

**Dr hab. Nina Siemieniuk, prof. UwB**

Uniwersytet w Białymstoku  
ORCID: 0000-0002-8819-1301  
e-mail: n.siemieniuk@uwb.edu.pl

**Dr Łukasz Siemieniuk**

Uniwersytet w Białymstoku  
ORCID: 0000-0002-0133-1472  
e-mail: l.siemieniuk@uwb.edu.pl

**Dr inż. Tomasz Siemieniuk**

Wschodnioeuropejska Akademia Nauk Stosowanych  
w Białymstoku  
ORCID: 0000-0003-4776-3323  
e-mail: tomasz.siemieniuk@wans.edu.pl

# Teoria chaosu innowacyjnym narzędziem badawczym procesów gospodarczych

Chaos theory as an innovative research tool  
for economic processes

## Streszczenie

Teoria chaosu jako innowacyjne narzędzie badawcze daje możliwość uchwycenia nieliniowych i złożonych relacji pomiędzy różnymi zjawiskami zachodzącymi w procesach gospodarczych. Dzięki zastosowaniu analizy chaotycznej badacze mogą dokładniej zbadać te relacje, a także przewidywać ewentualne zmiany i wahania, które mogą wpłynąć na procesy biznesowe. Jednocześnie warto zauważyć, że teoria chaosu nie jest narzędziem uniwersalnym i wymaga specjalistycznej wiedzy oraz umiejętności jej zastosowania. Pomimo to coraz więcej badaczy zaczyna wykorzystywać teorię chaosu w swojej pracy, co może przyczynić się do nowych odkryć i lepszego zrozumienia procesów gospodarczych. W efekcie zastosowanie teorii chaosu może pomóc firmom w lepszym planowaniu i podejmowaniu decyzji, co z kolei może przyczynić się do zwiększenia konkurencyjności i wzrostu gospodarczego. Celem publikacji jest ukazanie, jak teoria chaosu może być użytecznym i wartościowym narzędziem badawczym w dzisiejszych dynamicznych i złożonych procesach gospodarczych.

## Słowa kluczowe

teoria chaosu, proces gospodarczy, rynki finansowe

JEL: G, G1, G17

## Abstract

Chaos theory as an innovative research tool makes it possible to capture non-linear and complex relationships between various phenomena occurring in economic processes. Thanks to the use of chaotic analysis, researchers can examine these relationships in more detail, as well as anticipate possible changes and fluctuations that may affect business processes. At the same time, it is worth noting that chaos theory is not a universal tool and requires specialist knowledge and the ability to apply it. Despite this, more and more researchers are starting to use chaos theory in their work, which may contribute to new discoveries and a better understanding of economic processes. As a result, the application of chaos theory can help companies to plan and make better decisions, which in turn can contribute to increased competitiveness and economic growth. The aim of the publication is to show how chaos theory can be a useful and valuable research tool in today's dynamic and complex economic processes.

## Keywords

chaos theory, economic process, financial markets

## Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach, wraz z dynamicznym rozwojem technologicznym i globalizacją rynków, procesy gospodarcze stają się coraz bardziej skom-

plikowane i trudne do przewidzenia. W związku z tym coraz większą popularnością cieszy się wykorzystanie narzędzi matematycznych i statystycznych, w tym także teorii chaosu, w analizie i badaniu tych procesów. Teoria chaosu jest inter-



dyscyplinarną dziedziną nauki, która umożliwia badanie złożonych, nieliniowych procesów i systemów, które w tradycyjnych metodach analizy wydają się chaotyczne i nieprzewidywalne. W niniejszym artykule skoncentrowano się na zastosowaniu teorii chaosu jako innowacyjnego narzędzia badawczego w procesach gospodarczych. Przedstawiono zwłaszcza różne przykłady zastosowania teorii chaosu w analizie rynków finansowych, prognozowaniu trendów gospodarczych oraz w procesach zarządzania i podejmowania decyzji biznesowych. Ponadto omówiono korzyści wynikające z wykorzystania teorii chaosu w badaniach procesów gospodarczych oraz potencjalne wyzwania i ograniczenia.

