

mgr Michał Snopek<sup>a)</sup>\*<sup>a)</sup>Uniwersytet Warszawski / University of Warsaw

\*Autor korespondencyjny / Corresponding author: mi.snopek@gmail.com

## Teoria chaosu jako narzędzie badawcze w naukach o bezpieczeństwie

Chaos Theory as a Research Tool in Security Studies

Теория хаоса в качестве инструмента исследования в науках о безопасности

### ABSTRAKT

**Cel:** Celem artykułu jest wskazanie obszarów w naukach o bezpieczeństwie, w których może znaleźć zastosowanie teoria chaosu. W pracy ukazano zarówno korzyści, jak i wyzwania związane z omawianym nowym podejściem. Autor podejmuje się również odpowiedzi na pytanie, czy teoria chaosu, zgodnie ze stanowiskiem części naukowców, może być traktowana jako rewolucja naukowa w naukach o bezpieczeństwie.

**Wprowadzenie:** W dobie skomplikowanej sytuacji społeczno-politycznej, stawiającej przed państwami nowe wyzwania, na znaczeniu mogą zyskać poglądy znajdujące się do tej pory poza głównym nurtem nauk o bezpieczeństwie. W celu zapewnienia bezpieczeństwa, zarówno wewnętrznego, jak i międzynarodowego, władze zmuszone są do odejścia od dotychczas stosowanych paradygmatów. Wynika to z tego, że często ich podstawy oparte są na łańdże funkcjonującym w okresie zimnej wojny – postrzegają świat jako podzielony na dwa wrogie sobie obozy. Teoria chaosu pozwala spojrzeć na zagrożenia płynące z terroryzmu, zmian w strukturze etnicznej czy katastrof naturalnych będących następstwem globalnych zmian klimatycznych z nowej perspektywy. Wszystkie wymienione wyżej zagrożenia można próbować wytłumaczyć z zastosowaniem elementów teorii chaosu. Poza funkcją eksplanacyjną, teoria chaosu pełni również funkcję prognostyczną. W sektorze finansowym poszukuje się atraktora odpowiadającego za kurs na giełdzie. Zajmując się tematem zapobiegania niszczycielskim efektom fal tsunami, pod uwagę bierze się już nie tylko metodę historyczną, ale także solitonową konstrukcję tsunami. Należy jednak rozważyć, czy możliwe jest przeniesienie teorii wywodzącej się z gruntu nauk ścisłych do nauk społecznych oraz jakie niesie to ze sobą zagrożenia.

**Metodologia:** W artykule zastosowano metodę analizy, krytyki piśmiennictwa oraz wnioskowanie z doświadczeń i obserwacji.

**Wnioski:** Pomimo nowych możliwości, jakie daje teoria chaosu, uznanie jej za rewolucję w nauce byłoby nadużyciem. Wynika to z fundamentalnej różnicy pomiędzy naukami ścisłymi a społecznymi. W tych drugich badacze w swoich pracach zawsze uwzględniali pewną nieprzewidywalność oraz losowość. Jest to związane z tym, że każda nauka mająca w centrum zainteresowań człowieka, musi brać pod uwagę znaczną liczbę czynników. Sprawia to, że przewidywanie zachowań jednostki, szczególnie w sytuacji kryzysowej, okazuje się niemożliwe. Teoria chaosu dostarcza nam nowych narzędzi do prowadzenia badań. Jej uniwersalność polega na tym, że możemy je stosować zarówno w ramach teorii chaosu, jak i w ramach innych ugruntowanych teorii.

**Słowa kluczowe:** teoria chaosu, atraktory, chaos deterministyczny, solitony

**Typ artykułu:** artykuł przeglądowy

---

Przyjęty: 15.02.2017; Zrecenzowany: 19.06.2017; Opublikowany: 30.09.2017;

Proszę cytować: BiTP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 78–89, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.6;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

---

### ABSTRACT

**Aim:** The aim of this review article is to present possibilities which chaos theory brings into the social sciences. It presents its benefits and challenges that need to be overcome. The author also attempts to answer the question of whether chaos theory can be regarded as a scientific revolution in security studies.

**Introduction:** In the era of complex and turbulent political and social circumstances which pose new challenges to countries in the field of security theories which previously were outside the scientific mainstream can gain in importance. In order to provide domestic and international security, national governments are forced to depart from the paradigms applied so far. One of the important problems, from the perspective of the global situation, is that government strategies were often created with a different world in mind. Many of these derived from the time when the world was divided as a result of the Cold War. Chaos theory allows us to look into the dangers of terrorism, changes in ethnic structure, or global climate change and natural disasters from a new perspective. All these processes can be explained with the use of the elements of chaos theory. In the financial sector, scientists are searching for an attractor which will explain the stock market. Other studies focus on forecasting and preparing for tsunamis based on the soliton theory. However, one of the problems which will be considered in this review article is the possibility of using a theory derived from the exact sciences in the social sciences and the risks that come with it.

**Methodology:** This review article is based on the methods of analysis, critical literature review and deductions stemming from experience and observation.

**Conclusions:** Despite the new opportunities offered by chaos theory, treating it as a revolution in the social sciences would not be warranted. The reason for this is the fundamental difference between the exact and the social sciences. In the latter, researchers always must take into the account certain

unpredictability and randomness during studies. This is connected with the fact that every field of science, with human in the centre of its interest, must take into account many diverse factors. Therefore, predicting an individual's behaviour, especially in a crisis situation, is impossible. Chaos theory, however, provides us with new tools for research in the social sciences. Its universality comes from the fact that it can be used in chaos theory as well as in other theories.

**Keywords:** chaos theory, attractor, deterministic chaos, solitons

**Type of article:** review article

Received: 15.02.2017; Reviewed: 19.06.2017; Published: 30.09.2017;

Please cite as: BiTP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 78–89, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.6;

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## АННОТАЦИЯ

**Цель:** Цель статьи – определить области наук о безопасности, в которых может применяться теория хаоса. В статье указаны как польза, так и вызовы, связанные с новым подходом, который рассматривается в статье. Автор старается также ответить на вопрос, можно ли относиться к теории хаоса, согласно утверждениям части специалистов, как к научной революции в науках о безопасности.

**Введение:** В эпоху сложной социально-политической ситуации, которая заставляет государства принимать новые вызовы, могут становиться популярными мнения, которые до сих пор не находились в центре внимания наук о безопасности. С целью обеспечения безопасности, как внутренней, так и международной, власти вынуждены отойти от используемых сейчас парадигм. Это связано с тем, что зачастую они основаны на порядке, обязующим во время холодной войны, где мир разделен на два неприятельские лагеря. Теория хаоса позволяет посмотреть на угрозы, возникающие из-за терроризма, изменений в этнической структуре или естественных бедствий, являющихся последствием климатических изменений, с новой перспективы. Все указанные выше угрозы можно попытаться объяснить с помощью элементов теории хаоса. Кроме объяснительной функции, теория хаоса выполняет также предупредительную функцию. В финансовом секторе нужно найти аттрактора, отвечающего за курс на бирже. Занимаясь темой предупреждения разрушительных волн цунами, рассматривается не только исторический метод, но также солитонная конструкция цунами. Однако стоит задуматься о том, возможно ли использовать теорию происходящую от природных наук в науках социальных, а также какая угроза с этим связана.

**Методология:** В статье были применены методы анализа, критики литературы, а также заключение на основе опыта и наблюдения.

**Выводы:** Помимо новых возможностей, которые дает теория хаоса, назвать ее революцией в науке не стоит. Это связано с принципиальной разницей, которая существует между природными и общественными науками. В последних исследователи в своих работах всегда учитывали определенную непредсказуемость и случайность. Это связано с тем, что каждая наука, центром интересов которой является человек, должна учитывать значительное число факторов. Из-за того прогноз поведения одного человека, особенно в кризисной ситуации, оказывается невозможным. Теория хаоса предоставляет нам новые инструменты для проведения исследований. Ее универсальность заключается в том, что мы можем использовать их как в теории хаоса, так и в рамках других утвержденных теорий.

