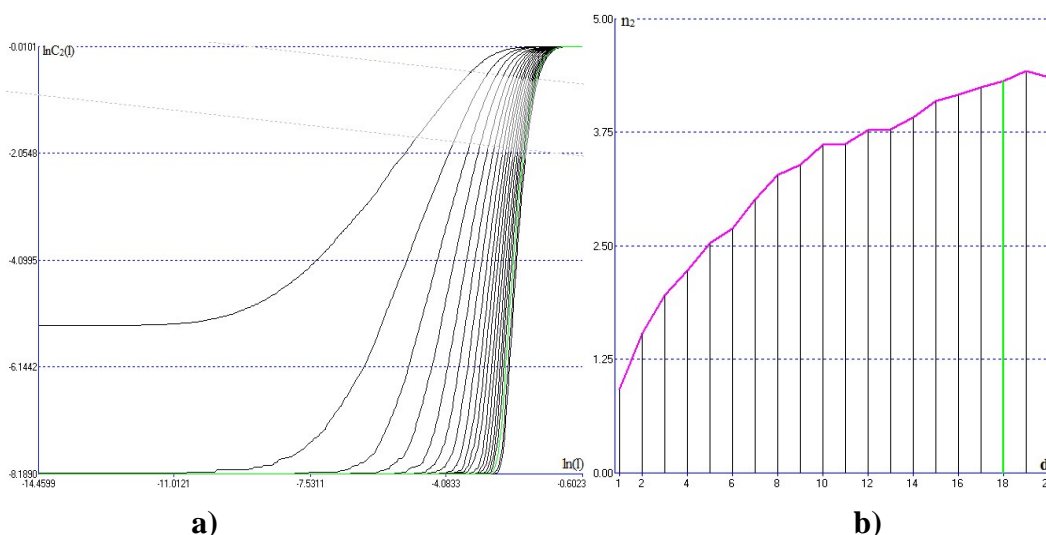
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki KGHM obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 10.07.1997-29.12.2016 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 51. Wymiary korelacyjne stabilizują się od osiemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 4,28.

Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu pięciu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki KGHM. Wymiar fraktalny równy 4,28 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą pięciu zmiennych.



Rysunek 51. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji KGHM w okresie 10.07.1997- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

Legenda:

a)

Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$

Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$

b)

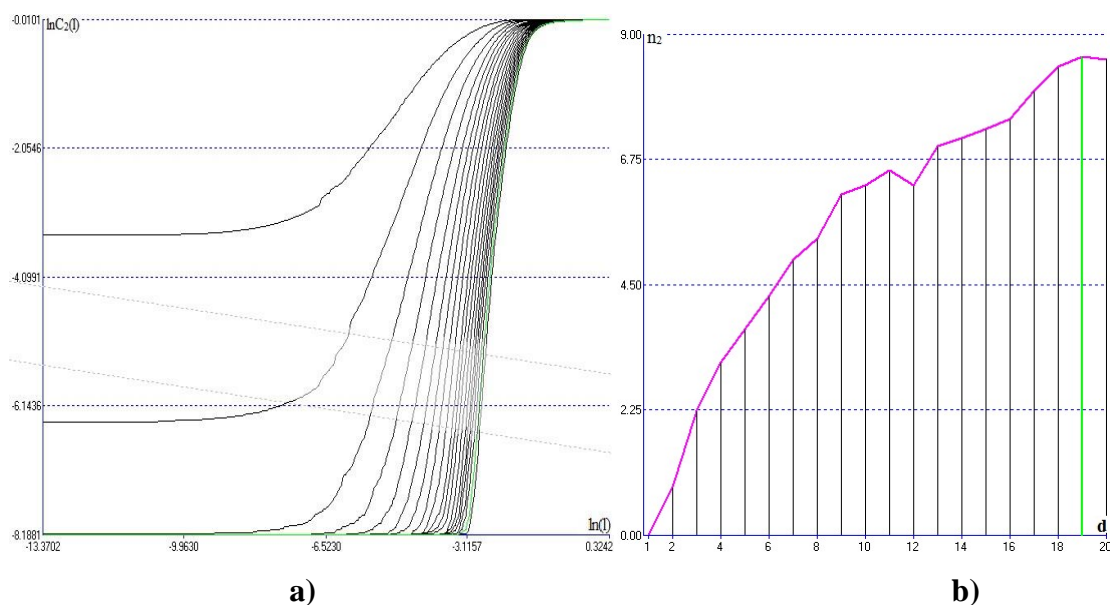
Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)

Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Krosno obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 02.01.1995-29.10.2009 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 52. Wymiary korelacyjne stabilizują się od osiemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 8,60. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się

zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu dziewięciu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Krosno. Wymiar fraktalny równy 8,60 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą dziewięciu zmiennych.



Rysunek 52. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Krosno w okresie 02.01.1995- 29.10.2009 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

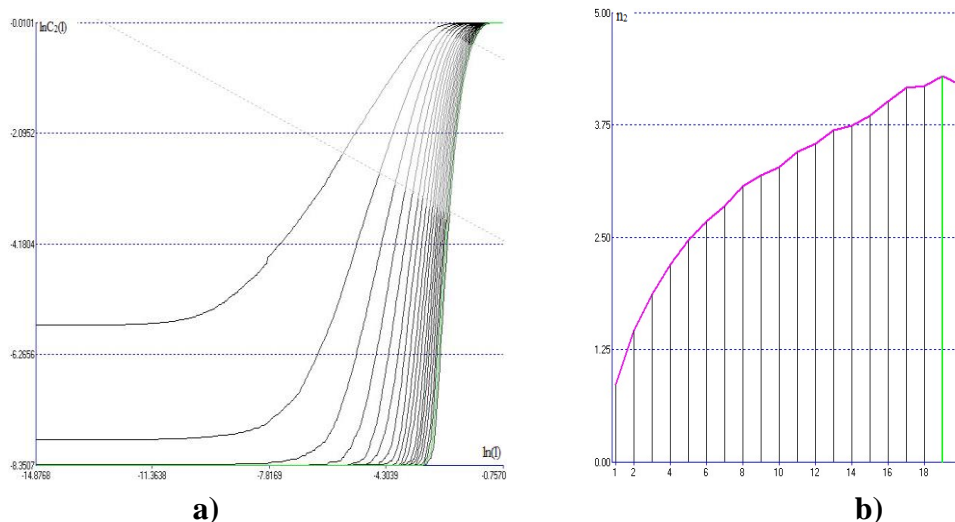
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki mBank (do listopada 2013 roku funkcjonującego pod nazwą BRE) obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 02.01.1995-29.12.2016 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 53. Wymiary korelacyjne stabilizują się od siedemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 4,29. Ponieważ jest to wartość

niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu pięciu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki mBank. Wymiar fraktalny równy 4,29 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą pięciu zmiennych.



Rysunek 53. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji mBank w okresie 02.01.1995- 29.12.2016 dla $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C_2(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

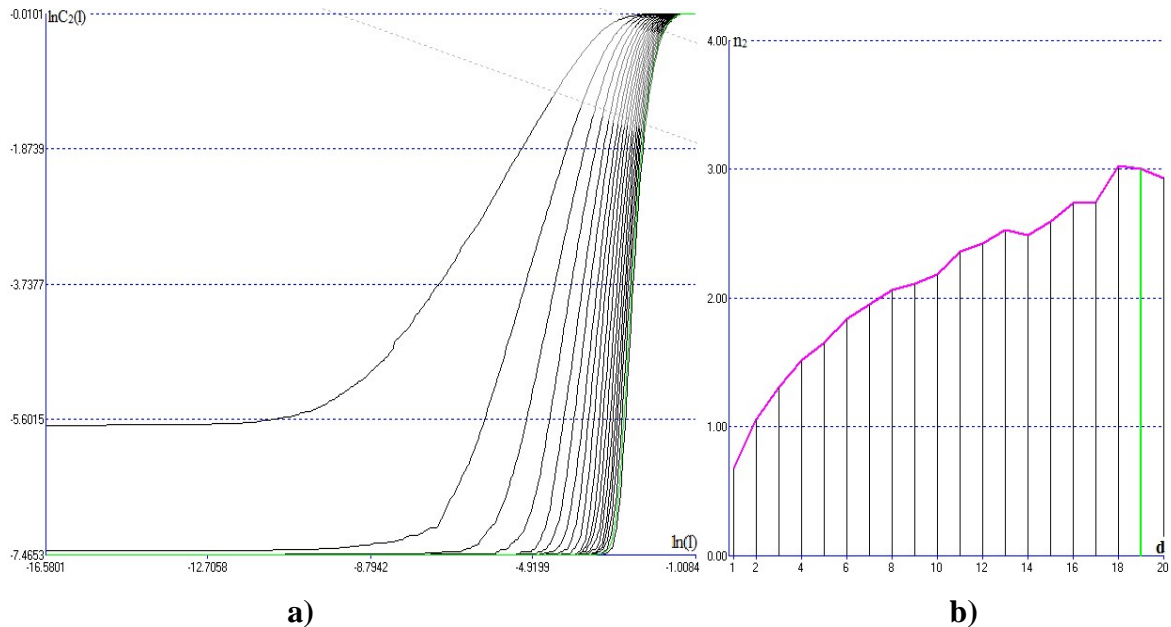
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki PKOBP, obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 10.11.2004-29.12.2016 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 54. Wymiary korelacyjne stabilizują się od osiemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 3,03. Ponieważ

jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu czterech niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki PKOBP. Wymiar fraktalny równy 3,03 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą czterech zmiennych.



Rysunek 54. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji PKOBP w okresie 10.11.2004- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C_2(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

Legenda:

a)

Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$

Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$

b)

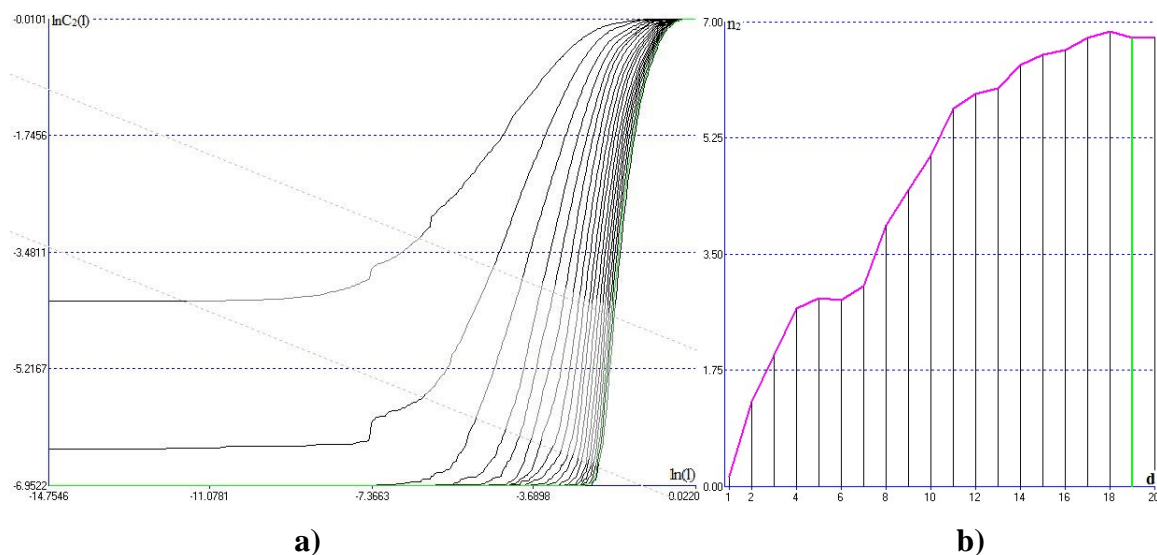
Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)

Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Pronox obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 18.07.2007-05.04.2009 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 55. Wymiary korelacyjne stabilizują się od szesnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 6,77. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się

zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu siedmiu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Pronox. Wymiar fraktalny równy 6,77 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą siedmiu zmiennych.



Rysunek 55. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Pronox w okresie 18.07.2007- 05.04.2009 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

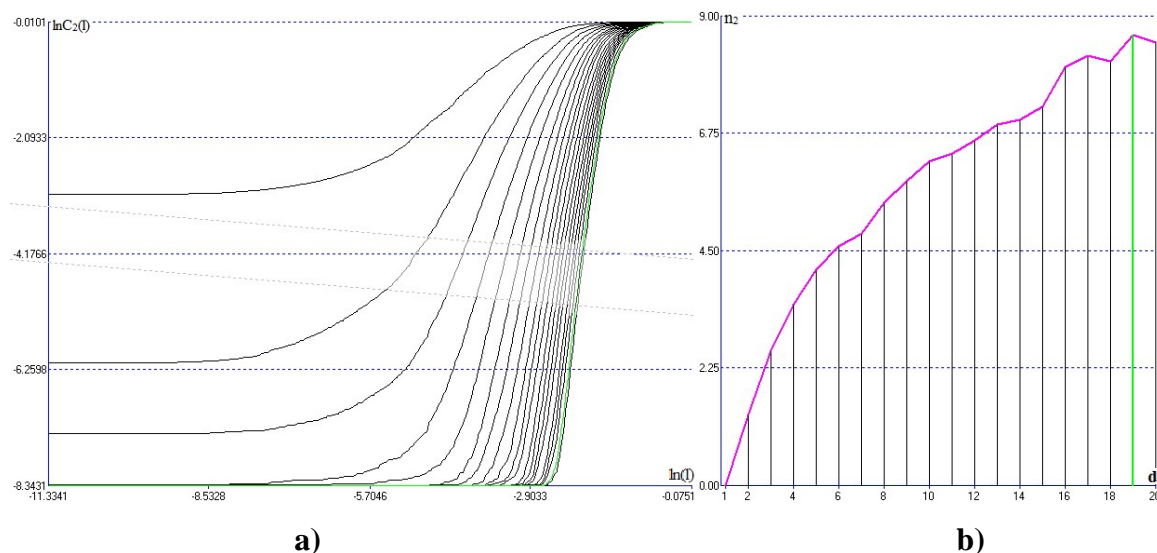
Legenda:

- a)
 - Oś X- szacunek funkcji $\ln(l)$
 - Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(l)$ w funkcji $\ln(l)$
- b)
 - Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
 - Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Próchnik obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 02.01.1995-29.12.2016 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 56. Wymiary korelacyjne stabilizują się od osiemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 8,51. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu

deterministycznego. Świadczy to o istnieniu dziewięciu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Próchnik. Wymiar fraktalny równy 8,51 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą dziewięciu zmiennych.



Rysunek 56. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Próchnik w okresie 02.01.1995- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

Legenda:

a)

Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$

Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$

b)

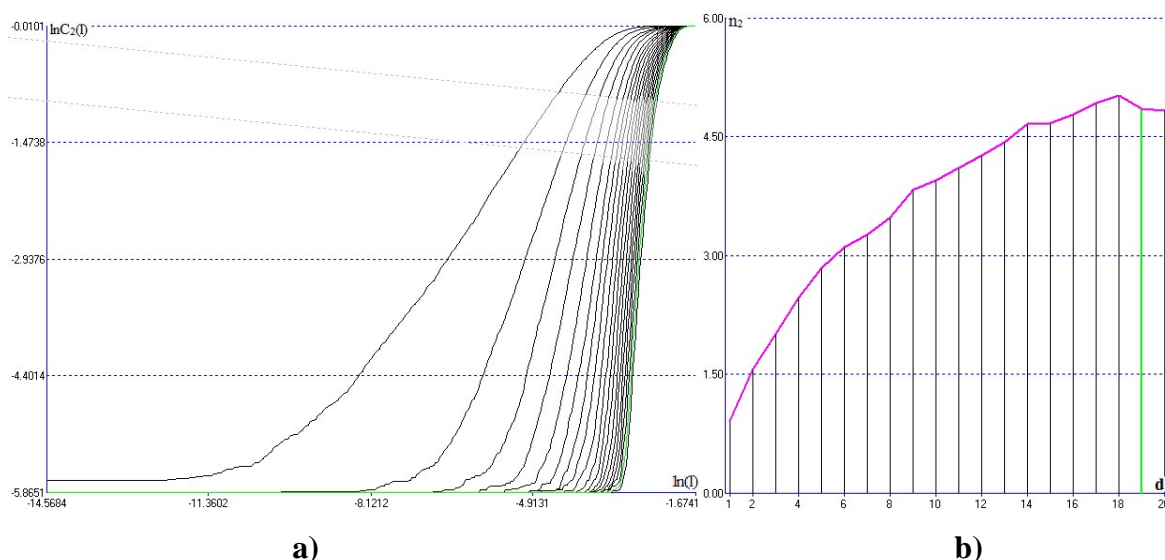
Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)

Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki PZU obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 12.05.2010-29.12.2016 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 57. Wymiary korelacyjne stabilizują się od czternastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 4,75. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu

deterministycznego. Świadczy to o istnieniu pięciu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki PZU. Wymiar fraktalny równy 4,75 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą pięciu zmiennych.



Rysunek 57. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji PZU w okresie 12.05.2010-29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C_2(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

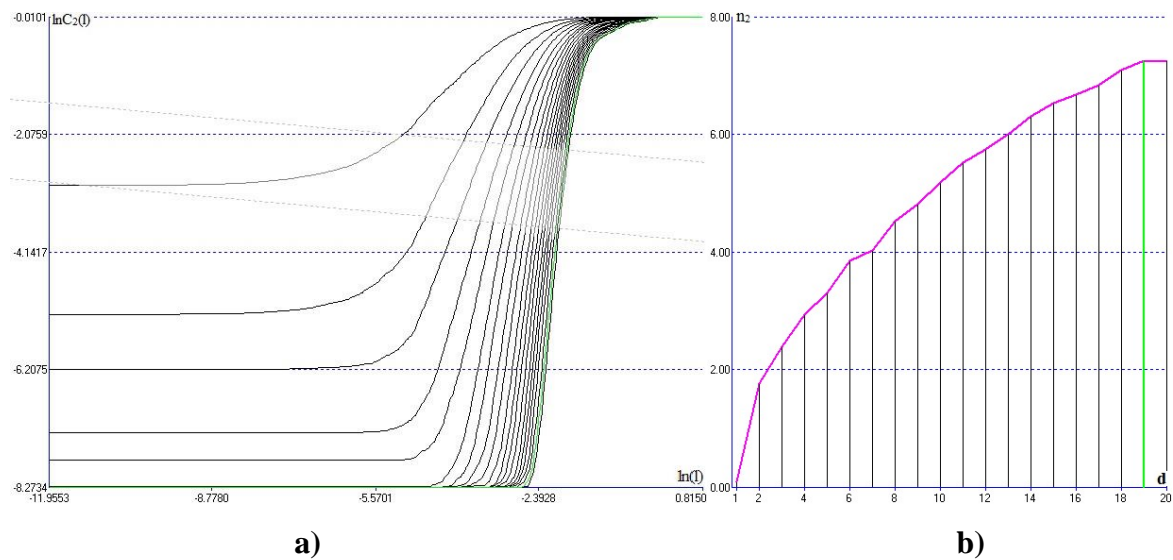
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Swarzędz obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 02.01.1995-14.01.2011 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 58. Wymiary korelacyjne stabilizują się od osiemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 7,26. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu ośmiu niezależnych zmiennych w badanym

procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Swarzędz. Wymiar fraktalny równy 7,26 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą ośmiu zmiennych.