Celem publikacji jest ukazanie, jak teoria chaosu może być użytecznym i wartościowym narzędziem badawczym w dzisiejszych dynamicznych i złożonych procesach gospodarczych. Biorąc pod uwagę cel badań określony w publikacji, sformułowano hipotezę, iż atrakcyjność inwestycyjną podmiotów gospodarczych można prognozować, czyli przewidywać ich przyszłe zachowania na rynkach kapitałowych, stosując teorię chaosu deterministycznego.

W celu weryfikacji przyjętej w badaniach hipotezy wykorzystuje się następujące mierniki wynikające z teorii chaosu deterministycznego: wykładnik Lapunowa, wymiar fraktalny, wymiar korelacyjny, wykładnik Hursta. 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 dodatnią. Chaotyczne systemy dynamiczne wyróżnia duża wrażliwość na warunki początkowe. Wymiar fraktalny jest ważną informacją o systemie, ponieważ umożliwia oszacowanie wymiaru korelacyjnego, czyli minimalnej liczby zmiennych dynamicznych, potrzebnych do opisanie danego układu. Im mniejsza jest ta liczba, tym mniej skomplikowany i bardziej przewidywalny jest dany system. Jedną z podstawowych metod pozwalających na odróżnienie szeregów losowych od nielosowych jest analiza przeskalowanego zakresu (*research range analysis*), czyli analiza 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 o występowaniu lub niewystępowaniu zjawiska chaosu w badanym systemie. Wraz ze wzrostem wykładnika linia staje się coraz

gładsza, w systemie jest mniej szumu. Wykładnik Hursta jest zatem miernikiem złożoności szeregu fraktalnego.

## Przegląd literatury

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 r. przez Królewskie Towarzystwo Naukowe w Londynie, które opisało chaos jako „przypadkowe wydarzenia pojawiające się w deterministycznym systemie” (Gabryś, 2007, s. 13).

W mitologii greckiej chaos opisywany jest jako uosobienie próżni pierwotnej, czyli stanu przed uporządkowaniem elementów wszechświata (Grimal, 2008). 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 bezładu, czy też bezładna materia w pustej przestrzeni, z której ukształtował się kosmos” (Słownik języka polskiego PWN, b.d.). Na podstawie monografii 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 współistnieją ze sobą i przenikają się wzajemnie” (Peters, 1997).

Z pojęciem chaosu związane jest pojęcie determinizmu. Jest to teoria, która mówi, że każde zdarzenie jest określone i zdeterminowane zdarzeniem poprzedzającym je w czasie. W związku z tym wszystkie zdarzenia są połączone związkiem przyczynowo-skutkowym. Determinizm wyklucza powstawanie zdarzeń w sposób losowy bądź przypadkowy (Encyklopedia PWN, b.d.). Jeśli chodzi o chaos deterministyczny, należy zaznaczyć, że nie istnieje jedna, powszechnie akceptowana definicja chaosu deterministycznego, czyli chaosu w systemach dynamicznych (N. Siemieniuk & T. Siemieniuk, 2015, s. 182). Jedną z pierwszych osób używających tego określenia był Schuster (Schuster, 1993, s. 15). Z kolei Peters definiuje chaos jako „deterministyczny, nieliniowy system dynamiczny, którego wyniki wyglądają na losowe” (Peters, 1997, s. 242). Jakimowicz uważa, że nazwa chaos deterministyczny wynika z pojawiającego się w wielu układach deterministycznych chaosu, który jest typową cechą charakterystyczną tych układów (Jakimowicz, 2012, s. 321). 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, takich jak 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” (Miśkiewicz-Nawrocka, 2013, s. 56–66). Jak wynika z powyższego, „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).

Według 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 początkowych (Peters, 1997, s. 242).

Jak podaje 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 nieliniowości (Gontar, 2000, s. 250).

Jak pisze 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, 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 praktyce (Gajer, 2004, s. 18–19).

## Teoria chaosu. Ujęcie teoretyczne

Chaos deterministyczny wiąże się z nieregularnym ruchem w układzie nieliniowym, determinowanym prawami dynamiki, przy znanej wcześniejszej historii układu. Przewidywania zachowań układów chaotycznych są praktycznie niemożliwe, ponieważ dla bardzo zbliżonych warunków początkowych, ze względu na nieliniowość, mogą wystąpić 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 układu (N. Siemieniuk, 2001, s. 98).

