



## IoT jako naturalna ewolucja Internetu

### (IoT as a natural evolution of the Internet)

mgr inż. ROMAN CZAJKOWSKI, prof. dr inż. WOJCIECH NOWAKOWSKI

Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa

#### Streszczenie

Przedstawiono zarys rozwoju i stan obecny technologii Internetu Rzeczy

**Słowa kluczowe:** Internet Rzeczy, Internet Przedmiotów, IoT

#### Abstract

The development and current state of the Internet of Things is present.

**Keywords:** Internet of Things, IoT

Termin *Internet Rzeczy* (ang. *Internet of Thing*, IoT) został po raz pierwszy użyty w 1999 roku przez Kevina Ashtona z *Auto-ID Center* w Massachusetts Institute of Technology, współtwórcy globalnego systemu identyfikacji wyrobów w standardzie RFID (ang. *Radio-Frequency IDentification*). Standard ten opiera się na odbieraniu drogą radiową danych z tzw. znaczników (tagów) czyli elektronicznych czujników-etykietał, znajdujących się na identyfikowanych obiektach, które obecnie są już szeroko stosowane w światowej gospodarce do bardzo różnorodnych celów. W instytucjach rządowych na przykład stosuje się je w paszportach, prawach jazdy, kartach zdrowia itd, w transporcie publicznym w metrze, tramwajach, pociągach i autobusach, w znakowaniu zwierząt (bydła, zwierząt domowych, a nawet pszczoł), w płatnościach (bezstykowe karty bankowe), a także w różnych środowiskach przemysłowych (logistyka, magazyny, kontrola dostępu, rejestracja czasu pracy, usługi parkingowe, dostęp do aplikacji komputerowych. Tagami RFID można znakować odzież, nieruchomości, a nawet ludzi.

W literaturze przedmiotu przyjmuje się, że pierwszym sieciowym urządzeniem inteligentnym był automat Coca-Coli w Carnegie Mellon University, który w 1982 roku został podłączony do uniwersyteckiego internetu, dzięki czemu mógł sygnalizować swój stan załadowania napojami oraz ich temperaturę. Wczesne wizje Internetu Rzeczy opisano także w [1] i [2]. W 1994 roku opisano koncepcję ruchu *small packets of data to a large set of nodes, so as to integrate and automate everything from home appliances to entire factories* [3]. W latach 1993 i 1996 kilka firm proponowano podobne rozwiązania, takie jak np. *Nest* firmy Novell. Jednak dopiero w 1999 roku, na Światowym Forum Ekonomicznym w Davos rozwój IoT nabrał prędkości.

### IoT. Pierwsza ewolucja Internetu

Internet będąc na stabilnej ścieżce rozwoju zmienia się niewiele. Działa tak samo jak kiedyś ze starym protokołem IP. Dopiero jego ewolucja w IoT ma być skokiem rozwojowym, który doprowadzi do znaczącej poprawy życia ludzi we

wszystkich dziedzinach. ludzi, uczyć się, pracować i bawić się. Już dziś, dzięki inteligentnym czujnikom możemy siecią internetową przekazywać takie informacje jak temperatura, ciśnienie, wibracje, światło, wilgoć, a nawet stres i reagować na nie. Ponadto internet rozszerza się w miejscach, które do tej pory były nieosiągalne. Za jego pośrednictwem lekarze diagnozują i ustalają przyczyn chorób. Bardzo małe czujniki mogą być umieszczane na lub w roślinach. Na drugim końcu gamy zastosowań internet jest np. obecny w przestrzeni kosmicznej dzięki programowi *Internet Routing in Space* (IRIS). Ewolucji Internetu w Internet Rzeczy doprowadzi do zbierania, gromadzenia, przesyłania, analizowania i rozpowszechniania danych na masową skalę co przyniesie wiec wiele korzystnych zjawisk.

Internet of Thing może interpretowany jako świat inteligentnych przedmiotów, mogących odczuwać i reagować na środowisko oraz przetwarzać i pamiętać informacje cyfrowe, a także przysyłać te informacje do innych przedmiotów (i, tym samym, do ich użytkowników) za pośrednictwem protokołów internetowych.

