

Andrzej MAGRUK
Politechnika Białostocka
Wydział Zarządzania
a.magruk@gmail.com

MINIMALIZACJA NIEPEWNOŚCI W SYSTEMIE PRZEMYSŁU 4.0 POPRAZ ANTYPACJĘ ZDARZEŃ BEZPRECEDENSOWYCH¹

Streszczenie. W niniejszym artykule zaprezentowano, na przykładzie Przemysłu 4.0, podejścia badawcze pozwalające zidentyfikować zdarzenia bezprecedensowe w ujęciu dzikich kart, które umożliwiają zminimalizować efekt niepewności. Przemysł 4.0 jest to nowatorska, dziś jeszcze niepewna, wizja złożonego systemu w skali i wymiarach, do tej pory niestosowanych. Wszystkie podmioty biorące udział w budowie Przemysłu 4.0 powinny mieć świadomość możliwości zaistnienia wydarzeń bezprecedensowych, nawet jeśli prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest niskie.

Słowa kluczowe: antycypacja, Przemysł 4.0, zdarzenie bezprecedensowe

MINIMIZING OF UNCERTAINTY PHENOMENON IN SYSTEM OF INDUSTRY 4.0 BY ANTICIPATION OF UNPRECEDENTED EVENTS

Abstract. This article presents research attitude to identify unprecedented events as wild card in order to minimize uncertainty in the sphere of Industry 4.0. Industry 4.0 is an innovative, still uncertain today, a vision of a complex system in scale and dimensions, so far not used. All actors involved in the construction of Industry 4.0 should be aware of the possibility of unprecedented events, even if the probability of their occurrence is low.

Keywords: anticipation, Industry 4.0, unprecedented event

¹ Badania zostały zrealizowane w ramach pracy statutowej S/WZ/1/2014 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Wprowadzenie

Strategiczna inicjatywa „Przemysłu 4.0” opiera się na kształtowaniu cyberfizycznych systemów produkcyjnych, wykorzystujących inteligentne łańcuchy wytwarzania (opartych na koncepcji Internetu Rzeczy – IR) na podstawie komunikujących się między sobą maszyn, autonomicznych produktów, komponentów, inteligentnych fabryk, ludzi [9; 14; 35].

Idea Przemysłu 4.0, jest pomysłem bardzo młodym, swoim początkiem sięgając 2011 roku. W bardzo wielu aspektach, szczególnie w ujęciu systemowym, obarczona jest więc dużym poziomem niepewności. Ową nieokreśloność będą determinowały następujące zjawiska [4; 22]: a) wielka liczba elementów w systemie, ich duża niejednorodność i zmienność w czasie; b) bardzo wielka liczba możliwych stanów, funkcji systemu i jego poszczególnych elementów; c) brak praktycznych możliwości pełnego odwzorowania systemu w postaci modelu; d) niemożliwość określenia pełnego przyszłego stanu systemu wynikająca między innymi z ogromnej liczby możliwych kombinacji informacji generowanych przez komponenty systemu; e) bardzo liczne i niedostatecznie znane powiązania systemu z otoczeniem; f) wielofunkcyjność i dynamizm rozwojowy systemu.

Ponadto współczesne tempo zmian w wymiarach: ekonomicznym, politycznym, społecznym, środowiskowym i technicznym jest bezprecedensowe. Powoduje to, że przyszłość w tych obszarach jest coraz bardziej nieokreślona. Owa nieokreśloność warunkuje niepewność [34] co wpływa na konieczność dogłębnych złożonych prospektywnych analiz, które wspomagałyby proces minimalizacji tej niepewności.

Pomimo dużego stopnia skomplikowania takich badań koniecznym wydaje się być posiadanie wiedzy podstawowej i praktycznej z tego zakresu. W opinii autora jednym z istotnych narzędzi naukowych wspomagających takie działania naukowe może być antycypacyjna analiza dzikich kart (jako jednego z typów zdarzeń bezprecedensowych), która może być przydatna, w środowisku narażonym na wyjątkowe i nagłe zdarzenia [26]. Wydaje się to być szczególnie istotne w przypadku zjawisk nowych, obarczonych dużym stopniem niepewności.