**Ключевые слова:** теория хаоса, аттракторы, детерминистический хаос, солитоны

**Вид статьи:** обзорная статья

Принята: 15.02.2017; Рецензирована: 19.06.2017; Опубликована: 30.09.2017;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 78–89, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.6;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## Wprowadzenie

Thomas Kuhn w swojej pracy dotyczącej rewolucji naukowych stwierdził, że rewolucje w nauce występują niezwykle rzadko i są przeplatane długimi okresami normalnej pracy naukowej, której zadaniem jest rozwijanie istniejącego paradygmatu. Jeśli by spojrzeć na to z szerszej perspektywy, można dojść do wniosku, że każda kolejna rewolucja naukowa miała na celu lepsze zrozumienie otaczającej człowieka rzeczywistości. Punktem kulminacyjnym pewnej wizji świata były prace Isaaca Newtona oraz jego duchowych spadkobierców. Doprowadziły one do postrzegania świata „jako mechanizmu zegarowego” [1, s. 14]. Było to największe osiągnięcie redukcjonizmu. Pojawiło się przekonanie, że świat jest w całości poznawalny, składa się z prostych praw, a sam fakt, że czegoś jeszcze nie rozumiemy, jest następstwem nieodkrycia odpowiedniej zasady. Dzięki redukcjonizmowi ludzkość lepiej poznała budowę atomu oraz DNA. W poszukiwaniu cząstek elementarnych, które miałyby wyjaśnić wszystkie prawa wszechświata, w przeciągu dwustu lat od śmierci I. Newtona ludzkość dokonała ogromnych postępów. Najlepiej scharakteryzował to

## Introduction

Thomas Kuhn, in his work on scientific revolutions, states that revolutions in science are an incredibly rare phenomenon and are intertwined with long periods of regular scientific work which purpose is to develop the existing paradigm. From a broader perspective, one may arrive at a conclusion that every scientific revolution was aimed at a better understanding of the surrounding reality. A certain vision of the world culminated with the works of Isaac Newton and his spiritual descendants. These led to the world being perceived as a “clockwork” [1, p. 14]. This was the greatest discovery of reductionism. There was a presumption that the world can be wholly discovered, composed of simple laws, and the fact that some things remain unknown is due to relevant truths being not yet discovered. Owing to reductionism humankind could learn better the structure of the atom and DNA. In search for particles which would explain all the rules of the universe over the two hundred years after Newton's death mankind made tremendous progress. This was best characterised by Pierre Simon de Laplace, who created the concept

Pierre Simon de Laplace, powołując do życia „najwyższą inteligencję”, odpowiednik matematycznego boga. Przez zrozumienie wszystkich podstawowych praw Inteligencja byłaby w stanie opisać przeszłość, zrozumieć teraźniejszość i przewidzieć przyszłość [2, s. 22]. Świat stał się więc idealnie deterministyczny.

Pomimo niezwykłych sukcesów, nadal wiele problemów w nauce pozostawało nierozwiązanych, między innymi turbulentny ruch cieczy. Były one jednak spychane na ubocze głównego nurtu w założeniu, że na razie nie warto się nimi zajmować, skoro nie mają rozwiązania [3, s. 35–36]. Mieliliśmy zatem do czynienia z „ukrywaniem” wszystkiego, co nie pasowało do wyznawanego paradygmatu. Podobną drogą w pewnym momencie zaczęły podążać także nauki społeczne od dawna zafascynowane naukami ścisłymi. Objawiło się to prymatem metod ilościowych nad jakościowymi, jako tych które dało się analizować statystycznie. Przełom przyszedł na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych dwudziestego wieku wraz z zainteresowaniem nieliniowymi równaniami różniczkowymi, a także fraktalami. Z tego nurtu wyrosła nowa teoria (bądź nowe teorie), która zaczęła twierdzić, że w badanych układach występuje synergia. Są one zatem czymś więcej niż zbiorem jednostek (społeczeństwo to coś więcej niż zbiór osób, a człowiek to coś więcej niż zbiór atomów) i istniejący redukcjonizm nie jest w stanie tego wyjaśnić. Narodziła się teoria złożoności oraz teoria chaosu<sup>1</sup>.

Celem artykułu jest zaprezentowanie, na jakie sposoby można zaimplementować teorię chaosu w naukach o bezpieczeństwie. Próby takie, w naukach społecznych, były podejmowane już wcześniej, szczególnie w ekonomii, gdzie nowe metody dawały nadzieję na lepsze zrozumienie i opisanie procesów kształtujących rynki. Robert Kruszewski zastosował model bifurkacji do wytłumaczenia kształtowania się krzywej popytu i podaży oraz tego, jak wpływa ona na formowanie się równowagi na rynku [7]. Edgar Peters zainteresował się wymiarem fraktalnym (samopodobieństwem) rynku oraz jego wpływu na zachowania inwestorów [8]. W dyscyplinie nauk o polityce możliwość zastosowania teorii chaosu wykazali Diana Richards oraz Alvin M. Saperstein. Pierwsza przyjęła tezę, że przełożenie się indywidualnych preferencji na grupowe ma nieliniary charakter oraz wpływa na preferencje wyborcze [9]. A. Saperstein podjął próbę określenia wpływu procesów chaotycznych

of “supreme intelligence”, an equivalent for a mathematic god. By understanding all fundamental laws, Intelligence would be able to describe the past, understand the present and predict the future [2, p. 22]. Therefore, the world became perfectly deterministic.

Despite incredible successes, still many scientific problems have remained unsolved, including turbulent flow of liquids. They were marginalised in the mainstream as not worth dealing in due to being unsolvable [3, pp. 35–36]. We were, therefore, dealing with the “hiding” of everything which did not fit the specified paradigm. The social sciences, for long fascinated by the exact sciences, started to follow a similar way at one point in history. This was manifested by the quantitative methodologies predominating over qualitative ones, as they could be analysed in statistical terms. In the late 1960s and early 1970s, there came a breakthrough with a growing interest in nonlinear differential equations and fractals. This trend gave rise to a new theory (or theories), which started to claim the presence of a synergy in the studied systems. These are something more than a set of units (as society is something more than a set of individuals, and man is something more than a set of atoms), and the existing reductionism cannot explain it. The complexity and chaos theories were created<sup>1</sup>.

The aim of the article is to present the ways of implementing chaos theory in security studies. Such attempts, in social studies, have been made already, especially in economics, where new methods built up hopes for a better understanding and description of market-shaping processes. Robert Kruszewski applied the bifurcation model to explain the shape of the demand and supply curves and how they influence the formation of balance on the market [7]. Edgar Peters became interested in the fractal dimension (self-similarity) of the market, and its impact on investor behaviour [8]. In political sciences, the possibilities of utilising chaos theory were demonstrated by Diana Richards and Alvin M. Saperstein. The former proposed a thesis that individual preferences translate into group ones in a non-linear way, and then assumed that this process influences voting preferences [9]. A. Saperstein attempted to determine the impact of chaotic

<sup>1</sup> Istnieją pewne wątpliwości, czy możemy rozróżnić te dwie teorie, czy też należy traktować je jako jedną. Zwolennicy drugiego podejścia zwracają uwagę, że teorię chaosu stosuje się właśnie do układów złożonych, układy proste, deterministyczne są poza zakresem jej zainteresowań [4, s. 12]. Dlatego też teoria chaosu może być nazywana teorią złożoności. Naukowcy wyznający pierwsze podejście wykazują wspólne pochodzenie obu teorii, ale i podstawową różnicę, jakim jest punkt odniesienia, którego obie teorie dotyczą. Teoria złożoności zajmuje się „krawędzią chaosu”, tzn. momentem, w którym, np. w organizacji, nie panuje już porządek, ale nie znalazła się jeszcze w chaosie. Prezentując to rozróżnienie, warto omówić jedną z najprostszych bifurkacji. Bifurkacja Feigenbauma [4, s. 62–63] polega na tym, że linia prosta w pewnym momencie rozdziela się na dwie „gałęzie”, a każda z nich po pewnym czasie znowu na dwie kolejne. Po określonej liczbie powtórzeń powstaje system chaotyczny. Teoria złożoności miałaby się zajmować momentem, zanim system przejdzie w chaotyczność, podczas gdy teoria chaosu okresem po tym punkcie [5, s. 8]. Znajdują się jednak także tacy autorzy, którzy „krawędź chaosu” zaliczają jak najbardziej do teorii chaosu [6, s. 6–7]. Celem autora nie jest rozwiązywanie tego sporu w niniejszym artykule.

<sup>1</sup> There are some doubts whether we can distinguish between these two theories or whether we should treat them as a single theory. Propagators of the latter point out that chaos theory is used in complex systems, and simple, deterministic systems do not fall within its field of interest [4, p. 12]. Therefore, chaos theory can be referred to as complexity theory. Scientists advocating the former approach indicate the common origin of both theories, but also one fundamental difference, which is the point of reference of both theories. Complexity theory deal with the “edge of chaos”, i.e. a moment at which, for example in an organisation, there is no order, but also there is no chaos yet. When presenting this distinction, it is worth discussing one of the simplest bifurcations. Feigenbaum bifurcation [4, p. 62–63] consists in a line bifurcating into two “branches”, and each of these two splitting up into subsequent two. After a specific number of repetitions, a chaotic system is created. Complexity theory was supposed to deal with the moment before the system becomes chaotic, and chaos theory with everything beyond this point [5, p. 8]. There are, however, authors who include the edge of chaos in chaos theory [6, pp. 6–7]. The aim of the author is not, however, to settle this dispute in this article.

na relacje pomiędzy państwami w środowisku międzynarodowym. Zastosował także teorię chaosu do odpowiedzi na pytanie postawione przez zwolenników teorii demokratycznego pokoju: czy państwa demokratyczne są mniej skłonne do prowadzenia wojen niż państwa autorytarne [10]?