Można wyróżnić trzy drogi (scenariusze) dochodzenia do chaosu w układach dynamicznych. Pierwsza jest zwana drogą bifurkacji albo podwajania okresu. Została ona 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 atryktorów, 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 oraz (N. Siemieniuk, 2001, s. 98–99):

- nieliniowością,
- występowaniem zachowań nieregularnych,
- występowaniem dziwnego atryktora 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 mniejsza jest ta liczba, tym prostszy jest układ, im większa, tym bardziej złożony układ (Peters, 1997, s. 246–247). 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 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 r. Wielu ekonomistów zaczęło poważnie myśleć o wykorzystaniu teorii dynamiki nieliniowej oraz teorii chaosu do opisu i przewidywania zachowań rynków kapitałowych (N. Siemieniuk & Kilon, 2006, s. 91). 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. bifurkacje (Fritzowski, 2015, s. 4–5).

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, co jest związane z wykładnikami Lapunowa (Demkowski, 2009, s. 5). Fraktal jest to obiekt lub proces wykazujący w swojej strukturze samopodobieństwo, dokładne w sensie statystycznym lub matematycznym, w dużym zakresie powiększeń. Lorenz, który odkrył, że nie sposób opracować prognozy pogody na dłużej niż kilka dni

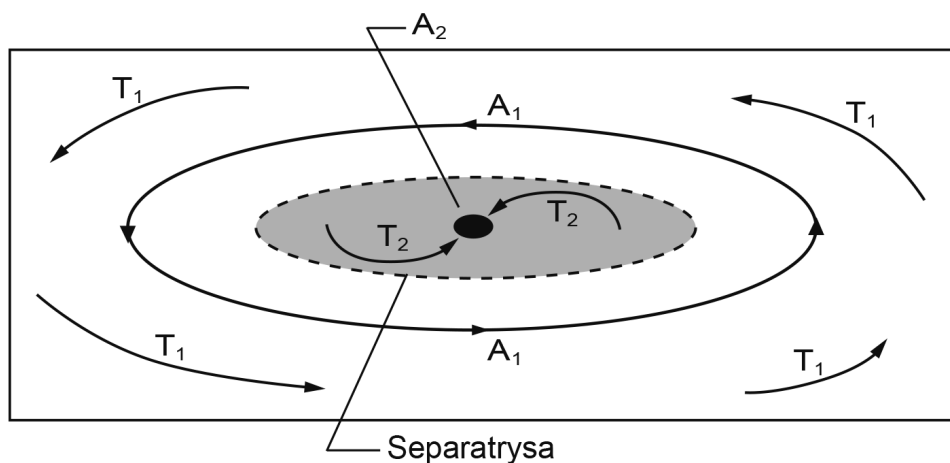
naprzód, gdyż równania opisujące stan atmosfery są chaotyczne, stwierdził, że nawet machnięcie skrzydeł motyla w Brazylii może wywołać tornado w Teksasie. W 1963 r. ukazała się jego praca, w której wykazał, iż niewielka zmiana w jednym z punktów atmosfery może być przyczyną dużych zmian w innym jej obszarze. Od tamtego czasu zjawisko polegające na tym, że małe zaburzenia mogą prowadzić do rewolucyjnych zmian w różnych dziedzinach nauki, nazwano efektem motyla. Przedstawia ono zachowanie układów nieliniowych, wrażliwych na niewielkie zmiany warunków początkowych (Zieliński, 2000, s. 4).

Stosowane w ramach teorii chaosu deterministyczne 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) ma 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 nanieśnięcie 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.

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 systemu (Schuster, 1993, s. 132).

Aby więc zbiór  $A$  przestrzeni  $n$ -wymiarowej był atraktorem, musi charakteryzować się następującymi cechami (Kudrewicz, 1993, s. 58):

