

# ANALIZA NIEPEWNOŚCI W ZŁOŻONYCH, DYNAMICZNYCH SYSTEMACH – PRZYPADEK INTERNETU RZECZY

<https://doi.org/10.33141/po.2016.01.08>

Przegląd Organizacji, Nr 1 (912), 2016, ss. 53-59  
[www.przegladorganizacji.pl](http://www.przegladorganizacji.pl)

©Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa (TNOiK)

**Andrzej Magruk**

## Wprowadzenie

Na obecnym etapie rozwoju nauki i technologii paradygmat redukcjonizmu wyczerpuje swoją formułę we wszystkich dziedzinach, dlatego wzrost znaczenia paradygmatu systemów złożonych wydaje się być nieunikniony (Grabowski, Dejaniak, 2011, s. 36). Systemem złożonym nazywa się układ składający się z pewnej liczby rozróżnialnych, powiązanych ze sobą elementów składowych (podsystemów), o określonych wielkościach wejściowych i wyjściowych, które wzajemnie na siebie wpływają w określony i znany sposób (Drapała, 2009, s. 2).

W niniejszym artykule analizowanym złożonym systemem jest tak zwany Internet Rzeczy (IR) (*Internet of Things*), który jednocześnie przejawia cechy systemów naturalnych i sztucznych, i który składa się z komponentów właściwych dla obu systemów. Będąc stosunkowo nową dziedziną działań ludzkich, obarczona jest więc dużym poziomem niepewności, zarówno odnoszącym się do technologii IR *per se*, jak również do aspektów, które są (będą) z tym obszarem współzależne, np. aspektów społecznych, gospodarczych, technologicznych, prawnych (Brad, Murar, 2014, s. 17).

Koncepcja IR zakłada stworzenie takiego systemu, w którym nastąpi połączenie w sieć internetową niemalże wszystkich rodzajów urządzeń. Fizyczne przedmioty (np. codziennego użytku), będą się komunikować pomiędzy sobą, bez udziału człowieka, poprzez odpowiednią infrastrukturę, w celu dostarczenia nowych aplikacji i usług, wspomagając tym samym aktywność człowieka na różnych polach (Brachman, 2013, s. 5). Koncepcja IR jest więc traktowana w artykule jako wielki, złożony, dynamiczny system o określonych cechach, wymiarach, strukturach i zachowaniach, wykraczając poza obszar dotychczas obserwowany i objęty zweryfikowaną wiedzą, co rodzi istotną niepewność dotyczącą przyszłych sytuacji (Bojarski, 1981, s. 9).

Dynamizm rozwojowy, pogłębiająca się złożoność systemu IR i jego otoczenia uniemożliwiają pełne wyznaczenie wszystkich stanów i relacji elementów systemu, zarówno w przeszłości, teraźniejszości, jak i w przyszłości.

Należy podkreślić, że po raz pierwszy budowanie systemów IR jest ekonomicznie wykonalne. Obniżające się koszty technologii wynikające z prawa Moore'a (Macaulay i in., 2015, s. 4), wpłynęły na to, że sensory, sieci i przetwarzanie danych są tańsze niż kiedykolwiek wcześniej. Czujniki są już na tyle małe i wydajne, że mogą być umieszczane niemal w każdym środowisku. Otwiera to możliwości dla systemów IR o dotychczas niespotykanej skali (Antczak i in., 2013, s. 37).

Problem badawczy w niniejszym artykule polega na identyfikacji źródeł niepewności w systemie IR i sposobów jej ograniczenia. Celem artykułu jest próba odpowiedzi na poniższe pytania badawcze:

1. W jaki sposób interpretować warunki pojawiania się i występowania niepewności w nowych złożonych systemach typu IR?
2. Poprzez jakie działania możliwe jest minimalizowanie potencjalnych negatywnych skutków zjawiska niepewności w tak złożonych systemach jak IR?

W opracowaniu wykorzystano wyniki metody analizy i krytyki piśmiennictwa jako głównej metody badawczej. Na tej podstawie przeprowadzono wnioski dedukcyjne.

## Internet Rzeczy jako złożony i dynamiczny system

Choć termin „Internet Rzeczy” został zaproponowany przez K. Ashtona w 1999 roku, to koncepcja

została rozwinięta w roku 2000 przez MIT, Auto-ID Center and Electronic Product Code (EPC). Internet Rzeczy rozszerza dotychczasowy obszar sieciowej komunikacji M2M (*machine-to-machine*) i P2C (*person-to-computer*) na nowy obszar T2T (*thing-to-thing*) (Mukhopadhyay, Suryadevara, 2014, s. 2).