Próby jej zastosowania zostały podjęte również w naukach o bezpieczeństwie. Katarzyna Sienkiewicz-Małyjurek wykazała, że system zarządzania bezpieczeństwem publicznym spełnia wszystkie kryteria systemu wywodzącego się z teorii złożoności [11]. Obszerna jest literatura dotycząca wykorzystania teorii chaosu w analizie zjawisk kryzysowych. Timothy L. Sellnow zastosował ją do wytłumaczenia zjawisk występujących przed, w trakcie i po powodzi w Dolinie Red River (1997 rok) [12]. Ryan Hagel, Matthew Statler oraz Bradley K. Penuel w swojej *Encyklopedii zarządzania kryzysowego* wykorzystali bifurkację jako jedno z potencjalnych wytłumaczeń powstawania kryzysów kaskadowych [13]. Mark Speakman i Richard Sharpley zastosowali teorię nieliniowości do badania zarządzania kryzysowego w zapobieganiu epidemii grypy AH1N1 [14].

Artykuł został podzielony na trzy części. W pierwszej zostaną omówione najistotniejsze zagadnienia niezbędne do zrozumienia, czym jest teoria chaosu. W pracy przedstawione zostaną takie pojęcia, jak chaos deterministyczny, podatność na warunki początkowe oraz efekt motyla. W następnej poruszone zostaną zagadnienia związane z problemami pochodzącymi z nauk ścisłych, a mającymi bezpośredni wpływ na problemy związane z bezpieczeństwem. Znajdą się tutaj kwestie związane z koncepcją atraktorów, solitonów oraz tego, co wnoszą ze sobą do nauk o bezpieczeństwie.

## Teoria chaosu

U podstaw teorii chaosu leżą dwie koncepcje. Pierwsza z nich zakłada, że systemy deterministyczne nie są regułą, a odstępstwem od niej. Świat jest zatem rządzony przez systemy chaotyczne. Analiza dowolnych zagrożeń dla bezpieczeństwa systemu pozwala zauważyć, że stan kryzysowy nie przebiega za każdym razem w identyczny sposób. Przykładem może być porównanie dwóch zamachów dokonanych we Francji w ostatnich latach. W pierwszym z nich (13 listopada 2015 roku) doszło do serii ataków bombowych oraz zabójstw przy użyciu broni palnej [15]. Przyznało się do niego Państwo Islamskie, a dokonać mieli go imigranci z krajów arabskich oraz potomkowie imigrantów urodzeni na terenie Europy. Mimo podjętych przez służby zabezpieczeń doszło do kolejnych zamachów. W jednym z nich, z 14 lipca 2016 roku w Nicei, osoba pochodzenia tunezyjsko-francuskiego wjechała samochodem w ludzi spacerujących po promenadzie [16]. Także do tego przyznało się Państwo Islamskie. Mimo że wydarzenie należy zakwalifikować do tej samej kategorii (zamach terrorystyczny), a dodatkowo terroryści wywodzili się z podobnego środowiska (muzułmanów), ataki różniły się od siebie na tyle, że zastosowanie linearnych metod zapobiegania aktom terrorystycznym może okazać się niemożliwe. Związane jest to z występowaniem czynnika o niedeterministycznym zachowaniu – jednostką ludzką. Zatem możemy zauważyć, że brak determinizmu oraz pewna chaotyczność działań jest naturalna dla dziedziny bezpieczeństwa.

processes on relations between states in an international environment. He also applied chaos theory to answer the question raised by advocates of democratic peace theory: Are democratic countries less willing to wage war than authoritarian ones [10]?

Attempts to utilise it were also made in security studies. Katarzyna Sienkiewicz-Małyjurek demonstrated that the public safety management system meets all the criteria of a system originating from complexity theory [11]. The literature on the application of chaos theory in analysing crisis situations is extensive. Timothy L. Sellnow used this theory to explain the phenomena before, during and after the Red River flood of 1997 [12]. Ryan Hagel, Matthew Statler and Bradley K. Penuel used bifurcation in their *Encyclopaedia of Crisis Management*, as one of potential explanations of the occurrence of cascades of crises [13]. Mark Speakman and Richard Sharpley applied non-linear theory to study crisis management in AH1N1 epidemics prevention [14].

The article is divided into three parts. Part one discusses the most important issues necessary for the reader to understand what chaos theory is. The work presents such terms as deterministic chaos, sensitivity to initial conditions and the butterfly effect. Next part focuses on issues connected with the problems encountered in the exact sciences, and directly impacting on security-related problems. It includes issues connected with the concept of attractors, solitons, and their contribution to security studies.

## Chaos theory

There are two concepts underlying chaos theory. The first assumes that deterministic systems are not a rule but a departure from the rule. The world, therefore, is ruled by chaotic systems. Analysing any threats to system safety allows us to note that crises do not always follow the same course. We can illustrate this with the example of two attacks observed in France in recent years. The first attack (13 November 2015) entailed a series of bombing attacks and homicides with the use of firearms [15]. The Islamic State admitted that it had orchestrated the attack, which was conducted by immigrants from Arabic states and descendants of immigrants born in Europe. Despite security measures employed by the services, further attacks took place. In one of these, on 14 July 2016, a man of Tunisian-French origin drove into a crowd of people walking on the promenade in Nice [16]. The Islamic State admitted to organising this attack as well. Despite the incidents being qualified in the same category (terrorist attack), and the terrorists descending from the same environment (Muslims), the attacks were so different that the application of linear methods of terrorist attack prevention may prove impossible. This is due to the presence of a factor characterised by nondeterministic behaviour – human being. Therefore, one can note that the lack of determinism and to some extent chaotic action are natural to the field of safety.



Druga istotna koncepcja, która leży u podstaw teorii polega na stwierdzeniu, że chaos wcale nie jest losowy. Losowość i chaotyczność to dwa różne stany [17]. Dlatego też wprowadzono pojęcie chaosu deterministycznego, który łączy w sobie dwa przeciwstawne rozumienia procesów stochastycznych oraz uporządkowanych. Tym, co utrudnia wykorzystanie teorii chaosu deterministycznego w naukach społecznych, jest brak jednej, usystematyzowanej definicji. Władysław Milo w swojej pracy wymienia ich ponad sześćdziesiąt i zaznacza, że nie jest to lista kompletna [17, s. 436–441]. Spróbujmy zatem wykazać, jakie podstawowe, wspólne dla większości definicji warunki muszą wystąpić, aby można było mówić o chaosie deterministycznym. Michał Tempczyk wymienia trzy: „wrażliwość na warunki początkowe; nierozkładalność przestrzeni fazowej na oddzielne, niepowiązane dynamiczne części; punkty okresowe są gęste w przestrzeni fazowej” [4, s. 75]. System chaotyczny powinien charakteryzować się również entropią rozumianą jako nieregularność ruchu układu [18, s. 321] (zatem odbiega od definicji entropii znanej powszechnie z termodynamiki). Dlaczego ruch układu jest istotny z punktu widzenia bezpieczeństwa? Wymusza on badanie zjawisk wykraczających poza ścisły opis statystyczny. Do analizy liczby osób, które zmarły w danym roku, sam opis statystyczny okazuje się niewystarczający w sytuacji, gdy część zgonów była następstwem zdarzeń losowych (katastrof naturalnych, wojen, itd.). W ruchu nieregularnym statystyczne prawa demografii okazują się błędne, za to sprawdzają się w sytuacjach, gdy ruch jest regularny [3, s. 43]. Podejmując się ogólnej charakterystyki chaosu deterministycznego, należałoby stwierdzić, że jest to układ stochastyczny, który wynika ze złożoności układu, a nie z tego, że nie obowiązują w nim żadne prawa. Takie podejście pozwoliło teorii wykroczyć poza ramy fizyki oraz matematyki i znaleźć zastosowanie także w naukach społecznych. W ujęciu bezpieczeństwa energetycznego podejmuje się próby zastosowania metod wchodzących w skład teorii chaosu do analizy zmian cen surowców energetycznych na rynkach, a celem tych działań jest znalezienie atraktora [19, s. 274].