Rysunek 58. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

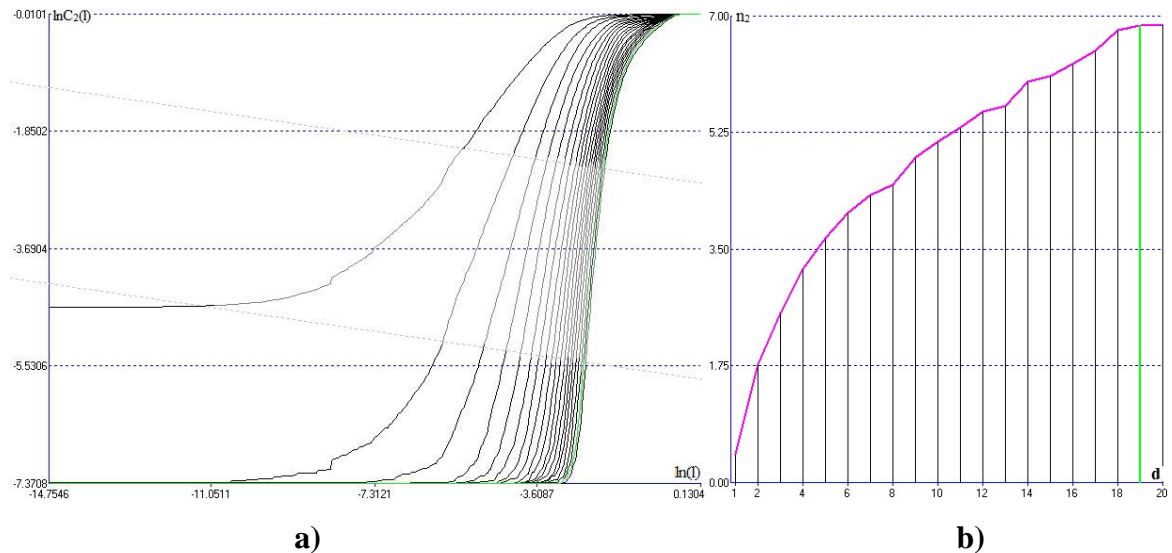
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Techmex obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 19.05.2004-11.03.2011 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 59. Wymiary korelacyjne stabilizują się od osiemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 6,86. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu siedmiu niezależnych zmiennych w badanym

procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Techmex. Wymiar fraktalny równy 6,86 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą siedmiu zmiennych.



Rysunek 59. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Techmex w okresie 19.05.2004-11.03.2011 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

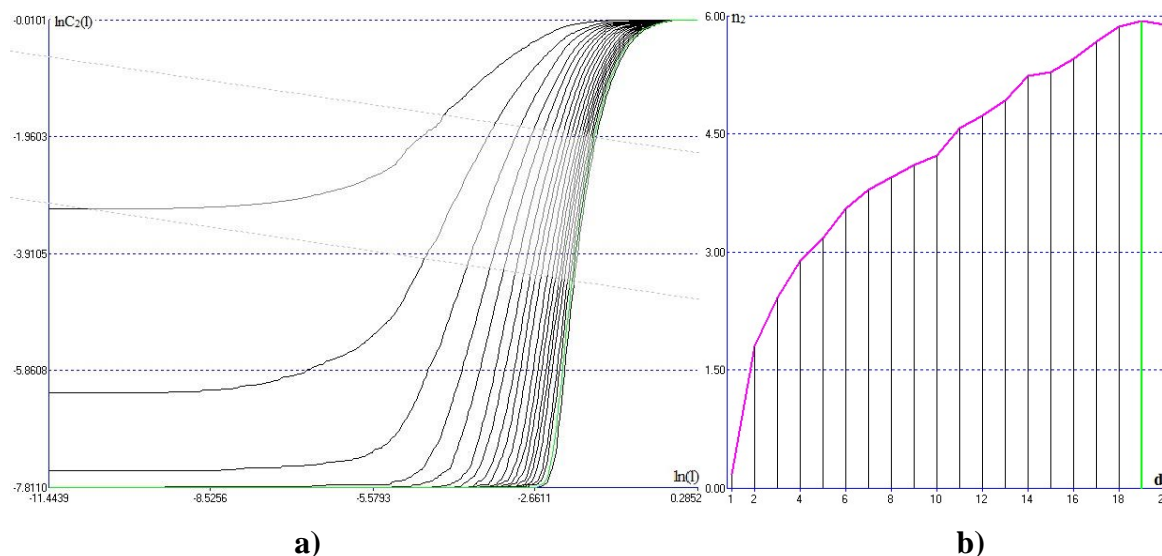
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Tonsil obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 02.01.1995-29.07.2005 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 60. Wymiary korelacyjne stabilizują się od osiemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 5,94. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu sześciu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na

fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Tonsil. Wymiar fraktalny równy 5,94 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą sześciu zmiennych.



Rysunek 60. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Tonsil w okresie 02.01.1995-29.07.2005 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

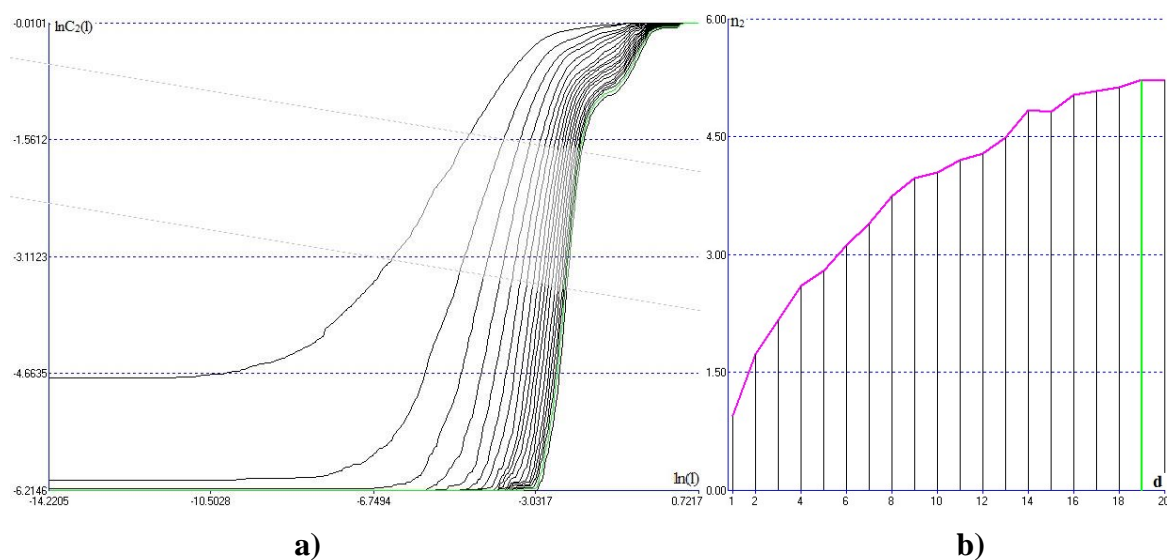
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Toora obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 30.12.1995-20.06.2008 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 61. Wymiary korelacyjne stabilizują się od siedemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 5,23. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu sześciu niezależnych

zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Toora. Wymiar fraktalny równy 5,23 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą sześciu zmiennych.



Rysunek 61. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Toora w okresie 30.12.1995-20.06.2008 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

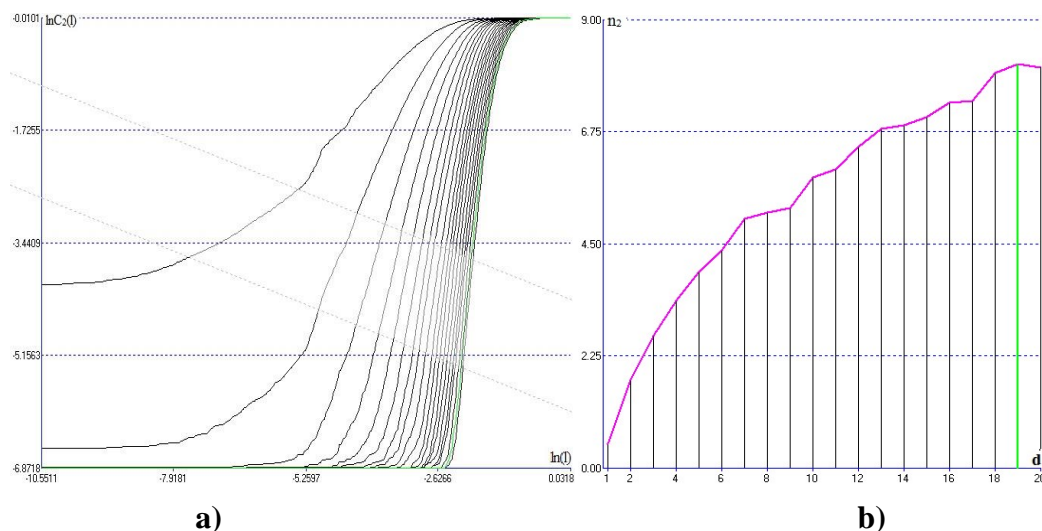
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Universal obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 02.01.1995- 17.05.1999 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 62. Wymiary korelacyjne stabilizują się od osiemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 8,11. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu dziewięciu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny

charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Universal. Wymiar fraktalny równy 8,11 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą dziewięciu zmiennych.



Rysunek 62. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Universal w okresie 02.01.1995-17.05.1999 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

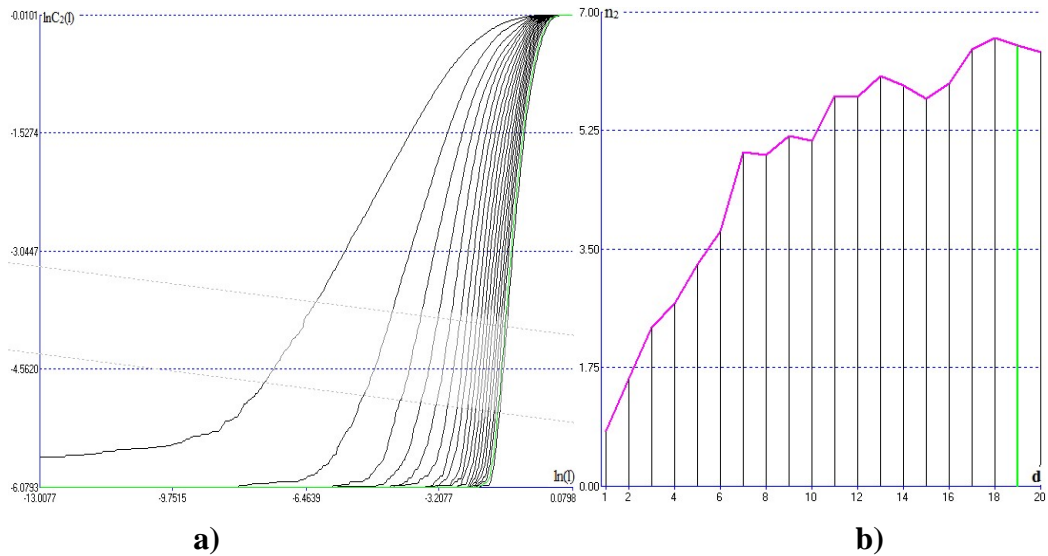
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Dla szeregu zwrotów notowań akcji spółki Zntklapy obliczono wymiary fraktalne w odniesieniu do notowań akcji w okresie 07.11.2007-05.02.2010 dla zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 63. Wymiary korelacyjne stabilizują się od siedemnastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 6,5. Ponieważ jest wartość niecałkowita, można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu siedmiu niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny charakter szeregu

czasowego notowań akcji spółki Zntklapy. Wymiar fraktalny równy 6,5 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą siedmiu zmiennych.



Rysunek 63. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Zntklapy w okresie 07.11.2007- 05.02.2010 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

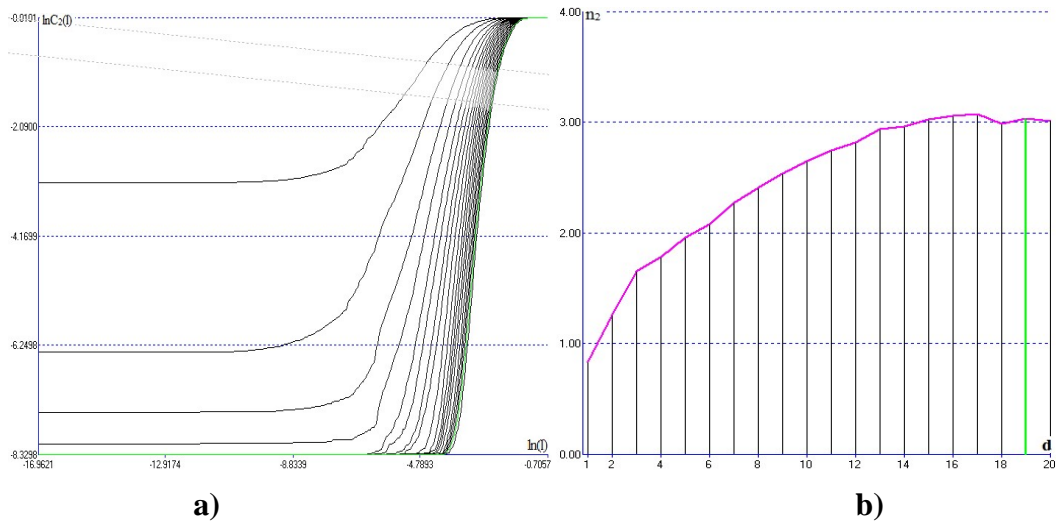
Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

W odniesieniu do szeregu zwrotów notowań akcji spółki Żywiec obliczono wymiary fraktalne dla notowań akcji w okresie 02.01.1995-29.12.2016 wobec zanurzeń 1-20 i opóźnienia czasowego $\tau=7$. Wyniki analizy prezentuje rysunek nr 64. Wymiary korelacyjne stabilizują się od czternastego wymiaru zanurzenia, przyjmując wartość 3,06. Jest wartość niecałkowita, dlatego można stwierdzić, iż w szeregu obserwuje się zjawisko chaosu deterministycznego. Świadczy to o istnieniu czterech niezależnych zmiennych w badanym procesie. Dane zamieszczone w tabeli 8. wyraźnie wskazują na fraktalny

charakter szeregu czasowego notowań akcji spółki Żywiec. Wymiar fraktalny równy 3,06 oznacza, że możliwe jest modelowanie tego rynku za pomocą czterech zmiennych.



Rysunek 64. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Żywiec w okresie 02.01.1995-29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(I)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu

Legenda:

- a)
- Oś X- szacunek funkcji $\ln(I)$
- Oś Y- wykresy krzywych $\ln C_2(I)$ w funkcji $\ln(I)$
- b)
- Oś X - d (oznacza wymiar zanurzenia)
- Oś Y - n_2 (oznacza wymiar korelacyjny)

Źródło: opracowanie własne.

Jak już wspomniano, analiza fraktalna ma na celu wyznaczenie wymiaru fraktalnego zrekonstruowanego atraktora dla szeregów notowań akcji wybranych spółek akcyjnych z Giełdy Papierów Wartościowych w Warszawie w celu zbadania kondycji ekonomicznej danej spółki i podania informacji do podjęcia decyzji inwestycyjnych przez inwestorów giełdowych.

5.3. Wnioski końcowe z badań

Celem rozdziału 5.2 była weryfikacja hipotezy H2: **Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają wysoki wymiar fraktalny w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej.**

Hipoteza H2 – **potwierdzona.**

Badania zawarte w podrozdziale 5.2 wykazały, iż spółki akcyjne z polskiej giełdy, które zostały poddane analizie, posiadają wymiary fraktalne w postaci liczb ułamkowych (tabela 8.), czyli są systemami chaotycznymi, co oznacza, że istnieje możliwość analizy za pomocą narzędzi chaosu deterministycznego. Analizując dane z tabeli 8. można stwierdzić, iż hipoteza H2 została zweryfikowana pozytywnie, czyli spółki o dobrej kondycji ekonomicznej posiadają niższy wymiar korelacyjny, a tym samym mniejszą liczbę zmiennych dynamicznych, niezbędnych do analizy danej spółki na giełdzie, w porównaniu ze spółkami, które zbankrutowały na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Potwierdzają to również wyniki analizy dla wybranych spółek z polskiej giełdy zaprezentowane na rysunkach: 49- 64.

Analizując dane z tabeli 9. dotyczące wymiaru fraktalnego wybranych spółek z polskiej giełdy, posortowane od najmniejszej do największej wielkości, można stwierdzić, iż spółki o dobrej kondycji ekonomicznej posiadają niższy wymiar fraktalny w porównaniu ze spółkami, które zbankrutowały na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. To dowodzi, że **hipoteza szczegółowa H2**, związana z wymiarem fraktalnym, **została pozytywnie zweryfikowana.**

Tabela 9. Ranking wymiaru fraktalnego dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy

Nazwa spółki	Wymiar fraktalny
PKOBP	3,03
Żywiec	3,06
Emperia	3,59
KGHM	4,28
mBank	4,29
Dębica	4,30
PZU	4,75
Toora	5,23
Tonsil	5,94
Zntklapy	6,50
Pronox	6,77
Techmex	6,86
Swarzędz	7,26
Universal	8,11
Próchnik	8,51
Krosno	8,60

Źródło: opracowanie własne.

Wymiar fraktalny jest ważną informacją o systemie, ponieważ umożliwia oszacowanie wymiaru korelacyjnego, czyli minimalnej liczby zmiennych dynamicznych, potrzebnych do opisanego układu (tabela 10.). Im liczba jest mniejsza, tym dany system jest mniej skomplikowany i bardziej przewidywalny.

Tabela 10. Ranking wymiaru korelacyjnego dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy

Nazwa spółki	Wymiar korelacyjny
PKOBP	4
Żywiec	4
Emperia	4
KGHM	5
mBank	5
Dębica	5
PZU	5
Toora	6
Tonsil	6
Zntklapy	7
Pronox	7
Techmex	7
Swarzędz	8
Universal	9
Próchnik	9
Krosno	9

Źródło: opracowanie własne.

Jak napisano we wstępie dysertacji, celem pracy, po weryfikacji hipotez, jest oszacowanie wykładników Lapunowa, wymiarów fraktalnych, wymiarów korelacyjnych, wykładników Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy i stworzenie rankingu powyższych mierników w celu oceny kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Analizując wyniki badań zawarte w podrozdziale 5.2 i 5.3 dysertacji można stwierdzić, iż cel dotyczący oszacowania wymiarów fraktalnych i wymiarów korelacyjnych i stworzenie rankingu powyższych mierników w celu oceny kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie został zrealizowany. Został również osiągnięty cel teoretyczny sformułowany następująco: istota i znaczenie wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego w analizie fraktalnej rynków kapitałowych, jak również cel poznawczy: identyfikacja wymiaru fraktalnego i

wymiaru korelacyjnego na przykładzie wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy. Cel metodyczny dotyczący wymiarów fraktalnych: weryfikacja możliwości wykorzystania wymiaru fraktalnego do opisu ilościowego sposobu wypełnienia przestrzeni fazowej przez dany obiekt również został zrealizowany w trzecim i piątym rozdziale pracy doktorskiej. W podrozdziałach 5.2 i 5.3 wykazano również możliwość wykorzystania wymiaru korelacyjnego do określenia minimalnej liczby zmiennych koniecznych do sporządzenia modelu dynamiki systemu, a tym samym został zrealizowany cel wdrożeniowy. Analizę wykładnika Hursta zmierzającą do weryfikacji kolejnej hipotezy badawczej zawarto w szóstym rozdziale dysertacji.

ROZDZIAŁ 6.

WYKORZYSTANIE ANALIZY R/S DO OCENY KONDYCJI EKONOMICZNEJ SPÓŁEK GIEŁDOWYCH W POLSCE - W ŚWIETLE WYNIKÓW BADAŃ EMPIRYCZNYCH

6.1. Istota analizy R/S

Jedną z podstawowych metod pozwalających na odróżnienie szeregów losowych od nielosowych jest analiza przeskalowanego zakresu R/S, która stanowi metodę wyznaczania opóźnienia czasowego i polega na wyznaczeniu wykładnika Hursta. Służy ona do określenia efektów długotrwałej pamięci i wykrywania ułamkowych ruchów Browna. W zależności od wielkości wykładnika Hursta można mówić lub nie o występowaniu zjawiska chaosu w badanym układzie. Rozróżnia się trzy klasy wielkości wykładnika Hursta²²⁹:

- $H = 0,5$ – szereg czasowy jest losowy;
- $0 < H < 0,5$ – szereg jest antypersystentny (powracający do średniej);
- $0,5 < H < 1$ – szereg czasowy jest persystentny, chaotyczny (wzmacniający trend).