Możliwych zastosowań koncepcji IR jest nieskończenie wiele. Na przykład światło uliczne może oświetlać drogę lub chodnik, tylko w momencie pojawienia się określonego obiektu (człowieka lub samochodu), wpływając tym samym na oszczędności energetyczne. Buty, wyposażone w odpowiednie sensory, mogą łagodzić nacisk stopy podczas chodzenia lub jazdy samochodem. Wózek widłowy używany do przenoszenia palet lub innych ciężkich przedmiotów będzie „przewidywał” przeszkody w celu minimalizacji ryzyka wypadków (Macaulay i in., 2015, s. 3). To są oczywiście tylko przykłady pojedynczych podsystemów IR. Pełny system IR (np. globalny) będzie obejmował bardzo wiele urządzeń i stref. Kluczowe obszary zastosowań IR tworzących wielkie złożone systemy (wykorzystujące miliony przedmiotów podłączonych do sieci) to w głównej mierze inteligentne: miasta, sieci energetyczne, służba zdrowia, logistyka, transport, budynki, produkcja, sprzęt AGD, multimedia, etc. (Schatten, 2014, s. 35; Lipski, 2015, s. 756).

Określając szczegółowo ideę IR, nie należy jej traktować jako niezależnej technologii, ale jako złożoną kombinację wielu uzupełniających się nawzajem technologii (identyfikacji, komunikacji, przetwarzania informacji, zarządzania energią) i aspektów: (ANY time, service, network, thing, one, place) (rys. 1) (Brad, Murar, 2014, s. 17; Chaouchi, 2010; Kreowski i in., 2013, s. 546).

Wiele czynników wpływa na złożoność, ale jednocześnie przyspieszenie wdrażania możliwości IR. Są to głównie: postęp w kierunku wspólnych standardów IP-led; wprowadzenie IPv6 (rozszerzając znacznie liczbę dostępnych adresów IP podłączonych urządzeń); rozwój nowych efektów sieciowych;

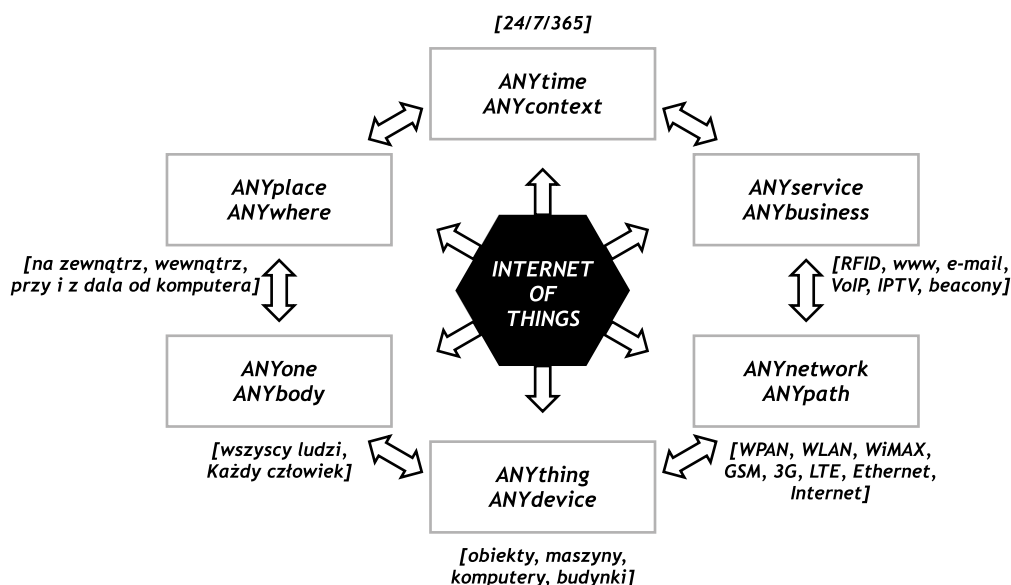
rozprzestrzenianie łączności bezprzewodowej; ulepszona żywotność baterii (Macaulay i in., 2015, s. 4). Na tak wielką złożoność systemu IR mają również wpływ złożoności w jego podsystemach, których rozwój w ostatnim czasie jest uzależniony od następujących trendów: gigadane, rozwój urządzeń mobilnych, obliczenia w chmurze, rozwój mediów społecznościowych, rozwój sztucznej inteligencji.

O dynamizmie rozwoju systemu IR świadczy kilka innych istotnych faktów. Obecnie już w ponad połowie połączeń internetowych przynajmniej jedną ze stron jest rzecz (Kwiatkowska, 2014, s. 60). W 2012 roku na świecie było 8,7 mld urządzeń internetowych, w 2016 roku ma to być 10 mld, a w roku 2020 – 50 mld (z częstotliwością podpinania do sieci internetowej 250 przedmiotów na sekundę (Brachman, 2013, s. 7). W tym czasie urządzenia IT (w tym komputery, tablety i smartfony) będą reprezentować tylko 17 procent wszystkich połączeń internetowych; drugie 83 procent będzie wynikać z IR (Macaulay i in., 2015, s. 4).

W 2012 roku w stu firmach zajmujących się IR zainwestowano 750 mln dolarów. Firmy, takie jak Cisco i GE, przewidują, że do roku 2022 miliardy podłączonych urządzeń sieciowych wpłyną na wzrost gospodarczy o 14 bilionów dolarów (Antczak i in., 2013, s. 6). W badaniu przeprowadzonym przez Forrester Research zanotowano wzrost o 333 procent wdrożeń IR w stosunku do roku 2012 (Macaulay i in., 2015, s. 4).