W artykule dokonano analizy potencjalnych przyszłościowych dzikich kart w ujęciu praktycznym w wybranych obszarach Przemysłu 4.0 w skali europejskiej. Główne cele artykułu koncentrują się na: 1) analizie zjawisk niepewności w systemie Przemysłu 4.0 na podstawie analizy STEEPVL; 2) minimalizacji wybranych obszarów niepewności poprzez identyfikację potencjalnych dzikich kart na podstawie analizy i krytyki piśmiennictwa, desk research oraz analizy słabych sygnałów.

1. Zjawisko niepewności w kontekście przyszłych zdarzeń rzadkich

Turbulencja otoczenia oraz obiektywna i subiektywna ocena złożoności różnych organizacji sprawiają, że występowanie zjawiska niepewności w procesie podejmowanych decyzji staje się immanentną cechą każdego działania gospodarczego [30].

Bardzo istotne w procesie podejmowania decyzji jest rozróżnienie pomiędzy determinizmem (gdy niepewność przyjmuje wartość zero [2]), probabilistyką (gdy niepewność ma charakter obiektywny) i rozmytością (gdy niepewność wynika z ujęcia subiektywnego). Niepewności z procesu decyzyjnego nie da się wyeliminować całkowicie, ale można nad nią częściowo zapanować wykorzystując w przypadku jej odmiany obiektywnej metody odnoszące się do prawdopodobieństwa (np. modele Bayesa), a w przypadku niepewności subiektywnej metody odnoszące się do nieokreśloności (np. wykorzystując metody eksperckie takie jak analizowana w artykule metoda dzikich kart).

Kategoria niepewności jest charakteryzowana w literaturze przedmiotu po różnym kątem. W ogólnym ujęciu można ją zdefiniować jako kategorię poznawczą przejawiającą się w braku informacji niezbędnych do podejmowania określonych decyzji, braku możliwości przewidywania skutków podejmowanych decyzji i niemożności oszacowania skutków zdarzeń zachodzących w otoczeniu [13].

Dogłębne prekursorskie badania nad niepewnością (zwłaszcza w relacji do zjawiska ryzyka) sięgają początków wieku XX. Według A. H. Willetta niepewność jest miarą subiektywną, która jest skorelowana z obiektywnym ryzykiem i dotyczy przyszłościowych, przypadkowych zdarzeń, które są trudne lub niemożliwe do oszacowania [10].

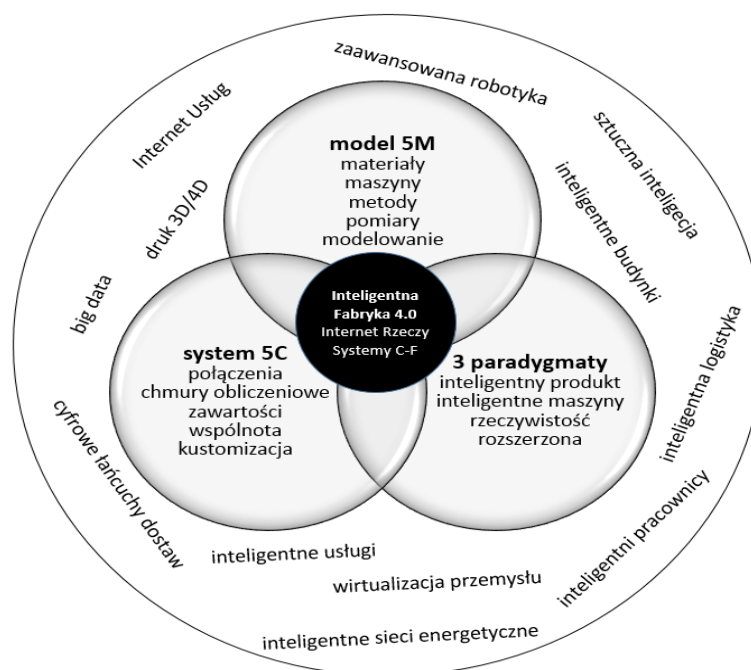
Według F. H. Knighta, niepewność jest kategorią niewymierną odnoszącą się do zjawisk o charakterze jakościowym. Niepewność dotyczy sytuacji lub zdarzeń zupełnie wyjątkowych, co do których można stosować pojęcie prawdopodobieństwa „subiektywnego” [3].