Wyznaczenie wykładnika Hursta dla danych eksperymentalnych przebiega zgodnie z następującym schematem. Dane pomiarowe, w postaci kolejnych próbek, dzieli się na przedziały o stałej ilości punktów równej N . Dla każdego, z uzyskanych poprzez podział przedziałów definiuje się szeregi postaci (wzór 24)²³⁰.

$$T_i = \sum_{j=1}^i (x_j - \bar{x}_N) = \sum_{j=1}^i x_j - i \cdot \bar{x}_N$$

Legenda:

T_i - oznacza skumulowane odchylenie w N próbkach,

x_j - wartość próbki w chwili j

\bar{x}_N - średnią arytmetyczną danych dla N próbek.

Wzór 24. Szereg czasowy dla danych eksperymentalnych

Źródło: R. Mosdorf, *Dynamiczny model wrzenia na podstawie metody chaosu deterministycznego*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1997.

²²⁹ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 145

²³⁰ R. Mosdorf, *Dynamiczny model wrzenia na podstawie metody chaosu deterministycznego*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1997.

Kolejny krok polega na wyznaczeniu się różnicy nazywanej „zakresem”(wzór 25).

$$R = \max(T_i) - \min(T_i)$$

Legenda:

R - oznacza „zakres” szeregu T ,

$\max(T)$ - oznacza maksymalną wartość szeregu T ,

$\min(T)$ - oznacza minimalną wartość szeregu T .

Wzór 25. Wzór na wyznaczanie zakresu szeregu czasowego

Źródło: R. Mosdorf, *Dynamiczny model wrzenia na podstawie metody chaosu deterministycznego*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1997.

Dla każdego z przedziałów „zakres” R , dzieli się przez odchylenie standardowe pierwotnych obserwacji S . Następnie wyznacza się wartość średnią charakterystyczną dla wszystkich przedziałów. Tak przeskalowany „zakres” rośnie wraz ze wzrostem N . Wykładnik Hursta wyznacza się z zależności (wzór 26)²³¹.

$$R/S = (a \cdot N)^H$$

Legenda:

R/S - oznacza przeskalowany „zakres”, N – liczbę obserwacji,

a – oznacza stałą,

H – oznacza wykładnik Hursta.

Wzór 26. Algorytm wyznaczania wykładnika Hursta

Źródło: J. Nazarko, N. Siemieniuk, R. Mosdorf, *Fractal Analysis of Polish Stock Market Behaviour*, [in:] *Advanced Simulation Technologies Conference*, Computer Simulation in Business, San Diego, CA, 1999, s. 156.

²³¹ J. Nazarko, N. Siemieniuk, R. Mosdorf, *Fractal Analysis of Polish Stock Market Behaviour*, [in:] *Advanced Simulation Technologies Conference*, Computer Simulation in Business, San Diego, CA, 1999, s. 156.

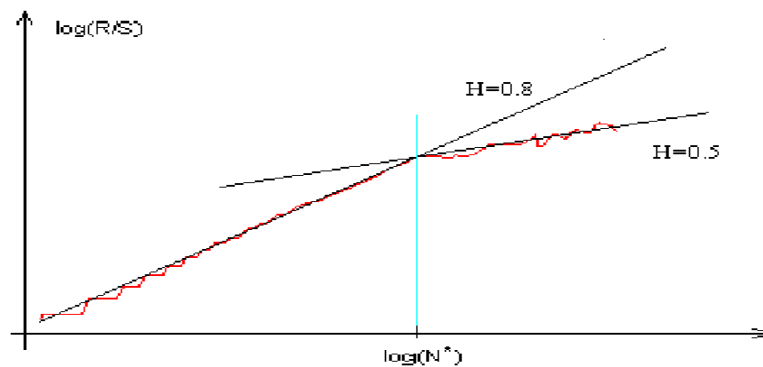
Logarytmując powyższe równanie otrzymuje się zależność (wzór 27):

$$\log(R/S) = H \cdot \log(N) + H \cdot \log(a)$$

Wzór 27. Logarytm równania (wzór 26)

Źródło: J. Nazarko, N. Siemieniuk, R. Mosdorf, *Fractal Analysis of Polish Stock Market Behaviour*, [in:] *Advanced Simulation Technologies Conference, Computer Simulation in Business*, San Diego, CA, 1999, s. 156.

Współczynnik kierunkowy stycznej do wykresu $\log(R/S)$ w funkcji $\log(N)$ (rysunek nr 65), wyznacza wartość wykładnika Hursta H . W praktyce współczynnik kierunkowy stycznej zastępuje się współczynnikiem kierunkowym prostej regresji określonej dla danego przedziału zmian licznosci N . Jeżeli liczba N obejmuje zbyt dużą liczbę punktów pomiarowych N , oznacza to, że badany proces przypomina błądzenie przypadkowe (zanika pamięć długookresowa – czyli pamięć pomiędzy kolejnymi przedziałami). Punkt ten odpowiada kresowi naturalnego okresu układu fizycznego. W punkcie N^* krzywa $\ln(R/S)$ zmienia nachylenie dla sygnałów o charakterze stochastycznym $H=0,5$. Wielkość N^* pozwala na sformułowanie wielkości przesunięcia czasowego τ , koniecznego przy rekonstrukcji atraktora²³².



Rysunek 65. Wykładnik Hursta

Źródło: N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001, s. 145.

²³² N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości...*, op. cit., s. 144.

Można wyróżnić trzy przedziały zmian wielkości wykładnika Hursta tj.: $H = 0,5$; $0 \leq H < 0,5$; $0,5 < H \leq 1$. H równe 0,5 oznacza, że badany szereg jest szeregiem losowym, zdarzenia są przypadkowe i wzajemnie nieskorelowane. W sytuacji gdy $0 < H < 0,5$ szereg nazywa się szeregiem antypersystentnym lub ergodycznym (szeregiem powracającym do wartości średniej). Jeżeli w danym okresie system wychylił się „w górę”, jest bardziej prawdopodobne, że w następnym okresie wychyli się on „w dół” i na odwrót. Zachowanie systemu jest tym bardziej ergodyczne, im bliższy zera jest wykładnik Hursta. Gdy $0,5 < H < 1$, szereg nazywa się szeregiem persystentnym, tzn. wyznaczającym trend. Jeśli w danym okresie szereg osiągał „wysokie” („niskie”) wartości, to istnieją szanse, że w następnym okresie będą one również „wysokie” („niskie”). W szeregach takich widoczny jest trend. Siła zachowań wzmacniających trend (zachowań persystentnych) jest tym większa, im H jest bliższe jedności i na odwrót: im H jest bliższe wartości 0,5, tym wyższy jest poziom „szumu” w szeregu i tym mniej określony jest jego trend²³³.

Rynki kapitałowe są szeregami persystentnymi i są fraktalami. Zdarzenia są skorelowane we wszystkich skalach czasowych co powoduje, że prawdopodobieństwo wystąpienia dwóch następujących po sobie zdarzeń z tym samym znakiem nie jest równe, a wymiar fraktalny rozkładu prawdopodobieństwa wyraża się liczbą mieszczącą się w przedziale między 1 i 2. W szeregach czasowych, dla których wykładnik Hursta zbliża się do jedności, coraz więcej następujących po sobie obserwacji ma ten sam znak. Wraz ze wzrostem H linia staje się coraz gładzsza, w systemie jest mniej „szumu”, uwidaczniają się trendy, rosną odchylenia od średniej. Wykładnik Hursta jest miernikiem złożoności szeregu fraktalnego²³⁴.

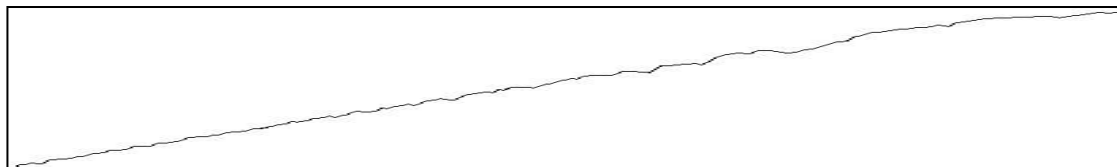
Do wyznaczenia wykładnika Hursta stosujemy tzw. analizę przeskalowanych zakresów (R/S), która służy do określenia efektów długotrwałej pamięci i wykrywania ułamkowych ruchów Browna. W zależności od wielkości wykładnika Hursta można mówić (lub nie) o występowaniu zjawiska chaosu w badanym układzie (w naszym przypadku na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie).

²³³ J. Nazarko, N.Siemieniuk, R. Mosdorf, *Fractal Analysis of Polish Stock Market Behaviour*, [in:] *Advanced Simulation Technologies Conference*, Computer Simulation in Business, San Diego, CA, 1999, s. 157.

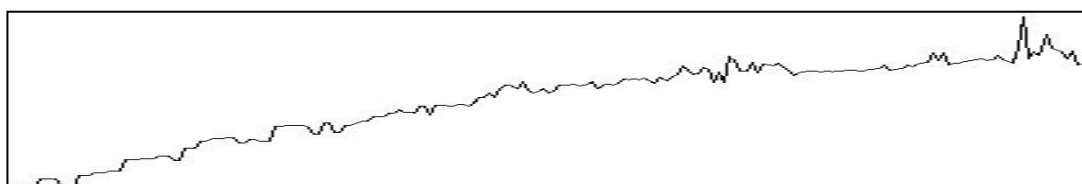
²³⁴ N. Siemieniuk, *Fraktalne właściwości...*, op. cit., 2001, s. 146.

Kolejną kwestią jest wartość wykładnika Hursta. Na rysunku nr 66 podano przykładowe zmiany zmiennej losowej, w przypadku gdy wykładnik Hursta jest równy 0,9 i 0,5.

H=0,9



H=0,5



Rysunek 66. Zmiany wartości zmiennej losowej dla $H=0,9$ i $H=0,5$

Źródło: N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Teoria chaosu deterministycznego a decyzje inwestorów giełdowych*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, nr 855, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 74, t. 1, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2015, s. 187.

Analizując literaturę przedmiotu można stwierdzić, iż w przypadku gdy wykładnik Hursta (H) jest mniejszy, to szereg jest bardziej chropowaty (bardziej przypadkowy). Wyższa wartość wykładnika Hursta (H) oznacza, że inwestowanie w dany walor jest obciążone niższym ryzykiem, ponieważ w takim szeregu jest mniej „szumu”²³⁵.

Podsumowując, można stwierdzić, iż w wyniku zastosowania analizy R/S do badania zjawisk ekonomicznych można wykazać strukturę fraktalną i nieliniowość takich zjawisk. W wyniku zastosowania analizy R/S do różnych rynków kapitałowych można wykazać, że mają one strukturę fraktalną, a obecność cykli nieokresowych świadczy o tym, że są one zjawiskami nieliniowymi.

²³⁵ N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Teoria chaosu deterministycznego a decyzje inwestorów giełdowych*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 855, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 74, t.1, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2015, s. 187.

6.2. Opracowanie wyników badań, analiza oraz weryfikacja hipotezy badawczej H3

Celem podrozdziału jest weryfikacja hipotezy H3 sformułowanej następująco: notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej. Powyższą zależność poddano analizie na przykładzie wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy (tabela 11.). W tabeli 12. Zaprezentowano ranking wykładnika Hursta od najwyższego do najniższego. Wyniki analizy dla wybranych spółek z polskiej giełdy prezentują rysunki: 67- 90. W tabeli 11. pokazano porównanie wartości wykładnika Hursta dla wybranych spółek giełdowych w Polsce. Na podstawie tabeli 11. można stwierdzić, że w wyniku przeprowadzonej analizy R/S wybranych spółek akcyjnych, wartość wykładnika Hursta wskazuje na występowanie chaosu deterministycznego.

Tabela 11. Wartość wykładnika Hursta dla wybranych spółek akcyjnych na polskiej giełdzie

Nazwa spółki akcyjnej	Wartość wykładnika Hursta
Dębica	0,708
Emperia	0,821
KGHM	0,696
Krosno	0,588
mBank	0,727
PKOBP	0,767
Pronox	0,586
Próchnik	0,560
PZU	0,739
Swarzędz	0,605
Techmex	0,591
Tonsil	0,573
Toora	0,577
Universal	0,563
Zntklapy	0,599
Żywiec	0,715

Źródło: opracowanie własne.

Analizując dane z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki Dębica wynosi 0,708. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla

spółki Dębica dokonano w przedziale czasowym 02.01.1995-29.12.2016. Na rysunku nr 67 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Dębica. Z kolei, na rysunku nr 68 pokazano wykres notowań akcji spółki Dębica na polskiej giełdzie w latach 2016-2018. Powołując się na wyniki analizy wykładnika Lapunowa zawarte w trzecim rozdziale dysertacji, można stwierdzić, iż dla spółki Dębica system traci informację po około 8,6 miesiąca, co oznacza, że prognoza jest aktualna dla 8,6 miesięcy, po tym terminie należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Powyższe wnioski potwierdza analiza wykresu notowań akcji Dębica (rysunek nr 68) w roku 2017, gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Dębica o wykładniku H równym 0,708 okazały się mało ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można skonstatować, że spółka Dębica posiada dobrą kondycję ekonomiczną i nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie.



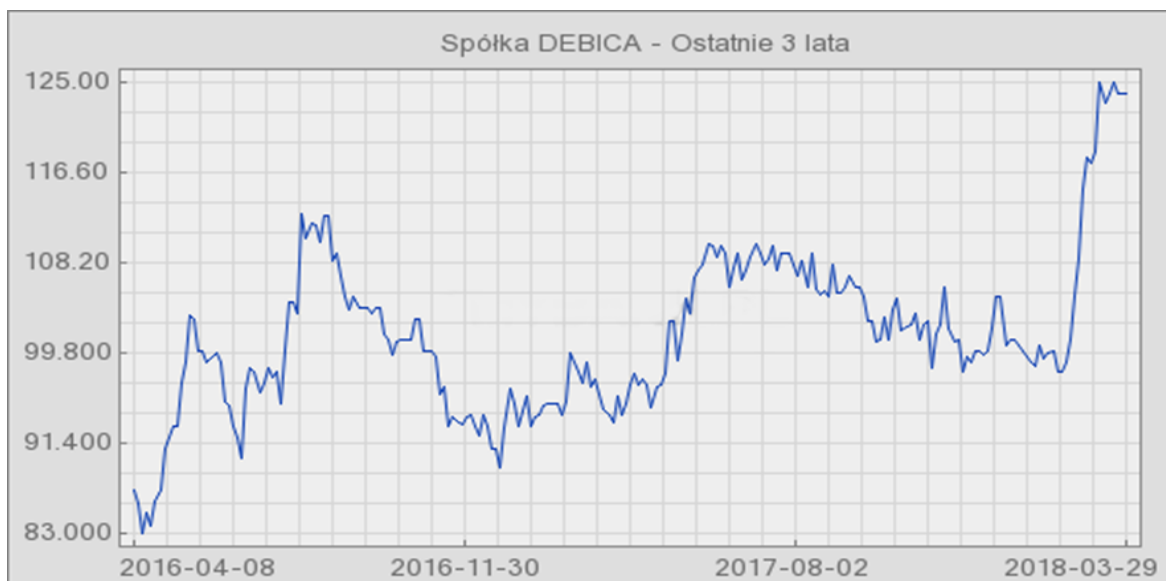
Rysunek 67. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Dębica w okresie 02.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 68. Wykres notowań akcji Dębica w latach 2016-2018

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/dbc-tc-d.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki Emperia wynosi 0,821. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Emperia dokonano w przedziale czasowym 03.01.1995-29.12.2016. Na rysunku nr 69 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Emperia. Z kolei, na rysunku nr 70 pokazano wykres notowań akcji spółki Emperia na polskiej giełdzie w latach 2016-2018. Powołując się na wyniki analizy wykładnika Lapunowa zawarte w trzecim rozdziale dysertacji można skonstatować, że dla spółki Emperia system traci informację po około 10,6 miesiąca, co oznacza, że prognoza jest aktualna dla 10,6 miesięcy, po tym terminie należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Powyższe wnioski potwierdza analiza wykresu notowań akcji Emperia (rysunek nr 70) w roku 2017, gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Emperia o wykładniku H równym 0,821 okazały się mało ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można sformułować konkluzję, iż spółka Emperia posiada dobrą kondycję ekonomiczną i nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie.



Rysunek 69. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Emperia w okresie 03.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 70. Wykres notowań akcji Emperia w latach 2016-2018

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/emp-emperia-holding-sa.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki KGHM wynosi 0,696. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki KGHM dokonano w przedziale czasowym 10.07.1997-29.12.2016. Na rysunku nr 71 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji KGHM. Z kolei, na rysunku nr 72 pokazano wykres notowań akcji spółki KGHM na polskiej giełdzie w latach 2016-2018. Powołując się na wyniki analizy wykładnika Lapunowa zawarte w trzecim rozdziale dysertacji, można skonstatować, że dla spółki KGHM system traci informację po około 8,3 miesiąca, co oznacza, że prognoza jest aktualna dla 8,3 miesięcy, po tym terminie należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Powyższe wnioski potwierdza analiza wykresu notowań akcji KGHM (rysunek nr 72) w roku 2017, gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki KGHM o wykładniku H równym 0,696 okazały się mało ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można sformułować konkluzję, że spółka KGHM posiada dobrą kondycję ekonomiczną i nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie.



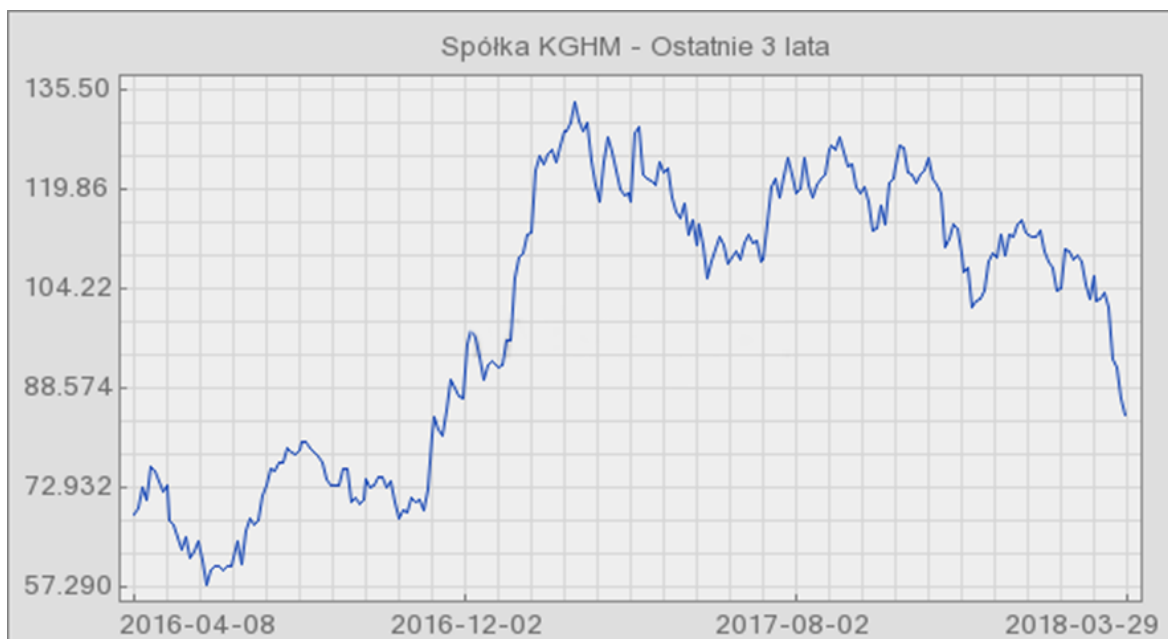
Rysunek 71. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji KGHM w okresie 10.07.1997-29.12.2016 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

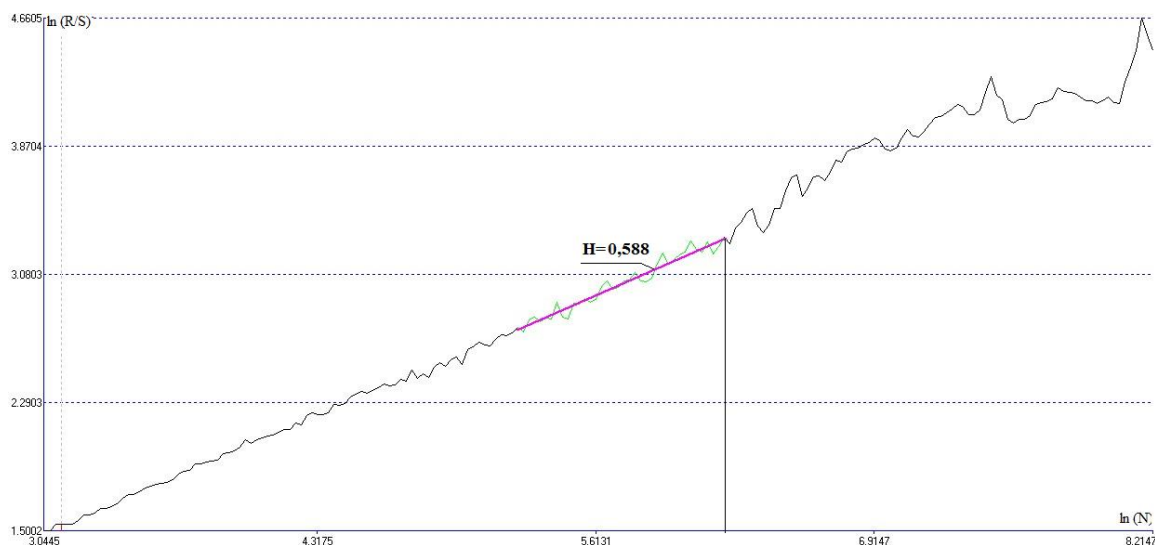
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 72. Wykres notowań akcji KGHM w latach 2016-2018

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/kgh-kghm-polska-mied.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki Krosno wynosi 0,588. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Krosno dokonano w przedziale czasowym 02.01.1995-29.10.2009. Na rysunku nr 73 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Krosno. Hipotezę szczegółową dysertacji sformułowaną powyżej, iż notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej, gdyż im wyższy wykładnik Hursta, tym szereg notowań akcji jest mniej chropowaty, mniej ryzykowny. Potwierdza to analiza wykresu notowań akcji Krosno (rysunek nr 73), gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Krosno o wykładniku H równym 0,588 okazały się ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można skonstatować, że spółka Krosno o wykładniku Hursta 0,588 czyli blisko 0,5 chyliła się upadkowi i w 2009 roku ogłoszono upadłość firmy obejmującą likwidację majątku. Decyzje podjął Sąd Rejonowy w Krośnie 27 marca 2009 roku.