Na powyżej opisaną dynamikę niewątpliwie wpływ (bezpośredni lub pośredni) ma dynamika w wymienionych wcześniej zjawiskach, takich jak: gigadane, rozwój urządzeń mobilnych, obliczenia w chmurze, rozwój mediów społecznościowych.

Analiza dużych baz danych – gigadane zyskują coraz większe znaczenie w biznesie. Według prognoz, rynek gigadanych w 2015 roku będzie wart 48 mld dolarów, a jego przewidywany wzrost wyniesie 40 proc. w stosunku rocznym (Antczak i in., 2013, s. 6). W 2015 roku przesłany zostanie zeta bajt danych przez Internet (Cisco, 2015). Według IBM,



Rys. 1. Komunikacja w IR oraz konwergencja technologii Internetu Rzeczy

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Brad i Murar, 2014, s. 17; Chaouchi, 2010; Kreowski i in., 2013, s. 546)

proliferaacja stron internetowych, aplikacji graficznych i wideo, sieci społecznych, urządzeń mobilnych, wszechobecnych czujników powoduje, że przedmioty systemu IR będą zdolne do generowania ponad 2,5 trylionu bajtów danych dziennie (Kwiatkowska, 2014, s. 69).

W roku 2013 udział smartfonów i tabletów w globalnym rynku urządzeń do łączenia się z Internetem wynosił 65 procent, a w roku 2017 będzie to 70 proc. Ten wzrost oznacza spadek liczby laptopów i komputerów osobistych (Antczak i in., 2013, s. 11).

Aż 70 proc. światowego biznesu w jakiś sposób korzysta z „obliczeń w chmurze”. Globalny rynek w tym sektorze rośnie i w 2020 roku będzie wart 241 mld dolarów. Wiele zagadnień, jak przykładowo bezpieczeństwo danych, zostało już w wielu aspektach rozwiązane. Pytaniem otwartym pozostaje integralność danych (Antczak i in., 2013, s. 16).

W ostatnich latach również media społecznościowe odegrały znaczącą rolę, nie tylko w sensie socjologicznym. Około 50 proc. światowych użytkowników Internetu ma konto w serwisie Facebook. Coraz częściej dotyczy to także biznesu. W 2013 roku 90 procent firm, które znalazły się w zestawieniu Fortune 500, jest w jakiejkolwiek formie obecna w mediach społecznościowych (Antczak i in., 2013, s. 21).

## Niepewność – charakterystyka, klasyfikacja, typologia

Niepewność bywa umieszczana na liście głównych charakterystyk współczesnych systemów społecznych jako komponent triady obok złożoności systemów oraz ich dynamiki (Jędralska, Czech, 2011, s. 9). Pojęcie niepewności ma charakter wieloaspektowy i wieloznaczeniowy.

Nurt pierwotny badań nad niepewnością wywodzi się od A.H. Willeta i F.H. Knighta. Według A.H. Willeta, niepewność jest miarą subiektywną, która jest skorelowana z obiektywnym ryzykiem i dotyczy zmian, które są trudne lub niemożliwe do oszacowania (Janasz, 2009, s. 91–92).

Według F. Knighta, miarą niepewności jest prawdopodobieństwo zaistnienia określonego zdarzenia. Gdy to prawdopodobieństwo jest możliwe do zmierzenia, wtedy mamy do czynienia z ryzykiem. Jednak nie dla każdego zdarzenia możliwe jest określenie (zmierzenie) prawdopodobieństwa jego wystąpienia. Takie zjawisko nazywa się niepewnością *sensu stricto* (Wawiernia, 2013, s. 446). Z niepewnością mamy więc do czynienia, gdy dostrzegamy, że skutki obecnych działań nie mogą być poznane z absolutną pewnością (Janasz, 2009, s. 88).

W zależności od badanych kontekstów (przyszłościowego, temporalnego, behawioralnego, strukturalnego, procesualnego) zjawisko niepewności skupia się na różnych aspektach. Szczegółowe analizy tych kwestii można znaleźć w pracach: K. Janasz (2009); K. Jędralska, A. Czech (2011).

A. Wawiernia, charakteryzuje również niepewności: 1) statyczną i dynamiczną; 2) aktywną i bierną oraz 3) probabilistyczną, stochastyczną i strategiczną. Niepewność statyczna jest określana jako zaprzeczenie pewności, wynikające z niewiedzy, ignorancji czy przypadku. Niepewność dynamiczna to inaczej sytuacja decyzyjna, w której decydent nie zna wszystkich parametrów jej podejmowania, czyli możliwości osiągnięcia zakładanego celu działania. Nie-

pewność bierna istnieje niezależnie od podmiotu poznania, przyjmując charakter obiektywny. Inicjując proces poznania i jednocześnie implikując postrzeganie subiektywne, niepewność bierna przeradza się w niepewność aktywną. Niepewność probabilistyczną można wyznaczyć w oparciu o znany rozkład prawdopodobieństwa. Niepewność stochastyczna wynika z rozkładu prawdopodobieństwa na podstawie próby. W przypadku niepewności strategicznej znany jest jedynie zbiór wartości dopuszczalnych (Wawiernia, 2013, s. 447–449).