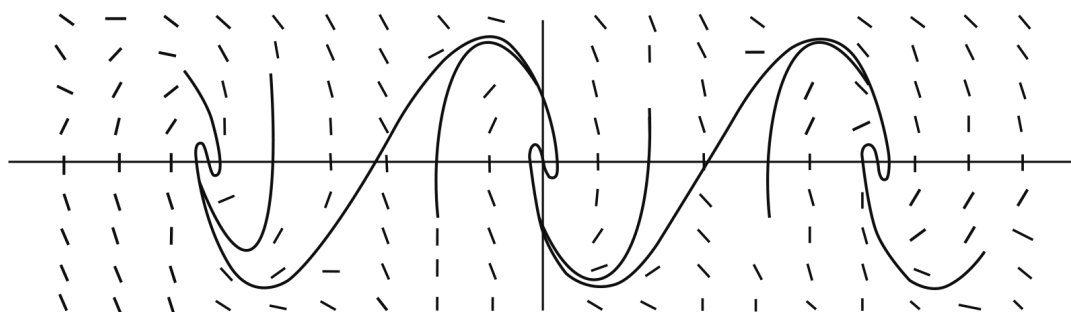
**Rysunek 1. Schematyczny portret fazowy posiadający dwa atraktory**



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  $A_2$ .

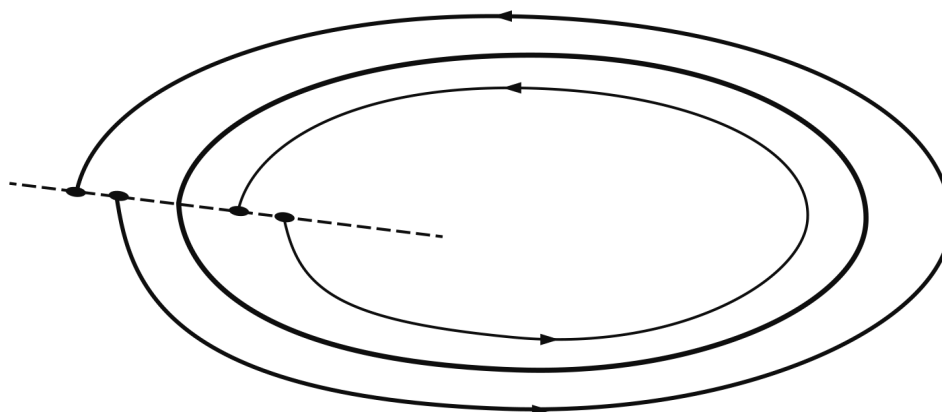
Źródło: Zawadzki, 1996; podano za: N. Siemieniuk, 2001, s. 133.

**Rysunek 2. Schematyczny portret fazowy tłumionego wahadła, kierunki zakreskowania wskazują baseny przyciągania**



Źródło: Siemieniuk, 2001, s. 134.

**Rysunek 3. Schematyczny przekrój Poincaré – kropki w układzie cyklu granicznego**



Źródło: Stewart, 1996; podano za: N. Siemieniuk, 2001, s. 136.



- 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 występują również atraktory o wielu wymiarach fraktalnych. Jeżeli system dynamiczny ma więcej niż jeden atraktor, poszczególne obszary przyciągania są oddzielone od siebie zbiorami punktów, które nie zmierzają do żadnego z atraktorów. Takie zbiory punktów noszą nazwę separatrys. Schematyczny portret fazowy posiadający dwa atraktory w przestrzeni fazowej prezentuje rysunek 1.

Atraktory mogą występować w dowolnych rodzajach systemów dynamicznych. Jednym z najprostszych tego rodzaju systemów jest zachowanie tłumionego wahadła (Baker & Gollub, 1998, s. 27). Typowe trajektorie ruchu tłumionego wahadła przedstawia rysunek 2.

W przypadku występowania układów wielowymiarowych ich analiza nastęcza wiele trudności. Poincaré 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 systemów (Siemieniuk, 2001, s. 136). Schematyczny przekrój wyżej omówionego układu prezentuje rysunek 3.

Przy rekonstrukcji atraktora układów dynamicznych można oprzeć się na obserwacji jego kształtu w przestrzeni fazowej podczas zmiany wartości opóźnienia czasowego. Można zatem stwierdzić, że w literaturze przedmiotu istnieje wiele definicji chaosu w deterministycznych układach dynamicznych.

## Wybrane przykłady zastosowania chaosu deterministycznego

W założeniach ekonomistów XX w. 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 słusność teorii wielu współczesnych ekonomistów, którzy pokazali niedoskonałość modeli liniowych (Pawłowska & Jakimowicz, 2010, s. 123).