Rysunek 73. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Krosno w okresie 02.01.1995- 29.10.2009 (dane tygodniowe)

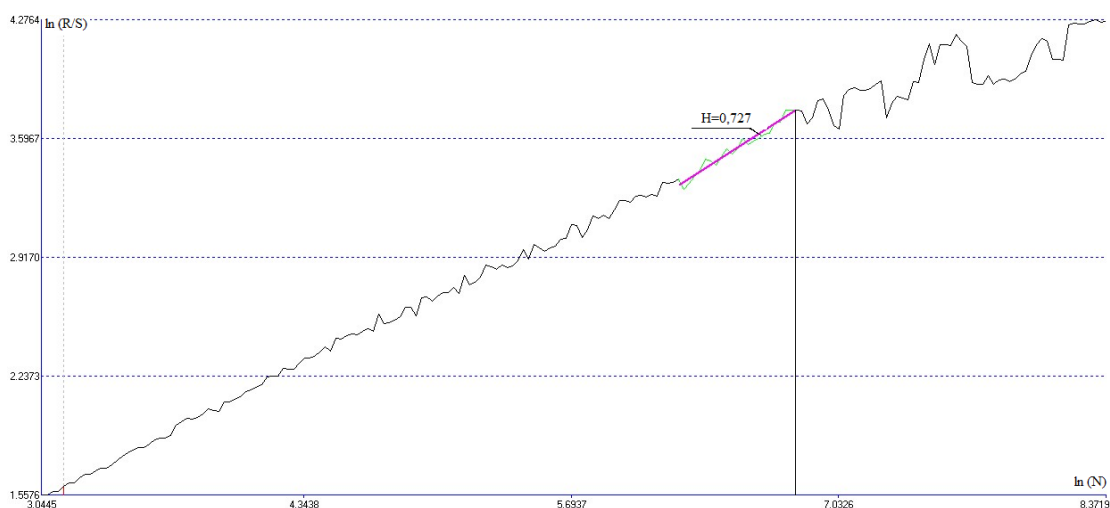
Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki mBank wynosi 0,727. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki mBank dokonano w przedziale czasowym 02.01.1995-29.12.2016. Na rysunku nr 74 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji mBank. Z kolei, na rysunku nr 75 pokazano wykres notowań akcji spółki mBank na polskiej giełdzie w latach 2016-2018. Powołując się na wyniki analizy wykładnika Lapunowa zawarte w trzecim rozdziale dysertacji, można skonstatować, że dla spółki mBank system traci informację po około 12,2 miesiąca, co oznacza, że prognoza jest aktualna dla 12,2 miesięcy, po tym terminie należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Powyższe wnioski potwierdza analiza wykresu notowań akcji mBank (rysunek nr 75) pod koniec roku 2017, gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki mBank o wykładniku H równym 0,727 okazały się mało ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można sformułować konkluzję, iż spółka mBank dobrą kondycję ekonomiczną i nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie.



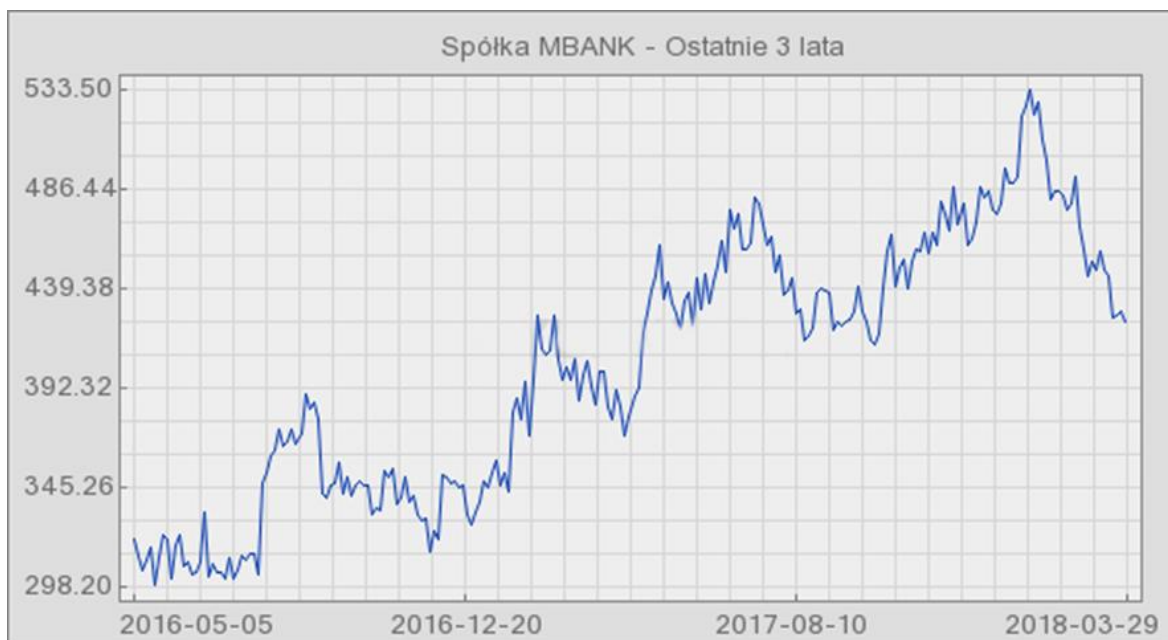
Rysunek 74. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji mBank w okresie 02.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 75. Wykres notowań akcji mBank w latach 2016-2018

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/mbk-mbank.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki PKOBP wynosi 0,767. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki PKOBP dokonano w przedziale czasowym 10.11.2004-29.12.2016. Na rysunku nr 76 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji PKOBP. Z kolei, na rysunku nr 77 pokazano wykres notowań akcji spółki PKOBP na polskiej giełdzie w latach 2016-2018. Powołując się na wyniki analizy wykładnika Lapunowa zawarte w trzecim rozdziale dysertacji, można skonstatować, że dla spółki PKOBP system traci informację po około 9,7 miesiąca, co oznacza, że prognoza jest aktualna dla 9,7 miesiąca, po tym terminie należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Powyższe wnioski potwierdza analiza wykresu notowań akcji PKOBP (rysunek nr 77) w roku 2017, gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki PKOBP o wykładniku H równym 0,767 okazały się mało ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można sformułować konkluzję, że spółka PKOBP posiada dobrą kondycję ekonomiczną i nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie.



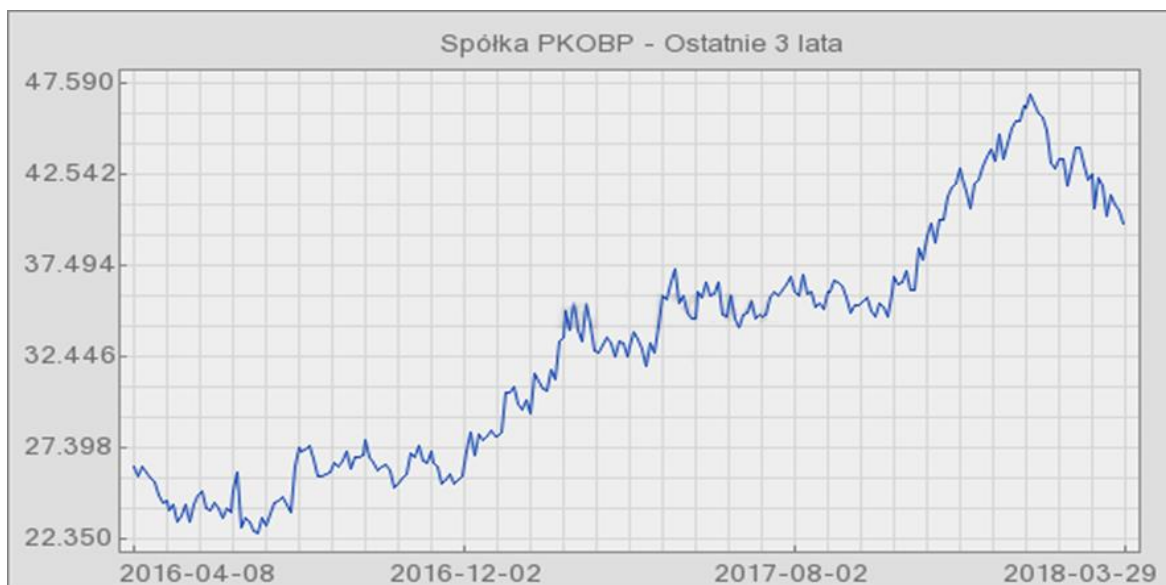
Rysunek 76. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji PKOBP w okresie 10.11.2004-29.12.2016 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

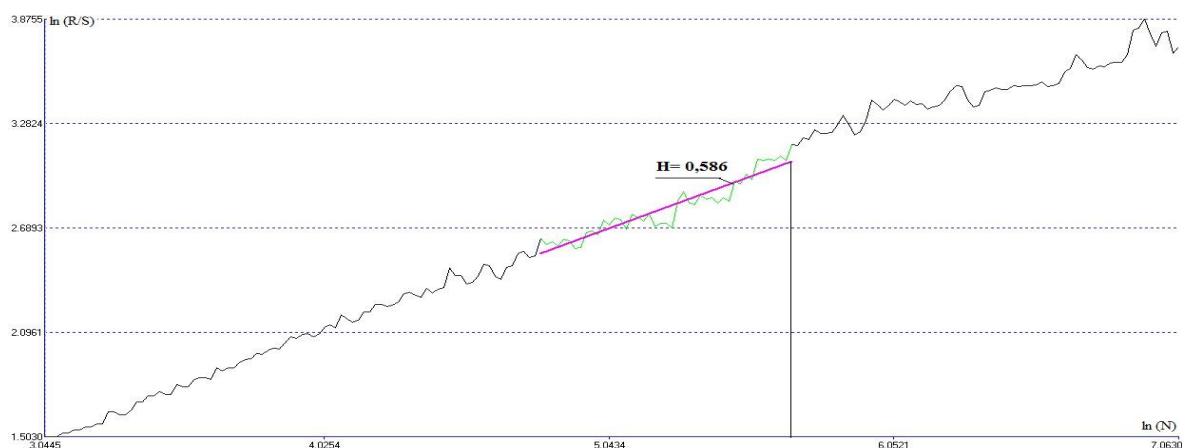
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 77. Wykres notowań akcji PKOBP w latach 2016-2018

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/pko-pko-bank-polski-sa.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki Pronox wynosi 0,586. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Pronox dokonano w przedziale czasowym 18.07.2007- 05.04.2009. Na rysunku nr 78 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Pronox. Hipotezę szczegółową dysertacji sformułowaną powyżej, iż notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta, w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej, gdyż im wyższy wykładnik Hursta tym szereg notowań akcji jest mniej chropowaty, mniej ryzykowny. Potwierdza to analiza wykresu notowań akcji Pronox (rysunek nr 78), gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Pronox o wykładniku H równym 0,586 okazały się ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można skonstatować, że spółka Pronox o wykładniku Hursta 0,586, czyli blisko 0,5, chyliła się upadkowi i w dniu 27 maja 2009 roku Zarząd Pronox Technology SA złożył w Sądzie Rejonowym w Katowicach wniosek o ogłoszenie upadłości z możliwością zawarcia układu.



Rysunek 78. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Pronox w okresie 18.07.2007-05.04.2009 (dane tygodniowe)

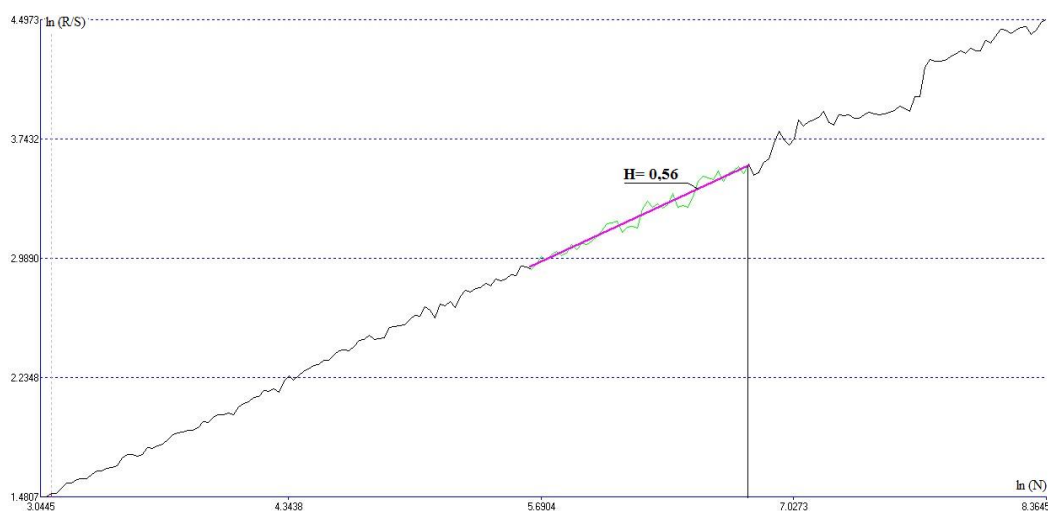
Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki Próchnik wynosi 0,560. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Próchnik dokonano w przedziale czasowym 02.01.1995-29.12.2016. Na rysunku nr 79 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Próchnik. Z kolei, na rysunku nr 80 pokazano wykres notowań akcji spółki Próchnik na polskiej giełdzie w latach 2016-2018. Wyniki analizy wykładnika Lapunowa zawarte w trzecim rozdziale dysertacji, można skonstatować, że dla spółki Próchnik system traci informację po około 7,7 miesiąca, co oznacza, że prognoza jest aktualna dla 7,7 miesiąca, po tym terminie należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Powyższe wnioski potwierdza analiza wykresu notowań akcji Próchnik (rysunek nr 80) w roku 2017, gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Próchnik o wykładniku H równym 0,560 okazały się mało atrakcyjne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można sformułować konkluzję, iż spółka Próchnik nie chyli się ku upadkowi i nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie, lecz niski wykładnik Hursta (oszacowany na 0,560) wskazuje na ostrożność w inwestowaniu w akcje spółki Próchnik.



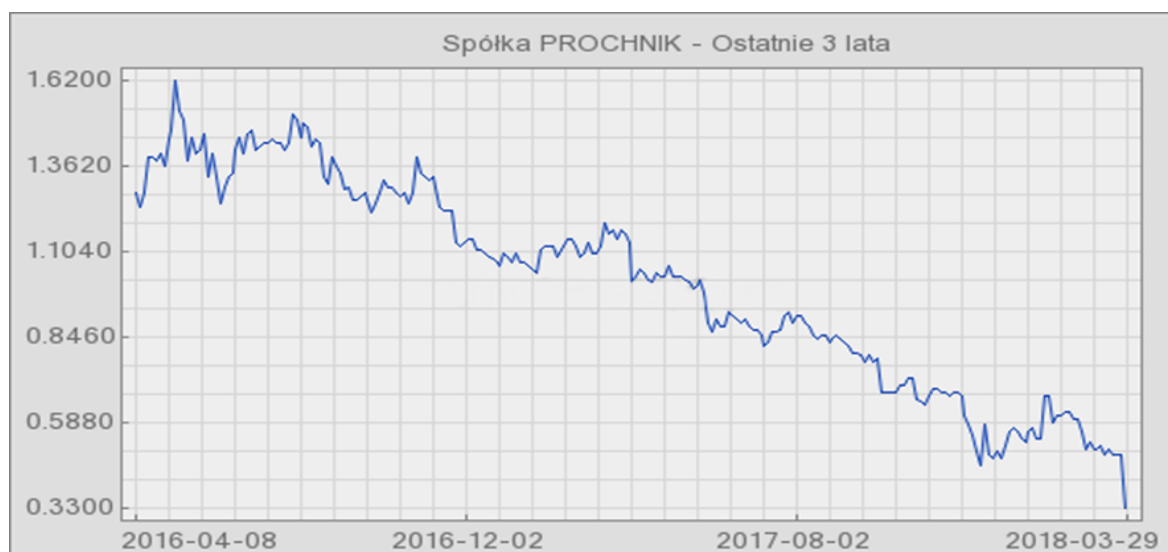
Rysunek 79. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Próchnik w okresie 02.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 80. Wykres notowań akcji Próchnik w latach 2016-2018

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/prc-pr.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki PZU wynosi 0,739. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki PZU dokonano w przedziale czasowym 12.05.2010-29.12.2016. Na rysunku nr 81 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji PZU. Z kolei, na rysunku nr 82 pokazano wykres notowań akcji spółki PZU na polskiej giełdzie w latach 2016-2018.

Powołując się na wyniki analizy wykładnika Lapunowa zawarte w trzecim rozdziale dysertacji można skonstatować, iż dla spółki PZU system traci informację po około 11,1 miesiąca, co oznacza, że prognoza jest aktualna dla 11,1 miesięcy, po tym terminie należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Powyższe wnioski potwierdza analiza wykresu notowań akcji PZU (rysunek nr 82) w roku 2017, gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki PZU o wykładniku H równym 0,739 okazały się mało ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S można sformułować konkluzję, iż spółka PZU posiada dobrą kondycję ekonomiczną i nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie.