Szerokie rozpowszechnienie niepewności w różnych dyscyplinach naukowych i w języku potocznym sprawiły, że obecnie pojęciu temu można przypisać wiele atrybutów (Dudzian, Szpakowska, 2013, s. 119):

- przypadkowość zdarzenia wynikająca z nieprzewidzianego przebiegu zjawisk;
- charakter niewymierny, subiektywny, podświadomy;
- odnosi się do poznania czystego, niezakłóconego wiedzą z innych podobnych doświadczeń;
- nieprzewidywalne lub mało prawdopodobne zdarzenie;
- przypadkowe zdarzenie, którego skutki materializacji nie są możliwe do wcześniejszego oszacowania;
- nieprzewidywalność nieosiągnięcia zakładanych celów.

W przypadku wielkich systemów jedna z trudności dotycząca zarządzania nimi odnosi się do pełnego poznania systemu przez obserwatora. Zjawisko to można traktować jako specyficzną cechę systemu lub obserwatora. Analogicznie do zasady nieokreśloności zdefiniowanej przez W. Heisenberga w fizyce kwantowej, można mówić o zasadzie nieokreśloności (nieoznaczoności, niepewności) wielkiego dynamicznego systemu, jakim niewątpliwie będzie system Internetu Rzeczy). W takim ujęciu niepewność staje się cechą świata fizycznego, zupełnie niezależnie od jakości percepcji człowieka (Bojarski, 1981, s. 9). Nieokreśloność, według M. Bratnickiego, należy traktować jako jeden z aspektów niepewności. W tym wypadku nieokreśloność dotyczy teraźniejszości i obejmuje przede wszystkim brak jasnej informacji, niepewności co do ważności zmiennych otoczenia, brak pełnej wiedzy o relacjach przyczynowo-skutkowych zachodzących pomiędzy zmiennymi oraz niepewności co do dostępnych sposobów działania i ich skutków. Innym ważnym aspektem niepewności jest, według M. Bratnickiego, ulotność jako konsekwencja dynamiki i nieprzewidywalności zmian zachodzących w otoczeniu, które tworzą niepewność dotyczącą przyszłych warunków działania (Jędralska, Czech, 2011, s. 17).

Generalnie więc niepewność może być ujmowana dwójako: 1) jako organiczna cecha rzeczywistości wynikająca z przypadkowości zjawisk, spośród których te najbardziej stabilne należy uważać tylko za przebiegające jedynie z wyjątkowo wysokim prawdopodobieństwem; 2) osobliwa niedoskonałość związana z niepełną percepcją, przez ludzkiego obserwatora, elementów kształtujących zjawiska (Zawiła-Niedźwiecki, 2007, s. 259).

## Identyfikacja niepewności w systemie Internetu Rzeczy

Złożoność systemu IR sprawia, że jego pełny przestrzenno-

z dowolnie określoną dokładnością. Wiedzy jego odbiorcy towarzyszyć może zatem poczucie niepewności.

Poniżej przedstawiono kilkadziesiąt czynników mogących mieć wpływ na tworzenie zjawiska niepewności w obszarze IR w odniesieniu do 5 wymiarów: 1) właściwości wielkich systemów dynamicznych; 2) kluczowe cechy IR, aspekty: 3) technologiczne; 4) socjologiczne; 5) prawne.

Odnosząc się do wielkich złożonych systemów dynamicznych, jakim niewątpliwie będzie system IR należy wymienić następujące elementy wpływające na jego niepewność (Bojarski, 1981, s. 9–10): 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) szczególne trudności w rozpoznaniu stanów i powiązań podsystemów współzależnych z analizowanym systemem; d) brak możliwości efektywnego zarządzania pełnym systemem wynikający m.in. z ograniczonych możliwości oceny istotności różnych stanów systemu oraz ewentualnych błędów pobierania, przesyłania, przetwarzania, agregacji informacji generowanych w systemie; e) brak praktycznych możliwości pełnego odwzorowania systemu w postaci modelu; f) niemożliwość określenia pełnego przyszełego stanu systemu wynikająca między innymi z ogromnej liczby możliwych kombinacji informacji generowanych przez komponenty systemu.

Inne potencjalne źródła niepewności w wielkich, złożonych systemach (Cempel, 2008):

1. Efekty uboczne zaprojektowanych systemów: a) niewłaściwe zdefiniowanie systemu; b) niewłaściwe wyodrębnienie systemu z jego otoczenia; c) niewłaściwa organizacja pracy projektantów systemów oraz brak ich odpowiedzialności; d) niewłaściwa diagnoza niepowodzeń (wina sprzętu: hardware, software; wina systemów sterowania).
2. Nieprzystający do stopnia złożoności systemu sposób myślenia ludzi: a) myślenie redukcjonistyczne; b) mechanistyczne podejście do problemu; c) niepełna, fragmentaryczna znajomość działania złożonych całości.