Bazując na teorii chaosu, można stwierdzić, iż nie są możliwe do opracowania długofalowe metody sterowania gospodarką, do których można zaliczyć: materializm historyczny Marksa, instrumentalizm Lowe'a czy koncepcje planowania Heilbronniera. 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 mocno ograniczona. Sterowanie chaosem jest bardzo ważnym zagadnieniem i trudno zgodzić się z poglądem, który reprezentują Prigogine i Stengers, że parametry charakteryzujące populacje naturalne utrzymują je poza obrębem obszaru chaosu (Jakimowicz, 2003, s. 404). 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 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 Żyżyńskiego. Ilustruje ona ewolucję w czasie celów nauki. Jest to typowa funkcja, w ra-

mach 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 się (Jakimowicz, 2003, s. 404).

Jak pisze 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 możliwości 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 odpowiednio dużym wyprzedzeniem czasowym;
- analizując powyższe wnioski, można skonstatować, iż postawienie wyraźniej granicy pomiędzy losowością a determinizmem jest niezwykle trudne” (Orzeszko, 2005, s. 37).

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 modelu (Lorenz, 1963, s. 27). W związku z powyższym wniosek płynący z modelu nieliniowego i aproksymującego go modelu liniowego mogą być całkowicie różne (Bullard & Butler, 1991, s. 3).

Przykładem zastosowania teorii chaosu jest rynek walutowy. Rynek walutowy to „całokształt transakcji wymiany walut, a więc transakcji kupna-sprzedaży jednej waluty za drugą” (Penc, 2008). Rynek ten charakteryzuje się przede wszystkim najwyższą płynnością aktywów. Wyróżnia się na nim trzy podstawowe grupy podmiotów, tj. inwestorów zajmujących 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 podaż. 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 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 opisanego 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 liczby 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 powiązane.

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 opisanej teorii chaosu. Na rynku kluczem do osiągnięcia sukcesu jest rozpoznawanie formacji cenowych, a są to dokładnie nieliniowe układy, które powstają na wykresie jednodominowym 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 godzinny, dzienny i tygodniowy. 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 (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, cena zaś 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.

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 fraktalna (T. Siemieniuk & N. Siemieniuk, 2015, s. 162).

Teoria chaosu oferuje również inne spojrzenie na mechanizm funkcjonowania rynku kapitałowego. Zakłada, że rynek kapitałowy jest nieliniowym systemem dynamicznym, który rozwija się dzięki prawom chaosu deterministycznego. Z teorią chaosu jest związana zaproponowana przez 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 wobec 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 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.

Na podstawie prac naukowych dotyczących zastosowania teorii chaosu do analizy szeregów czasowych generowanych przez rynek kapitałowy została opracowana hipoteza rynku fraktalnego. Hipoteza ta jest alternatywną wobec 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 zaproponowana przez 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 inwestycyjnego (Gabryś, 2007, s. 2, 18–19).

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. Jeśli więc (Peters, 1997, s. 67):

- $H = 0,5$ , 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 większa jest liczba, tym bardziej złożony układ i odwrotnie – im mniejsza liczba, tym prostszy układ. Wrażliwość układu na zmiany warunków początkowych wskazuje wykładnik Lapunowa. Umożliwia on określenie tego, 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

rynków i modelowania alternatywnych scenariuszy jego zachowań (N. Siemieniuk & Kilon, 2006, s. 97).

Według wielu praktyków i teoretyków rynków kapitałowych takim przykładem jest także zygawkowata 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” (Borowski, 2006, s. 49). Metoda ta została nazwana fraktalną, adaptacyjną średnią ruchomą w analizie technicznej (FRAMA).

## Podsumowanie

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 zachowanie układu. Opiswane 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 budo-

wanie przestrzeni fazowej na podstawie mniejszej liczby zmiennych i danych z przeszłych okresów czasowych.

Celem publikacji było ukazanie, jak teoria chaosu deterministycznego może być użytecznym i wartościowym narzędziem badawczym w dzisiejszych dynamicznych i złożonych procesach gospodarczych. Teoria powyższa jest próbą odejścia od idei efektywności rynków kapitałowych 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. W literaturze istnieje niewiele pozycji traktujących o tej problematyce. Teoria chaosu wnosi istotny wkład w modelowanie procesów inwestycyjnych, gdyż bogactwo zachowań opisywanych przez

nią systemów daje możliwość wyeliminowania 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. Nawet jeśli 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 wykorzystanie algorytmów teorii chaosu deterministycznego w analizie procesów inwestycyjnych jest w pełni uzasadnione. Ważnym problemem w analizie fraktalnej jest duża wrażliwość algorytmów na ilość danych eksperymentalnych na wejściu.