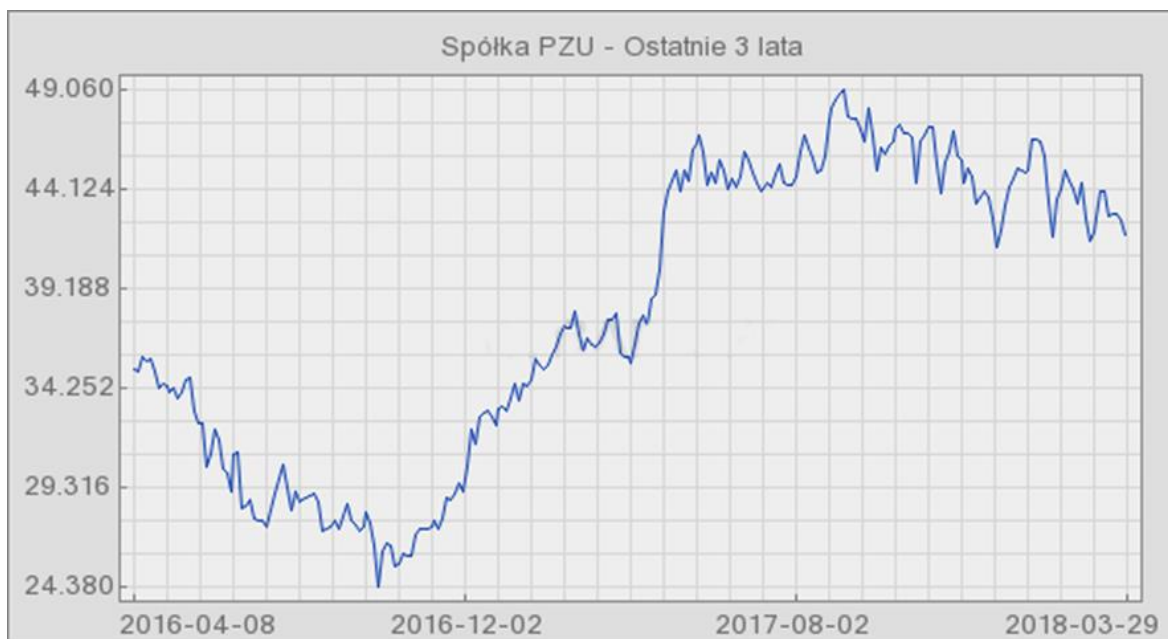
Rysunek 81. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji PZU w okresie 12.05.2010-05.04.2012 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

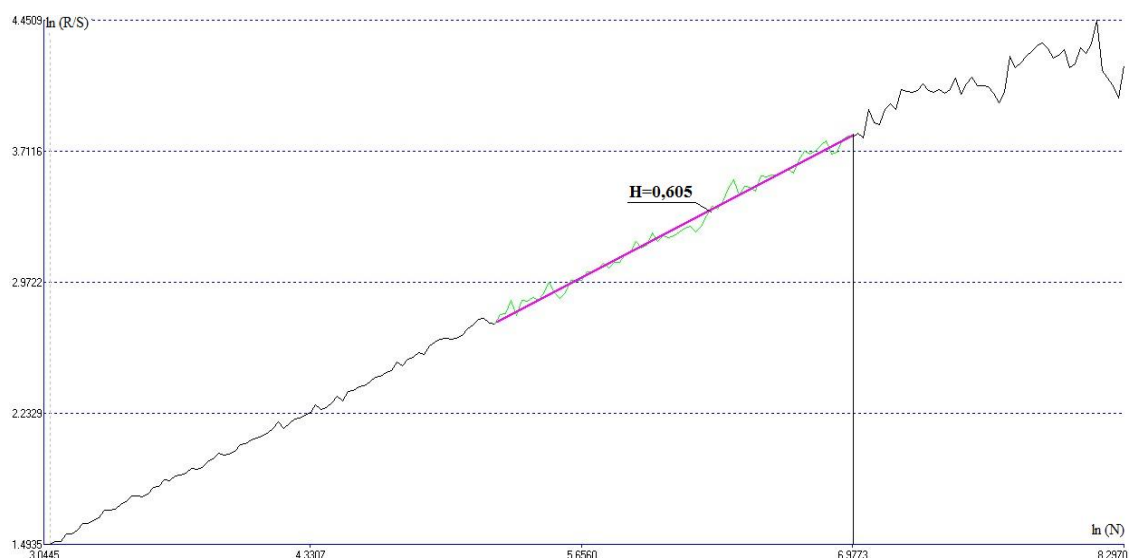
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 82. Wykres notowań akcji PZU w latach 2016-2018

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/pzu-powszechny-zak.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki Swarzędz wynosi 0,605. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Swarzędz dokonano w przedziale czasowym 02.01.1995-14.01.2011. Na rysunku nr 83 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Swarzędz. Hipotezę szczegółową dysertacji sformułowaną powyżej, iż notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej, gdyż im wyższy wykładnik Hursta, tym szereg notowań akcji jest mniej chropowaty, mniej ryzykowny. Potwierdza to analiza wykresu notowań akcji Swarzędz (rysunek nr 83), gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Swarzędz o wykładniku H równym 0,605 okazały się ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można sformułować konkluzję, że spółka Swarzędz o wykładniku Hursta 0,605 chyliła się upadkowi i Sąd Rejonowy Poznań-Stare Miasto w Poznaniu postanowieniem z dnia 7 lipca 2010 roku ogłosił upadłość obejmującą likwidację majątku dłużnika Swarzędz Meble SA w likwidacji z siedzibą w Swarzędzu.



Rysunek 83. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z tabeli 11. można skonstatować, iż wykładnik Hursta dla spółki Techmex wynosi 0,591. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Techmex dokonano w przedziale czasowym 19.05.2004-11.03.2011. Na rysunku nr 84 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Techmex. Hipotezę szczegółową dysertacji sformułowaną powyżej, iż notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej, gdyż im wyższy wykładnik Hursta, tym szereg notowań akcji jest mniej chropowaty, mniej ryzykowny. Potwierdza to analiza wykresu notowań akcji Techmex (rysunek nr 84), gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Techmex o wykładniku H równym 0,591 okazały się ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można skonstatować, iż spółka Techmex o wykładniku Hursta 0,591 czyli blisko 0,5, chyliła się upadkowi i w 2010 roku ogłoszono upadłość firmy obejmującą likwidację majątku. Decyzje podjął Sąd Rejonowy 5 listopada 2010 roku.



Rysunek 84. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Techmex w okresie 19.05.2004-11.03.2011 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki Tonsil wynosi 0,573. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Tonsil dokonano w przedziale czasowym 02.01.1995-29.07.2005. Na rysunku nr 85 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Tonsil. Hipotezę szczegółową dysertacji sformułowaną powyżej, iż notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej, gdyż im wyższy wykładnik Hursta, tym szereg notowań akcji jest mniej chropowaty, mniej ryzykowny. Potwierdza to analiza wykresu notowań akcji Tonsil (rysunek nr 85), gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Tonsil o wykładniku H równym 0,573 okazały się ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można stwierdzić, iż spółka Tonsil o wykładniku Hursta 0,573, czyli blisko 0,5 chyliła się upadkowi i w dniu 7 kwietnia 2004 roku decyzją sądu ogłoszono upadłość firmy Tonsil. Data zakończenia postępowania upadłościowego została wyznaczona na dzień 8 lutego 2006 roku.



Rysunek 85. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Tonsil w okresie 02.01.1995-29.07.2005 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z tabeli 11. można skonstatować, że wykładnik Hursta dla spółki Toora wynosi 0,577. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Toora dokonano w przedziale czasowym 30.12.1995-20.06.2008. Na rysunku nr 86 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Toora. Hipotezę szczegółową dysertacji sformułowaną powyżej, iż notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej, gdyż im wyższy wykładnik Hursta, tym szereg notowań akcji jest mniej chropowaty, mniej ryzykowny. Potwierdza to analiza wykresu notowań akcji Toora (rysunek nr 86), gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Toora o wykładniku H równym 0,577 okazały się ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S można stwierdzić, iż spółka Toora o wykładniku Hursta 0,577, czyli blisko 0,5, chyliła się upadkowi i Sąd Rejonowy w Tarnobrzegu postanowieniem z dnia 15 listopada 2007 roku ogłosił upadłość obejmującą likwidację majątku dłużnika TOORA Poland SA w Nisku.



Rysunek 86. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Toora w okresie 30.12.1995-20.06.2008 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki Universal wynosi 0,563. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Universal dokonano w przedziale czasowym 02.01.1995-17.05.1999. Na rysunku nr 87 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Universal. Hipotezę szczegółową dysertacji sformułowaną powyżej, iż notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej, gdyż im wyższy wykładnik Hursta, tym szereg notowań akcji jest mniej chropowaty, mniej ryzykowny. Potwierdza to analiza wykresu notowań akcji Universal (rysunek nr 87), gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Universal o wykładniku H równym 0,563 okazały się ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można skonstatować, że spółka Universal o wykładniku Hursta 0,563, czyli blisko 0,5, chyliła się upadkowi i postanowieniem z dnia 11 lipca 2013 roku Sąd Rejonowy dla Miasta Stołecznego Warszawy w Warszawie stwierdził zakończenie postępowania upadłościowego Universal SA z siedzibą w Warszawie.



Rysunek 87. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Universal w okresie 02.01.1995-17.05.1999 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z tabeli 11. można stwierdzić, iż wykładnik Hursta dla spółki Zntklapy wynosi 0,599. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Zntklapy dokonano w przedziale czasowym 07.11.2007-05.02.2010. Na rysunku nr 88 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Zntklapy. Hipotezę szczegółową dysertacji sformułowaną powyżej, iż notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej, gdyż im wyższy wykładnik Hursta, tym szereg notowań akcji jest mniej chropowaty, mniej ryzykowny. Potwierdza to analiza wykresu notowań akcji Zntklapy (rysunek nr 88), gdzie wyraźnie widać, iż notowania akcji spółki Zntklapy o wykładniku H równym 0,599 okazały się ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można skonstatować, że spółka Zntklapy o wykładniku Hursta 0,599, czyli blisko 0,5, chyliła się upadkowi i 28 lipca 2009 roku Sąd Rejonowy w Białymstoku ogłosił upadłość likwidacyjną Zakładów Naprawczych Taboru Kolejowego SA w Łapach.



Rysunek 88. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Zntklapy w okresie 07.11.2007-05.02.2010 (dane tygodniowe)

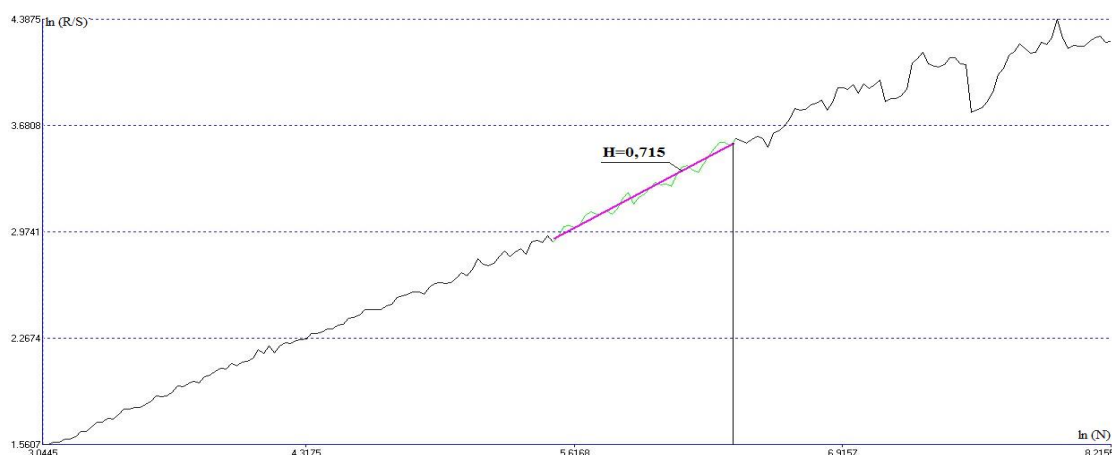
Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z tabeli 11. można sformułować konkluzję, iż wykładnik Hursta dla spółki Żywiec wynosi 0,715. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego dla spółki Żywiec dokonano w przedziale czasowym 02.01.1995-29.12.2016. Na rysunku nr 89 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Żywiec. Z kolei, na rysunku nr 90 pokazano wykres notowań akcji spółki Żywiec na polskiej giełdzie w latach 2016-2018. Powołując się na wyniki analizy wykładnika Lapunowa zawarte w trzecim rozdziale dysertacji, można stwierdzić, iż dla spółki Żywiec system traci informację po około 12,9 miesiąca, co oznacza, że prognoza jest aktualna dla 12,9 miesiąca, po tym terminie należy powtórzyć analizę akcji spółki za pomocą metod chaosu deterministycznego. Powyższe wnioski potwierdza analiza wykresu notowań akcji Żywiec (rysunek nr 90) w roku 2017, gdzie wyraźnie widać, że notowania akcji spółki Żywiec o wykładniku H równym 0,715 okazały się mało ryzykowne dla inwestorów giełdowych. Wykorzystując analizę R/S, można skonstatować, że spółka Żywiec posiada dobrą kondycję ekonomiczną i nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie.



Rysunek 89. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Żywiec w okresie 02.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe)

Legenda:

Oś X- szacunek funkcji $\ln(N)$

Oś Y- logarytm funkcji $\ln(R/S)$ przeskalowanego zakresu

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 90. Wykres notowań akcji Żywiec w latach 2016-2018

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/zwc-grupa.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).

Jak wykazano wcześniej, w przypadku gdy wykładnik Hursta (H) jest mniejszy, tym szereg jest bardziej chropowaty (bardziej przypadkowy). Wyższa wartość wykładnika Hursta (H) oznacza, że inwestowanie w dany walor jest obciążone niższym ryzykiem, ponieważ w takim szeregu jest mniej „szumu”²³⁶.

²³⁶ N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Teoria chaosu deterministycznego a decyzje inwestorów giełdowych*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia”, nr 74 (855), t. 1, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2015, s. 187.

6.3. Wnioski końcowe z badań

Celem podrozdziału 6.2 była weryfikacja hipotezy H3: **Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej.**

Hipoteza H3 – **potwierdzona.**

Badania autora dysertacji zawarte w podrozdziale 6.2 wykazały, iż spółki akcyjne z polskiej giełdy, które zostały poddane analizie, posiadają wykładniki Hursta wyższe od 0,5 (tabela 11.), a to świadczy, że są systemami chaotycznymi, co oznacza, że istnieje możliwość analizy za pomocą narzędzi chaosu deterministycznego. Analizując dane z tabeli 11. i 12. można stwierdzić, iż hipoteza H3 zweryfikowana pozytywnie, czyli spółki o dobrej kondycji ekonomicznej posiadają wyższy wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami, które zbankrutowały na Giełdzie Papierów wartościowych w Warszawie. Wyjątek stanowi spółka Próchnik, która nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie, lecz niski wykładnik Hursta (oszacowany na 0,560) wskazuje na ostrożność w inwestowaniu w akcje tej spółki. Potwierdzają to również wyniki analizy dla wybranych spółek z polskiej giełdy zaprezentowane na rysunkach: 67- 90.

Tabela 12. Ranking wartości wykładnika Hursta dla wybranych spółek akcyjnych na polskiej giełdzie

Nazwa spółki akcyjnej	Wartość wykładnika Hursta
Emperia	0,821
PKOBP	0,767
PZU	0,739
mBank	0,727
Żywiec	0,715
Dębica	0,708
KGHM	0,696
Swarzędz	0,605
Zntklapy	0,599
sTechmex	0,591
Krosno	0,588
Pronox	0,586

Toora	0,577
Tonsil	0,573
Universal	0,563
Próchnik	0,560

Źródło: opracowanie własne.

Jak napisano we wstępie dysertacji, celem pracy doktorskiej, po weryfikacji hipotez, jest oszacowanie wykładników Lapunowa, wymiarów fraktalnych, wymiarów korelacyjnych, wykładników Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy i stworzenie rankingu powyższych mierników w celu oceny kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Analizując wyniki badań zawarte w podrozdziale 6.2 i 6.3 dysertacji można stwierdzić, iż cel dotyczący oszacowania wykładników Hursta i stworzenie rankingu powyższych mierników w celu oceny kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie został zrealizowany. Został również osiągnięty cel teoretyczny sformułowany następująco: istota i znaczenie analizy R/S w badaniu pamięci długofalowej na rynkach kapitałowych, jak również cel poznawczy: identyfikacja wykładników Hursta na przykładzie wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy. Cel metodyczny dotyczący wykładników Hursta: weryfikacja możliwości wykorzystania analizy R/S do wyznaczania wykładnika Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy został zrealizowany w trzecim i szóstym rozdziale pracy doktorskiej. W podrozdziałach 6.2 i 6.3 wykazano również możliwość wykorzystania wykładnika Hursta do oceny atrakcyjności inwestowania w konkretne akcje w aspekcie kondycji ekonomicznej danej spółki na polskiej giełdzie, a tym samym został zrealizowany cel wdrożeniowy.

ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI

Problematyka oceny kondycji ekonomicznej spółek akcyjnych na całym świecie jest przedmiotem licznych badań i analiz. Wykorzystuje się tu różne metody i narzędzia badawcze. Próby opisu problematyki badania kondycji ekonomicznej są podejmowane w ramach wielu dyscyplin naukowych, np. ekonomii, matematyki. Rozmaitość stosowanych teorii i metod znajduje swój wyraz w różnorodności uzyskiwanych wyników i prognoz. Osiągnięcie sukcesu w tym zakresie jest niezmiernie skomplikowane, ponieważ rynek kapitałowy jest bardzo dynamiczny i prawie nigdy nie znajduje się w równowadze. Strategie działania na tym rynku są, z metodologicznego punktu widzenia, najtrudniejsze ze zbioru wszystkich strategii stosowanych w gospodarce. Istniejący od początku lat dziewięćdziesiątych polski rynek kapitałowy również nie jest tu wyjątkiem. Inwestorzy poszukują uzasadnienia dla swoich decyzji inwestycyjnych, stosując między innymi analizę fundamentalną, techniczną czy portfelową. W celu przewidywania przyszłego zachowania się rynku, konstruowane są rozmaite modele – formalne, heurystyczne, irracjonalne, które nigdy nie dają pełnej pewności sukcesu i są obarczone, zwykle znacznym, ryzykiem inwestycyjnym.

Współczesna teoria rynku kapitałowego opiera się na kilku podstawowych założeniach związanych z jej funkcjonowaniem, między innymi dotyczących: racjonalności postępowania inwestorów, efektywności rynków, błędzenia przypadkowego. Podstawową teorią funkcjonowania rynków finansowych jest obecnie tzw. współczesna teoria portfela, zorientowana na maksymalizację zysku przy założonym poziomie ryzyka. Zasadnicze założenia teorii portfela przyjmują, że zmiany cen są statystycznie niezależne od siebie oraz że rozkład zmian cen jest zgodny z rozkładem normalnym. W rzeczywistości dane finansowe nie spełniają tych założeń. Występują znaczne rozbieżności między przewidywaniami współczesnej teorii rynku kapitałowego a rzeczywistymi ruchami cen. Szczególnie częstość występowania nieregularnych wahań cen o znacznej amplitudzie nie daje się wytłumaczyć na gruncie tej teorii.

Podstawowym celem rozprawy była analiza wykorzystania metod chaosu deterministycznego do oceny kondycji ekonomicznej spółek giełdowych w Polsce. Teoria powyższa jest próbą odejścia od idei efektywności rynków kapitałowych oraz ze zbudowanymi na jej gruncie modelami ilościowymi w stronę bardziej uniwersalnego widzenia mechanizmów rządzących giełdą. Cechy charakterystyczne rynków kapitałowych

– stany nierównowagi oraz mechanizm sprzężenia zwrotnego w wymiarze czasowym – znajdują swój wyraz w opisie za pomocą dynamicznych systemów nieliniowych. Dopiero powstają rozwiązania wywodzące się z teorii chaosu. W literaturze istnieje niewiele pozycji traktujących o tej problematyce. Trzeba zwrócić uwagę, że jeżeli już problematykę chaosu rynków kapitałowych omawiano w literaturze zachodniej, to zagadnienia te dla giełdy polskiej poruszano w sposób ogólny, co było jedną z motywacji napisania tej pracy.