Duża liczba urządzeń podpiętych pod IR wiąże się z ich dużym zróżnicowaniem (heterogenicznością) ze względu na możliwości obliczeniowe i komunikacyjne. W strukturę Internetu będzie włączane coraz więcej urządzeń codziennego użytku. Wiąże się z tym problem skalowalności, odnoszący się do adresacji, nazewnictwa oraz wzajemnej łączności. Ewentualne problemy w realizacji wymiany danych z wykorzystaniem technologii bezprzewodowych dotyczą ograniczeń transmisji radiowej ze względu na prędkość i opóźnienia transmisji. W związku z wszechobecnością rozwiązań IR optymalizacja zużycia energii jest niezwykle istotna ze względu na ogromną ilość transmitowanych danych. Każde urządzenie w Internecie Rzeczy jest w jakiś sposób identyfikowane. Możliwe jest więc śledzenie jego położenia, a to tworzy całkiem nowe możliwości i zagrożenia. Ze względu na ogromną złożoność systemów IR konieczne jest zapewnienie mechanizmów samoorganizacji, samokonfiguracji, aby zminimalizować ingerencję człowieka. W Internecie Rzeczy istotą jest wymiana i analiza danych. Konieczne będzie wykorzystanie odpowiednich modeli danych i semantycznego opisu ich zawartości, użycia odpowiedniego języka i formatu (Brachman, 2013, s. 8).

Niepewność jest jednym z kluczowych problemów w większości systemów IR opartych na technologii RFID. Poniżej przedstawiono przyczyny powstawania zjawiska niepewności w tej sferze (Xie i in., 2014, s. 221):

- a) Brakujące odczyty: a) kolizja tagów (znaczników) – w tej samej jednostce czasu, czytniki RFID mogą odczytać poprawnie tylko dane wysłane przez jeden ze znaczników; b) przestrojenie tagów – powoduje niską ocenę odczytu, w przypadku gdy tagi są bardzo blisko siebie; c) „efekt metalu” – obecność metalu w pobliżu znacznika może spowodować niepowodzenie odczytów (przez zakłócenia magnetyczne); d) brak wyrównania tagów – znacznik nie będzie wykrywany, gdy etykieta jest obracana pod pewnym szczególnym kątem w stosunku do linii pola odczytu.
- b) Brak spójności danych – tagi RFID mogą być odczytywane za pomocą różnych czytników w tym samym czasie, więc można uzyskać niespójne dane o dokładnym położeniu tagów.
- c) Widmo danych – fale radiowe mogą się odbijać i załamywać, tak więc czytniki RFID mogą odczytać tylko refleksję (odbicie), a nie rzeczywisty sygnał.
- d) Nadmiar danych – przechwytywane dane mogą zawierać znaczne ilości nadmiarowych informacji.
- e) Dane niekompletne – oznakowane tagami obiekty mogą zostać skradzione lub podrobione, generując fałszywe dane.

W kontekście socjologicznym niepewność odnosi się do odpowiedzialności za bezpieczeństwo danych wrażliwych, ale również zdrowie i życie (Kounelis i in., 2014, s. 74). Inne potencjalne bariery społeczne to (Brachman, 2013, s. 29): 1) opór w stosunku do używania nowych technologii; 2) niemożność używania nowych technologii; 3) niejasne korzyści ze stosowania udogodnień technologicznych.

Bariery prawne odnoszą się do takich kwestii, jak (Brachman, 2013, s. 30): zachowanie poufności i prywatności, zakres wykorzystania pasma radiowego, normy związane z promieniowaniem elektromagnetycznym, regulacje związane z ochroną środowiska. W przypadku kwestii prawnych problemem może się okazać np. relacja milionów nowych czujników (a w szczególności ich odpadów) w stosunku do środowiska naturalnego. Na razie bez odpowiedzi pozostaje np. pytanie czy sensory mogą/muszą być biodegradowalne (Antczak, 2013, s. 37). Ilość danych generowanych przez urządzenia IR i poziom wrażliwości informacji to również kluczowe aspekty, które należy uwzględnić w ramach mechanizmu kontroli dostępu. W szczególności w kwestiach, takich jak zarządzanie e-zdrowiem lub inteligentnymi budynkami, może nastąpić ujawnienie poufnych danych użytkowników, takich jak: stan zdrowia lub codzienne nawyki. Urządzenia IR będą również podatne na klasyczne awarie sprzętowe oraz poddawane szkodliwym atakom (Kounelis i in., 2014, s. 76).

Innym ważnym zjawiskiem, które będzie wpływało na niepewność w systemie IR, będzie efekt nadmiaru informacji, który należy powiązać z koncepcją gigadanych, opisaną w rozdziale drugim, niniejszego artykułu. Co prawda, według C. Shannona (zgodnie z teorią informacji), informacja jest czynnikiem redukującym nieokreśloność (niepewność) występowania konkretnego stanu rzeczy, to jej nadmiar – tzw. przeciążenie informacyjne, może spowodować problemy

w systemie wyboru i oceny informacji. Innymi słowy, im więcej informacji chce się przesłać, tym większa niepewność, co zostanie odebrane.