Począwszy od 2013 roku, wizja Internetu Rzeczy zmieniała się istotnie z powodu istnienia wielu technologii, począwszy od komunikacji bezprzewodowej w Internecie do systemów mikro-elektromechanicznych (MEMS) wykorzystywanych w tradycyjnych dziedzinach sterowania i automatyki, w tym w gospodarstwie domowym i w budownictwie.

Przewidywano, że jednym z pierwszych skutków realizacji IoT będzie wyposażenie wszystkich obiektów na świecie w małe interfejsy lub identyfikatory, co mogłoby korzystnie przekształcić codzienne życie. Uważano, że stanie się możliwa i wszechobecna np. ciągła kontrola zapasów. Zauważano też, że ta technologia mogą zapewnić producentom filmów i gier ochronę ich praw poprzez kontrolę urządzeń prywatnych użytkowników końcowych autorskich i cyfrowe zarządzanie ograniczeń.



Od początku w zasadzie było oczywiste, że Internet Rzeczy będzie się składać z bardzo dużej liczby urządzeń podłączonych do sieci internetu, co oznacza, że wszelkie urządzenia będą używać jako unikalnego identyfikatora adresu IP. Obecnie wykorzystywana przestrzeń adresowa IPv4 ma, jak już wspomniano, ograniczone możliwości – tylko ok. 4,3 miliarda unikalnych adresów. Jednak wprowadzono już nowy protokół – IPv6, którego pojemność adresowa jest bardzo duża, a ponadto stwarza dodatkowe funkcjonalności, np. włączanie żarówek lub sterowanie zamkami. Wykorzystanie tego protokołu ma kluczowe znaczenie dla IoT.

## Stan obecny

Internet Rzeczy (Internet of Things, IoT) to, najkrócej ujmując sieć zdalna łącząca obiekty fizyczne: urządzenia, pojazdy, domy i mieszkania, wykorzystujące sieć informatyczną do przekazywania danych cyfrowych między sobą lub człowiekiem.

Często mówi się, że IoT zmieni wszystko, w tym nas samych. Może się wydawać, że jest to stwierdzenie na wyrost. Ale warto sobie uzmysłowić jak życie ludzi zmienił Internet. Do jakiego stopnia zrewolucjonizował on edukację, naukę, wymianę danych (w tym z urządzeniami), biznes, zakupy, pomoc medyczną itd. Oczywiście jest, że Internet jest jedną z najważniejszych innowacji w całej historii ludzkości.

Podobnie jak Internet, IoT dokona zapewne podobnej ewolucji w świecie informatyki wpływając na codzienne życie całych społeczeństw. Nie zdajemy sobie jeszcze z tego sprawy. podobnie jak w latach 80. ubiegłego wieku nikt nie spodziewał znaczącego wpływu Internetu na życie codzien-

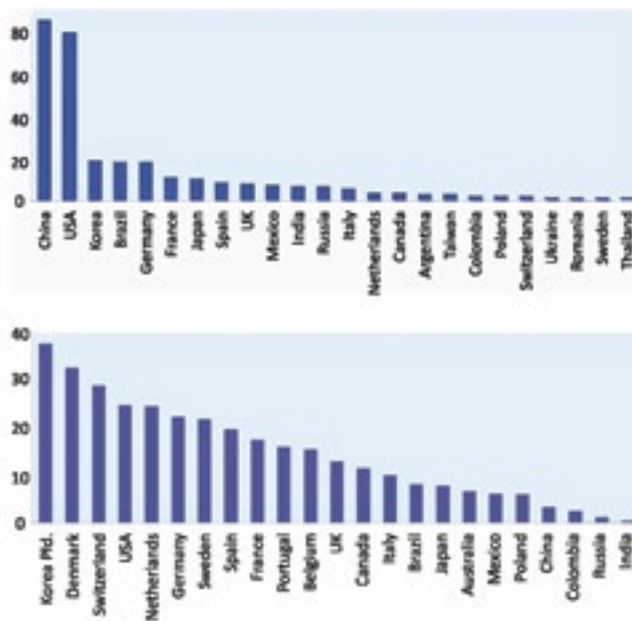
ne. Pierwsza sieć internetowa była w zasadzie lokalnym łączem między dwoma uniwersytetami. Korzenie technologii IoT sięgają 1999 roku. W MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) powstało wtedy centrum Auto-ID, będące laboratorium naukowym zajmującym się wykrywaniem i identyfikacją za pomocą fal radiowych (*Radio Frequency Identification*, RFID) przedmiotów, wyposażonych w specjalne czujniki. Grupę tę tworzyło siedem uniwersytetów z czterech kontynentów.