Istotnym elementem determinującym chaotyczność omawianego systemu jest jego podatność na warunki początkowe [4, s. 68]. Wiąże się one z nieliniowymi równaniami różniczkowymi, które leżą u podstaw teorii chaosu. Nieliniowy system dynamiczny oznacza, że stan systemu zależy od przeobrażeń następujących w czasie [20, s. 183]. Prowadzi do odrzucenia redukcjonizmu jako podstawowej metody poznawczej – paradygmatu, który od czasów I. Newtona święcił sukcesy [21, s. 77]. Oznacza to, że nawet najmniejsza zmiana w danych wejściowych prowadzi w długim okresie do całkowicie różnych efektów końcowych. Założenie to może być wykorzystane w różnych naukach, nie tylko w ścisłych. W biologii przy zajmowaniu się zmianami w populacji spowodowało odejście od prostego modelu zwiększania i zmniejszania populacji w zależności od dostępności pożywienia [2, s. 67–91]. Ten sam model znajduje również zastosowanie przy omawianiu struktury organizacji i przedsiębiorstw. Zwraca się uwagę, że w organizacjach zachowania deterministyczne i nieliniowe występują równocześnie. Zatem z jednej strony istnieją przygotowane biznesplany oraz długofalowe strategie, którymi kierują się przedsiębiorstwa, a z drugiej strony system nieliniowy podatny na czynniki początkowe w codziennym funkcjonowaniu organizacji [21, s. 79–80].

The second important concept which underlies the theory in question consists in stating that chaos is not random. Randomness and chaos are two different states [17]. Therefore, the term of deterministic chaos was introduced, which blends the two opposite understandings of stochastic and ordered processes. What makes it difficult to use the deterministic chaos theory in social sciences is the lack of a single systematised definition. Władysław Milo in his work enumerates more than sixty of those, and indicates that the list is not complete [17, pp. 436–441]. Let us, therefore, indicate the basic conditions, common to all definitions, which must occur to be considered deterministic chaos. Michał Tempczyk lists three such conditions: “sensitivity to initial conditions, the irreducibility of a phase space into separate, unrelated dynamic parts; and the density of periodic points in the phase space” [4, p. 75]. A chaotic system should also be characterised by entropy, understood as the irregularity of the system’s motion [18, p. 321] (differing from the commonly known thermodynamic definition of entropy). Why the movement of a system is important in terms of safety? It forces the studying of phenomena which go beyond the exact statistical description. A statistical description is not enough to analyse the number of people who died in a given year, when some of the deaths were caused by random events (natural disasters, wars, etc.). In irregular motion, the statistical laws of demographics prove incorrect, but work whenever the motion is regular [3, p. 43]. When attempting to draw general characteristics of deterministic chaos, one should state that it is a stochastic system which results from the complexity of the system, and not that there are no rules governing it. Such an approach allowed theory to go beyond the framework of physics and mathematics, and become applicable in the social sciences. When it comes to energy security attempts are being made to apply methods within chaos theory in the analysis of changes in the prices of energy resources on the markets to find an attractor [19, p. 274].

An important element determining the chaotic nature of the system in question is its sensitivity to initial conditions [4, p. 68]. These are associated with nonlinear differential equations which underlie chaos theory. A nonlinear dynamic system means that the status of the system depends on the transformations taking place over time [20, p. 183]. This leads to the rejection of reductionism as the basic cognitive method – the paradigm which in the time of Newton saw the greatest success [21, p. 77]. This means that even the slightest change in input data leads in long periods to completely different final effects. This premise can be used in various fields of science, not only the exact sciences. In biology, when dealing with changes in populations, this results in abandoning the simple model of population increasing or decreasing depending on the availability of food [2, pp. 67–91]. The same model is also used in the analysis of the structures of organisations and enterprises. It should be noted that in organisations deterministic and nonlinear behaviour are present at the same time. Therefore, on the one hand, there are business plans and long-term strategies for enterprises to follow, and on the other hand, there is a nonlinear system sensitive to initial conditions in the everyday operations of the organisation [21, pp. 79–80].

Można podjąć próbę przeniesienia tego modelu na poziom funkcjonowania państwa. Pomimo fundamentalnych różnic w celach przedsiębiorstw oraz jednostek służby cywilnej (nastawienie na zysk kontra na rezultaty) występują elementy zbieżne w procesie zarządzania kapitałem ludzkim. Stąd taka próba może okazać się skuteczna. W Polsce na szczeblu centralnym instytucją odpowiedzialną za zarządzanie kryzysowe jest Rządowe Centrum Bezpieczeństwa [22]. Do jego zadań należy między innymi analiza zagrożeń oraz opracowywanie rozwiązań pojawiających się sytuacji kryzysowych. Tak jak w omawianym wcześniej przykładzie, także tutaj istnieje element deterministyczny – przygotowywane plany oraz zasady, które mają zapewnić skuteczne realizowanie zadań z zakresu zarządzania kryzysowego. Z drugiej strony w trakcie realizowania zadań w warunkach wystąpienia sytuacji kryzysowej istnieje wysoka podatność na zmienne warunki początkowe. W przypadku powodzi rzeka może wylać w miejscach, które według pierwotnych założeń miały być bezpieczne, za to nie dotknąć obszarów określonych jako wrażliwe (np. przy powodziach roztopowych największe zagrożenie przewidziano dla rzek biegnących na terenie nizinnym, jednak przy odpowiednich warunkach początkowych zagrożenie może wystąpić także na obszarach niewymienionych w planie [23, s. 8]). Innym przykładem podatności bezpieczeństwa wewnętrznego na warunki początkowe są zmiany będące następstwem nieprzewidywalnych zachowań jednostek na stanowiskach kierowniczych. Za ilustrację może posłużyć sytuacja z elektrowni Fukushima Daiichi (Japonia) z marca 2011 roku. Analizując przebieg wydarzeń kilkakrotnie, można zauważyć znaczne odstępy czasowe pomiędzy zgłoszeniem zagrożenia przez administrację elektrowni a decyzją podejmowaną przez władze centralne. Dnia 11 marca już o godzinie 15:42 dyrektor elektrowni zgłosił wystąpienie sytuacji awaryjnej zgodnie z ustawą o awariach jądrowych. Jednak premier decyzję o ogłoszeniu sytuacji kryzysowej [24, s. 7–8] podjął dopiero o godzinie 19:03. Dopiero ta decyzja umożliwiła podjęcie odpowiednich środków zaradczych. Zachowanie premiera Naoto Kana było związane z jego specyficznym sposobem sprawowania urzędu. Po pierwsze przejawiał on pewne cechy charyzmatycznego typu sprawowania władzy [25, s. 57], do tego wykazywał się dużą nieufnością w stosunku do swoich podwładnych. Zatem w bezpieczeństwie wewnętrznym możemy wyróżnić przynajmniej trzy elementy podatne na warunki początkowe: sytuacje kryzysowe, instytucje oraz pojedynczych aktorów politycznych.

Doskonałą ilustracją wrażliwości na warunki początkowe jest „efekt motyla”. Termin został ukuty przez Edwarda Lorenza i opisuje specyficzny rodzaj dziwnego atraktora, którego poszczególne trajektorie w przestrzeni fazowej układają się na kształt skrzydeł motyla. Interesujące może być prześledzenie, w jaki sposób E. Lorenz do niego doszedł. Na co dzień zajmował się prognozowaniem pogody i zgodnie z przeważającym wtedy paradygmatem poszukiwał w niej determinizmu. Wykorzystał, jak na swoje czasy (wczesne lata sześćdziesiąte dwudziestego wieku), dość nowatorską metodę, jaką były obliczenia dokonywane przez komputer. Wprowadził do niego trzy zmienne (wcześniej wybrane ze zmiennych Barry’ego Saltzmana, a następnie uproszczone [1, s. 159]) i „puścił maszynę w ruch”. Jednak ze względów technologicznych przy powtarzaniu obliczeń zdecydował się nie zaczynać od początku, a wprowadzić już obliczone dane. Przyjął

One can thus attempt to apply this model at the level of the functioning of the state. Despite fundamental differences in the objectives of enterprises and civil service units (orientation towards profit vs. results), there are some elements of convergence in the process of human resource management. Hence, such an attempt might be successful. In Poland, the Government Centre for Security is the central institution responsible for crisis management [22]. Its tasks include, among other things, analysing threats and devising solutions to the appearing crisis situations. As in the example analysed above, here we are also dealing with a deterministic element – the prepared plans and rules which are intended to ensure the effective implementation of tasks in the field of crisis management. On the other hand, when conducting tasks in crisis situation conditions, there is high sensitivity to changeable initial conditions. In the case of a flood, the river may flood in places originally regarded as safe, and spare areas identified as sensitive (e.g. in the case of spring-thaw flooding, the greatest risk was anticipated for rivers flowing in lowland areas; however, with specific initial conditions the risk can also appear in areas not mentioned in the plan [23, p. 8]). Another example of internal security being sensitive to initial conditions includes changes resulting from unpredictable behaviour of individuals in managerial positions. This can be illustrated by the situation of the Fukushima Daiichi (Japan) power plant in March 2011. After repeated analysis of the course of the events, one can notice the significant time intervals between the hazard being reported by plant’s administration and the decision being made by the central government. On 11 March at 15:42, the director of the plant reported an emergency pursuant to the Act on nuclear accidents. However, the Prime Minister made his decision on declaring a crisis situation [24, pp. 7–8] as late as at 19:03. Only this decision allowed appropriate remedial measures to be introduced. The behaviour of Prime Minister Naoto Kan was connected with a peculiar way of holding the office. First, he displayed some features of a charismatic leader [25, p. 57], and second, he was deeply distrustful of his subordinates. Therefore, in internal security we can determine at least three elements sensitive to initial conditions: crisis situations, institutions and individual political actors.