Według A. Tofflera, zjawisko przeciążenia/przeładowania informacyjnego wpływa na problem z podjęciem odpowiedniej decyzji (Kiedrowicz, Kiedrowicz, 2012, s. 5). Zgodnie z teorią informacji zjawiska te można skojarzyć z teorią entropii, którą można interpretować jako wartość określającą przeciętną niepewność w danym zbiorze możliwych sygnałów (informacyjnych).

## Propozycje ograniczenia niepewności w systemie Internetu Rzeczy

Na podstawie analiz, których wyniki zawarto w niniejszym artykule, poniżej przedstawiono propozycje ograniczania niepewności, uwzględniając relacje: 1) występujące w kontekście wielkich dynamicznych systemów; 2) odnoszące się do specyfiki IR.

W kontekście wielkich dynamicznych systemów redukcji niepewności mogą sprzyjać następujące działania (Bojarski, 1981, s. 17; Felcenloben, 2010, s. 11; Jøsang, 2013):

- odróżnienie danych istotnych od nieistotnych;
- odróżnienie tego, co można uznać za znane, od tego, co istotnie niepewne;
- stosowanie symulacji i modelowania matematycznego pozwalającego na pełniejsze przeanalizowanie i wykazanie dostępnych istotnych danych;
- stosowanie zasad logiki subiektywnej
- równoczesne modelowanie i badanie wielkiego systemu w różnych horyzontach czasu
- traktowanie niepewności również w kategoriach niejednoznaczności czy nieokreśloności;
- posiadanie świadomości, że każdy wynik przetwarzania danych obarczony jest błędem;
- korzystanie z niezależnych źródeł danych;
- informowanie odbiorców danych o niepewności i stopniu zaufania do danych;
- zastosowanie ujęcia holistycznego (ograniczając jednocześnie ujęcie redukcjonistyczne);
- podejmowanie działań zarówno reaktywnych (będących odpowiedzią na zdarzenia), jak i proaktywnych (wyprzedzających) (Głodziński, 2014, s. 37);
- uwzględnienie konieczności występowania sprzężeń zwrotnych pomiędzy poszczególnymi działaniami (Głodziński, 2014, s. 37);
- tworzenie scenariuszy rozwoju systemu na podstawie prawdopodobieństwa kombinacji różnych możliwych wartości najważniejszych wielkości niepewnych przy uwzględnieniu zdarzeń bezprecedensowych (Kononiuk, Nazarko, 2014).

Poniżej zaproponowano możliwe sposoby przewyższania niepewności na różnych wymiarach IR:

- rozróżnienie możliwych systemów powiązanych w IR i otoczenia IR ze względu na ich znaczenie oraz prawdopodobieństwo zaistnienia;
- jednym z istotnych wyzwań jest wybór technologii i typów urządzeń, które będą stosowane w przyszłej infrastrukturze IR (Kounelis i in., 2014, s. 76);

- adaptacja mechanizmów zarządzania zaufaniem, podobnie jak ma to miejsce w przypadku sieci P2P, systemów technicznych i polityki bezpieczeństwa (Kounelis i in., 2014, s. 76);
- przyjęcie wspólnych standardów z powodu różnorodności urządzeń i aplikacji;
- wydajne implementacje protokołów bezpieczeństwa i algorytmów kryptograficznych (Skarmeta, 2014);
- wspieranie rozwoju nowych technologii odpowiedzialnych za zarządzanie danymi w obszarach zapewnienia prywatności, wymiany informacji w czasie rzeczywistym synchronizacji i integracji danych (Yuen, 2012, s. 4);
- rozwijanie koncepcji „Zielonego Internetu Rzeczy” – np. nowo podłączane sensory powinny być samowystarczalne energetycznie, czyli np. zasilane z wykorzystaniem energii wytwarzanej za pomocą wibracji, światła słonecznego, przepływu wody czy powietrza lub innych (Brachman, 2013, s. 27);
- opracowanie standardów, które zapewnią routing pakietów IPv6 przez różne rodzaje i typy sieci (Brachman, 2013, s. 27);
- zapewnienie wydajnej szerokopasmowej infrastruktury internetowej (Brachman, 2013, s. 27);
- dostosowanie regulacji i przepisów prawnych do nowej rzeczywistości, zanim IR stanie się codziennością (Brachman, 2013, s. 30);
- zapewnienie, aby informacje generowane w ramach IR były precyzyjne, autentyczne, aktualne i kompletne (Kwiatkowska, 2014, s. 70).

W związku z faktem, że niepewność dopuszcza możliwość zaistnienia każdego scenariusza, spośród ich nieskończonej liczby (Bober, 2011, s. 616), jedną z metod zarządzania tymi scenariuszami może być foresight, a w szczególności metoda scenariuszowa z ujęciem analizy zdarzeń bezprecedensowych (dzikich kart). Ich wcześniejsza identyfikacja może uchronić zarządzających przed niepożądanymi skutkami niepewności.