## Bibliografia/References

- Baker, G., & Gollub, J. (1998). *Wstęp do dynamiki układów chaotycznych*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Borowski, K. (2006). Zastosowanie fraktalnej, adaptacyjnej średniej ruchomej w analizie technicznej (FRAMA). *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów. Szkoła Główna Handlowa*, (69), 49–57.
- Bullard, J. B., & Butler, A. (1991). *Nonlinearity and Chaos in Economic Models: Implication for Policy Decisions*. The Federal Reserve Bank of St. Luis.
- Demkowski, J. (2009). *Efekt motyla i dziwne atraktor. O układzie Lorenza*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Encyklopedia PWN*. (b.d.). <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/determinizm;3892112.html> (23.10.2023).
- Fritzowski, P. (2015). *O chaosie deterministycznym*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Gabrys, A. (2007). *Zarządzanie wartością spółki w kontekście teorii chaosu*. Wydawnictwo Aurea Mediocritas.
- Gajer, M. (2004). Czy chaos deterministyczny jest chaosem? *Przeglądy – Poglądy. Wiadomości Elektrotechniczne*, (5), 18–19.
- Gontar, Z. (2000). Teoria chaosu. W: J. S. Zieliński (red.), *Inteligentne systemy w zarządzaniu. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Grimal, P. (2008). *Słownik mitologii greckiej i rzymskiej*. Ossolineum.
- Jakimowicz, A. (2012). *Od Keynesa do teorii chaosu*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kwiatkowski, J., & Orzeszko, W. (2001). *Identyfikacja chaosu deterministycznego w polskich szeregach finansowych*. VII Ogólnopolskie seminarium Naukowe „Dynamiczne modele ekonometryczne”, Toruń.
- Kudrewicz, J. (1993). *Fraktale i chaos*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- Lorenz, E. N. (1963). Deterministic non-periodic flows. *Journal of Atmospheric Sciences*, 20(2), 130–141. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020<0130:DNF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2)
- Miśkiewicz-Nawrocka, M. (2013). Modele ekonomiczne z dynamiką chaotyczną. *Studia Ekonomiczne. Zastosowania metod matematycznych w ekonomii i zarządzaniu*, (132), 56–66.
- Orzeszko, W. (2005). *Identyfikacja i prognozowanie chaosu deterministycznego w ekonomicznych szeregach czasowych*. Polskie Towarzystwo Ekonomiczne.
- Pawłowska, M., & Jakimowicz, A. (2010). *Źródła niestabilności struktur rynkowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Penc, J. (2008). *Encyklopedia zarządzania. Podstawowe kategorie i terminy*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Studiów Międzynarodowych.
- Peters, E. E. (1997). *Teoria chaosu a rynki kapitałowe*. WIG Press.
- Schuster, H. G. (1993). *Chaos deterministyczny*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Siemieniuk, N. (2001). *Fraktalne właściwości polskiego rynku kapitałowego*. Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku.
- Siemieniuk, N., & Kilon, J. (2006). *Technologie informatyczne na rynku kapitałowym*. Wydawnictwo WSFiZ w Białymstoku.
- Siemieniuk, N., & Siemieniuk, T. (2015). Teoria chaosu deterministycznego a decyzje inwestorów giełdowych. *Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, 1(74), 182.
- Siemieniuk, T., & Siemieniuk, N. (2015). Deterministic chaos in economic processes modelling. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, (234), 162.
- Słownik języka polskiego PWN*. (b.d.). <https://sjp.pwn.pl/slowniki/chaos.html> (pobrano 23.10.2023).
- Stewart, I. (1996). *Czy bóg gra w kości. Nowa matematyka chaosu*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Zawadzki, H. (1996). *Chaotyczne systemy dynamiczne*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach.
- Zieliński, J. S. (2000). *Inteligentne systemy w zarządzaniu. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN.

**Dr hab. Nina Siemieniuk, prof. UwB**

Profesor nadzwyczajny na Uniwersytecie w Białymstoku, na Wydziale Zarządzania, w Zakładzie Zarządzania Strategicznego. Specjalizuje się w problematyce systemów inteligentnych i informatycznych systemów zarządzania, ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania teorii chaosu do opisu polskiego rynku kapitałowego i analizy wybranych informatycznych systemów zarządzania.