Według G.L.S. Shackle (w pracach z lat 1955 i 1962) niepewność opiera na abstrakcyjnej konstrukcji niepodzielnego eksperymentu (odpowiadająca specyfice nauk społecznych). Rezultat eksperymentu niepodzielnego jest śledzony w jednym akcie obserwacji. Obejmuje on 3 rodzaje działań lub decyzji [30]: 1) dotyczących zagadnień podobnych, ale bardzo od siebie oddalonych czasowo i nie mogących być przez to traktowanych jako kolejne próby w eksperymencie podzielonym; 2) odnoszących się do aspektów unikalnych – możliwych do przeprowadzenia jedynie w danych okolicznościach, ale przez ich (okoliczności) zmienność nie mogą być powtórzone; 3) dotyczących zagadnień krytycznych – zmieniających radykalnie sytuację jednostki podejmującej je i możliwości jej dalszego działania. W tych warunkach nie można dokładnie określić konsekwencji podjętych decyzji lub działań, nie da się więc wykluczyć niespodzianki. W tym ujęciu najbardziej istotną właściwością niepewności jest, związany z nią, element zaskoczenia [30], który według autora niniejszej publikacji można taktować jako wydarzenie bezprecedensowe.

Ugruntowane, ale o dużym potencjale badawczym, podejście do kwestii będących przedmiotem niniejszego artykułu, prezentuje filozofia foresight (jedno z kluczowych podejść badawczych dotyczących antycypacyjnego zarządzania przyszłością), według której niepewność nie jest tylko czasowym odstępstwem od zdroworozsądkowego przewidywania przyszłości, ale podstawową strukturalną cechą otoczenia [17]. Główną zasadą dla badań przyszłości nie powinno być uzależnienie od tego, co jest logiczne przekonujące, ale raczej branie pod uwagę nieintuicyjnych zachowań systemu [32], analizując na przykład potencjalność pojawienia się dzikich kart.

2. Charakterystyka Przemysłu 4.0 w ujęciu systemowym

Model produkcji zdefiniowany przez J. Lee, E. Lapira, B. Bagheri, H. Kao jako system 5M w kontekście Przemysłu 4.0 z jednej strony jest integrowany z infrastrukturą systemów informacyjnych, opartych na modelu funkcyjnym 5C [21], z drugiej natomiast na zupełnie nowych paradygmatach powstałych na bazie innowacyjnych trendów i megatrendów rozumianych jako kierunki przemian społecznych, gospodarczych, środowiskowych, politycznych i kulturowych obejmujących znaczny układ czasowo-przestrzenny [15] (rys. 1).



Rys. 1. Główne składowe systemu Przemysłu 4.0
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [21; 24; 35].

System 5M składa się z następujących komponentów: 1) materiały (*Materials*) – właściwości i funkcje; 2) maszyny (*Machines*) – precyzja i możliwości; 3) metody (*Methods*) – efektywność i wydajność; 4) pomiary (*Measurements*) – wykrywanie i doskonalenie oraz 5) modelowanie (*Modeling*) – przewidywanie, optymalizacja i zapobieganie. System 5C natomiast składa się z: 1) połączeń (*Connection*) – czujniki i sieci; 2) chmur obliczeniowych (*Clouds*) – dane na żądanie i o każdej porze; 3) zawartości (*Content*) – korelacja i znaczenie; 4) wspólnot (*Community*) – udostępnianie i społeczność oraz 5) kustomizacji (*Customization*) – personalizacja i wartość [21].

Według S. Weyer, M. Schmitt, M. Ohmer, D. Gorecky Przemysłu 4.0 będzie się opierał na trzech nowych paradygmatach: inteligentnym produkcie, inteligentnych maszynach oraz operatorach wyposażonych w narzędzia rzeczywistości rozszerzonej. Inteligentny produkt (jako główny element IR) otrzyma pamięć, na której będą zapisywane dane i wymagania operacyjne bezpośrednio jako indywidualny plan produkcyjny. Paradygmat inteligentnej maszyny odnosi się do procesu opartego na cyber-fizycznych systemach produkcyjnych. Rzeczywistość rozszerzona będzie miała na celu wsparcie technologiczne pracownika w trudnym otoczeniu wysoce modułowych systemów produkcyjnych [35].

W badaniu DHL z roku 2014 oraz 2016 zidentyfikowano listę kilkunastu megatrendów, trendów i technologicznych sił napędowych, które w najbliższych latach będą miały istotny wpływ na rozwój nowych modeli biznesowych [5; 19]. Najistotniejsze, z punktu widzenia analizy niepewności w obszarze Przemysłu 4.0 zaprezentowano w tabeli 1.