## Podsumowanie

Niepewność i nietrwałość to cechy współczesnej gospodarki wynikające z gwałtowności, głębokości, intensywności oraz bezprecedensowego dynamizmu innowacji, globalnych przemian i postępu technologicznego (Mączyńska, 2008, s. 1). Zmienność i złożoność otoczenia (czyli wg autora również dynamika i złożoność systemu IR, który niedługo będzie trwałym elementem tego otoczenia) powodują, że obecnie niepewność należy uznać za powszechne zjawisko towarzyszące prawie każdej działalności. Należy je rozpatrywać zarówno w kategoriach szans, jak i zagrożeń (Dziel, 2011, s. 142). Dlatego też, wg autora niniejszego artykułu, niezbędne jest uwzględnianie czynnika niepewności jako nieodłącznego elementu kształtowania złożonych systemów i strategii gospodarczych.

W związku z faktem, że system IR jest w fazie wczesnego rozwoju, w dalszym ciągu pozostaje niejasne, co się stanie, kiedy rzeczy, domy i całe miasta zaczną funkcjonować i komunikować się „inteligentnie”, bez ludzkiej

świadomej ingerencji. Samo pojęcie IR nie jest jeszcze precyzyjnie zdefiniowane (Kwiatkowska, 2014, s. 70). Niepewność, według autora, odnosi się więc do granic technologicznych tej koncepcji, czyli skali i złożoności przyszłych systemów informatycznych i komunikacyjnych, oraz określenia, które technologie mieszczą się w zakresie IR, a które są z niego wykluczone.

Odnosząc się do analiz autora, należy podkreślić, że nie ma możliwości zbadania dokładnej przyszłości tak wielkiego i dynamicznego systemu jak IR. Jednym z rozwiązań może być wyznaczenie i zbadanie różnych scenariuszy jego rozwoju z ewentualnym obliczeniem prawdopodobieństwa ich zajścia, np. za pomocą metody foresightu. Celowe wydaje się również badanie wpływu tak złożonych systemów na różne zjawiska (generowane w ramach funkcjonowania takiego systemu) poprzez wykorzystanie i ewentualne dostosowanie do nowych realiów dotychczasowych teorii, jak np. prawa Metcalfe'a czy prawa Reedsa, odnoszących się do efektu sieciowego (Unold, 2011, s. 102).

Autor podziela pogląd J. Lipskiego (2015, s. 765), według którego koncepcje zastosowania technologii IR będą obciążone mniejszą niepewnością wdrożeniową, gdy powstanie pewnego rodzaju ekosystem, w którym komponenty sprzętowe i programowe będą kompatybilne dla różnych producentów. Wizja rozwoju IR nie urzeczywistni się od razu. Pożądaną skalę rozwoju można osiągnąć jedynie poprzez stworzenie klarownych wytycznych odnośnie do funkcjonowania systemu IR, w bardzo wielu aspektach, dla których zdecydowana większość wyrazi swoją aprobatę.