The “butterfly effect” serves as the perfect illustration of sensitivity to initial conditions. The term was coined by Edward Lorenz and describes a specific type of a strange attractor, whose individual trajectories in a phase space form a shape of butterfly wings. It may be interesting to trace back how Lorenz arrived at this concept. On an everyday basis, he was dealing with meteorology, and was searching for determinism in it, in line with the then-prevailing paradigm. He used a method of computer calculations which was quite innovative at the time (early 1960s). He entered three variables (previously selected from among Barry Saltzman’s variables, and then simplified [1, p. 159]) and set the machine in motion. However, for technological reasons, when repeating the calculations he decided not to start from the beginning, but to enter the already calculated data. The new basis was formed by numbers recorded in the middle of the previous computational

za nową podstawę liczby zanotowane w połowie poprzedniego cyklu obliczeń. Według założeń kolejne liczby powinny się powtarzać, a po przerobieniu drugiej połowy poprzedniego cyklu kontynuować pracę. Tak się jednak nie stało. Początkowo zgodnie z założeniami kolejne cyfry się powtarzały, jednak wraz z upływem czasu zaczęły pojawiać się drobne różnice, by ostatecznie mocno odbiec od poprzednich wyników. Najprostszym założeniem było uznanie, że pojawił się błąd w trakcie obliczeń, jednak E. Lorenz zauważył inny istotny czynnik. W pamięci komputera obliczenia były dokonywane z dokładnością do sześciu miejsc po przecinku, za to na wydruku znajdowały się tylko do trzech. Uznał zatem, że jego początkowe założenie, że niewielkie różnice nie mają wpływu na wynik końcowy, okazały się błędne. Istnieje zatem duża podatność systemów na nawet najmniejsze wahania warunków początkowych [1, s. 163–166]. Model ten został później opisany literacko jako wpływ ruchu skrzydeł motyla w Ameryce na pojawienie się niszczącego huraganu w Japonii.

W przypadku nauk o bezpieczeństwie występuje problem z bezpośrednim przełożeniem powyższej teorii na specyfikę nauk społecznych. Główny problem stanowi to, że nie da się opisać stosunków społecznych w sposób matematyczny. Wydaje się zatem najrozsądniejszą wersją przyjęcie tej samej metody, jaką przyjął Paweł Frankowski dla stosunków międzynarodowych [26, s. 29]. Należy wykorzystać tylko obudowę teoretyczną poszczególnych teorii wchodzących, pomijając ich aspekty matematyczne. Mimo wszystko nauki o bezpieczeństwie znajdują się w lepszej pozycji do jej wykorzystania niż pozostałe nauki społeczne. Wynika to z ich interdyscyplinarności. Przykładowo, zajmując się badaniami dotyczącymi ochrony przed falami tsunami, przy określaniu potencjalnych skutków oraz możliwej wysokości fali można odnieść się do solitonów. Pomijając oczywiście aspekt czysto fizyczny (odpowiednie wzory oraz obliczenia), wiedza o tym, jak zachowują się i czym są solitony, ułatwia znacząco współpracę z ekspertami z innych dziedzin przy opracowywaniu planów zarządzania kryzysowego.

### Atraktory i solitony w naukach o bezpieczeństwie

Ostatnim obszarem wartym omówienia są elementy wchodzące w skład teorii chaosu, a które mogą zostać wykorzystane w naukach o bezpieczeństwie. W ramach teorii chaosu wyróżniamy ich wiele: bifurkacje, atraktory, zbiory Mandelbrota i Julii, entropię metryczną, przestrzeń fazową, solitony itd. Z punktu widzenia nauk o bezpieczeństwie zdaniem autora najistotniejszymi są atraktory oraz solitony. Wybór ten podyktowany jest możliwością w miarę bezpośredniego zastosowania ich w ramach nauki.

Pierwszym krokiem powinno być wyjaśnienie pojęcia atraktora. Termin został zaczerpnięty z języka angielskiego, a wprowadzony od słowa *attract* (przyciągać). Jest to punkt lub cykl graniczny w przestrzeni fazowej [4, s. 57]. Przestrzeń fazowa to zbiór punktów opisujących stan układu dynamicznego w danym momencie [2, s. 145]. Oznacza, że zawiera w sobie wszystkie trajektorie ruchu opisywanego systemu. Przekładając to na język nauk o bezpieczeństwie, przestrzenią fazową sytuacji kryzysowej, jaką jest np. awaria w reaktorze jądrowym, są wszystkie

cycle. According to his assumptions the subsequent numbers should recur, and after processing the other half of the previous cycle, the work should be continued. This was, however, not the case. Initially, as planned, the subsequent numbers were repeated; however, over time slight differences started to appear, and final results were significantly different from the previous ones. The simplest explanation was to assume that there was an error during the calculation, yet Lorenz noticed a different important factor. In computer memory calculations were made to six decimal places, but were printed only to three decimal places. He therefore recognised that his initial assumption that small differences do not influence the final result was wrong. Thus systems are highly sensitive to even the smallest fluctuations in initial conditions [1, pp. 163–166]. This model was later described in literature as the impact of butterfly wings in America on the emergence of a destructive hurricane in Japan.

In the case of security studies, there is a problem with direct translation of the aforementioned theory into the specificity of social studies. The main problem is that it is impossible to describe social relations in a mathematical way. It appears that the most reasonable version of adopting this method is the one applied by Paweł Frankowski for international relations [26, p. 29]. Only the theoretical lining of the individual theories should be utilised, disregarding their mathematical aspects. Nevertheless, security studies are much better suited for their utilisation than other social studies. This is due to their interdisciplinary nature. For example, solitons can be referenced when dealing with studies on protection against tsunamis and determining the possible effects and wave height. Omitting the purely physical aspect (appropriate formulas and calculations), knowing how solitons behave and what they are significantly streamlines cooperation from other fields in the development of crisis management plans.

### Attractors and solitons in security studies

The last area worth discussing includes those elements of chaos theory which can be used in security studies. In chaos theory there are many such elements: bifurcations, attractors, Mandelbrot and Julia sets, metric entropy, phase space, solitons, etc. According to the author, and from the point of view of security studies, attractors and solitons are the two most important ones. This selection is motivated by the possibility of their relatively direct use in science.

Explaining the notion of attractor should be the first step here. The term derives from the word *attract*. It is a point or limit cycle in a phase space [4, p. 57]. A phase space is a set of points describing the state of a dynamic system at a given moment [2, p. 145]. This means that it includes all motion trajectories of the described system. To translate the above into the language of security studies, the phase space of a crisis situation is, in the event of a malfunction in a nuclear reactor, all the states of the reactor at a given time. An attractor attracts all



stany reaktora w czasie. Wracając jednak do atraktora, przyciąga on do siebie trajektorie poruszające się w przestrzeni fazowej [4, s. 57]. Oznacza to, że nawet najbardziej chaotyczna sytuacja w długiej perspektywie zmierza do określonego punktu. W przypadku sytuacji kryzysowej w reaktorze jądrowym proces niekontrolowanego rozszczepienia jąder atomu ma charakter chaotyczny, jednak zmierza on do pewnej przestrzeni, którą jest wzrost temperatury (zakładając, że nie zostały podjęte działania mające na celu niedopuszczenie do przekroczenia przez temperaturę dopuszczalnych norm) i w jej wyniku stopienia prętów paliwowych.

Specyficznym rodzajem atraktora jest dziwny atraktor [27, s. 101], który ma budowę fraktalną (do głównych cech fraktali należą: rekurencja, samopodobieństwo oraz wymiar ułamkowy [27, s. 19]). Ruch w „basenie przyciągania” [4, s. 57] dziwnego atraktora jest trudniejszy do opisanego. Najłatwiej przedstawić tę różnicę na przykładzie zaprezentowanym przez E. Lorenza. Podobnie jak ma to miejsce w normalnych sytuacjach, trajektoria ruchu w kierunku jednego punktu bądź cyklu granicznego jest przewidywalna w długim okresie. Jednak w modelu opisanym przez E. Lorenza możemy zaobserwować ruch w kierunku dwóch basenów przyciągania. Ruch na każdej z tych trajektorii jest stabilny, jednak moment, w którym dochodzi do przeskoku między jednym a drugim punktem przyciągania, jest niemożliwy do przewidzenia [4, s. 59–60]. Czyli tak długo jak ruch odbywa się po znanej nam trajektorii, nawet pomimo lokalnych zakłóceń, jest przewidywalny. Chaotyczność jest wprowadzana poprzez przeskoki pomiędzy poszczególnymi trajektoriami.

