

## Teoria chaosu deterministycznego a decyzje inwestorów giełdowych

Nina Siemieniuk, Tomasz Siemieniuk\*

**Streszczenie:** Celem publikacji jest omówienie podstawowych elementów teorii chaosu deterministycznego oraz prezentacja rezultatów badań dotyczących analizy R/S wybranych spółek funkcjonujących na polskiej giełdzie i możliwości jej wykorzystania do podejmowania decyzji inwestycyjnych.

Inwestowanie w papiery wartościowe jest na całym świecie przedmiotem licznych badań i analiz. Wykorzystuje się w nich różne metody i narzędzia badawcze. Próby opisu decyzji inwestorów giełdowych podejmowane są w ramach wielu dyscyplin naukowych, np. ekonomii, matematyki, psychologii. Rozmaitość stosowanych teorii i metod znajduje swój wyraz w różnorodności uzyskiwanych wyników i prognoz. Osiągnięcie sukcesu przy inwestowaniu w papiery wartościowe jest bardzo trudne, ponieważ rynek ten 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. 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, które nigdy nie dają pełnej pewności sukcesu i są obciążone zwykle ryzykiem inwestycyjnym. Jedną z nowszych koncepcji opisu rynku kapitałowego jest teoria chaosu. Stanowi ona próbę odejścia od idei efektywności rynków kapitałowych w stronę bardziej uniwersalnego widzenia mechanizmów rządzących giełdą. Cechy charakterystyczne, stany nierównowagi oraz mechanizm sprzężenia zwrotnego w wymiarze czasowym, znajdują swój wyraz w opisie za pomocą dynamicznych systemów nieliniowych.

**Słowa kluczowe:** teoria chaosu, rynki kapitałowe, analiza R/S, papiery wartościowe

### Wprowadzenie

W obszarze inwestowania na giełdzie papierów wartościowych występuje szereg złożonych zjawisk charakteryzujących się dużą dynamiką zmian, niepodlegających prostym prawom statystyki matematycznej oraz niedających się wytłumaczyć prawami ekonomii. Opis tego typu badanych zjawisk zawiera dużą ilość specyficznych zmiennych, które mają strukturę nieliniową ze skomplikowanymi powiązaniem między tymi zmiennymi charakteryzującymi się wielowymiarowością i nieliniowością omawianych procesów. Od wielu lat podejmowano próby opracowania układów i odkrycia powiązań między poszczególnymi zmiennymi wpływającymi na zachowanie inwestorów giełdowych.

---

\* dr hab. Nina Siemieniuk, prof. UwB, Uniwersytet w Białymstoku, Wydział Ekonomii i Zarządzania, ul. Warszawska 63, 15-062 Białystok, e-mail: n.siemieniuk@uwb.edu.pl; mgr Tomasz Siemieniuk, Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Białymstoku, Wydział Nauk Ekonomicznych, ul. Ciepła 40, 15-472 Białystok, e-mail: tomasz.siemieniuk@wsfiz.edu.pl.

Możliwości wykorzystania komputerów do wielokrotnych iteracji struktur opisanych układami różnicowymi oraz rozwój matematyki spowodował przeniesienie modeli statystycznych na płaszczyznę nowych dyscyplin naukowych, teorii chaosu i analizy fraktalnej. W teorii chaosu przyjmuje się, że złożoność zjawisk może być przyczyną znacznie różniącego się w czasie zachowania układów, czyli tak zwanym wykładniczym rozbieganiem się trajektorii w przestrzeni fazowej, charakteryzujących się podobnymi portretami fazowymi w poszczególnych fazach cyklu. Zjawiska dynamiczne takie jak inwestowanie na rynkach kapitałowych mogą być zatem opisane modelami dynamicznymi, których nieregularność zależy od stopnia ich nieliniowości (Siemieniuk 2001: 97).