Tabela 1

Megatrendy, trendy i technologiczne siły napędowe o wysokim potencjalnym wpływie na zjawisko niepewności w kontekście rozwoju Przemysłu 4.0

Lp.	megatrendy	trendy	technologiczne siły napędowe
1	Wzrastające ryzyko i zakłócenia	Internet Wszechrzeczy	Druk 3D
2	Współpraca i gospodarka sieciowa	Konsumeryzacja sektora IT	Rozszerzona rzeczywistość
3	Globalna niepewność i zmienność	Obliczenia w chmurze i hybrydowe	Big data
4	Cyfryzacja	Analityka w chmurze	Internet Rzeczy
5	Indywidualizacja	„chmurowe” fabryki	Robotyka i automatyka
6	Zwiększająca się złożoność łańcucha dostaw	Era „kontekstu & predykcji”	Systemy samouczące

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5; 19].

Sercem Przemysłu 4.0 mają stać się inteligentne fabryki 4.0, charakteryzujące się większą elastycznością w procesie produkcji. Możliwe będzie tworzenie wyników końcowych w postaci produktów dopasowanych do potrzeb pojedynczego klienta przy stosunkowo niskim koszcie krańcowym (skutkujących koniecznością modyfikacji dotychczasowych wskaźników działalności firm [36]). Produkcja fizyczna będzie mogła być wykonywana lokalnie, bez konieczności korzystania z usług podwykonawców, na przykład przez

wykorzystanie drukarek 3D. W ten sposób łączona będzie masowa produkcja z personalizacją już na poziomie linii produkcyjnej – coś niemożliwego do tej pory do zrealizowania [14].

3. Antycypacja niepewnych zdarzeń bezprecedensowych w obszarze Przemysłu 4.0

Jak wspomniano we wprowadzeniu, jednym z istotniejszych narzędzi badawczych umożliwiających analizę zdarzeń bezprecedensowych jest analiza dzikich kart.

Według definicji z roku 1992 (wg Copenhagen Institute for Futures Studies (CIFS), BIPE Conseil (Issy- Les- Moulinaux) i Institute for the Future (Menlo Park, Kalifornia) dzika karta jest przyszłym wydarzeniem o stosunkowo niskim prawdopodobieństwie wystąpienia, lecz, w przypadku zaistnienia, dużym wpływem na prowadzoną działalność (np. gospodarczą) [31].

Przy użyciu koncepcji dzikich kart można opisać zdarzenia [27]: a) dyskretne, jedyne w swoim rodzaju; b) nagłe (lub rozłożone w czasie); c) nie w pełni rozpoznawalne *ex ante* na podstawie informacji teraźniejszych i przeszłych; d) prowadzące do głębokich zaburzeń i ilościowo-jakościowych zmian w znanym stanie rzeczy; e) prowadzące do rewizji poglądów na temat ustalonego porządku; f) skutkujące bardzo trudną oceną badanego systemu w oparciu o nowe wymiary (zmiennie); g) o charakterze egzogenicznym (naturalnym lub wywołanym przez człowieka) lub endogenicznym.

Nie wszystkie dzikie karty są niewyobrażalne. Kreacja tego typu zdarzeń bezprecedensowych może być dokonywana przez analizę tak zwanych słabych sygnałów [26], które w kontekście przyszłościowym uwiarygadniają pojawienie się dzikiej karty. Słabe sygnały to wczesne, nieprecyzyjne oznaki nieuchronnie zbliżających się istotnych wydarzeń, zmian które wpłyną, w ściśle nieokreślonej przyszłości, na trajektorię rozwoju danego systemu. Słabe sygnały określane są jako coś nowego, zaskakującego, niepewnego, irracjonalnego, niewiarygodnego, trudnego do wytropienia, znacznie odległego czasowo od momentu, w którym dane wydarzenia, idee będą już dojrzałe i dominujące [23]. Bogaty zbiór możliwych źródeł słabych sygnałów prezentuje E. Hiltunen [11].

Poniższa autorska analiza dzikich kart została przeprowadzona w kontekście tematu, wpływu, wiarygodności, skali czasu [31], na podstawie analizy i krytyki piśmiennictwa, desk research, analizy słabych sygnałów jako przyczyn oraz analizy STEEPVL [14].