**Dr Łukasz Siemieniuk**

Adiunkt na Uniwersytecie w Białymstoku, na Wydziale Ekonomii i Finansów, w Katedrze Finansów. Specjalizuje się w problematyce przedsiębiorczości, systemów inteligentnych i informatycznych systemów zarządzania.

**Dr inż. Tomasz Siemieniuk**

Adiunkt we Wschodnioeuropejskiej Akademii Nauk Stosowanych w Białymstoku, na Wydziale Nauk Ekonomicznych, w Katedrze Ekonomii i Finansów. Zajmuje się zagadnieniami z zakresu analizy i symulacji zjawisk ekonomicznych z zastosowaniem teorii chaosu deterministycznego, informatycznych systemów zarządzania, zastosowań systemów informatycznych do wspomagania decyzji ekonomicznych, zagadnień dotyczących e-learningu.

**Dr hab. Nina Siemieniuk, prof. UwB**

Associate professor at the University of Białystok, Faculty of Management, Department of Strategic Management. She specializes in the issues of intelligent systems and information management systems, with particular emphasis on the use of chaos theory to describe the Polish capital market and the analysis of selected information management systems.

**Dr Łukasz Siemieniuk**

Assistant professor at the University of Białystok, Faculty of Economics and Finance, Department of Finance. He specializes in entrepreneurship, intelligent systems and information management systems.

**Dr inż. Tomasz Siemieniuk**

Assistant professor at the Eastern European Academy of Applied Sciences in Białystok, at the Faculty of Economic Sciences, the Department of Economics and Finance. He deals with issues in the field of analysis and simulation of economic phenomena with the use of deterministic chaos theory, IT management systems, applications of IT systems to support economic decisions, issues related to e-learning.



**Monika Stelmaszczyk**

**ZDOLNOŚĆ ABSORPCYJNA PRZEDSIĘBIORSTWA  
W RELACJI DO DYNAMICZNYCH ZDOLNOŚCI  
MENEDŻERSKICH**

Zdolność absorpcyjna wiedzy jest teoretyczną koncepcją, którą zajmują się badacze analizujący umiejętności organizacji związane z absorpcją wiedzy. W rozważaniach teoretycznych i badaniach empirycznych odnoszą ją do różnych zjawisk biznesowych. Prezentowana monografia jest głosem w tej dyskusji. Postanowiono dokonać retrospekcji dotychczasowych badań na temat zdolności absorpcyjnej. Odniesiono się do problemu

interpretowania zdolności absorpcyjnej w kontekście zmian otoczenia, zwłaszcza w przypadku organizacji wykorzystujących technologie cyfrowe.

Praca składa się z pięciu rozdziałów. W rozdziale 1 opracowano definicję i model zdolności absorpcyjnej wynikający z rozwoju technologii cyfrowych. W rozdziale 2 uwzględniono w koncepcji mikrofundamentów zdolności absorpcyjnej dynamiczne zdolności menedżerskie. Rozdział 3 poświęcono metodyce badań. W rozdziale 4 przeprowadzono walidację nowo utworzonych skal pomiaru diagnostycznej, analitycznej i implementacyjnej zdolności absorpcyjnej. W rozdziale 5 wskazano, które dynamiczne zdolności menedżerskie bezpośrednio wpływają na diagnostyczną, analityczną i implementacyjną zdolność absorpcyjną, oraz oszacowano siłę tych zależności. Efektem dogłębnego rozpoznania kierunkowych zależności było stworzenie wiedzy na temat sposobów bezpośredniego oddziaływania menedżerskiego kapitału społecznego, menedżerskiego kapitału ludzkiego oraz menedżerskich zdolności poznawczych (poziom mikro) na poszczególne elementy zdolności absorpcyjnej przedsiębiorstwa (poziom makro). Zaprezentowano też wyniki badań empirycznych odnoszących się do testowania efektów mediacyjnych oraz efektów moderowanych mediacji. W zakończeniu sformułowano wnioski z przeprowadzonych badań, implikacje teoretyczne, menedżerskie, ograniczenia oraz kierunki przyszłych badań.

**NOWOŚĆ**