## 1. Teoria chaosu deterministycznego

Chaos deterministyczny to nieliniowy system dynamiczny, którego wyniki wyglądają na losowe, jednak są skutkiem określonych ścisłych praw naukowych. System chaotyczny jest wrażliwy na zmiany warunków początkowych (Peters 1997: 242). Chaos deterministyczny to określenie zestawiające dwa pojęcia, chaosu oraz determinizmu, których intuicyjne rozumienie może wydawać się przeciwstawne, ponieważ chaos reprezentuje brak regularności a determinizm oznacza podporządkowanie regułom. To z pozoru paradoksalne połączenie posiada jednak ugruntowaną pozycję w naukach zajmujących się badaniem dynamiki systemów. Chaotyczność oraz determinizm są bowiem cechami niezależnymi od siebie i reprezentują różne aspekty zachowania systemów. Pod pojęciem chaosu powszechnie rozumie się stan bezładu, nieuporządkowania, zamętu, nieokreśloności, niezorganizowania, przypadkowości, mówi się również, że ktoś lub coś jest chaotyczne, jeśli wykonuje nieprzewidywalne, nieskoordynowane ruchy (*Mała encyklopedia...* 1995).

Nie istnieje jedna, powszechnie akceptowana definicja chaosu deterministycznego, czyli chaosu w systemach dynamicznych. Warto jednak wyróżnić dwie podstawowe cechy systemów chaotycznych: nieliniowość funkcji oraz wrażliwość systemu na zmianę warunków początkowych. Inną interesującą własnością systemów dynamicznych jest generowanie zbiorów granicznych, tzw. atraktorów. Najogólniej rzecz ujmując, atraktor systemu dynamicznego to domknięty i ograniczony podzbiór przestrzeni stanów, do którego w kolejnych iteracjach zmierzają punkty pewnego otoczenia tego podzbioru. Z rodziny atraktorów można wyróżnić tzw. dziwne atraktory, w których system jest wrażliwy na zmianę warunków początkowych (Zawadzki 1996: 188–189).

„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” (Peters 1997: 15).

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 (Kwiatkowski, Orzeszko 2001: 309). Ze zjawiskiem teorii chaosu bezpośrednio związane jest pojęcie nieliniowego systemu dynamicznego. Oznacza ono każdy możliwy układ, odzwierciedlany poprzez funkcję czasu, tzn. jego stan zależy od przeobrażeń czasowych. Jednocześnie stan systemu definiowany jest, jako ogół wymiernych cech, określających dany system, z kolei zbiór wszelkich prawdopodobnych stanów danego systemu nazywa się przestrzenią stanów. Mówiąc o ekonomicznych systemach dynamicznych za stan systemu, uważa się wektor kreowany przez zmienne ekonomiczne lub określone ich modyfikacje. Ekonomicznymi systemami dynamicznymi mogą być, np.: rynek, gospodarstwo domowe, konsument, gospodarka narodowa, giełda, itp. (Kwiatkowski, Orzeszko 2001: 310).

Analizując literaturę przedmiotu trudno jest wyodrębnić jedną, uniwersalną definicję pojęcia chaosu deterministycznego, jednak badacze zgodnie podkreślają, iż odpowiednie rozumienie chaosu powinno w pełni obrazować charakter dynamiki chaotycznej. Oznacza to założenie występowania dynamiki nieokresowej w badanym układzie deterministycznym, inklinacji na przeobrażenia w zakresie założeń początkowych oraz występowania decydującego systemu deterministycznego, odpowiedzialnego za rekurencyjne zachowanie się systemu (Nowiński 2007: 34). Podobne poglądy, obejmujące wykorzystywanie koncepcji chaosu w swoich pracach prezentował m.in. Peters (1997). Często w swoich badaniach naukowcy za punkt wyjścia obierali pewien gotowy, deterministyczny model z czasem dyskretnym lub ciągłym, który wskutek danych przeobrażeń występował w postaci równania różnicowego lub różniczkowego z chaosem. Jednocześnie dokonywano takiej modyfikacji modelu statycznego, która pozwalała na uzyskanie modelu dynamicznego, który był ostatecznie poddawany analizie (Zawadzki 1996: 188–189).