A jak jest obecnie? Warto przytoczyć ciekawe stwierdzenie dotyczące IoT sformułowane przez Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), wiodącą firmę tej technologii: o powstaniu Internetu Rzeczy będziemy mogli mówić w chwili, w której liczba rzeczy (przedmiotów) podłączonych do internetu będzie większa niż ludzi. W 2003 roku żyło na naszej planecie około 6,3 miliarda ludzi. Natomiast, jak wynikało z ówczesnych oszacowań, jakichkolwiek urządzeń podłączonych do internetu było wówczas ok. 500 milionów, czyli średnio dla całej ludzkości mniej niż 8 na 100 mieszkańców Ziemi. W 2015 roku jest lepiej – rys. 1.

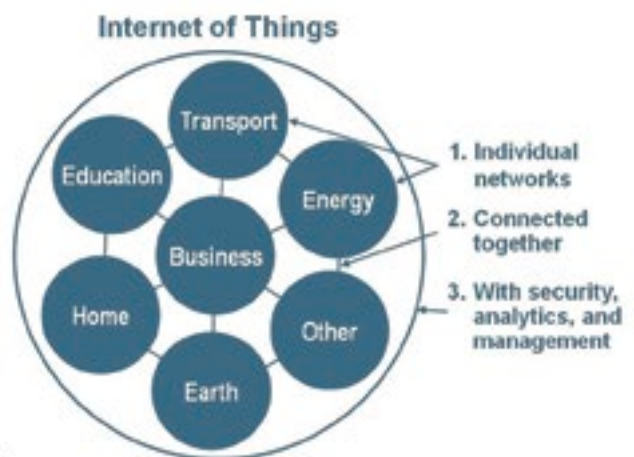
## Internet przedmiotów jako sieć sieci

Obecnie Internet przedmiotów jest luźnym, rozproszonym zbiorem autonomicznych sieci zbudowanych do określonych potrzeb. W samochodach np. jest wbudowane wiele różnych sieci wewnętrznych: do sterowania funkcjami silnika, zapewnienia bezpieczeństwa czy komfortu jazdy, nawigacji itd. Nie ruchomości komercyjne i mieszkaniowe mają również różne systemy sterowania ogrzewaniem, wentylacją i klimatyzacją (HVAC), usługami telekomunikacyjnymi, bezpieczeństwem czy oświetleniem. Systemy zarządzania biznesem czy e-learning to kolejne środowiska aplikacji sieciowych. W Internecie Rzeczy wszystkie te sieci zostaną zintegrowane i wzbogacone o funkcje bezpieczeństwa działania oraz analityki i zarządzania – rys. 2.

Co ciekawe, sytuacja ta jest odzwierciedleniem doświadczeń rozwoju podobnych technologii w przemyśle. Na przy-



Rys. 1. Bezwzględna liczba urządzeń IoT online (wyżej) oraz liczba tych urządzeń przypadająca na 100 mieszkańców w 2015 r. [4]  
Fig. 1. The absolute number of devices IoT online (above) and the number of devices per 100 inhabitants in 2015 [4]



Rys. 2. Internet Rzeczy jako sieć sieci [5]  
Fig. 2. Internet of Things as a network of networks [5]



kład w późnych latach 80. i wczesnych 90. ub. wieku firma Cisco publikując szereg różnorodnych sieciowych protokołów routingu doprowadziła ostatecznie do rozpowszechnienia się protokołu IP jako wspólnego standardu.

## Infrastruktura IoT

Internet przedmiotów zapewne stanie się częścią naszej ogólnej infrastruktury, podobnie jak woda, prąd, telefon, TV a ostatnio Internet. Internet łączy komputery, Internet Rzeczy połączy ze sobą (i z nami) przedmioty codziennego użytku. W chwili obecnej technologie związane z Internetem Rzeczy są bardzo zróżnicowane. Nie jest możliwe teraz osiągnięcie stanu, w którym konfiguracja sieci wymaga znacznej wiedzy technicznej i może być kłopotliwa. Konieczne jest osiągnięcie w IoT funkcjonalności *plug and-play*. Aplikacje muszą działać w dowolnym miejscu, a infrastruktura musi obsługiwać monitorowanie takich zmian i adaptacji.