Niniejsza rozprawa stanowi próbę analizy fraktalnej polskiego rynku kapitałowego na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie w aspekcie ich kondycji ekonomicznej. Dynamika rynków kapitałowych jest przedmiotem licznych badań, w tym również analiz opartych na teorii chaosu deterministycznego. Badania w ramach dysertacji wykazały, iż polski rynek kapitałowy posiada właściwości fraktalne. Interesującym dla inwestorów i wierzycieli pytaniem jest, czy można ocenić kondycję ekonomiczną spółki giełdowej przy wykorzystaniu metod chaosu deterministycznego. Istotne jest, by móc powiedzieć, jakie wielkości wyznaczonych współczynników pozwalają przewidzieć upadłość w stosunkowo niedalekiej przyszłości. Wszystkie modele stosowane aktualnie do analizy funkcjonowania spółek akcyjnych charakteryzują się tym, iż im dłuższy czas poprzedza bankructwo, tym mniej dokładne są wyniki. Jednak najistotniejsze jest, aby móc przewidzieć, które spółki czeka bankructwo w stosunkowo niedalekiej przyszłości, gdyż inwestorów najbardziej interesuje kondycja firmy przez najbliższy rok lub dwa lata. Można stwierdzić, iż model wykorzystujący dynamikę nieliniarną w ocenie kondycji ekonomicznej spółki giełdowej może być efektywny jedynie w odniesieniu do bliskiej przyszłości, co jest związane z dodatnimi wykładnikami Lapunowa. Dochody giełdowe, które mogą świadczyć o przyszłym bankructwie, wykazują tendencję do zachowań chaotycznych. Rozwijając powyższą kwestię, w pracy doktorskiej podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, jakie współczynniki mogą świadczyć o złej sytuacji ekonomicznej spółki, której kondycję ekonomiczną reprezentuje szereg czasowy notowań giełdowych jej akcji.

Biorąc pod uwagę cel rozprawy, sformułowano hipotezę główną, która dotyczyła wykazania, iż kondycję ekonomiczną spółek giełdowych w Polsce można prognozować, czyli przewidywać przyszłe zachowania danej spółki na Giełdzie papierów Wartościowych w Warszawie, stosując teorię chaosu deterministycznego. **Hipoteza główna została potwierdzona w czwartym, piątym i szóstym rozdziale dysertacji.** W celu zweryfikowania przyjętej w pracy hipotezy głównej dokonano jej dezagregacji na trzy

funkcje szczegółowe (hipotezy szczegółowe).

W pracy doktorskiej dokonano pozytywnej weryfikacji poniżej zaprezentowanych hipotez szczegółowych, które zostały sformułowane następująco:

H1: Dodatnie wykładniki Lapunowa stanowią wyznacznik fraktalności polskich spółek giełdowych i określają tempo, w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań danej spółki na giełdzie. W dysertacji zakłada się, iż spółki akcyjne notowane na polskiej giełdzie posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa i są systemami chaotycznymi (rozdział 4.);

H2: Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają wysoki wymiar fraktalny w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej (rozdział 5.);

H3: Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej (rozdział 6.).

Analizując badania zawarte w czwartym rozdziale niniejszej dysertacji, można stwierdzić, iż **hipoteza H1 została zweryfikowana pozytywnie**. W pracy sformułowano konkluzję, że wykładnik Lapunowa pozwala określić czas, po którym zaniknie wartość naszych prognoz. Choć dla idealnie dokładnie zadanych parametrów początkowych jesteśmy w stanie dokładnie przewidzieć zachowanie się układu, to w praktyce nawet gdy warunki początkowe są znane ze skończoną dokładnością, w krótkim czasie układ staje się nieprzewidywalny. Badania autora dysertacji zawarte w podrozdziale 4.2 i 4.3 wykazały, iż spółki akcyjne z polskiej giełdy, które zostały poddane analizie, posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa (tabela 5.), czyli są systemami chaotycznymi, co oznacza, że istnieje możliwość analizy za pomocą narzędzi chaosu deterministycznego. Na podstawie danych z tabeli 7. można stwierdzić, iż zależność dotycząca czasu utraty informacji a kondycji określonej spółki akcyjnej została zweryfikowana pozytywnie, czyli spółki o dobrej kondycji ekonomicznej posiadają dłuższy czas utraty informacji w miesiącach w porównaniu ze spółkami, które zbankrutowały na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

Analizując badania zawarte w piątym rozdziale niniejszej dysertacji, można stwierdzić, iż **hipoteza H2 została zweryfikowana pozytywnie**. Wymiar fraktalny jest ważną informacją o systemie, ponieważ umożliwia ustalenie minimalnej liczby zmiennych dynamicznych, potrzebnych do opisanie funkcjonowania danej spółki giełdowej. Im liczba

jest mniejsza, tym funkcjonowanie jej na giełdzie jest mniej skomplikowane i bardziej przewidywalne. Badania autora dysertacji zawarte w podrozdziale 5.2 i 5.3 wykazały, iż spółki akcyjne z polskiej giełdy, które zostały poddane analizie, posiadają wymiary fraktalne w postaci liczb ułamkowych (tabela 8.), czyli są systemami chaotycznymi, co oznacza, że istnieje możliwość analizy za pomocą narzędzi chaosu deterministycznego. Analizując dane z tabeli 8. można stwierdzić, iż hipoteza H2 została zweryfikowana pozytywnie, czyli spółki o dobrej kondycji ekonomicznej posiadają niższy wymiar korelacyjny, a tym samym mniejszą liczbę zmiennych dynamicznych, niezbędnych do analizy danej spółki na giełdzie, w porównaniu ze spółkami, które zbankrutowały na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

Analizując badania zawarte w szóstym rozdziale niniejszej dysertacji, można stwierdzić, iż **hipoteza H3 została zweryfikowana pozytywnie**. W przypadku gdy wykładnik Hursta (H) jest mniejszy, tym szereg jest bardziej chropowaty (bardziej przypadkowy). Wyższa wartość wykładnika Hursta (H) oznacza, że inwestowanie w dany walor jest obciążone niższym ryzykiem, ponieważ w takim szeregu jest mniej „szumu”. Tę zależność poddano analizie na przykładzie wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy. W tabeli 10. stworzono ranking wykładnika Hursta od najwyższego do najniższego. Analizując dane z tabeli 11. i 12. można stwierdzić, iż hipoteza H3 została zweryfikowana pozytywnie, czyli spółki o dobrej kondycji ekonomicznej posiadają wyższy wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami, które zbankrutowały na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Wyjątek stanowi spółka Próchnik, która nadal funkcjonuje na polskiej giełdzie, lecz niski wykładnik Hursta (oszacowany na 0,560) wskazuje na ostrożność w inwestowaniu w akcje tej spółki.

Uogólniając, można stwierdzić, iż przeprowadzona analiza fraktalna wybranych spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie wykryła występowanie pamięci długofalowej na polskiej giełdzie, a co za tym idzie, możliwość badania za pomocą narzędzi chaosu deterministycznego. Teza o fraktalnych właściwościach polskiego rynku kapitałowego stoi w sprzeczności z hipotezą efektywności rynku oraz ze zbudowanymi na tej teorii modelami ilościowymi (model wyceny dóbr kapitałowych CAPM, teoria arbitrażu cenowego APT itd. – modele zakładały rozkład normalny i przypadkowość zjawisk). Fakt ten świadczy o tym, że badanie empirycznych właściwości polskiego rynku kapitałowego za pomocą dotychczas standardowych narzędzi stosowanych może być tu niewystarczające i konieczne jest poszukiwanie nowych modeli

teoretycznych rynku kapitałowego w Polsce. Uzyskane w pracy doktorskiej rezultaty analizy pokazują, że analiza fraktalna funkcjonowania spółek akcyjnych na polskiej giełdzie stanowi istotne uzupełnienie klasycznych metod analizy.

Z zaprezentowanych w dysertacji zagadnień wynika, iż teoria chaosu ma znaczące zastosowanie w analizie decyzji inwestorów giełdowych. Analiza powyższa z powodzeniem może być wykorzystywana na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Dzięki niej można oceniać ryzyko inwestowania w konkretne akcje, a także prawdopodobieństwo występowania obliczonych prognoz. Teoria chaosu wnosi istotny wkład w modelowanie procesów inwestycyjnych, gdyż bogactwo zachowań opisywanych przez nią systemów daje potencjalną możliwość wyeliminowania tej niezgodności pomiędzy teorią a praktyką. Dodatkowo systemy chaotyczne są deterministyczne, tzn. kładą nacisk na wzajemne oddziaływanie czynników endogenicznych i nawiązują do prac pierwszych badaczy cykli gospodarczych. Jeśli nawet do niektórych istniejących modeli chaotycznych z ekonomicznego punktu widzenia można mieć pewne zastrzeżenia, to jednak teoria chaosu w żaden sposób nie jest sprzeczna z teorią ekonomii. Z powyższych powodów lista istniejących ekonomicznych modeli z chaosem systematycznie się powiększa, stanowiąc wyzwanie i inspirację dla badaczy. Mimo wielu aspektów dyskusyjnych związanych z wykorzystaniem algorytmów teorii chaosu deterministycznego w procesie analizy spółek akcyjnych w aspekcie ich kondycji ekonomicznej na polskiej giełdzie, ich stosowanie jest w pełni uzasadnione. Stwierdzić to można na podstawie przeprowadzonej analizy fraktalnej wybranych spółek funkcjonujących na polskiej giełdzie. Ważnym problemem w analizie fraktalnej jest duża wrażliwość algorytmów na ilość danych eksperymentalnych na wejściu.

Badania przeprowadzone przez autora dysertacji jak również analiza literatury przedmiotu pozwoliły na zrealizowanie celu podstawowego rozprawy doktorskiej jak również celów teoretycznych, poznawczych, metodologicznych i wdrożeniowych.

Cele teoretyczne:

1. Identyfikacja i znaczenie metod oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw.
2. Istota i znaczenie chaosu deterministycznego w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.
3. Istota i znaczenie wykładników Lapunowa w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.
4. Istota i znaczenie wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.

5. Istota i znaczenie analizy R/S w badaniu pamięci długofalowej na rynkach kapitałowych.

Cele poznawcze:

4. Wskazanie i opisanie wybranych metod oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw.
5. Identyfikacja wykładników Lapunowa na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie papierów Wartościowych w Warszawie.
6. Identyfikacja wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie papierów Wartościowych w Warszawie.
7. Identyfikacja wykładników Hursta na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie papierów Wartościowych w Warszawie.

Cele metodyczne:

1. Weryfikacja możliwości wykorzystania wykładników Lapunowa do pomiaru fraktalności polskich spółek giełdowych i określenia tempa w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań spółki akcyjnej na polskiej giełdzie.
2. Weryfikacja możliwości wykorzystania wymiaru fraktalnego do opisu ilościowego sposobu wypełnienia przestrzeni fazowej przez dany obiekt.
3. Weryfikacja możliwości wykorzystania wymiaru korelacyjnego do określenia minimalnej liczby zmiennych koniecznych do sporządzenia modelu dynamiki systemu.
4. Weryfikacja możliwości wykorzystania analizy R/S do wyznaczania wykładnika Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy.

Cel wdrożeniowy:

1. Możliwość wykorzystania mierników wynikających z teorii chaosu deterministycznego do oceny atrakcyjności inwestowania w konkretne akcje w aspekcie kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

W zależności od rodzaju celu został on zrealizowany w poszczególnych rozdziałach niniejszej dysertacji. Cele teoretyczne zostały zrealizowane w rozdziałach od pierwszego do szóstego niniejszej dysertacji. W punkcie 1.4 zaprezentowano wybrane metody oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw. Punkt ten służył weryfikacji pierwszego celu teoretycznego. Rozdział drugi dysertacji omawia wybrane elementy teorii chaosu deterministycznego i posłużył weryfikacji drugiego celu teoretycznego, który dotyczy istoty i znaczenia chaosu deterministycznego w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.

Cel teoretyczny trzeci został zweryfikowany w punkcie 4.1, 4.2 i również znalazł swoje potwierdzenie w punkcie 4.3. Cel czwarty dotyczący wymiaru korelacyjnego i wymiaru fraktalnego został zweryfikowany w punkcie 5.1, 5.2 jak również w punkcie 5.3. Piąty cel teoretyczny odnoszący się do istoty i znaczenia analizy R/S w badaniu pamięci długofalowej na rynkach kapitałowych został zrealizowany w punkcie 6.1, 6.2 jak również w punkcie 6.3 rozprawy. Cele poznawcze zostały również zrealizowane w rozdziałach od pierwszego do szóstego niniejszej dysertacji. Pierwszy cel poznawczy został zweryfikowany w rozdziale pierwszym dysertacji. Drugi cel poznawczy znalazł swoje uzasadnienie w rozdziale czwartym pracy a szczególnie w punkcie 4.1, 4.2, jak również opisany został w punkcie 4.3 niniejszej rozprawy. Trzeci cel poznawczy został zweryfikowany w rozdziale piątym dysertacji i znalazł swoje potwierdzenie w punkcie 5.1, 5.2 i 5.3 niniejszej pracy. Czwarty cel poznawczy został zweryfikowany w rozdziale szóstym dysertacji i znalazł swoje potwierdzenie w punkcie 6.1, 6.2 i 6.3. Cele metodyczne oraz wdrożeniowe zostały zweryfikowane w rozdziale trzecim, czwartym, piątym i szóstym niniejszej dysertacji.

Niniejsza rozprawa stanowi próbę nowego podejścia do badania kondycji ekonomicznej firm funkcjonujących na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Uzyskane przez autora wyniki analiz dla polskiej giełdy są interesujące. Są również jednym ze sposobów wypełnienia luki w zakresie wykorzystania teorii chaosu deterministycznego w procesie analizy danych dotyczących funkcjonowania spółek akcyjnych.

Przedstawione w pracy kierunki wykorzystania teorii chaosu deterministycznego na pewno nie wyczerpują pod tym względem wszystkich możliwości. Rozważania te mają charakter przyszłościowy, stąd oczywista staje się sprawa ich dyskusyjności. Problematyka zastosowania teorii chaosu deterministycznego w zagadnieniach obejmujących funkcjonowanie spółek akcyjnych na polskiej giełdzie bezsprzecznie wymaga dalszych prac badawczych.

BIBLIOGRAFIA

Pozycje zwarte:

1. Adamska A., Mączyńska E., *Upadłości, bankructwa i naprawa przedsiębiorstw*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej, Warszawa 2013.
2. Alchian A., Demsetz H., *Production, Information Cost and Economic Organization*, "The American Economic Review", Vol. 62, No.5/ 1972.
3. Allen R.G., *Jak pomnożyć źródła swoich dochodów*, Wolters Kluwer Polska, Kraków 2006.
4. Altman E. I., *Predicting financial distress of companies: revisiting the Z-score and ZETA® models*, New York 2000.
5. Altman E.I., Hotchkiss E., *Trudności finansowe a upadłość firmy*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2007.
6. Andrasik J., *Klasyfikacja metod prognozowania stanu zagrożenia upadłościami przedsiębiorstw*, „Barometr Regionalny”, 2005, nr 1(4).
7. Appenzeller D., Szarzec K., *Prognozowanie zagrożenia upadłościami polskich spółek publicznych*, „Rynek Terminowy”, nr 1/2004.
8. Arystoteles, *Dzieła wszystkie*, t. 6, PWN, Warszawa 2001.
9. Aziz M.A., Dar H.A., *Predicting Corporate Bankruptcy: Whiter Do We Stand*, 2004, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=464BBA5B5129D1B9903E01508E0D1A7F?doi=10.1.1.138.7653&rep=rep1&type=pdf>.
10. Baker G., Gollub J., *Wstęp do dynamiki układów chaotycznych*, PWN, Warszawa 1998.
11. *Bankruptcy Act 1996*, Annual Report 1999-2000.
12. Bednarski L., *Symptomy i ocena zagrożeń sytuacji finansowej przedsiębiorstwa*, „Pieniądze i Więź”, 1992, nr 1(2).
13. Berle A. A., Means G. C., *The Modern Corporation and Private Property*, Transaction Publishers, Washington 1991.
14. Bień W., *Zarządzanie finansami przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2011.
15. Blaug M., *Teoria ekonomii. Ujęcie retrospektywne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.

16. Bombiak E., *Modele dyskryminacyjne jako metoda oceny sytuacji finansowej przedsiębiorstwa*, Zeszyty Naukowe Akademii Podlaskiej w Siedlcach, „Administracja i Zarządzanie” (13) 2010, nr 86.
17. Borowski K., *Zastosowanie fraktalnej, adaptacyjnej średniej ruchomej w analizie technicznej (FRAMA)*, Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów, Zeszyt Naukowy 69, Warszawa 2006.
18. Bose I., Mohapatra R., *Business Data Mining- A Machine Learning Perspective*, Information and Management Journal, nr 39, 2001.
19. Bullard J., Butler A., *Nonlinearity and Chaos in Economic Models: Implication for Policy Decisions*, In: The Economic Journal 103(419), Blackwell Publishers, 1993.
20. Chhabra A. B., Meneveau C., Jensen R. V., Sreenivasan K. R., *Direct determination of the $f(\alpha)$ singularity spectrum and its application to fully developed turbulence*, “Physical Review”, 1989, vol. 40.
21. Chigerowa M., *Wstęp*, w: Arystoteles, *Ekonomika*, w: *Dziela wszystkie*, t. 6, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
22. Chorafas D. N., *Chaos Theory in the Financial Markets*. Irwin, Chicago 1994.
23. Czekaj J., Woś M., Żarnowski J., *Efektywność giełdowego rynku akcji w Polsce*, PWN, Warszawa 2001.
24. Dejnaka A., Łobos K., Nagody-Mrozowicz K., *Teoria tłumy i chaosu w zarządzaniu organizacjami*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2017.
25. Delancy K. J., *Strategic Bankruptcy*, University of California Press, 1998.
26. Demkowski J., *Efekt motyla i dziwne atraktor. O układzie Lorenza.*, Wydziału Matematyki i Informatyki, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009.
27. Dębkowska K., *Prognozowanie upadłości przedsiębiorstw za pomocą wybranych metod wielowymiarowej analizy statystycznej*, „Zarządzanie i finanse” 2012, vol. 10, nr 1.
28. Dobosiewicz Z., *Giełda: Zasady działania, inwestorzy, rynki giełdowe*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
29. Dockner E. J., Prskawetz A., Feichtinger G., *Nonlinear Dynamics and Predictability in the Austrian Stock Market*, C. Heij, et. al (eds), *System Dynamics in Economic and Financial Modles*, John Wiley Press, 1997.

30. Dominiak P., *Sektor MSP we współczesnej gospodarce*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
31. Dusza M., *Najgroźniejsze przestępstwa giełdowe*, Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2011.
32. Dworzecki Z., *Skuteczne zarządzanie w sytuacjach kryzysu*, TNOiK, Warszawa 1995.
33. Fildes R., Goodwin P., Lawrence M., Nikolopoulos K., *Effective forecasting and judgmental adjustment an empirical evaluation and strategies for improvement in supply-chain planning*, In: *International Journal of Forecasting*, 25(1)/ 2009.
34. Fritzkowski P., *O chaosie deterministycznym.*, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015.
35. Gabryś A., *Zarządzanie wartością spółki w kontekście teorii chaosu*, Wydawnictwo Aurea Mediocritas, Warszawa 2007.
36. Gajdka J., Stos D., *Wykorzystanie analizy dyskryminacyjnej w ocenie kondycji finansowej przedsiębiorstw*, [w:] *Restrukturyzacja w procesie przekształceń i rozwoju przedsiębiorstw*, R. Borowiecki (red.), Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Kraków 1996.
37. Gajer M., *Czy chaos deterministyczny jest chaosem?* „Przeglądy-Poglądy. Wiadomości elektrotechniczne” 2004 nr 5, Wydawnictwo SIGMA-NOT, Warszawa 2004.
38. Gniadkowska-Szymańska A., Bolek M., *Ocena kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa na rynku kapitałowym w świetle Prawa upadłościowego*, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 1/2018 (91).
39. Gołaszewski P., Urbanek P., Walińska E., *Analiza sprawozdań finansowych*, Wydawnictwo FRR Łódź 2001.
40. Grabowski M., *Przesłanki i możliwości zastosowań sieci neuronowych w ekonomii i zarządzaniu*, Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie, nr 493, Kraków 1997.
41. Grassberger P., Procaccia I., *Characterization of strange attractors*, “Physical Review Letters” 1983, vol. 50.
42. Górka K., *Postępowanie upadłościowe w procesach restrukturyzacji finansowej przedsiębiorstw*, „Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy” nr 20/2011.