W ogólnym ujęciu analiza STEEPVL w kontekście badań przyszłości stanowi listę kontrolną czynników: społecznych (*Social*), technologicznych (*Technological*), ekonomicznych (*Economic*), ekologicznych (*Ecological*), politycznych (*Political*), wartości (*Values*) oraz czynników prawnych (*Legal*) – które wpływają na rozwój danego obszaru

badawczego [18]. Czynniki te mogą mieć charakter egzogeniczny i/lub endogeniczny odnośnie badanego obiektu.

W niniejszej publikacji zastosowanie metody STEEPVL posłużyło: 1) identyfikacji determinant (w postaci trendów) generujących zjawisko niepewności w obszarze Przemysłu 4.0 (tabela 2) (co stanowi w opinii autora novum w badaniach antycypacyjnych); 2) identyfikacji zdarzeń bezprecedensowych (tabela 3) w postaci „dzikich kart” potencjalnie załamujących trendy (zaprezentowane w tabeli 2).

W analizie dzikich kart bardzo ważny jest kontekst badawczy. W niniejszej analizie (tabela 3) kontekstem badawczym jest systemowe ujęcie Przemysłu 4.0 na obszarze Europy Zachodniej. W kilku przykładach inspiracją poniższej analizy były wyniki prac studentów Wydziału Zarządzania Politechniki Białostockiej w ramach prowadzonego przez autora przedmiotu „foresight technologiczny”.

Tabela 2

Analiza STEEPVL w kontekście identyfikacji potencjalnych trendów generujących niepewność w wybranych obszarach Przemysłu 4.0

Obszar STEEP VL	Przykładowe trendy generujące niepewność
Społ	<ul style="list-style-type: none"> • tworzenie nowych form współpracy międzyludzkiej • utrudniona przewidywalność zachowań poszczególnych grup interesariuszy
Techn	<ul style="list-style-type: none"> • integracja nowych systemów IT ze starymi systemami stworzonymi nie z myślą o IR • cyfryzacja procesów gospodarczych wychodząca poza granice zamkniętych obiektów (fabryk), w postaci np. wirtualnych flot, i obejmująca działania „wszędzie i zawsze”
Ekon	<ul style="list-style-type: none"> • kreowanie nowych, nie znanych do tej pory biznesowych modeli i nowych łańcuchów tworzenia wartości • bardzo duża złożoność i dynamizm otoczenia Industry 4.0
Ekol	<ul style="list-style-type: none"> • wymagania co do działania urządzeń w zmiennych warunkach atmosferycznych • komercjalizacja dwóch technologii ograniczania zużycia energii do poziomu quasi-zerowego opartych na: 1) odnawialnych źródłach; 2) wodorze
Polit	<ul style="list-style-type: none"> • wdrożenie w innych krajach bardziej korzystnych rozwiązań, które spowodują przenoszenie produkcji właśnie tam, a nie rozwijanie jej na miejscu • utrata silnej pozycji na rynkach eksportowych krajów, charakteryzujących się obecnie przewagą kosztową
Wart	<ul style="list-style-type: none"> • tworzenie nieznanymi do tej pory relacji człowiek-maszyna • zastąpienie pracowników przez nowe zrobotyzowane rozwiązania
Praw	<ul style="list-style-type: none"> • komunikacja pomiędzy głównymi komponentami sieci Industry 4.0 na podstawie potężnych ilości danych, wykraczająca poza bezpieczną wewnętrzną sieć

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1; 6; 7; 20; 24; 29; 33; 39].