Internet Rzeczy jest związany w świecie fizycznym. Fizyczna lokalizacja i położenie jest więc bardzo ważne, zarówno dla odszukiwania rzeczy jak i uzyskiwania wiedzy. Infrastruktury IoT musi obsługiwać zarówno lokalizację rzeczy. Ponadto infrastruktura musi zapewnić wsparcie dla bezpieczeństwa i prywatności, łącznie z identyfikacją, poufnością, integralnością, niezaprzeczalnością, uwierzytelnianiem i autoryzacją.

Obecne technologie komunikacyjne obejmują całą gamę technologii przewodowych i bezprzewodowych i globalnej akceptowanych standardów komunikacyjnych. Technologie komunikacyjne będą rozwijać, podobnie jak wykorzystywana infrastruktura i sieci. Jedną z sił napędowych tego rozwoju będzie właśnie Internet Rzeczy. Przejście całego Internetu na standard IPv6 zapewni praktycznie nieograniczona liczbę publicznych adresów IP i zapewni dwukierunkową i symetryczny (true M2M) dostęp do miliardów inteligentnych rzeczy.

## Technologie IoT

Istnieje wiele technologii umożliwiających IoT. Więcej w [7–9].

### • Standardy RFID i komunikacji bliskiego zasięgu.

W 2000 roku dominującą technologią był RFID. Później dominujące stały się technologie NFC (Near Field Communication). Technologie te stały się powszechne w smartfonach, we wczesnych latach 10-tych XXI wieku.

### • Tagi optyczne i szybkie kody odpowiedzi.

Technologia ta używana jest do niskokosztowego znakowania. Jakkolwiek smartfony mogą rozszyfrowywać kody optyczne, np. QR, to jednak utrudnieniem jest to, że ich użytkownicy muszą mieć aplikację do odczytywania tych kodów.

### • Technologia Bluetooth Low Energy.

Jest to jedna z najnowszych technologii. Wszystkie nowsze smartfony mają oprogramowanie odczytu sygnałów BLE. Tagi BLE mają bardzo małe zużycie mocy, co umożliwia im pracę na mikrobaterii przez okres roku lub więcej.

• **Sieci bezprzewodowe IP niskiej energii.** Jednocześnie nadajniki radiowe w paśmie ISM, oszczędne mocowo wersje WiFi czy nowa, skompresowana wersja IPv6 o nazwie 6LowPAN to nowe pomysły w tej dziedzinie.

## Problemy i bariery rozwoju IoT

Rozwój Internetu Rzeczy może spowolnić wiele problemów, np. wdrażanie protokołu IPv6, brak źródeł mocy dla czujników i innych elementów sieci, a także brak porozumienia w zakresie standardów.

• **IPv6.** Już obecnie brakuje adresów IPv4. A miliardy nowych czujników będą wymagać unikalnych adresów IP. Konieczne więc będzie szerokie wykorzystywanie IPv6, które dodatkowo umożliwi automatyczną konfigurację sieci i zapewni ulepszone funkcje zabezpieczeń.

• **Zasilanie czujników.** Aby osiągnąć pełny potencjał sieci, czujniki będą musiały być samowystarczalne. Trudno sobie wyobrazić wymianę baterii w miliardach urządzeń rozmieszczonych na całym świecie, a nawet w przestrzeni kosmicznej. Potrzebne jest więc generowanie energii w czujnikach w środowisku, z wykorzystaniem np. ruchu, światła czy wiatru (doniesiono już np. o wynalezieniu nanogeneratora energii elektrycznej z ruchów ciała).

• **Standardy.** Choć poczyniono znaczne postępy w zakresie standardów, nadal konieczny jest postęp w zakresie bezpieczeństwa, prywatności, architektury i komunikacji.

Rozwiązanie tych problemów jest jednak tylko kwestią czasu.