43. Greiner L. E., *Evolution and Revolution as Organizations Grow*, Harvard Business Review, Cambridge 1972.
44. Grimal P., *Słownik mitologii greckiej i rzymskiej*, Ossolineum, Wrocław 2008.
45. Grochowina D., *Wpływ metod imputacji danych na skuteczność klasyfikacyjną modelu logitowego zastosowanego do prognozowania upadłości przedsiębiorstw*, „Ekonomia XLV”, 2014, nr 2.
46. Gruszecki T., *Współczesne teorie przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
47. Hadasik D., *Upadłość przedsiębiorstw w Polsce i metody jej prognozowania*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 1998.
48. Hałaczekiewicz M., *Multifraktalna analiza szeregów czasowych na przykładzie indeksów giełdowych*, Politechnika Białostocka, Białystok 2010.
49. Hamrol M., Czajka B., Piechocki M., *Upadłości przedsiębiorstwa – model analizy dyskryminacyjnej*, „Przegląd Organizacji”, 2004, nr 6.
50. Hołda A., *Prognozowanie bankructwa jednostki w warunkach gospodarki polskiej z wykorzystaniem funkcji dyskryminacyjnej ZH*, „Rachunkowość” nr 5/2001.
51. Horosz P., *Prawne podstawy przedsiębiorczości*, Oficyna Wolters Kluwer Business, Warszawa 2009.
52. Jaditz T., Sayers C. L., *Is chaos generic in economic data?* ”International Journal of Bifurcations and Chaos” 1993, vol. 3.
53. Jakimowicz A., *Od Keynesa do teorii chaosu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
54. Jerzemowska M. (red.), *Analiza ekonomiczna w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2006.
55. Jędrzejewski S., *Identyfikacja ryzyka upadłości przedsiębiorstw*, Ostrów Wielkopolski 2005.
56. Kisielińska J., Waszkowski A., *Polskie modele do prognozowania bankructwa przedsiębiorstw i ich weryfikacja*, Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie „Ekonomika i Organizacja Gospodarki żywnościowej”, 2010, nr 82.
57. Korol T., *Prognozowanie upadłości firm przy wykorzystaniu miękkich technik obliczeniowych*, „Finansowy Kwartalnik Internetowy „e-Finanse” 2010, vol. 6, nr 2.

58. Korol T., Mączyńska E., *Dynamiczno-statyczny model prognozowania upadłości spółek giełdowych*, [w:] *Bankructwa przedsiębiorstw. Wybrane aspekty instytucjonalne*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej, Warszawa 2008.
59. Korol T., Prusak B., *Upadłość przedsiębiorstw a wykorzystanie sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2009.
60. Korol T., Prusak B., *Upadłość przedsiębiorstwa a wykorzystanie sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2005.
61. Koźny Z., Ożog M., *Kodeks spółek handlowych komentarz*, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk 2010.
62. Kudrewicz J., *Fraktale i chaos*, WNT, Warszawa 1993.
63. Kwiatkowski J., Orzeszko W., *Dynamiczne Modele Ekonometryczne*, „VII Ogólnopolskie Seminarium Naukowe”, Toruń, 2001.
64. Letkowski D., *Weryfikacja skuteczności wykorzystania funkcji dyskryminacyjnej do przewidywania zmian kursów akcji*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 804, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 67 (2014)
65. Lewandowski R., Wołowski P., *Prawo upadłościowe i naprawcze*, Wydawnictwo C. H. Beck, Warszawa 2011.
66. Levy H., Sarnat M., *Capital investment and financial decisions*. Prentice Hall, New York 1990.
67. Lisboa B., Vellido A., *Neural Networks in Business: A Survey of Applications (1992-1998)*, “Expert Systems with Application”, nr 17, 1999.
68. Lorenz E. N., *Deterministic Non-Periodic Flows*, „Jurnal of Atmospheric Sciences” 1963, vol. 20.
69. Los C. A., Yalamova R., *Multifractal Spectral Analysis of the 1987 Stock Market Crash*, “International Research Journal of Finance and Economics”, Issue 4/2006.
70. Lyden F. J., *Using Parson’s Functional Analysis in the Study of Public Organizations*, “Administrative Science Quarterly”, 1975, vol. 20.
71. Łapińska Sobczak N., Ostapowicz M., *Wielowymiarowa analiza porównawcza otwartych funduszy inwestycyjnych akcji*, Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Uniwersytet Szczeciński, „Rynek kapitałowy: skuteczne inwestowanie”, 2008, nr 9.

72. Łuczak M., *Zastosowanie fraktali do pozyskiwania wiedzy o rynkach kapitałowych*, Polskie Towarzystwo Zarządzania Wiedzą, Seria: Studia i Materiały, nr 4, 2005.
73. Majewska M., *Organizacja fraktalna jako strategia rozwoju współczesnego przedsiębiorstwa*, w: Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 737/2013.
74. Masiukiewicz P., *Międzynarodowe bankructwa i afery bankowe*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej, Warszawa 2009.
75. Mączyńska E., *Cykle życia i bankructwa przedsiębiorstw*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej, Warszawa 2011.
76. Mączyńska E., *Ekonomiczne aspekty upadłości przedsiębiorstw w Polsce*, Wydawnictwo Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 2005.
77. Mączyńska E., *Ocena kondycji przedsiębiorstwa (uproszczone metody)*, „Życie Gospodarcze”, 1994, nr 38.
78. Mączyńska E., *Procesy upadłościowe i naprawcze w Polsce na tle doświadczeń Unii Europejskiej*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2013.
79. Mączyńska E., Zawadzki M., *Dyskryminacyjne modele predykcji bankructwa przedsiębiorstw*. „Ekonomista”, 2/2006.
80. Milewski R., Kwiatkowski E., *Podstawy ekonomii*, PWN, Warszawa 2005.
81. Miosionek-Schweda M., *Model Altmana jako narzędzie do oceny ryzyka upadłości przedsiębiorstw*, w: W. Ronka-Chmielowiec, *Ubezpieczenia wobec wyzwań XXI wieku*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2014, nr 342.
82. Mirowska-Wierzbicka D., *Determinanty efektywności postępowań upadłościowych przedsiębiorstw w Polsce*, autoreferat rozprawy doktorskiej napisanej pod kierunkiem prof. dr. hab. J. Wilkina, Warszawa 2016.
83. Miśkiewicz-Nawrocka M., *Modele ekonomiczne z dynamiką chaotyczną*, „Studia Ekonomiczne”, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, nr 132/ 2013.
84. Miśkiewicz M., *Zastosowanie wykładników Lapunowa i wykładnika Hursta do predykcji kursów walutowych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2007.
85. Morawska S., *Ekonomia i prawo upadłości przedsiębiorstw*, Oficyna Wydawnicza Szkoły Głównej Handlowej, Warszawa 2012.

86. Mosdorf R., *Dynamiczny model wrzenia na podstawie metody chaosu deterministycznego*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1997.
87. Nazarko J., Siemieniuk N., Mosdorf R., *Fractal Analysis of Polish Stock Market Behaviour*, [in:] *Advanced Simulation Technologies Conference*, Computer Simulation in Business, San Diego, CA, 1999.
88. Noga A., *Teorie przedsiębiorstw*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2009.
89. Olejarczyk E., *Analiza sygnałów EEG metodą wymiaru fraktalnego*, Wydawnictwo PAN, Warszawa 2005.
90. Olzacka B., Pałczyńska-Gościniak R., *Jak ocenić firmę. Metodyka badań przykłady liczbowe*, Wydawnictwo ODDK, Gdańsk, 2003.
91. Orzeszko W., *Identyfikacja i prognozowanie chaosu deterministycznego w ekonomicznych szeregach czasowych*, Polskie Towarzystwo Ekonomiczne, Warszawa 2005.
92. Orzeszko W., *Wymiar fraktalny szeregów czasowych a ryzyko inwestowania*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2010.
93. Ossowski A., *Analiza jakościowa w zagadnieniach dynamiki i sterowania układów mechatronicznych*, Wydawnictwo PAN, Warszawa 2007.
94. Oświęcimka P., *Multifraktalne charakterystyki finansowych szeregów czasowych*, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2005.
95. Parker T. S., Chua L. O., *Chaos: A Tutorial for Engineers*, *Proceedings of the IEEE*, vol. 75, no. 8, 1987.
96. Pawłowska M., Jakimowicz A., *Źródła niestabilności struktur rynkowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
97. Peitgen H. -O., Jürgens H., Saupe D., *Granice chaosu. Fraktale*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
98. Peters E.E., *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, Wydawnictwo Wig Press, Warszawa 1997.
99. Petsch D., *Słowo wstępne*, [w:] A. Smith, *Teoria uczuć moralnych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1989.
100. Penc J., *Encyklopedia Zarządzania. Podstawowe kategorie i terminy*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Studiów Międzynarodowych, Łódź 2008.

101. Piątek E., Konat-Staniek M., *Metody identyfikacji niewypłacalności i ocena zagrożenia bankructwem*, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia” nr 4/2017 (88).
102. Pieńkowska M., *Ujęcie upadłości w teorii przedsiębiorstwa*, [w:] E. Mączyńska (red.), *Ekonomiczne aspekty upadłości przedsiębiorstw w Polsce*, „Materiały i Prace Instytutu Funkcjonowania Gospodarki Narodowej”, Tom XCII, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa 2005.
103. Pocięcha J. (red.), *Statystyczne metody prognozowania bankructwa w zmieniającej się koniunkturze gospodarczej*, Wydawnictwo Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków 2014.
104. Pogodzińska M., Sojak S., *Wykorzystanie analizy dyskryminacyjnej w przewidywaniu bankructwa przedsiębiorstw*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, „Ekonomia”, nr 25(299)/ 1995.
105. Prusak B., *Ekonomiczne i prawne aspekty upadłości przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2007.
106. Prusak B., *Nowoczesne metody prognozowania zagrożenia finansowego przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2005.
107. Prusak B., *Upadłość – mit klęski, czy szansa na odrodzenie*, w: „Prace Naukowe Katedry Ekonomii i Zarządzania Przedsiębiorstwem”, t. I, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2002.
108. Prusak B., *Zarys historyczny unormowania upadłości przedsiębiorstw w skali międzynarodowej*, [w:] Prusak B., *Ekonomiczne i prawne aspekty upadłości przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2007.
109. Prusak B., *Ekonomiczna analiza upadłości przedsiębiorstw. Ujęcie międzynarodowe*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2011.
110. Ptak-Chmielewska A., *Wykorzystanie modeli przeżycia i analizy dyskryminacyjnej do oceny ryzyka upadłości przedsiębiorstw*, „Ekonometria”, 2012, nr 4 (38).
111. Rak R., *Ilościowe charakterystyki fluktuacji i korelacji na polskim rynku akcji*, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2008.
112. Ratajczak W., *Metodologiczne aspekty fraktalnego modelowania rzeczywistości*, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Instytut Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej, Poznań 1998.

113. Ravi Kumar P., Ravi V., *Bankruptcy prediction in banks and firms via statistical and intelligent techniques – A review*, "European Journal of Operational Research" 2007, vol. 180, issue 1.
114. Rozwadowska B., *Fuzje i przejęcia*, Studio Emka, Warszawa 2012.
115. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
116. Sadowski Z., *Przedmowa do wydania drugiego*, [w:] A. Smith, *Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, t. 1.
117. Schumpeter J., *Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, McGraw-Hill Book Company, New York 1939.
118. Schumpeter J., *Kapitalizm, socjalizm, demokracja*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995.
119. Schumpeter J., *Teoria rozwoju gospodarczego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1960.
120. Schuster G. H., *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993.
121. Siemieniuk N., *Fraktale właściwości polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2001.
122. Siemieniuk N., Kilon J., *Technologie informatyczne na rynku kapitałowym*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Finansów i Zarządzania, Białystok 2006.
123. Siemieniuk N., Siemieniuk T., *Deterministic chaos in modeling economic processes*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe, Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2015, nr 234.
124. Siemieniuk N., Siemieniuk T., *Teoria chaosu deterministycznego a decyzje inwestorów giełdowych*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 855, „Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia”, 2015, nr 74, t.1.
125. Siemieniuk N., *Wykorzystanie teorii chaosu deterministycznego do analizy rynków kapitałowych na przykładzie indeksu WIG*, „Optimum. Studia Ekonomiczne”, 2009, nr 4 (44).
126. Siemieniuk T., *Wybrane aspekty wykorzystania teorii chaosu do opisu funkcjonowania spółek akcyjnych na Giełdzie Papierów Wartościowych*, [w:] N.

- Siemieniuk, G. Michalczuk (red.), „Technologie informacyjne w zarządzaniu organizacjami”, Wydawnictwa Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2012.
127. Sierpińska M., Jachna T., *Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
128. Sierpińska M., Jachna, *Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2004.
129. Smith A., *Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów*, t. 2, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
130. Smith A., *Teoria uczuć moralnych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1989.
131. Sroka H., Wolny W., *Inteligentne systemy wspomaganie decyzji*, Akademia Ekonomiczna im. Karola Adamieckiego w Katowicach, Katowice 2009.
132. Stabryła A., *Zarządzanie strategiczne w teorii i praktyce firmy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Kraków 2002.
133. Stabryła A., *Zarządzanie strategiczne w teorii i praktyce firmy*, Wyd. PWN, Warszawa 2007.
134. Stewart I., *Czy bóg gra w kości. Nowa matematyka chaosu*, PWN, Warszawa 1996
135. Sukiennik M., *Zastosowanie analizy dyskryminacyjnej do oceny stanu finansowego przedsiębiorstw*, Krakowska Konfederacja Młodych Uczonych, Kraków 2007.
136. Tadeusiewicz R., *Sieci neuronowe*, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1991.
137. Tokarski J. (red.), *Słownik wyrazów obcych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980.
138. Wajda P., *Wykorzystanie analizy dyskryminacyjnej w ocenie ryzyka upadłości przedsiębiorców*, „Przegląd Corporate Governance”, tom 1, 2009.
139. Waśniewski T., Skoczylas W., *Teoria i praktyka analizy finansowej w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo FRRwP, Warszawa, 2004.
140. Weitzel W., Johnson E., *Decline In Organizations – A Literature Integration and Extension*, za: L. Bednarski, *Symptomy i ocena zagrożeń sytuacji finansowej przedsiębiorstwa*, „Pieniądze i Więż”, 1999, nr 1 (2).
141. Weron A., Weron R., *Inżynieria finansowa. Wycena instrumentów pochodnych. Symulacje komputerowe. Statystyka rynku*, WNT, Warszawa 1998.

142. Wilkin J., *Instytucjonalne teorie państwa - przegląd wybranych koncepcji*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. *Ekonomia* (3), 2009, nr 74.
143. Wierzba D., *Wczesne wykrywanie przedsiębiorstw zagrożonych upadłością na podstawie analizy wskaźników finansowych – teoria i badania empiryczne*. Zeszyty Naukowe Szkoły Ekonomiczno-Informatycznej w Warszawie, Warszawa 2000.
144. Wojnar J., *Ocena skuteczności modeli analizy dyskryminacyjnej do prognozowania zagrożenia finansowego spółek giełdowych*, <http://zn.mwse.edu.pl/ebooki/24/219-231.pdf>.
145. Wojtasik A., *Upadłość układowa a upadłość likwidacyjna - podobieństwa i różnice prawno- ekonomicznych skutków procesu upadłościowego przedsiębiorstw w Polsce*, „STUDIA EKONOMICZNE REGIONU ŁÓDZKIEGO” nr XVIII/2015, POLSKIE TOWARZYSTWO EKONOMICZNE ODDZIAŁ W ŁODZI.
146. Woźniak S., *Słownik pojęć*, „Controlling i rachunkowość zarządcza”, 2000, nr 7.
147. Yamaguti M., Prado C. P. C., *A direct calculation of the spectrum of singularities $f(\alpha)$ of multifractals*, “Physics Letters A”, 1995, vol. 206, Issues 5-6.
148. Zaleska M., *Identyfikacja ryzyka upadłości przedsiębiorstwa i banku*, Difin, Warszawa 2002.
149. Zawadzki H., *Chaotyczne systemy dynamiczne*. AE, Katowice 1996.
150. Zarzecki D. (red.), *Zarządzanie finansami: mierzenie wyników i wycena przedsiębiorstwa*, t.1., Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 2003.
151. Zieliński J. S., *Inteligentne systemy w zarządzaniu. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
152. Zimniewicz K., *Nauka o organizacji i zarządzaniu*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Poznań 1990.

Akty prawne

1. Ustawa z dnia 28 lutego 2003 roku, *Prawo upadłościowe i naprawcze*, Dz. U. nr 60, poz. 535 z późniejszymi zmianami.
2. Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o ofercie publicznej i warunkach wprowadzania instrumentów finansowych do zorganizowanego systemu obrotu oraz o spółkach publicznych, Dz.U. 2005 nr 184 poz. 1539.

Źródła internetowe

1. <http://mybank.pl/gielda/emp-emperia-holding-sa.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).
2. <http://mybank.pl/gielda/pko-pko-bank-polski-sa.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).
3. <http://mybank.pl/gielda/pzu-powszechny-zak.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).
4. <http://mybank.pl/gielda/mbk-mbank.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).
5. <http://mybank.pl/gielda/zwc-grupa.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).
6. <http://mybank.pl/gielda/dbc-tc-d.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).
7. <http://mybank.pl/gielda/kgh-kghm-polska-mied.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).
8. <http://mybank.pl/gielda/prc-pr.html#3lata> (dostęp: 15.05.2019).
9. <http://mathworld.wolfram.com/SierpinskiSieve.html> (dostęp 18.12.2019).
10. http://archiwum.rp.pl/artykul/226589_Upadaja_z_braku_gotowki.html(dostęp 22.11.2019).
11. <https://mfiles.pl/pl/index.php/Plik:Trend.png> (dostęp 23.11.2019).
12. <https://poradnikprzedsiębiorcy.pl/-czym-sie-rozni-upadlosc-likwidacyjna-od-upadlosci-ukladowej> (dostęp 22.11.2019).
13. <https://spiralazadluzenia.pl/restrukturyzacja/upadlosc-likwidacyjna-przedsiębiorstwa.html> (dostęp: 24.11.2019).
14. <https://sjp.pwn.pl/slowniki/chaos.html> (dostęp 21.11.2018).
15. <https://www.marketinwestor.pl/ksiazki> (dostęp 21.11.2018).
16. <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/determinizm;3892112.html> (dostęp 10.11.2018).
17. <https://rs.maszyna.pl/~boberov/Kippin/127Granice%20z%c5%82o%c5%bcono%c5%9bci/127-06.htm> (dostęp 28.02.2018).
18. <https://www.bankier.pl/inwestowanie/profile/quote.html?symbol=ZYWIEC>(dostęp 12.09.2012).
19. <http://www.iwiedza.net/download/chaos.pdf>(dostęp 13.10.2019).