Tabela 3

Potencjalne Dzikie Karty w obszarze Przemysłu 4.0

S T E E P V L	Słabe sygnały (przyczyny)	Potencjalna dzika karta	Potencjalny wpływ 1-3 Wiarygodność I-III Skala czasu
S	<ul style="list-style-type: none"> • Badania firmy Holographic Inc. nad aplikacjami holograficznymi umożliwiającymi kontakty międzyludzkie w czasie rzeczywistym [28] 	Całkowita wirtualizacja kontaktów międzyludzkich, również w relacjach gospodarczych poprzez zastosowanie technologii hologramu	PW: 2 W: I S.C.: 20-30 lat
T	<ul style="list-style-type: none"> • Siemens stosuje druk 3D w procesie naprawy końcówek palnika w przemysłowych turbinach gazowych, skracając czas naprawy o 90% [8] • Ogólnodostępna na rynku drukarka 3D – ChocCreator drukująca przedmioty z czekolady [41] 	Drukarki 3D i 4D (drukujące produkty każdego gabarytu i o szerokiej gamie właściwości, np. bio) dostępne dla każdego potencjalnego klienta na własność na wynajem	PW: 3 W: II S.C.: 10-20 lat
E	<ul style="list-style-type: none"> • W Chinach, w 2015 r. uruchomiono pierwszą dużą całkowicie zrobotyzowaną fabrykę [38]. • Badania z Uniwersytetu w Oksfordzie wskazują, że w przeciągu 10-20 lat, zaawansowane roboty zastąpią całkowicie człowieka w około 700 zawodach [40]. 	W przestrzeni przemysłowej istnieją tylko całkowicie zautomatyzowane fabryki 4.0	PW: 3 W: I S.C.: 20-30 lat
	<ul style="list-style-type: none"> • Rozwój augmented reality [10] • Digitization & E-Substitution jako jeden z głównych megatendów –[5], 	Ludzie masowo wybierają funkcjonowanie w rzeczywistości wirtualnej, w bardzo wielu sferach, np. w turystyce, pracy zdalnej	PW: 2 W: I S.C.: 20-30 lat
P L	<ul style="list-style-type: none"> • Stworzone przez I. Asimova w roku 1942 trzech praw robotów [43] • 23 marca 2016 roku weszła w życie zmiana przepisów konwencji wiedeńskiej o ruchu drogowym dot. regulacji odnośnie pojazdów autonomicznych [37] 	Powstanie kodeksu pracy sprofilowanego tylko dla robotów, sztucznej inteligencji, internetu rzeczy	PW: 2 W: II S.C.: 10-20 lat
V	<p>Wg raportu Global Agenda Council on the Future of Software & Society przewiduje się, że [42]:</p> <ul style="list-style-type: none"> • do 2025 r. sztuczna inteligencja będzie przeprowadzać 30 proc. wszystkich audytów w korporacjach • do 2026 r. pierwsza sztuczna inteligencja dołączy do rady nadzorczej 	Funkcje menadżerskie w fabrykach 4.0 (na każdym poziomie zarządzania) przejmuje sztuczna inteligencja	PW: 2 W: I S.C.: 30-40 lat

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [25].

Dzikie karty zmieniają ludzki punkt odniesienia, mentalną mapę świata. Ponadto zmieniają rzeczywistość, ale także, zmieniają postrzeganie rzeczywistości i funkcjonujące

konceptje. Zmieniają również obraz przyszłości, ale często również wpływają na zupełnie inną interpretację przeszłych zdarzeń [31].

Dotychczasowe analizy dotyczące występowania zjawisk nieoczekiwanych każą przypuszczać, że przyszłość jest przeważnie źle zdefiniowana. Dzikie karty są swoistymi etykietami wydarzeń, które przerywają ewolucję realizacji planów strategicznych [27].

4. Zakończenie

Powszechność w zastosowaniach Przemysłu 4.0, Internetu Rzeczy, Big Data, komunikacji międzymaszynowej oraz cyberfizycznych systemów, wykorzystując interoperacyjność, decentralizację oraz pełną wirtualizację na pewno wpłyną na inny przebieg wielu zjawisk niż wynika to z dotychczasowych doświadczeń, przy czym kierunek, siła i natężenie tych zmian coraz częściej stają się niepewne.

Fakt występowania zdarzeń bezprecedensowych określanych jako zbiegi okoliczności, wypadki, kryzysy, przesilenia, punkty zwrotne, zmieniających dotychczasowe trajektorie rozwojowe, powodują konieczność antycypacyjnego uwzględniania wielowymiarowych, wielowariantowych możliwych przyszłych stanów otoczenia [17].

Według L. J. Petersena w planowaniu strategicznym organizacja gospodarcza może zadać trzy pytania w odniesieniu do dzikich kart: 1) Jakie są najważniejsze dzikie karty dla organizacji? 2) Czy można przewidzieć ich przybycie? 3) Czy jest coś, co można z nimi zrobić? Jeśli menedżerowie mogą odpowiedzieć na te trzy pytania, analiza dzikich kart posiada wyższe prawdopodobieństwo, że albo wpływ niektórych negatywnych głównych przyszłych zdarzeń może być zażegnany lub moderowany, albo pozytywne działania się urzeczywistnią [26].