• **Bariery prawne.** Korzystanie z Internetu Rzeczy musi być bezpieczne. Zachowanie poufności i prywatności jest kluczowe zarówno dla osób prywatnych jak i firm. Rozwiązania technologiczne gwarantujące bezpieczeństwo to jednak zbyt mało, aby zapewnić wystarczającą ochronę wszystkim użytkownikom [6]. Rozwiązania technologiczne, gwarantujące bezpieczeństwo, to zbyt mało, aby zapewnić wystarczającą ochronę wszystkim użytkownikom. Istniejące regulacje i przepisy prawne, muszą być dostosowane do nowej rzeczywistości, zanim Internet rzeczy stanie się codziennością. Jednakże ze względu na tempo zmian, państwo może nie nadążyć z budowaniem norm prawnych. Z tego powodu, w wielu krajach Europy proces tworzenia prawa uległ decentralizacji. Tworzenie norm funkcjonowania w sieci przekazano organizacjom społecznym i gospodarczym. Ma to jeszcze jeden pozytywny skutek, oprócz przyspieszenia procesu tworzenia nowego prawa, mianowicie prawa i obowiązki w sieci są wypracowywane w oparciu o konsensus w ramach grupy zainteresowanej danym problemem, co zwiększa skuteczność stosowania prawa w praktyce. Kolejnym problemem jest zasięg nowych przepisów. Wydaje się, że stworzenie prawa krajowego nie będzie wystarczające. Brak granic dla technologii musiałby iść w parze z tworzeniem się prawa i przepisów o zasięgu ogólnosięciowym.

Istniejące regulacje i przepisy prawne muszą być dostosowane do nowej rzeczywistości zanim Internet rzeczy stanie się codziennością. Ze względu jednak na tempo zmian, państwo może nie nadążyć z budowaniem norm prawnych. Z tego powodu, w wielu krajach Europy proces tworzenia prawa uległ decentralizacji. Tworzenie norm funkcjonowania w sieci przekazano organizacjom społecznym i gospodarczym. Oprócz przyspieszenia procesu tworzenia nowego prawa ma to jeszcze jeden pozytywny skutek, a mianowicie to, że prawa i obowiązki w sieci są wypracowywane w opar-



ciu o konsensus w ramach grupy zainteresowanej danym problemem, co zwiększa skuteczność stosowania prawa w praktyce.

Kolejnym problemem jest zasięg nowych przepisów. Wydaje się, że tworzenie prawa krajowego nie jest wystarczające. Brak granic dla technologii musiałby iść w parze z tworzeniem się prawa i przepisów o zasięgu ogólnoświatowym. Rozszerzanie zasięgu przepisów i regulacji nie powinno dotyczyć tylko kwestii bezpieczeństwa, ale także regulacji w zakresie wykorzystania pasm radiowych, regulacji norm związanych z promieniowaniem elektromagnetycznymi ochroną środowiska.

## Perspektywy i znaczenie IoT dla przyszłości

Możliwość wbudowania do urządzeń IoT procesora, pamięci i innych zasobów oznacza, że internet taki znajdzie zastosowanie w niemal każdej dziedzinie. Systemy Internetu Rzeczy mogą również wykonywanie szereg działań, nie tylko biernego zbierania danych. Inteligentne systemy handlowe, moa np. monitorować preferencje zakupów konkretnych użytkowników śledzenie sygnałów telefonów komórkowych. Ci użytkownicy mogą też otrzymywać oferty specjalne dotyczące ich ulubionych produktów, których potrzebują, co przekaże im bezpośrednio własna lodówka.