Przez chaos deterministyczny należy rozumieć 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 rozsądne prognozowanie tych układów w krótkim horyzoncie czasowym (Gontar 2000: 250).

Układ chaotyczny charakteryzuje się tym, iż (Gontar 2000: 251):

- jest układem nieliniowym,
- wykazuje istnienie zachowań nieregularnych,
- wykazuje wrażliwość na stany początkowe,
- wykazuje istnienie dziwnego atraktora o budowie fraktalnej.

Można stwierdzić, iż teoria chaosu pozwala ująć w sposób ilościowy dynamikę niepewności i odnaleźć porządek w jej nieregularnościach. Przemawia ona do wyobraźni ukazując, jak złożone zachowania mogą wyrastać z prostych deterministycznych równań. Rezultat jest chaotyczny, mimo że sam proces jest uporządkowany. Chaos i porządek współistnieją ze sobą. Pomimo, iż w chaosie obecny jest porządek, to w dłuższym okresie czasu zachowanie systemu chaotycznego jest nieprzewidywalne. Teoria chaosu ujawnia obecny w naturze porządek, jednocześnie ostrzegając, że należy nauczyć się funkcjonowania w świecie niepewności (Peters 1997: 131).

## 2. Wykorzystanie analizy R/S w decyzjach inwestorów giełdowych

Akcje są papierami wartościowymi, które potwierdzają udział ich właścicieli w kapitale spółki akcyjnej (Milewski, Kwiatkowski 2005: 531). Akcje są podstawowymi instrumentami finansowymi notowanymi na giełdzie papierów wartościowych.

Rewolucję w zastosowaniu teorii chaosu w dziedzinie finansów przyniósł krach pod koniec 1987 roku na rynkach finansowych. Wielu ekonomistów zaczęło wówczas myśleć o wykorzystaniu teorii dynamiki nieliniowej i teorii chaosu do opisu i przewidywania zachowań rynków kapitałowych (Siemieniuk, Kilon 2006: 91).

Aby zgromadzone dane można było poddać analizie metodami opartymi na teorii chaosu deterministycznego, należy wyeliminować linię trendu. Operacja ta może zostać wykonana dwiema metodami. Pierwsza metoda polega na konstrukcji szeregu zwrotów kursów akcji zgodnie ze wzorem (1) (Weron, Weron 1998: 283):

$$S_i^\tau = \frac{P_i - P_{i-\tau}}{P_{i-\tau}} \quad (1)$$

gdzie:

$P_i$  – oznacza kurs akcji w pewnym dniu,  
zaś  $\tau$  – odstęp czasowy liczony w dniach.

Druga metoda opiera się na analizie widma mocy badanego sygnału. Eliminacja pierwszych częstotliwości widma, przenoszących główną informację o kształcie szeregu, powoduje usunięcie trendu.

Jak wykazano we wcześniejszych publikacjach (Siemieniuk 2001: 156–164), dla danych giełdowych bardziej odpowiednią metodą eliminacji trendu jest budowa szeregu zwrotów notowań akcji na giełdzie.

Jedną z podstawowych metod pozwalających na odróżnienie szeregów losowych od nielosowych jest analiza przeskalowanego zakresu R/S, która stanowi jedną z metod 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 Hursta (Siemieniuk 2001: 95):

- $H = 0,5$  – 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 (Mosdorf 1997):

$$T_i = \sum_{j=1}^i (x_j - \bar{x}_N) = \sum_{j=1}^i x_j - i \cdot \bar{x}_N \quad (2)$$

gdzie:

- $T_i$  – skumulowane odchylenie w  $N$  próbkach,
- $x_j$  – wartość próbki w chwili  $j$ ,
- $\bar{x}_N$  – średnia arytmetyczna danych dla  $N$  próbek.

Kolejny krok polega na wyznaczeniu się różnicy nazywanej „zakresem”:

$$R = \max(T_i) - \min(T_i) \quad (3)$$

gdzie:

- $R$  – „zakres” szeregu  $T$ ,
- $\max(T)$  – maksymalna wartość szeregu  $T$ ,
- $\min(T)$  – minimalna wartość szeregu  $T$ .