Zakres oddziaływania zdarzeń bezprecedensowych w postaci dzikich kart jest nieskończenie szeroki, wpływając na wiele innych wydarzeń, dlatego też nie powinno się ich ignorować. Nieodzowne wydaje się być posiadanie wiedzy podstawowej i praktycznej, która może być przydatna, zwłaszcza w środowisku narażonym na wyjątkowe i nagłe zdarzenia [26], [27]. Wydaje się to być szczególnie istotne w przypadku zjawisk nowych, obarczonych dużym stopieniem niepewności w kontekście przyszłościowym. Do takich zjawisk należy zaliczyć Przemysł 4.0 i jego wpływ na strategiczne procesy w takich systemach jak gospodarka, społeczeństwo, technologia, nauka.

Bibliografia

1. Albert M.: Seven Things to Know about the Internet of Things and Industry 4.0. „Modern Machine Shop”, September 2015.
2. Bereziński M., Hołubiec J.: Podejmowanie decyzji w warunkach niepewności informacyjnej, [w:] Bojarski W. (red.): Metody modelowania i optymalizacji systemów energetycznych w warunkach niepewności, PAN, Ossolineum, Wrocław 1981.
3. Bochenek M.: Ryzyko i niepewność w naukach ekonomicznych – rozważania semantyczne. „Ekonomia”, nr 4 (21), 2012, s. 46-63.
4. Bojarski W., Zagadnienia nieokreśloności wielkich systemów i niepewności, [w:] Bojarski W. (red.): Metody modelowania i optymalizacji systemów energetycznych w warunkach niepewności, PAN, Ossolineum, Wrocław 1981.
5. Bubner N., Bubner N., Helbig R. & Jeske M.: Logistics trend radar, Delivering insight today. Creating value tomorrow!. Pub. DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf 2014.
6. Dmowski J., Jędrzejewski M., Suffczyńska-Hałabuz N., Iwasieczko M., Libucha J., Owerczuk M., Pławi K., Kowalska I.: Przemysł 4.0 PL – Szansa czy zagrożenie dla rozwoju innowacyjnej gospodarki? The Boston Consulting Group, Warszawa 2016.
7. Dujin A., Geissler C., Horstkötter D. (eds.): Industry 4.0. The new industrial revolution How Europe will succeed. Pub. Roland Berger Strategy Consultants GMBH, Munich 2014.
8. Ernst&Young Global 3D printing Report 2016, Wirtschaftsprüfungsgesellschaft.
9. Gierej S.: Techniques for designing value propositions applicable to the concept of outcome-economy. "Engineering Management in Production and Services", No. 9, nr 1, 2017, pp. 56-63.
10. Glockner H., Jannek K., Mahn J., Theis B.: Augmented reality in logistics. Changing the way we see logistics – a DHL perspective. DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf 2014.
11. Hiltunen E.: Good sources of weak signals: A global study of where futurists look for weak signals. „Journal of Futures Studies” No. 12(4), 2008.
12. Janasz K.: Ryzyko i niepewność w gospodarce – wybrane aspekty teoretyczne. „Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania”, nr 14, 2009, s. 91-92.
13. Jędralska K., Czech A.: O naturze niepewności i jej interpretacjach. „Master of Business Administration”, nr 3/110, 2011.
14. Kagermann H.; Wahlster W.; Helbig J.: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0. Final Report. The Industrie 4.0, 2013.