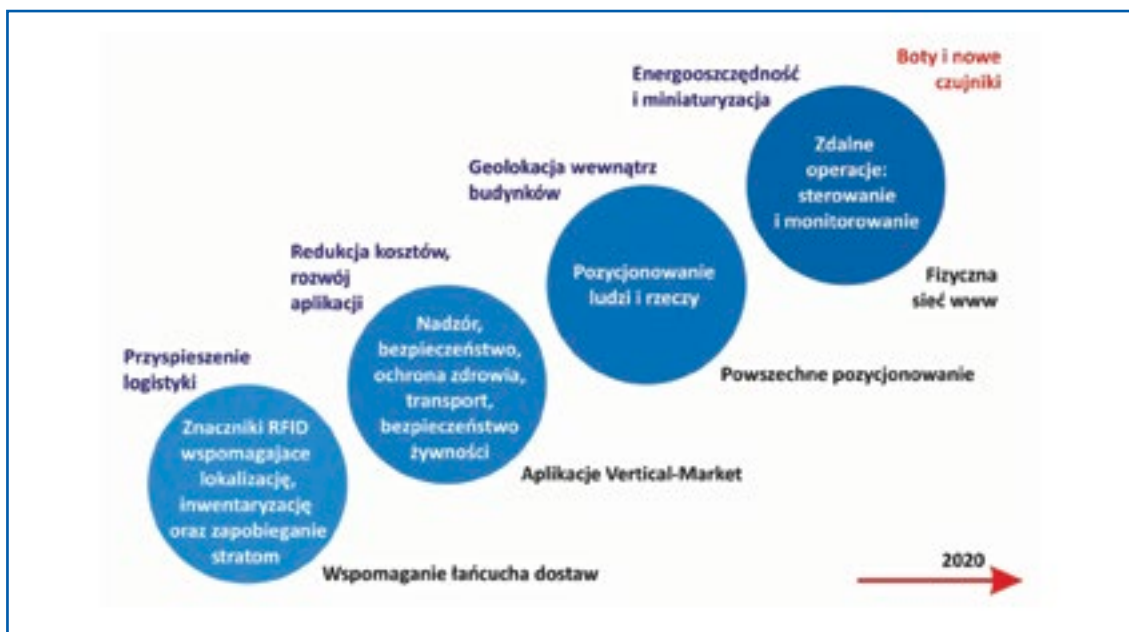
Inne aplikacje zapewniać rozszerzone funkcji zabezpieczeń ich domu i automatyki domowej. Już teraz za pomocą IoT można sterować urządzeniami elektrycznymi zainstalowanymi w domu podczas przerw w pracy. Przed porannym obudzeniem automatyka może np. przygotować kawę i grzanki. To zaledwie próbka możliwości jakie może zaoferować tzw. inteligentny dom.

Internet Rzeczy może zaoferować znacznie więcej i w wielu innych dziedzinach. Tradycyjne media takie jak gazety, czasopisma, radio czy telewizja mogły by być na przykład zastąpione lub wzbogacone technologiami, które docierają do konkretnym zainteresowanym w właściwym czasie i w optymalnych miejscach.

Internet Rzeczy stwarza więc możliwość mierzenia, gromadzenia i analizowania dużej ilości danych behawioralnych, tzn. związanych z zachowaniem ludzi czy ich reakcjami na bodźce płynące z otoczenia. Wykorzystanie takich danych może zrewolucjonizować kierunkowy marketing produktów i usług. Wykorzystanie technologii IoT oraz Big Data może wprowadzić sektor mediów, przedsiębiorstw, a nawet administracji rządowej, w nową erę wzrostu gospodarczego.

Monitorowanie środowiska za pomocą sieci IoT i jej inteligentnych czujników może wprowadzić nowa jakość ochrony środowiska nie tylko przez kontrolę jakości powietrza lub wody czy gleby, a nawet przez tak wyspecjalizowane obserwacje jak np. migracje dzikich zwierząt i relokacja ich siedlisk. Służby mogą wykorzystywać sieć IoT do wczesnego ostrzeżenia przed kataklizmami, ale też do zapewnienia bardziej skuteczną pomocy. IoT może być wykorzystywany do monitorowania wszelkich zdarzeń lub zmian w infrastrukturze, które mogą zagrozić bezpieczeństwu. Może być też wykorzystywany do planowania działań naprawczych i konserwacyjnych poprzez koordynację zadań między użytkownikami a służbami czy administracją.

Kontrola i zarządzanie urządzeń produkcyjnych, kontrola procesów produkcyjnych z dynamiczną reakcją w czasie rzeczywistym to następne oczywiste zastosowania IoT. Inteligentne systemy zarządzania produkcją mogą być również zintegrowane z technologią *Smart Grid*, zapewniając optymalizację energetyczną w czasie rzeczywistym.



Rys. 3. Rozwój technologii IoT. Fig. 3. Development of IoT technology





Możliwe jest, że urządzenia w sieci IoT zużywające energię elektryczną (wyłączniki, gniazdko elektryczne, żarówki, telewizory itp.) zostaną wyposażone w inteligencję sieciową i będą regulować zużycia energii. Urządzenia te umożliwiają również użytkownikom zdalne kontrolowanie swoich urządzeń lub centralne zarządzanie nimi za pośrednictwem chmury, a także bardziej zaawansowane funkcje, jak np. planowanie zużycia energii, zdalne włączanie i wyłączanie ogrzewania, oświetlenia itp. Niektóre z takich urządzeń są już dostępne na rynku.