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 (Nazarko, Siemieniuk, Mosdorf 1999):

$$R/S = (a \cdot N)^H \quad (4)$$

gdzie:

- $R/S$  – przeskalowany „zakres”,
- $N$  – liczba obserwacji,
- $a$  – stała,
- $H$  – wykładnik Hursta.

Jak już wcześniej wspomniano, można wyróżnić trzy przedziały zmian wielkości wykładnika Hursta:  $H = 0,5$ ;  $0 \leq H < 0,5$ ;  $0,5 < H \leq 1$ .  $H$  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, czyli

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. Jeśli wartość wykładnika Hursta mieści się w przedziale  $0,5 < H < 1$ , szereg nazywa się szeregiem persystentnym, wyznaczającym trend czyli szeregiem chaotycznym. Jeżeli 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 trend (Nazarko, Siemieniuk, Mosdorf 1999):

Logarytmując równanie (4) otrzymuje się zależność:

$$\log(R/S) = H \cdot \log(N) + H \cdot \log(a) \quad (5)$$

Współczynnik kierunkowy stycznej do wykresu  $\log(R/S)$  w funkcji  $\log(N)$ , wyznacza wartość wykładnika Hursta  $H$ . W praktyce współczynnik kierunkowy stycznej zastępuje się współczynnikiem kierunkowym prostej regresji określonej dla danego przedziału zmian liczebności  $N$ . Jeżeli liczba  $N$  obejmuje zbyt dużą liczbę punktów pomiarowych  $N$ , oznacza to, że badany proces przypomina błędzenie przypadkowe (zanika pamięć długookresowa – czyli pamięć pomiędzy kolejnymi przedziałami). Punkt ten odpowiada kresowi naturalnego okresu układu fizycznego.

Wyżej omówione charakterystyki metod chaosu deterministycznego i wykładnika Hursta można zastosować do podejmowania decyzji inwestycyjnych na giełdzie papierów wartościowych. Do analizy wykorzystano szeregi czasowe cen akcji następujących spółek akcyjnych funkcjonujących na polskiej giełdzie: Dębica, TVN i Żywiec. Dla powyższych spółek wyliczono wykładnik Hursta wykorzystując algorytmy i założenia wyżej omówione i dokonano analizy decyzji inwestorów giełdowych.

W tabeli zaprezentowano wartości wykładnika Hursta dla spółek akcyjnych: Dębica, TVN Żywiec, notowanych na polskiej giełdzie.

**Tabela 1**

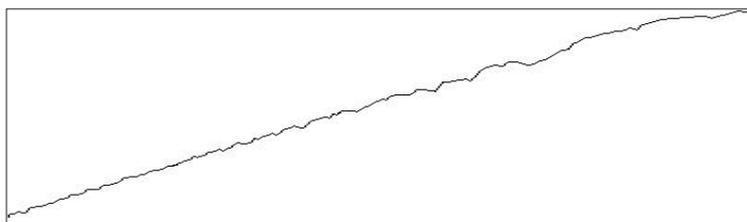
Wartość wykładnika Hursta dla wybranych spółek akcyjnych na polskiej giełdzie

Nazwa spółki akcyjnej	Wartość wykładnika Hursta
Dębica	0,821
TVN	0,704
Żywiec	0,696

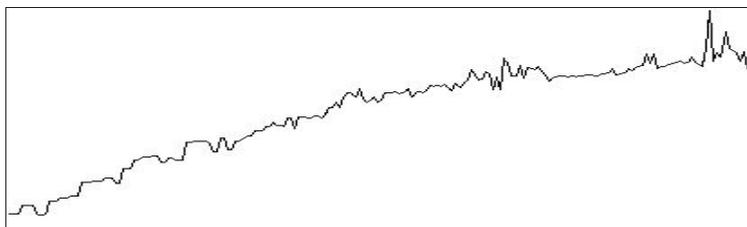
Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu RecS!