15. Kononiuk A., Gudanowska A. (red. nauk.): Kierunki rozwoju nanotechnologii w województwie podlaskim. Mapy. Marszruty. Trendy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2013.
16. Kononiuk A., Magruk A.: Wild cards in Polish foresight practice. „Procedia - Social and Behavioral Sciences” nr 213, 2015, pp. 951-956.
17. Kononiuk A., Nazarko J.: Scenariusze w antycypowaniu i kształtowaniu przyszłości. Oficyna a Wolters Kluwer Business, Warszawa 2014.
18. Kononiuk A.: Analiza STEEPVL na przykładzie projektu Foresight technologiczny. „NT FOR Podlaskie 2020”. Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii. „Ekonomia i Zarządzanie”, nr 2, 2010, s. 105-115.
19. Kückelhaus M., Chung G., Virag D., Bubner N., Bodenbenner P., Noronha J.: Logistics trend radar, Delivering insight today. Creating value tomorrow!. Pub. DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf 2016.
20. Lee J.; Kao H.A.; Yang S.: Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. „Procedia CIRP”, nr 16, 2014, pp. 3-8.
21. Lee J.; Lapira E.; Bagheri B.; Kao H.A.: Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. „Manufacturing Letters”, No. 1(1), 2013, pp. 38-41.
22. Magruk A.: Analiza niepewności w złożonych, dynamicznych systemach – przypadek Internetu Rzeczy. „Przegląd Organizacji”, nr 1, 2016, s. 53-59.
23. Magruk A.: Słabe sygnały i dzikie karty – innowacyjne metody antycypacyjne. „Ekonomia i Zarządzanie”, T.2, nr 4, 2010, s.126-136.
24. Magruk, A.: Uncertainty in the Sphere of the Industry 4.0 – Potential Areas to Research. „Business, Management and Education”, No. 14(2), 2016, pp. 275-291.
25. Magruk A.: Wild Card as a Phenomenon Cushioning Uncertain Events—Example of Industry 4.0. "Logistics and Transport" No. 31, 2016, pp. 21-26.
26. Mendonca S., Cunha M. P., Kaivo-oja J., Ruff F.: Wild cards, weak signals and organisational improvisation. „Futures”, No. 36, 2004, pp. 201-218.
27. Mendonca S., Cunha M. P., Ruff F., Kaivo-oja J.: Venturing into the wilderness preparing for wild cards in the civil aircraft and asset-management industries. „Long Range Planning”, No. 42, 2009, pp. 23-41.
28. Paczak A.: The dangerous outcomes of holograms, www.de.ey.com.
29. Paprocki W.: Koncepcja Przemysł 4.0 i jej zastosowanie w warunkach gospodarki cyfrowej, [w:] Gajewski J., Paprocki W., Pieriegud J. (red.): Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa. Szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych, Publikacja Europejskiego Kongresu Finansowego, Gdańsk 2016, s. 39-57.
30. Samecki W.: Ryzyko i niepewność w działalności przedsiębiorstwa przemysłowego. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 1967.

31. Steinmüller K.: The future as Wild Card. A short introduction to a new concept, [in:] Brockett S. and Dahlström M. (ed.): Spatial Development Trends Nordic Countries in a European Context, Nordregio, Stockholm 2004, pp. 193-202.
32. Szykiewicz M.: Teorie ostateczne w naukach przyrodniczych. Studium metodologiczne. Wydawnictwo Naukowe Wydziału Nauk Społecznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań 2009.
33. Ślązak Ł.: Integracja obrabiarek z systemami informatycznymi przedsiębiorstw w aspekcie koncepcji przemysł 4.0. „Mechanik”, nr 3, 2015, s. 246-252.
34. Wawiernia A.: Taksonomia niepewności. „Zarządzanie i Finanse” nr R. 11, nr 1, cz. 3 2013.
35. Weyer S., Schmitt M., Ohmer M., Gorecky D.: Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. „IFAC-PapersOnLine”, No. 48(3), 2015, 579-584.
36. Zimon G., Zimon D.: Influence of logistics on profitability of commercial companies. Carpathian Logistics Congress (CLC) Location: Jeseník, CZECH REPUBLIC Date: NOV 04-06, 2015, CLC 2015: Carpathian Logistics Congress - Conference Proceedings, 2016 pp. 565-570.
37. <http://mamstartup.pl>
38. Kaczmarczyk M.: W Chinach uruchamiają pierwszą dużą fabrykę bez ludzi przy taśmach: wyborcza.biz, 2015.
39. Maślanek, J.: Przemysł 4.0 – rewolucja, czy ewolucja? Raport Specjalny, 2014, <http://www.wnp.pl>.
40. Moll J.: „Niemal 50% Amerykanów może stracić pracę w wyniku robotyzacji”, <http://zmianywnaziemi.pl/>, 2014.
41. swiatdruku3d.pl
42. Thompson C.: 21 technology tipping points we will reach by 2030. „businessInsider.com”, 2016.
43. Wortal Robotyka.com 2015.