Atraktor jest uporządkowaniem procesów i jest bardzo trudny, a może nawet niemożliwy, do zaobserwowania [4, s. 60]. To co jednak często stanowi istotną przeszkodę dla nauk ścisłych niekoniecznie musi być aż takim problemem dla nauk społecznych. Zgodnie z tym co napisano wcześniej, należy skupić się bardziej na samym znaczeniu atraktora niż na jego matematycznych właściwościach. Możemy go zauważyć zarówno w sytuacjach kryzysowych w elektrowniach, zachowaniach tłumu czy działalności terrorystycznej. Aby określić możliwe tendencje zachowań, a następnie opracować odpowiednie procedury, nie ma potrzeby dokładnego określenia atraktora. W wielu przypadkach przybliżone wyznaczenie basenu przyciągania okazuje się wystarczające.

Drugie z pojęć ma charakter o wiele bardziej techniczny i jego bezpośrednie wykorzystanie w naukach o bezpieczeństwie sprawia znaczące problemy. Nazwa soliton pochodzi od angielskiego terminu „solitary wave” i opisuje rodzaj fal o bardzo stabilnej formie. W trakcie przemieszczania nie zmieniają one swojego kształtu, nawet w przypadku kontaktu z innymi falami. Drugim istotnym założeniem jest uzależnienie prędkości fali od jej amplitudy. Wyższe fale podróżują szybciej niż mniejsze [4, s. 84]. Pomimo tego, że zdaniem autora nie jest możliwe bezpośrednie przeniesienie solitonów na grunt nauk o bezpieczeństwie, niesie ona wiele istotnych informacji dla badaczy zajętych szeroko pojmowanym bezpieczeństwem. Od lat 70. dwudziestego wieku solitony zdobywały coraz większą popularność w wyjaśnianiu zjawiska tsunami. Była to metoda stojąca w opozycji do wcześniej stosowanych.

Od dawna państwa położone na obszarach zagrożonych tsunami stosowały rozmaite metody prewencyjne<sup>2</sup>. Najprostszą i jedyną przez długi czas stosowaną metodą było przenoszenie

<sup>2</sup> Stosowanie metod prewencyjnych w stosunku do tsunami zostało opisane na podstawie modelu japońskiego.

trajektorie poruszające się w przestrzeni fazowej [4, p. 57]. This means that even the most chaotic situation heads towards a given point in the long run. In the case of a crisis situation in a nuclear reactor, the process of uncontrolled atomic fission is chaotic in nature; however, it progresses towards a given space, i.e. an increase in temperature (providing that no action was taken to prevent the temperature to exceed the permissible values) and melting the fuel rods.

A strange attractor is a peculiar type of attractor [27, p. 101]. It has a fractal structure (the main characteristics of fractals include recurrence, self-similarity and the fractional dimension [27, p. 19]). Motion in the “pool of attraction” [4, p. 57] of the strange attractor is difficult to describe. It is the easiest to explain this difference using the example presented by E. Lorenz. Similarly to normal situations, the trajectory of motion towards one point or limit cycle is predictable over a long period of time. However, in the model described by Lorenz, we can observe motion towards two pools of attraction. Motion in any of these trajectories is stable; however, the moment at which a switch between two points of attraction occur is impossible to predict [4, pp. 59–60]. This means that as long as the motion takes place along the known trajectory, it is predictable even despite local distortions. Its chaotic character stems from switching between the individual trajectories.

An attractor constitutes an arrangement of processes, and is very difficult or even impossible to be observed [4, p. 60]. However, what sometimes is a serious obstacle for the exact sciences does not necessarily pose such a great problem for the social sciences. In line with the above, we should be more focused on the significance of attractor than on its mathematical properties. We can perceive it in crisis situations in power plants, behaviour of crowds and terrorist activities. In order to determine the possible behaviour trends, and then devise appropriate procedures, one does not have to know exactly how the attractor will behave. In many cases an approximation of the pool of attraction is enough.

The other notion is much more technical, and its direct use in security studies is highly problematic. The term soliton originates from “solitary wave” and described a kind of wave with a very stable form. During motion they do not change their shape, even when in contact with other waves. Another important premise is the wave velocity being dependent on its amplitude. Higher waves move faster than lower ones [4, p. 84]. Despite the fact that, according to the author, it is impossible to directly transfer solitons to the field of security studies, they hold a lot of important information for researchers studying security in its broad sense. From the 1970s solitons have become more and more popular in the explanation of tsunamis. This method was in opposition to the previous ones.

Countries located in areas at risk of tsunamis have been using various preventive methods<sup>2</sup>. The simplest and, for a long time, the only method was relocating survivors to higher regions [28, p. 267]. Also the local populace had their ways of preventing the tragic effects of such catastrophes. Subsequent

<sup>2</sup> The use of preventive methods in relation to tsunamis is described based on the Japanese model.



ocalały z danego tsunami na tereny wyżej położone [28, s. 267]. Swoje sposoby zapobiegania tragicznym skutkom katastrof mieli także lokalni mieszkańcy. Kolejne dewastujące fale były oznaczane pomnikami wskazującymi, do jakiej wysokości doszła fala. Ta metoda jednak wiązała się z pewnymi ograniczeniami, a główną z nich była zawodna ludzka pamięć. Po kilkunastu dekadach kolejne pokolenia zapomniały o wydarzeniu i ponownie zaczęto budować poniżej wysokości do której doszły poprzednie fale [29, s. 27]. W przypadku Japonii istotną rolę odgrywa także ograniczona podaż ziemi nadającej się do zabudowy. Pierwsze zmiany w podejściu rządu do kwestii bezpieczeństwa związanego z falami tsunami nastąpiły dopiero po tsunami chilijskim (1960). Od tamtej pory do najpopularniejszych metod zaliczono: metodę historyczną (określania wysokości przyszłych tsunami na podstawie relacji historycznych) oraz opartą na linearnych obliczeniach [28, s. 270].

Podstawową korzyścią płynącą z wykorzystania solitonów do prognozowania fal tsunami jest urealnienie dostępnego czasu na ewakuację. Jeśli prędkość fali zależy od jej amplitudy to, opierając się na prognozach dotyczących jej możliwej wysokości, możemy dokładniej oszacować najbardziej pesymistyczny i optymistyczny wariant. Solitony da się zatem wykorzystać na dwóch poziomach zarządzania kryzysowego: zapobiegania i przygotowywania. Na etapie zapobiegania może zostać użyta do analizy i oceny potencjalnych zagrożeń, doskonalenia szkoleń jednostek operacyjnych oraz w odpowiednim planowaniu zagospodarowania przestrzennego. Na kolejnym etapie (przygotowanie) odgrywa istotną rolę w opracowywaniu scenariuszy sytuacji kryzysowych, a także w planowaniu odpowiednich umocnień mających chronić przed falami [30, s. 24]. Nie jest jednak tak, że metoda solitonowa jest „świętym grallem” badań nad tsunami. W literaturze istnieją poważne wątpliwości co do tego, czy można ją wykorzystać w omawianym celu oraz w jakim zakresie. Inny problem związany jest z wykorzystaniem jej do prognozowania. Wątpliwości na ten temat wyrażają między innymi Stefan Schimmels oraz Per A. Madsen. Zespół pod kierownictwem pierwszego z nich podjął się próby odtworzenia tsunami w warunkach laboratoryjnych. Doszli jednak do wniosku, że rekonstrukcja tsunami takiego, jakie występuje w naturze, jest zbyt skomplikowana. Możliwe jest wytworzenie pojedynczej fali solitonowej, jednak większa liczba wykracza poza możliwości obecnej technologii (warto zaznaczyć, że w przypadku tsunami, które uderzyło w wybrzeże Japonii w marcu 2011 roku, podaje się liczbę od dwóch do kilkunastu fal – dlatego też analiza tylko jednej nie pozwoli na przewidzenie zachowania fal w rzeczywistości). Kolejnym problemem okazała się większa długość fal tsunami, niż wynika to z solitonów [31]. Do podobnych wniosków (w niektórych aspektach) doszedł zespół kierowany przez P.A. Madsena. W konkluzji do jego artykułu podkreśla, że solitony nie nadają się do wykorzystania w prognozowaniu ze względu na to, że dane uzyskane w sposób laboratoryjny nie przystają do rzeczywistości. Sugeruje zatem, że o ile chcielibyśmy się takiego zadania podjąć, powinniśmy opierać się na pomiarach wykonanych w terenie bądź na modelach numerycznych opisujących wielkie obszary [32]. Po przeciwnej stronie znaleźli się między innymi Tatsuhiko Saito [33] oraz Toshitaka Baba [34], którzy wykorzystali równania solitonowe do opisu przeszłych tsunami (Tohoku, marzec 2011), wskazując równocześnie na ich potencjalne możliwości prognostyczne.

devastating waves were marked with monuments indicating the height reached by the wave. This method, however, had its limitations, with human memory being the main problem. After several decades younger generations forgot the events, and buildings were constructed below the level reached by waves in the past [29, p. 27]. In the case of Japan, also the limited supply of grounds fit for building plays a significant role. The first changes in the government's approach to tsunami-related security occurred only after the 1960 Chilean Tsunami. Since then, the most popular methods have included: the historical method (determining the size of future tsunamis based on historical relations) and the method based on linear calculations [28, p. 270].