Jak wynika z danych zawartych w tabeli 1, w wyniku przeprowadzonej analizy R/S wybranych spółek akcyjnych, wartość wykładnika Hursta wskazuje na występowanie chaosu deterministycznego.

Kolejną kwestią jest wartość wykładnika Hursta. Na rysunku 1 podano przykładowe zmiany zmiennej losowej w przypadku, gdy wykładnik Hursta jest równy 0,9 i 0,5.



$H = 0,9$ .



$H = 0,5$ .

**Rysunek 1.** Zmiany wartości zmiennej losowej dla  $H = 0,9$  i  $H = 0,5$

Źródło: Siemieniuk (2001: 160).

Analizując literaturę przedmiotu można stwierdzić, iż 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 obciążone jest niższym ryzykiem, ponieważ w takim szeregu jest mniej szumu. Z akcjami o wysokim wykładniku Hursta związane jest większe ryzyko gwałtownych zmian (Siemieniuk 2001: 160).

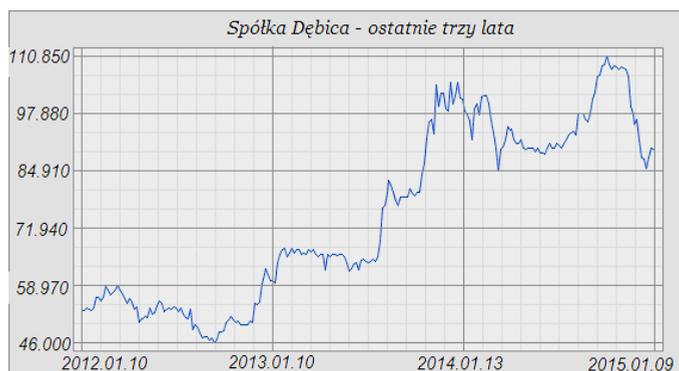
Powyższą zależność poddano analizie na przykładzie trzech spółek akcyjnych funkcjonujących na polskiej giełdzie: Dębica, TVN i Żywiec. Na podstawie danych z tabeli 1 można stwierdzić, iż wykładnik  $H$  dla spółki Dębica wynosi 0,821, dla spółki TVN jest mniejszy i wynosi 0,704, natomiast spółkę akcyjną Żywiec charakteryzuje najniższy wykładnik  $H$  i wynosi 0,696. Obliczeń dotyczących charakterystyk chaosu deterministycznego wybranych spółek dokonano w przedziale czasowym 1995–2012. Na rysunku 2 zaprezentowano wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji Dębica, na rysunku 4 wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji TVN, z kolei na rysunku 6 wykres i wielkość wykładnika Hursta dla akcji spółki Żywiec. Z kolei na rysunku 3 pokazano wykres notowań akcji spółki

Dębica na polskiej giełdzie w latach 2012–2015, na rysunku 5 wykres notowań akcji spółki TVN na polskiej giełdzie w latach 2012–2015, zaś na rysunku 7 wykres notowań akcji spółki Żywiec na polskiej giełdzie w latach 2012–2015. Inwestor giełdowy po dokonaniu analizy wykładników Hursta na koniec roku 2012 mógł stwierdzić, iż najmniej ryzykowną decyzją jest nabycie akcji spółki Dębica o wykładniku  $H$  równym 0,821, gdyż im wyższy wykładnik Hursta tym szereg notowań akcji jest mniej chropowaty, mniej ryzykowny. W drugiej kolejności mogła być decyzja nabycia akcji spółki TVN o wykładniku Hursta niższym niż



**Rysunek 2.** Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Dębica w okresie 2.01.1995– 5.04.2012

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu RecS!