SPIS TABEL

Tabela 1. Wybrane metody oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstwa.....	40
Tabela 2. Kwalifikacja zagrożenia upadłością według E. Altmana.....	44
Tabela 3. Wykaz spółek akcyjnych wytypowanych do analizy fraktalnej.....	89
Tabela 4. Wartości wykładnika Hursta dla wybranych rynków kapitałowych.....	100
Tabela 5. Wartość wykładnika Lapunowa dla wybranych spółek akcyjnych na polskiej giełdzie.....	107
Tabela 6. Ranking wykładnika Lapunowa dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy.....	125
Tabela 7. Wartość wykładnika Lapunowa i czas utraty informacji w miesiącach dla wybranych spółek akcyjnych na polskiej giełdzie.....	126
Tabela 8. Wymiar fraktalny i korelacyjny dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy.....	135
Tabela 9. Ranking wymiaru fraktalnego dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy.....	153
Tabela 10. Ranking wymiaru korelacyjnego dla wybranych spółek akcyjnych z polskiej giełdy.....	154
Tabela 11. Wartość wykładnika Hursta dla wybranych spółek akcyjnych na polskiej giełdzie.....	161
Tabela 12. Ranking wartości wykładnika Hursta dla wybranych spółek akcyjnych na polskiej giełdzie.....	182

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Trzy typy atraktorów.....	64
Rysunek 2. Schematyczny portret fazowy posiadający dwa atraktory.....	65
Rysunek 3. Schematyczny portret fazowy tłumionego wahadła, kierunki zakreskowania wskazują baseny przyciągania.....	66
Rysunek 4. Schematyczny przekrój Poincare – kropki w układzie cyklu granicznego.....	66
Rysunek 5. Atraktor szeregu zwrotów notowań akcji a) spółki Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011, b) spółki Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012.....	67
Rysunek 6. Rodzaje trendów na rynku walutowym.....	72
Rysunek 7. Trójkąt Sierpińskiego.....	78
Rysunek 8. Samopodobieństwo danych finansowych (FW20M10).....	80
Rysunek 9. Zmiana rozmiaru w przestrzeni euklidesowej D-wymiarowej.....	81
Rysunek 10. Prezentacja wymiaru fraktalnego na przykładzie kwadratu euklidesowego.....	82
Rysunek 11. Przykład konstrukcji krzywej Kocha.....	83
Rysunek 12. Liść paproci jako przykład fraktala.....	83
Rysunek 13. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Dębica w okresie 02.01.1995-29.12.2016.....	93
Rysunek 14. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Emperia w okresie 03.01.1995-29.12.2016.....	93
Rysunek 15. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu KGHM w okresie 10.07.1997-29.12.2016.....	94
Rysunek 16. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Krosno w okresie 02.01.1995-29.10.2009.....	94
Rysunek 17. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu mBanku w okresie 02.01.1995-29.12.2016.....	94
Rysunek 18. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu PKO BP w okresie 10.11.2004-29.12.2016.....	95
Rysunek 19. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Próchnik w okresie 02.01.1995-29.12.2016.....	95
Rysunek 20. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Pronox w okresie 18.07.2007-05.04.2009.....	95
Rysunek 21. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu PZU w okresie 12.05.2010-29.12.2016.....	96

Rysunek 22. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011	96
Rysunek 23. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Techmex w okresie 19.05.2004-11.03.2011	96
Rysunek 24. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Tonsil w okresie 02.01.1995-29.07.2005	97
Rysunek 25. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Toora w okresie 30.12.1995-20.06.2008	97
Rysunek 26. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Universal w okresie 02.01.1995-17.05.1999	97
Rysunek 27. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Zntklapy w okresie 07.11.2007-05.02.2010	98
Rysunek 28. Szereg czasowy tygodniowych stóp zwrotu Żywiec w okresie 02.01.1995-29.12.2016.....	98
Rysunek 29. Szereg czasowy notowań spółki Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012 (szereg z trendem).....	99
Rysunek 30. Szereg czasowy zwrotów notowań akcji Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012 (szereg po wyeliminowaniu trendu)	99
Rysunek 31. Atraktor szeregu zwrotów notowań akcji a) spółki Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011, b) spółki Żywiec w okresie 02.01.1995-05.04.2012	100
Rysunek 32. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Dębica w okresie 02.01.1995- 29.12.2016.....	108
Rysunek 33. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Emperia w okresie 03.01.1995- 29.12.2016.....	109
Rysunek 34. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji KGHM w okresie 10.07.1997- 29.12.2016.....	110
Rysunek 35. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Krosno w okresie 02.01.1995- 29.10.2009.....	111
Rysunek 36. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji mBank w okresie 02.01.1995-29.12.2016.....	112
Rysunek 37. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji PKOBP w okresie 10.11.2004-29.12.2016.....	113

Rysunek 38. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Pronox w okresie 18.07.2007-05.04.2009.....	114
Rysunek 39. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Próchnik w okresie 02.01.1995- 29.12.2016.....	115
Rysunek 40. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji PZU w okresie 12.05.2010-29.12.2016.....	116
Rysunek 41. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011.....	117
Rysunek 42. Zmiany wartości wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Techmex w okresie 19.05.2004-11.03.2011.....	118
Rysunek 43. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Tonsil w okresie 02.01.1995-29.07.2005.....	119
Rysunek 44. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Toora w okresie 30.12.1995- 20.06.2008.....	120
Rysunek 45. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Universal w okresie 02.01.1995-17.05.1999.....	121
Rysunek 46. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Zntklapy w okresie 07.11.2007-05.02.2010.....	122
Rysunek 47. Zbieżność najwyższego wykładnika Lapunowa dla notowań akcji Żywiec w okresie 02.01.1995-29.12.2016.....	122
Rysunek 48. Zmiany entropii K_2 w funkcji wymiaru zanurzenia.....	132
Rysunek 49. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Dębica w okresie 02.01.1995- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	136
Rysunek 50. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Emperia w okresie 03.01.1995- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	137
Rysunek 51. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji KGHM w okresie 10.07.1997- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	138

Rysunek 52. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Krosno w okresie 02.01.1995- 29.10.2009 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	139
Rysunek 53. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji mBank w okresie 02.01.1995- 29.12.2016 dla.....	140
Rysunek 54. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji PKOBP w okresie 10.11.2004- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	141
Rysunek 55. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Pronox w okresie 18.07.2007- 05.04.2009 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	142
Rysunek 56. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Próchnik w okresie 02.01.1995- 29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	143
Rysunek 57. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji PZU w okresie 12.05.2010-29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	144
Rysunek 58. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	145
Rysunek 59. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Techmex w okresie 19.05.2004-11.03.2011 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	146
Rysunek 60. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Tonsil w okresie 02.01.1995-29.07.2005 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b)	

wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	147
Rysunek 61. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Toora w okresie 30.12.1995-20.06.2008 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	148
Rysunek 62. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Universal w okresie 02.01.1995-17.05.1999 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	149
Rysunek 63. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Zntklapy w okresie 07.11.2007- 05.02.2010 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	150
Rysunek 64. Określenie wymiaru fraktalnego na podstawie wymiarów korelacyjnych dla notowań akcji Żywiec w okresie 02.01.1995-29.12.2016 $\tau = 7$: a) krzywe $\ln C(l)$, b) wymiary korelacyjne dla zanurzeń 1-20 obliczone na podstawie nachyleń prostych regresji stycznych do krzywych z oznaczonego obrazu	151
Rysunek 65. Wykładnik Hursta	158
Rysunek 66. Zmiany wartości zmiennej losowej dla $H=0,9$ i $H=0,5$	160
Rysunek 67. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Dębica w okresie 02.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe).....	162
Rysunek 68. Wykres notowań akcji Dębica w latach 2016-2018	163
Rysunek 69. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Emperia w okresie 03.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe).....	164
Rysunek 70. Wykres notowań akcji Emperia w latach 2016-2018	164
Rysunek 71. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji KGHM w okresie 10.07.1997-29.12.2016 (dane tygodniowe).....	165
Rysunek 72. Wykres notowań akcji KGHM w latach 2016-2018.....	166
Rysunek 73. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Krosno w okresie 02.01.1995- 29.10.2009 (dane tygodniowe).....	167
Rysunek 74. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji mBank w okresie 02.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe).....	168

Rysunek 75. Wykres notowań akcji mBank w latach 2016-2018	168
Rysunek 76. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji PKOBP w okresie 10.11.2004-29.12.2016 (dane tygodniowe).....	169
Rysunek 77. Wykres notowań akcji PKOBP w latach 2016-2018.....	170
Rysunek 78. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Pronox w okresie 18.07.2007-05.04.2009 (dane tygodniowe).....	171
Rysunek 79. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Próchnik w okresie 02.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe)	172
Rysunek 80. Wykres notowań akcji Próchnik w latach 2016-2018	172
Rysunek 81. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji PZU w okresie 12.05.2010-05.04.2012 (dane tygodniowe)	173
Rysunek 82. Wykres notowań akcji PZU w latach 2016-2018	174
Rysunek 83. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Swarzędz w okresie 02.01.1995-14.01.2011 (dane tygodniowe).....	175
Rysunek 84. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Techmex w okresie 19.05.2004-11.03.2011 (dane tygodniowe).....	176
Rysunek 85. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Tonsil w okresie 02.01.1995-29.07.2005 (dane tygodniowe).....	177
Rysunek 86. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Toora w okresie 30.12.1995-20.06.2008 (dane tygodniowe)	178
Rysunek 87. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Universal w okresie 02.01.1995-17.05.1999 (dane tygodniowe).....	179
Rysunek 88. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Zntklapy w okresie 07.11.2007-05.02.2010 (dane tygodniowe)	180
Rysunek 89. Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Żywiec w okresie 02.01.1995-29.12.2016 (dane tygodniowe).....	181
Rysunek 90. Wykres notowań akcji Żywiec w latach 2016-2018.....	181

SPIS WZORÓW

Wzór 1. Model Altmana.....	43
Wzór 2. Nowa formuła modelu zagrożenia upadłością E. Altmana.....	45
Wzór 3. Konstrukcja modelu J. Gajdki i S. Stosa.....	46
Wzór 4. Konstrukcja modelu E. Mączyńskiej.....	48
Wzór 5. Konstrukcja modelu poznańskiego.....	49
Wzór 6. Konstrukcja modelu logitowego.....	52
Wzór 7. Granice funkcji logistycznej $P(x)$, gdy zmienna X dąży do $-\infty$	52
Wzór 8. Granice funkcji logistycznej $P(x)$, gdy zmienna X dąży do $+\infty$	53
Wzór 9. Model logitowy Hołdy.....	53
Wzór 10. Logarytmiczne stopy zwrotu cen akcji.....	90
Wzór 11. Szereg czasowy cen konsumpcyjnych uwzględniający inflację.....	90
Wzór 12. Stopa zwrotu cen akcji.....	91
Wzór 13. Szereg Fouriera w postaci zespolonej.....	92
Wzór 14. Konstrukcja wzoru wartości amplitudy.....	92
Wzór 15. Konstrukcja największego wykładnika Lapunowa.....	104
Wzór 16. Wykładnik Lapunowa.....	104
Wzór 17. Wymiar Kołmogorowa w n -wymiarowej przestrzeni euklidesowej.....	128
Wzór 18. Wymiar fraktalny- algorytm.....	129
Wzór 19. Punktowy wykładnik Höldera.....	130
Wzór 20. Spektrum osobliwości dla α	130
Wzór 21. Algorytm wyznaczania wymiaru korelacyjnego dla danych eksperymentalnych.....	131
Wzór 22. Algorytm wyznaczania wartości τ	131
Wzór 23. Algorytm Grassberger-Procaccia.....	134
Wzór 24. Szereg czasowy dla danych eksperymentalnych.....	156
Wzór 25. Wzór na wyznaczanie zakresu szeregu czasowego.....	157
Wzór 26. Algorytm wyznaczania wykładnika Hursta.....	157
Wzór 27. Logarytm równania (wzór 26).....	158

STRESZCZENIE

Podstawowym celem pracy doktorskiej jest pokazanie możliwości wykorzystania metod chaosu deterministycznego do oceny kondycji ekonomicznej spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. W literaturze przedmiotu brakuje bowiem wyników takich badań pomimo, iż powyższa problematyka jest przedmiotem licznych badań i analiz.

Badania przeprowadzone przez autora dysertacji jak również analiza literatury przedmiotu pozwoliły na zrealizowanie celu podstawowego rozprawy doktorskiej jak również celów teoretycznych, poznawczych, metodologicznych i wdrożeniowych.

Cele teoretyczne:

1. Identyfikacja i znaczenie metod oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw.
2. Istota i znaczenie chaosu deterministycznego w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.
3. Istota i znaczenie wykładników Lapunowa w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.
4. Istota i znaczenie wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego w analizie fraktalnej rynków kapitałowych.
5. Istota i znaczenie analizy R/S w badaniu pamięci długofalowej na rynkach kapitałowych.

Cele poznawcze:

1. Wskazanie i opisanie wybranych metod oceny kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw.
2. Identyfikacja wykładników Lapunowa na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie papierów Wartościowych w Warszawie.
3. Identyfikacja wymiaru fraktalnego i wymiaru korelacyjnego na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie papierów Wartościowych w Warszawie.
4. Identyfikacja wykładników Hursta na przykładzie wybranych spółek notowanych na Giełdzie papierów Wartościowych w Warszawie.

Cele metodyczne:

1. Weryfikacja możliwości wykorzystania wykładników Lapunowa do pomiaru fraktalności polskich spółek giełdowych i określenia tempa w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań spółki akcyjnej na polskiej giełdzie.
2. Weryfikacja możliwości wykorzystania wymiaru fraktalnego do opisu ilościowego sposobu wypełnienia przestrzeni fazowej przez dany obiekt.

3. Weryfikacja możliwości wykorzystania wymiaru korelacyjnego do określenia minimalnej liczby zmiennych koniecznych do sporządzenia modelu dynamiki systemu.
4. Weryfikacja możliwości wykorzystania analizy R/S do wyznaczania wykładnika Hursta dla spółek akcyjnych z polskiej giełdy.

Cel wdrożeniowy:

1. Możliwość wykorzystania mierników wynikających z teorii chaosu deterministycznego do oceny atrakcyjności inwestowania w konkretne akcje w aspekcie kondycji ekonomicznej danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

Biorąc pod uwagę cele rozprawy, sformułowano hipotezę główną, która dotyczyła wykazania, iż kondycję ekonomiczną spółek giełdowych w Polsce można prognozować, czyli przewidywać przyszłe zachowania danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie, stosując teorię chaosu deterministycznego. Hipoteza główna została potwierdzona w czwartym, piątym i szóstym rozdziale dysertacji. W celu zweryfikowania przyjętej w pracy hipotezy głównej dokonano jej dezagregacji na trzy funkcje szczegółowe (hipotezy szczegółowe). W pracy doktorskiej dokonano pozytywnej weryfikacji hipotez szczegółowych: Dodatnie wykładniki Lapunowa stanowią wyznacznik fraktalności polskich spółek giełdowych i określają tempo, w jakim tracimy zdolność przewidywania przyszłych zachowań danej spółki na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. W dysertacji zakłada się, iż spółki akcyjne notowane na polskiej giełdzie posiadają dodatnie wykładniki Lapunowa i są systemami chaotycznymi (H1); Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają wysoki wymiar fraktalny w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej (H2); Notowania spółek giełdowych w Polsce chylących się ku upadkowi posiadają niski wykładnik Hursta w porównaniu ze spółkami o dobrej kondycji ekonomicznej (H3).

Na proces badawczy nakierowany na realizację sformułowanych w rozprawie celów, uzyskanie odpowiedzi na pytania badawcze oraz weryfikację hipotez składały się następujące elementy: przeprowadzona w pracy analiza literatury przedmiotu, która służyła identyfikacji obszaru badawczego, przyjętej problematyki naukowej, a także badaniu zjawisk, pojęć i szacowaniu mierników związanych z wybranym celem badań i weryfikacją hipotez badawczych jak również badania empiryczne przeprowadzone na szeregach notowań akcji spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie.

Badania empiryczne w ramach dysertacji wykazały, iż polski rynek kapitałowy posiada właściwości fraktalne. Interesującym dla inwestorów i wierzycieli pytaniem jest, czy można ocenić kondycję ekonomiczną spółki giełdowej przy wykorzystaniu metod chaosu deterministycznego. Reasumując można stwierdzić, iż przeprowadzona w pracy doktorskiej analiza fraktalna wybranych spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie wykryła występowanie pamięci długofalowej na polskiej giełdzie, a co za tym idzie, możliwość badania za pomocą narzędzi chaosu deterministycznego. Niniejsza rozprawa stanowi próbę nowego podejścia do badania kondycji ekonomicznej spółek notowanych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie. Uzyskane przez autora wyniki analiz dla polskiej giełdy są interesujące, są również jednym ze sposobów wypełnienia luki w zakresie wykorzystania teorii chaosu deterministycznego w procesie analizy danych dotyczących funkcjonowania spółek akcyjnych. Przedstawione w dysertacji kierunki wykorzystania teorii chaosu deterministycznego na pewno nie wyczerpują pod tym względem wszystkich możliwości. Rozważania te mają charakter przyszłościowy, stąd oczywista staje się sprawa ich dyskusyjności. Problematyka zastosowania teorii chaosu deterministycznego w zagadnieniach obejmujących funkcjonowanie spółek akcyjnych na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie bezsprzecznie wymaga dalszych prac badawczych.

Słowa kluczowe: Giełda Papierów Wartościowych w Warszawie, teoria chaosu deterministycznego, kondycja ekonomiczna.

SUMMARY

The basic aim of this dissertation is to show how the deterministic chaos theory can be applied to the assessment of economic condition of the companies that are listed on the Warsaw Stock Exchange. Although the problem area in question has been extensively investigated, there still exists a research and knowledge gap in the literature of the subject, and no results have yet been published such as these presented in this study.

The research done by the Author of this dissertation along with the literature review made it possible to accomplish the primary objective adopted for this doctoral thesis along with the following theoretical, research, methodological and practical (implementation) goals.

Theoretical goals:

1. The identification and importance of the assessment methods of economic condition of companies.
2. The essence of deterministic chaos and its importance to fractal analysis of financial (capital) markets.
3. The essence and importance of Lyapunov exponents in fractal analysis of financial markets.
4. The essence and importance of the fractal and correlation dimensions in fractal analysis of financial markets.
5. The essence and importance of R/S analysis for the study of the memory in financial markets.

Research goals :

1. The identification and description of selected assessment methods of the economic condition of enterprises.
2. The identification of Lyapunov exponents based on selected companies listed on the Warsaw Stock Exchange.
3. The identification of fractal and correlation dimensions based on selected companies listed on the Warsaw Stock Exchange.
4. The identification of Hurst exponents based on selected companies listed on the Warsaw Stock Exchange.

Methodological goals:

1. Application verification of Lyapunov exponents for the purposes of fractality measurement of Polish listed companies and the determination of how fast the forecasting ability is being lost of the future behaviour of a listed company on the Polish Stock Exchange.
2. Application verification of fractal dimension for the purpose of quantitative account of phase space filling by a given object.
3. Application verification of correlation dimension for the purpose of determination of minimum variables that are needed to create a system dynamics model.
4. Application verification of R/S analysis for the purpose of identification of Hurst exponent for Polish listed companies.

Implementation goal:

1. The possibility and feasibility of the application of measures resulting from chaos theory for the purpose of estimation of investment attractiveness in the context of the economic condition of a given enterprise on the Warsaw Stock Exchange.

With the aforementioned objectives in mind, the main hypothesis was formulated that the economic condition of listed companies in Poland can be forecast using the deterministic chaos theory. This hypothesis was proved in the fourth, fifth and sixth chapter of the dissertation, and verified by means of its disaggregation into three specific functions (specific hypotheses). Specific hypotheses were then positively verified: positive Lyapunov exponents are fractality markers of the Polish listed companies and determine the pace at which forecasting ability is being lost as to the future behaviour of such companies on the Warsaw Stock Exchange. It is assumed in the dissertation that the companies listed on the Polish Stock Exchange exhibit positive Lyapunow exponents and are chaotic systems (H1). Stock Exchange quotations of the collapsing Polish listed companies have high fractal dimension compared to the companies that are in a good economic condition (H2). The quotations of the collapsing Polish companies display a low Hurst exponent compared to the companies in a good economic condition (H3).

There are the following components of the research process (addressing the above-mentioned objectives), finding answers to research questions and testing/verification of the hypotheses:

- Critical review and analysis of the literature of the subject made it possible to identify the research area and to study the concepts, phenomena and measures related to the adopted objectives and to verify the hypotheses;
- Empirical studies of a number of quotations of the companies listed on the Warsaw Stock Exchange.

Empirical studies have shown that the Polish capital market displays fractal properties. Importantly, investors and creditors may be interested in whether the economic condition of a listed company can be assessed using the methods proposed by deterministic chaos theory. Fractal analysis of selected companies listed on the Warsaw Stock Exchange that was conducted in the dissertation has revealed that the Polish Stock Exchange is characterized by long memory, which in turn allows the application of chaos theory methods. This dissertation therefore attempts to propose an innovative approach to the analysis of economic condition of the companies listed on the Warsaw Stock Exchange. The results obtained by the Author are not only interesting, but they also fill the knowledge gap regarding the application of chaos theory to the analysis of data about the functioning of listed companies. The practical directions set forth by the Author are by no means exhaustive; the solutions offered in this study are of future character and, despite being prospective and promising, are still arguable. For this reason, the complex issue under scrutiny requires further research.

Key words: Warsaw Stock Exchange, deterministic chaos theory, economic condition.