When it comes to tsunami forecasting, the basic benefit stemming from the use of solitons is the updating of time available for evacuation. If the wave velocity depends on its amplitude, then, on the basis of forecasts concerning its possible height, we can more precisely estimate the worst- and best-case scenarios. Solitons can, therefore, be used at two levels of crisis management: prevention and preparation. In the stage of prevention, they can be used to analyse and evaluate potential threats, enhance the training of operational units and appropriate land-use planning. In the next stage (preparation), they can play an important role in the preparation of crisis situation scenarios, and also when planning appropriate reinforcements to protect against waves [30, p. 24]. The soliton method is not, however, the “Holy Grail” of tsunami studies. In the literature, authors have many doubts whether it can be used for the purpose in question and about the scope of such use. Another problem is connected with its utilisation in forecasting. Stefan Schimmels and Per A. Madsen have their doubts about this. A team led by the former attempted to recreate a tsunami in laboratory conditions. They arrived at a conclusion that recreating a tsunami as found in nature was too complicated. It is possible to create a singular soliton wave; however, making more of these goes beyond the capacity of the present technology (it is worth pointing out that in the case of the tsunami which hit the coast of Japan in March 2011, there were two to a dozen or so waves – which is why analysing only one wave will not make it possible to predict the actual behaviour of waves). Another problem was the greater length of tsunami waves than resulting from solitons [31]. Similar conclusions (in some aspects) were made by a team supervised by P.A. Madsen. In the conclusion of his article, he highlights that solitons cannot be used in forecasting due to data collected in laboratory conditions being incompatible with reality. This suggests that, should we want to undertake such a task, we should base our analysis on on-site measurements or numerical models describing extensive areas [32]. On the opposite side, there are, among others, Tatsuhiko Saito [33] and Toshitaka Baba [34], who used soliton equations to describe future tsunamis (Tohoku, March 2011), indicating their possible forecasting potential.

Taking into account the aforementioned reservations, the author reckons that it is justified to include solitons to resources used by people responsible for the creation of crisis management frameworks. The methods used to date have repeatedly

Uwzględniając wspomniane wyżej zastrzeżenia, zdaniem autora zasadne jest włączenie solitonów do źródeł, z których powinny korzystać osoby odpowiedzialne za tworzenie ram zarządzania kryzysowego. Stosowane do tej pory metody już kilkakrotnie wykazały, że nie do końca pasują do realnych warunków środowiskowych. Dlatego też, mając na uwadze wszystkie problemy i wątpliwości, solitony dają szansę na zapewnienie lepszych procedur bezpieczeństwa.

## Wnioski

Celem pracy było zaprezentowanie sposobów implementacji teorii chaosu w naukach o bezpieczeństwie oraz wykazanie, czy taka czynność jest w ogóle zasadna. Wśród cytowanych autorów często pojawia się postulat uznania teorii chaosu za kolejną wielką rewolucję (w ujęciu T. Kuhna), nowy paradygmat całkowicie zmieniający oblicze świata. Można zadać więc pytanie: Czy jednak z punktu widzenia nauk o bezpieczeństwie, i szerzej nauk społecznych, takie stanowisko ma rację bytu? Mimo dużego wpływu nauk ścisłych na nauki humanistyczne, nawet najbardziej zagorzali zwolennicy metod matematycznych nie twierdzili, że da się całą złożoność społeczną opisać metodami pochodzącymi z nauk ścisłych. Poza tym większość teorii występujących w naukach o bezpieczeństwie w pewnym stopniu zawsze uwzględniała nieprzewidywalność procesów oraz podatność na warunki początkowe, nawet jeśli w ten sposób ich nie nazywano<sup>3</sup>. Dlatego też zdaniem autora teoria chaosu nie jest, przynajmniej w naukach o bezpieczeństwie, rewolucją mającą zastąpić stare paradygmaty. Jest to raczej kolejny etap w „normalnej” pracy naukowej.

Tym, co wyróżnia teorię chaosu na tle starszych teorii, jest duża swoboda, z jaką można ją stosować. Najbardziej oczywiste jest jej wykorzystanie jako podstawy prowadzonych badań, tak jak wykorzystywane są realizm, liberalizm, konstruktywizm itp. Z drugiej strony wiele elementów teorii chaosu może być stosowanych w dobrze ugruntowanych teoriach, nie powodując wewnętrznych konfliktów. Poszukiwanie atraktorów zachowań podmiotów może być z łatwością wykorzystane zarówno w teorii chaosu, jak i w realizmie czy teorii gier. Wrażliwość na warunki początkowe pozwala na rzucenie nowego światła na postrzeganie bezpieczeństwa jako konstruktu społecznego. Ta swoboda, z jaką elementy teorii chaosu mogą zostać wykorzystane w innych teoriach, jest jednym z najistotniejszych powodów, dlaczego warto podejmować próby jej przenoszenia na grunt nauk o bezpieczeństwie.

Wykorzystanie teorii chaosu jako podstawowej teorii w badaniach wymaga jeszcze gruntownej pracy teoretycznej.

<sup>3</sup> Teorią najbardziej oddaloną od nauk ścisłych jest konstruktywizm. Zakłada on, że „bezpieczeństwo to konstrukt społeczny” [35, s. 61], to znaczy, że jest powoływany do życia przez jakąś grupę, bez której by nie istniał. Elementy antypozytywistycznego podejścia można jednak zauważyć także w innych teoriach. Realizm klasyczny zwraca uwagę na ułomności, nieprzewidywalności ludzkich pragnień [36, s. 17]. Wpływa to na kształt stosunków międzynarodowych oraz sposobów zapewnienia bezpieczeństwa. W teorii gier nieprzewidywalność może występować, gdy gracze podejmują decyzje o wyborze strategii jednocześnie, bądź nie mają wiedzy na temat strategii przyjętej przez innego gracza [37, s. 51]. Jak można zauważyć, brak determinizmu był uwzględniany w teoriach funkcjonujących w naukach o bezpieczeństwie od dawna.

demonstrated that they do not match perfectly the actual environmental conditions. Therefore, taking into account all the problems and doubts, solitons can provide better security procedures.

## Conclusions

The objective of this work is to present the ways of implementing chaos theory in security studies, and to demonstrate whether such activity is justified. Among the cited authors one can note a frequent postulate that chaos theory is another great revolution (as proposed by T. Kuhn), a new paradigm completely changing the world. One can therefore ask: Is such a standpoint relevant, however, from the perspective of security studies, and social studied in broad terms? Despite the exact sciences exerting great influence on humanities, even the most ardent supporters of mathematical methods did not argue that the entire complexity of social relations could be described using methods based on the exact sciences. In addition, most theories present in security studies to some extent always took into account the unpredictability of processes and sensitivity to initial conditions, even if they were not called that way<sup>3</sup>. Therefore, the author reckons that chaos theory is not a revolution which should replace the old paradigms, at least not in security studies. It is rather another stop in “regular” scientific work.

What distinguishes chaos theory among older ones is the substantial freedom of its use. The most obvious is its use as a basis for research, in a manner equivalent to the way realism, liberalism or constructivism is used. On the other hand, many elements in chaos theory can be applied in well-grounded theories, without causing internal conflicts. Searching for attractors of entities' behaviour can be easily applied in chaos theory, realism and game theory. Sensitivity to initial conditions makes it possible to shed new light on the perception of security as a social construct. Freedom with which elements of chaos theory can be applied in other theories is among the most important reasons why it is worth attempting to translate it into security sciences.

The utilisation of chaos theory as the basic theory in studies still requires profound theoretical work. The most important

<sup>3</sup> Constructivism is a theory which is the most distant from the exact sciences. It assumes that “security is a social construct” [35, p. 61], which means that it is established by a group of people and cannot exist without them. Some elements of the antipositivist approach can also be seen in other theories. Classical realism points to flaws in, and the unpredictability of, human desires [36, p. 17]. This influences international relations and means of ensuring security. In game theory unpredictability can occur when players make decisions on the selection of their strategies at the same time, or have no knowledge of the strategy adopted by the other player [37, p. 51]. As one can note, the lack of determinism was accounted for in theories which have been for long present in security studies.