**Rysunek 3.** Wykres notowań akcji Dębica w latach 2012–2015

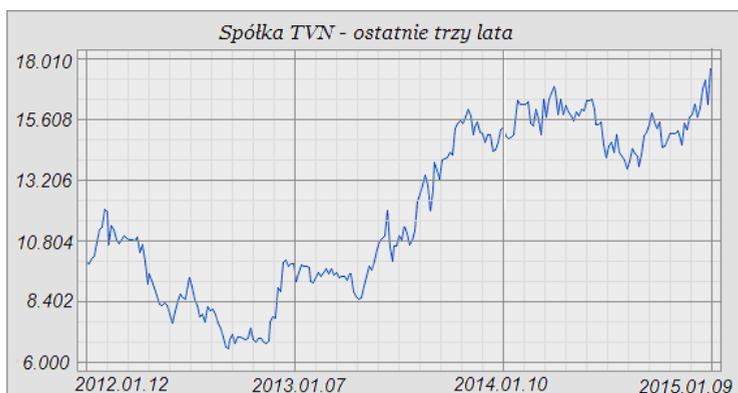
Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/dbc-tc-d.html#3lata> (9.01.2015).

w przypadku spółki Dębica i wynoszącym 0,704, najbardziej ryzykowne okazało się podjęcie decyzji dotyczących zakupu akcji Żywiec, gdzie wykładnik Hursta był najmniejszy, równy 0,696, szereg notowań najbardziej chropowaty, najbardziej ryzykowny. Powyższą hipotezę potwierdza analiza wykresów notowań akcji Dębica, TVN i Żywiec (rysunki 3, 5 i 7) w roku 2013, gdzie wyraźnie widać, iż najmniej zmiennymi okazały się notowania akcji spółki Dębica o wykładniku  $H$  równym 0,821, w następnej kolejności notowania cen akcji TVN o wykładniku  $H$  równym 0,704, natomiast najbardziej ryzykowne i zmienne okazało się inwestowanie w akcje spółki Żywiec, gdzie wykładnik  $H$  był najniższy i wyniósł 0,696.



**Rysunek 4.** Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji TVN w okresie 7.12.2004–5.04.2012

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu RecS!



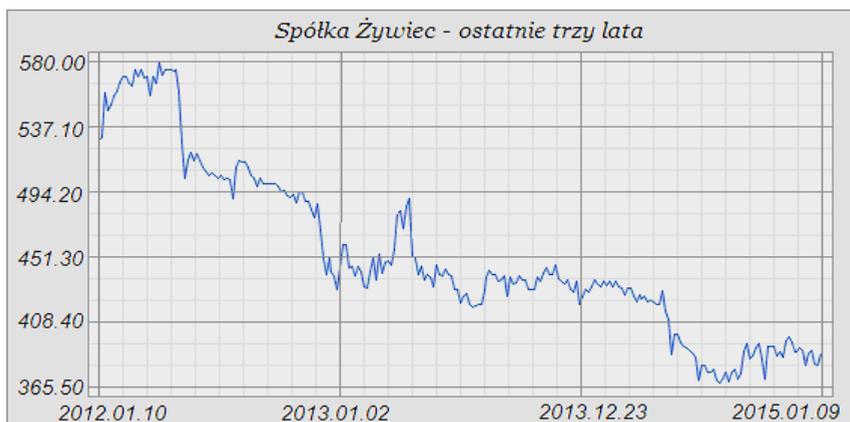
**Rysunek 5.** Wykres notowań akcji TVN w latach 2012–2015

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/tvn-tvn-sa.html#3lata> (9.01.2015).



**Rysunek 6.** Wykładnik Hursta dla szeregu czasowego przyrostów notowań akcji Żywiec w okresie 2.01.1995– 5.04.2012

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem programu RecS!



**Rysunek 7.** Wykres notowań akcji Żywiec w latach 2012–2015

Źródło: opracowanie na podstawie: <http://mybank.pl/gielda/zwc-grupa.html#3lata> (9.01.2015).

## Uwagi końcowe

Podsumowując można stwierdzić, iż w wyniku zastosowania analizy R/S do badania decyzji inwestorów giełdowych można wykazać strukturę fraktalną i nieliniowość takich zjawisk. Analiza fraktalna rynków kapitałowych stanowi istotne uzupełnienie klasycznych metod analizy. Należy pamiętać, że analiza fraktalna nie przybliża nas do prognozowania wartości akcji na konkretny dzień, pozwala jednak ocenić prawdopodobieństwo określonych zachowań rynku i modelowania alternatywnych scenariuszy jego zachowań.