---

**dr Andrzej Magruk**  
**Politechnika Białostocka**  
**Wydział Zarządzania**  
**e-mail: a.magruk@gmail.com**

## Bibliografia

- [1] Antczak R., Łaskiewicz M., Lachowicz Ł. (2013), *A Wave of Digital Change: Trends in Digital. E-innovation 2013*, raport Deloitte Poland.
- [2] Bober P. (2011), *Ryzyko gospodarcze w procesie restrukturyzacji przedsiębiorstw*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Finanse. Rynki finansowe. Ubezpieczenia, Nr 47.
- [3] Bojarski W. (1981), *Zagadnienia nieokreśloności wielkich systemów i niepewności*, [w:] *Metody modelowania i optymalizacji systemów energetycznych w warunkach niepewności*, praca zbiorowa, PAN, Ossolineum, Wrocław.
- [4] Brachman A. (2013), *Raport obserwatorium ICT. Internet przedmiotów*, Technopark Gliwice, [www.ris.slaskie.pl](http://www.ris.slaskie.pl), data dostępu: 22.11.2015 r.
- [5] Brad B.S., Murar M.M. (2014), *Smart Buildings Using IoT Technologies*, „Constructions of Unique Buildings and Structures”, No. 5(20).
- [6] Cempel C. (2008), *Teoria i inżynieria systemów – zasady i zastosowania myślenia systemowego: dla studentów wydziałów politechnicznych*, Wykłady dla Studentów i Doktorantów Wydziałów Politechnicznych – Politechnika Poznańska. Instytut Mechaniki Stosowanej Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, e-skrypt mieszczący się pod adresem: <http://neur.am.put.poznan.pl/>, data dostępu: 24.08.2015 r.
- [7] Chaouchi H. (ed.), (2010), *The Internet of Things: Connecting Objects*, Pub. John Wiley & Sons.
- [8] Cisco (2015), *The Zettabyte Era – Trends and Analysis*, [http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/VNI\\_Hyperconnectivity\\_WP.html](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/VNI_Hyperconnectivity_WP.html), access date: 22.11.2015.
- [9] Drapała J. (2009), *Identyfikacja dynamicznych systemów złożonych z wykorzystaniem sieci neuronowych*, Rozprawa doktorska, Politechnika Wroclawska, Wrocław.
- [10] Dudziak M., Szpakowska E. (2013), *Zarządzanie ryzykiem i niepewność w działalności gospodarczej: podejmowanie decyzji biznesowych*, „Zarządzanie i Finanse” 2013, R. 11, Nr 1, cz. 1.
- [11] Dziel E. (2011), *Niepewność i ryzyko w działalności gospodarczej*, „Periodyk Naukowy Akademii Polonijnej”, Nr 1(5).
- [12] Felcenloben D. (2010), *Niepewność danych przestrzennych w systemach informacji geograficznej (GIS)*, „Acta Sci. Pol., Geodesia et Descriptio Terrarum”, Nr 9(3).
- [13] Głodziński E. (2014), *Zarządzanie projektami w warunkach niepewności – zakres i metodyka*, „Przeгляд Organizacji”, Nr 7.
- [14] Grabowski F., Dejniak D. (2011), *Ekonomia w kontekście systemów złożonych*, „Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy”, Uniwersytet Rzeszowski, Nr 18.
- [15] Janasz K. (2009), *Ryzyko i niepewność w gospodarce – wybrane aspekty teoretyczne*, Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Nr 14.
- [16] Jędralska K., Czech A. (2011), *O naturze niepewności i jej interpretacjach*, „Master of Business Administration”, Nr 3/110.
- [17] Jøsang A. (2013), *Subjective Logic*, University of Oslo.
- [18] Kiedrowicz E., Kiedrowicz G. (2012), *Problem ilościowego pomiaru wiarygodności informacji w Internecie*, Sympozjum Człowiek – Media – Edukacja, Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Wydział Pedagogiczny, [ktime.up.krakow.pl](http://ktime.up.krakow.pl).
- [19] Kononiuk A., Nazarko J. (2014), *Scenariusze w antycypowaniu i kształtowaniu przyszłości*, Oficyna Wolters Kluwer Business.
- [20] Kounelis I., Baldini G., Neisse R., Steri G., Tallacchini M., Guimarães Pereira Â. (2014), *Building Trust in the Human – Internet of Things Relationship*, IEEE Technology and Society Magazine, Winter.
- [21] Kreowski H.J., Scholz-Reiter B., Thoben K.D. (eds.), (2013), *Dynamics in Logistics*, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg.
- [22] Kwiatkowska E.M. (2014), *Rozwój Internetu rzeczy – szanse i zagrożenia internetowy*, „Kwartalnik Antymonopolowy i Regulacyjny”, Nr 8(3).
- [23] Lipski J. (2015), *Internet Rzeczy w zastosowaniu do sterowania produkcją*, [w:] R. Knosala (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. 2, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją.
- [24] Macaulay J., Buckalew L., Chung G. (2015), *Internet of Things in Logistics. A Collaborative Report by DHL and Cisco on Implications and Use Cases for the Logistics Industry*, Pub. DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf.
- [25] Mączyńska E., *Zarządzanie w warunkach ekonomii niepewności. Systemy wczesnego ostrzegania*, [w:] L. Lewandowska (red.), *Nowe koncepcje zarządzania i finansowania rozwoju firm regionu łódzkiego*, PTE, Łódź 2008.

- [26] Mukhopadhyay S.C. (ed.), Suryadevara N.K. (2014), *Internet of Things: Challenges and Opportunities*, Springer International Publishing Switzerland.
- [27] Schatten M. (2014), *Smart Residential Buildings as Learning Agent Organizations in the Internet of Things*, Business Systems Research, Vol. 5, No. 1.
- [28] Skarmeta A. F., Hernández-Ramos J.L., Moreno M.V. (2014), *A Decentralized Approach for Security and Privacy Challenges in the Internet of Things*, IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IR).
- [29] Unold J. (2011), *Wykorzystanie efektu sieciowego w rozwoju społeczności wirtualnej*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Nr 656, Studia Informatica Nr 28.
- [30] Wawiernia A. (2013), *Taksonomia niepewności*, „Zarządzanie i Finanse”, R. 11, Nr 1, cz. 3.
- [31] Xie D., Qin Y., Sheng Q.Z., Xu Y. (2014), *Managing Uncertainties in RFID Applications: A Survey*, IEEE 11th International Conference on e-Business Engineering.
- [32] Yuen L. M. (2012), *Co-creating the future Infocomm Technology Roadmap 2012*, Infocomm Development Authority of Singapore.
- [33] Zawila-Niedźwiecki J. (2007), *Niepewność w zarządzaniu*, Zeszyty Naukowe. Prace Instytutu Ekonomiki i Organizacji

Przedsiębiorstw, Uniwersytet Szczeciński, T. 1, Nr 50.

### ***Analysis of Uncertainty in Complex, Dynamic Systems: Internet of Things Case Study***

---

#### **Summary**

In this article was analyzed the phenomenon of uncertainty in relatively new area of human activity – a complex system of Internet of Things (IoT). The results relate to both the IoT technology *per se*, as well as aspects that are (will be), interdependent in this area. The article presents proposals for reducing uncertainty taking into account the relationships occurring in the context of large dynamic systems in general, as well as referring specifically to the specifics of the IoT.

#### **Keywords**

uncertainty, Internet of Things, system, complexity

---