Najważniejszym zadaniem jest usystematyzowanie pojęć oraz wypracowanie ich jednolitego brzmienia w naukach o bezpieczeństwie. Znacząca choćby liczba definicji chaosu deterministycznego wprowadza zamęt terminologiczny. Poza tym, pomimo że wiele elementów teorii ma łatwe przełożenie na język nauk społecznych, nie oznacza to jednak, że nie należy wprowadzić do nich określonych poprawek, dopasowując je do istniejącej już wiedzy w danej dyscyplinie. Jednak pomimo opisanych powyżej problemów teoria chaosu dostarcza nam nowych narzędzi do badania i tłumaczenia zagrożeń dla bezpieczeństwa.

task is to systematise concepts and develop their uniform definitions in security sciences. Indeed, the great number of definitions of deterministic chaos creates terminological confusion. Moreover, despite the many elements of the theory being easily translatable to the language of social studies, this does not mean that certain amendments should not be introduced, adjusting them to the state of the art in a given discipline. Nevertheless, despite the aforementioned problems, chaos theory provides us with new instruments to study and translate security threats.

## Literatura / Literature

- [1] Stewart I., *Czy Bóg gra w Kości? Nowa matematyka chaosu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.
- [2] Gleick J., *Chaos*, Zysk i S-ka Wydawnictwo, Poznań 1996.
- [3] Tempczyk M., *świat harmonii i chaosu*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1995.
- [4] Tempczyk M., *Teoria chaosu dla odważnych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [5] Rothert A., *Koncepcyjne i metodologiczne wyzwania zagadnienia emergencji rządzenia sieciowego*, Przegląd Europejski, 2010, 2, 7–29.
- [6] Krupski R., *Istota i krytyka koncepcji organizacji działającej na krawędzi chaosu*, „Zeszyty Naukowe Wałbrzyskiej Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości” 2010, 14(1), 5–12.
- [7] Kruszewski R., *Heterogeniczne oczekiwania a konkurencja doskonała: model matematyczny*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania” 2014, 2(35), 125–137.
- [8] Peters E.E., *Fractal market analysis: applying chaos theory to investment and economics*, John Wiley & Sons, New York 1994.
- [9] Richards D., *From Individuals to Groups: The Aggregation of Votes and Chaotic Dynamics*, [in:] *Chaos Theory in the social sciences: Foundations and Applications*, D. L. Kiel, E.W. Elliott (red.), University of Michigan Press, Ann Arbor 1997.
- [10] Saperstein A.M., *The Prediction of Unpredictability: Applications of the New Paradigm of Chaos in Dynamical Systems to the Old Problem of the Stability of a System of Hostile Nations*, [in:] *Chaos Theory in the social sciences: Foundations and Applications*, D.L. Kiel, E.W. Elliott (ed.), University of Michigan Press, Ann Arbor 1997.
- [11] Sienkiewicz-Małyjurek K., Kożuch B., *System zarządzania bezpieczeństwem publicznym w ujęciu teorii złożoności. Opracowanie modelowe*, BiTP Vol. 37 Issue 1, 2015, pp. 33–43.
- [12] Sellnow T.L., Seeger M.W., Ulmer R.R., *Chaos theory, informational needs, and natural disasters*, „Journal of Applied Communication Research” 2002, 4, 269–292.
- [13] Hagen R., Statler M., Penuel B.K., *Encyclopedia of Crisis Management*, SAGE Publications, Los Angeles 2013.
- [14] Speakman M., Sharpley R., *Research Paper: A chaos theory perspective on destination crisis management: Evidence from Mexico*, „Journal of Destination Marketing & Management”, 2012, 1, 67–77.
- [15] *Krwawe zamachy terrorystyczne w Paryżu [CO WIEMY – NAJWAŻNIEJSZE FAKTY]*, Metro Warszawa, <http://metro.gazeta.pl/metro/1,50144,19188034,krwawe-zamachy-terrorystyczne-w-paryżu-co-wiemy-najwazniejsze.html> [dostęp: 19.01.2017].
- [16] Kruszniewska M., Reuters, Ksepka S., *Zamach w Nicei*, Wyborcza.pl, <http://wyborcza.pl/12,82983,20408043.html> [dostęp: 19.02.2017]
- [17] Milo W., *Losowość a chaotyczność*, „Przegląd Statystyczny” 2013, 60(4), 425–445.
- [18] Tempczyk M., *Teoria chaosu a filozofia*, Wydawnictwo CiS, Warszawa 1998.
- [19] Łuczynski W., *Fraktalna natura procesów gospodarczych*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu” 2011, 20, 271–290.
- [20] Siemienuk N., Siemienuk T., *Teoria chaosu deterministycznego a decyzje inwestorów giełdowych*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Finanse. Rynki finansowe. Ubezpieczenia” 2015, 74(1), 181–192.
- [21] Tarasiewicz M., *Skuteczność planowania w organizacji w świetle paradygmatów nauki o złożoności*, „Zeszyty Naukowe Wałbrzyskiej Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości” 2009, 12(1), 77–87.
- [22] Strona internetowa Rządowego Centrum Bezpieczeństwa, <http://rcb.gov.pl/o-rcb/> [dostęp: 09.02.2017].
- [23] Krajowy Plan Zarządzania Kryzysowego 2013/2015, Rządowe Centrum Bezpieczeństwa, <http://rcb.gov.pl/wp-content/uploads/KPKZ-2013-2015.tj...pdf> [dostęp: 14.02.2017].
- [24] Bricker M.K. (ed.), *The Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Disaster: Investigating the Myth and Reality*, Routledge, New York 2014.
- [25] Weber M., *Polityka jako zawód i powołanie*, Społeczny Instytut Wydawniczy Znak, Kraków.
- [26] Frankowski P., *Stosunki międzynarodowe jako system chaotyczny*, „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio K, Politologia” 2002, 9, 21–30.
- [27] Kudrewicz J., *Fraktale i chaos*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2015.
- [28] Shuto N., Koji F., *A short history of tsunami research and countermeasures in Japan*, „Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and Biological Sciences” 2009, 85(8), 267–275.
- [29] Bernardyn P., *Słońce jeszcze nie weszło: Tsunami, Fukushima*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2014.
- [30] Sienkiewicz-Małyjurek K., *Skuteczne zarządzanie kryzysowe*, Difin, Warszawa 2015.
- [31] Schimmels S., Sriram V., Didenkulova I., *Tsunami generation in a large scale experimental facility*, „Coastal Engineering” 2016, 110, 32–41.
- [32] Madsen P.A., Fuhrman D.R., Schäffer H.A., *On the solitary wave paradigm for tsunamis*, „Journal of Geophysical Research” 2008, 113(C12), C12012–12014.
- [33] Saito T., Inazu D., Miyoshi T., Hino R., *Dispersion and nonlinear effects in the 2011 Tohoku-Oki earthquake tsunami*, „Journal of Geophysical Research Oceans” 2014, 119(8), 5160–5180.
- [34] Baba T., Takahashi N., Kaneda Y., Ando K., Matsuoka D., Kato T., *Parallel Implementation of Dispersive Tsunami Wave Modeling with a Nesting Algorithm for the 2011 Tohoku Tsunami*, „Pure and Applied Geophysics”, 2015 172(12), 3455–3472.
- [35] McDonald M., *Konstruktywizm*, [w:] *Studia bezpieczeństwa*, Williams P.D. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2012, 59–72.
- [36] Elman C., *Realizm*, [w:] *Studia bezpieczeństwa*, Williams P.D. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2012, 15–28.
- [37] Zagare F.C., *Teoria gier*, [w:] *Studia bezpieczeństwa*, Williams P.D. (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2012, 44–58.

**MGR MICHAŁ SNOPEK** – absolwent Wydziału Dziennikarstwa i Nauk Politycznych Uniwersytetu Warszawskiego na kierunku politologia. Uczęszcza na studia doktoranckie na Wydziale Nauk Politycznych i Studiów Międzynarodowych. Jego zainteresowania skupiają się wokół szeroko pojmowanego bezpieczeństwa energetycznego, ze szczególnym uwzględnieniem państw Dalekiego Wschodu. Stara się włączyć bardziej matematyczne i fizyczne podejście do kwestii energetycznych w ramy nauk o bezpieczeństwie.

**MICHAŁ SNOPEK, MA** – a graduate in political science at the Faculty of Journalism and Political Studies, University of Warsaw. He is currently pursuing doctoral studies at the Faculty of Political Science and International Studies. His interests revolve around energy security in a broad sense, focusing on Far Eastern countries. He attempts to introduce a more mathematical and physical approach to the issues of power generation to the social sciences.



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania: Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BITP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” – typ zadania: stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji finansowane w ramach umowy 935/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.