Z omawianych zagadnień wynika, iż teoria chaosu ma znaczące zastosowanie do analizy decyzji inwestorów giełdowych. Analiza powyższa z powodzeniem może być wykorzystywana jest 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 do modelowania 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, co stanowi nawiązanie do prac pierwszych badaczy cykli gospodarczych. Jeśli nawet do niektórych istniejących modeli chaotycznych można mieć z ekonomicznego punktu widzenia 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.

## Literatura

- Gontar Z. (2000), *Teoria chaosu*, w: *Inteligentne systemy w zarządzaniu. Teoria i praktyka*, red. J.S. Zieliński, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kwiatkowski J., Orzeszko W. (2001), *Identyfikacja chaosu deterministycznego w polskich szeregach finansowych*, VII Ogólnopolskie Seminarium Naukowe, Uniwersytet M. Kopernika w Toruniu, Toruń.
- Mala encyklopedia PWN A-Z* (1995), PWN, Warszawa.
- Milewski R., Kwiatkowski E. (2005), *Podstawy ekonomii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Mosdorf R. (1997), *Dynamiczny model wrzenia na podstawie metody chaosu deterministycznego*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok.
- Nazarko J., Siemieniuk N., Mosdorf R. (1999), *Fractal Analysis of Polish Stock Market Behaviour*, w: *Advanced Simulation Technologies Conference. Computer Simulation in Business*, San Diego.
- Nowiński M. (2007), *Nieliniowa dynamika szeregów czasowych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław.
- Peters E.E. (1997), *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*, WIG Press, Warszawa.
- Siemieniuk N. (2001), *Fraktalne własności polskiego rynku kapitałowego*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.
- Siemieniuk N., Kilon J. (2006), *Technologie informatyczne na rynku kapitałowym*, Wydawnictwa WSFiZ, Białystok.
- Weron A., Weron R. (1998), *Inżynieria finansowa. Wycena instrumentów pochodnych. Symulacje komputerowe. Statystyka rynku*, WNT, Warszawa.
- Zawadzki H. (1996), *Chaotyczne systemy dynamiczne. Elementy teorii i wybrane zagadnienia ekonomiczne*, Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice.

**DETERMINISTIC CHAOS THEORY AND DECISIONS OF STOCK EXCHANGE INVESTORS**

**Abstract:** Investing in securities is the subject of numerous studies and analyses worldwide. There are a variety of methods and research tools used. Attempts to describe decisions of stock exchange investors are taken within multiple disciplines, e.g. economics, mathematics, psychology. A variety of theories and methods used is reflected in the diversity of obtained results and forecasts. Achieving success when investing in securities is very difficult, because the market is very dynamic and is hardly ever in equilibrium. Strategies in this market are, from a methodological point of view, the most difficult of all strategies used in the economy. Investors seeking justification for their investment decisions use, inter alia, fundamental, technical or portfolio analysis. In order to predict the future behaviour of the market, various models are designed, which never give full assurance of success and are usually burdened with investment risk. One of the newer concepts of the description of capital market is chaos theory. It is an attempt to move away from the idea of the efficiency of capital markets towards a more universal view of the mechanisms governing the stock exchange. Characteristic features, imbalances and positive feedback mechanism in time are reflected in the description with the use of non-linear dynamic systems.

**The** aim of the paper is to discuss the basic elements of deterministic chaos theory and to present the results of research on the R/S analysis of selected companies operating in the Polish stock exchange and the possibility of its use to make investment decisions.

**Keywords:** chaos theory, capital markets, R/S analysis, securities

**Cytowanie**

Siemieniuk N., Siemieniuk T. (2015), *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, s. 181–192; [www.wneiz.pl/frfu](http://www.wneiz.pl/frfu).