IoT może być wykorzystywany w systemach zdalnego monitorowania zdrowia i powiadamiania ratunkowego. Monitorowanie to może mieć różny charakter, od prostego kontrolowania ciśnienia krwi i tętna do rejestrowania pracy zaawansowanych urządzeń jak np. rozruszników serca czy zaawansowanych aparatów słuchowych. Wyspecjalizowane czujniki mogą być wewnątrz pomieszczeń mieszkalnych służyć do nadzorowania stanu zdrowia i samopoczucia osób starszych, małych dzieci i chorych przewlekle.

## Internet Wszechrzeczy, czyli krok następny

*Internet Rzeczy* to jednak tylko początek sieciowej rewolucji powszechnej. W maju ubiegłego roku, w trakcie spotkania otwartej konferencji MobileMonday (MoMo) w Düsseldorfie, specjaliści Cisco Systems przedstawili koncepcję Internetu Wszechrzeczy (*Internet of Everything*, IoT). IoT ma być siecią łączącą „wszystko ze wszystkim”. Maja być połączone ze sobą już nie tylko rzeczy, ale także ludzie (za pośrednictwem smartfonów, laptopów i tabletów; również czujników na skórze lub w ubraniach przekazujące dane, na przykład zdrowotne czy sportowe), dane i procesy (technologiczne, biznesowe czy organizacyjne).

Czym jest Internet Wszechrzeczy? To sieć informatyczna, która łączy to, co dotychczas pozostawało niepołączone. Raymond Kurzweil – amerykański naukowiec, pisarz, futurolog, propagator idei transhumanizmu, pionier w dziedzinie OCR, syntezy mowy, rozpoznawania mowy i elektronicznych instrumentów klawiszowych, który w 2009 r. wraz z NASA i Google stworzył wydział futurologii na Singularity University w Dolinie Krzemowej w Kalifornii powiedział,

że XXI wieku tempo rozwoju technologii będzie 1000 razy większe niż w XX wieku. Gwałtowny rozwój technologii spowoduje m. in., że w niedalekiej przyszłości nie będziemy łączyć tylko urządzeń, których używamy – połączone będzie wszystko i to w szerszym zakresie. We współczesnym świecie ponad 99% rzeczy pozostaje niepołączonych. Połączenie i interakcja nowych ludzi, procesów, danych i rzeczy w Internecie Wszechrzeczy przyniesie niebywałe efekty i wspaniałe możliwości.

Według Cisco w Internecie Wszechrzeczy kluczową rolę ma pełnić SUPERSIEĆ. Inteligentna, łatwa w zarządzaniu i bezpieczna infrastruktura, skalowalna tak, by mogła obsługiwać miliardy urządzeń. Ta inteligentna sieć ma nasłuchiwać, uczyć się i reagować. Ma wytrzymać globalny ruch w centrach danych na poziomie 6 Zbajtów (Z, zetta to  $10^{21}$ ). Poczekaamy, zobaczymy. Wiadomości te budzą jednak wątpliwości – straszne są czy śmieszne?

## Literatura

- [1] <http://web.media.mit.edu/~anjchang/ti01/weiser-sciam91-ubi-comp.pdf>
- [2] <http://www.vs.inf.ethz.ch/publ/papers/Internet-of-things.pdf>
- [3] R.S. Raji: Smart networks for control. IEEE Spectrum Vol. 31, Issue 6, 1994, 10.1109/6.284793
- [4] OECD Digital Economy Outlook 2015, DOI 10.1787/888933225312
- [5] First Practical Nanogenerator Produces Electricity with Pinch of the Fingers, PhysOrg.com, March 29, 2011, <http://www.physorg.com/news/2011-03-nanogenerator-electricity-fingers.html>
- [6] Agnieszka Brachman: Internet Przedmiotów. Raport Obserwatorium ICT, [www.obserwatoriumict.pl](http://www.obserwatoriumict.pl)
- [7] Wojciech Nowakowski. Technologie Bitcoina w Internecie Rzeczy (IoT)? Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania, nr 10/2015.
- [8] Wojciech Nowakowski. Co nowego w Internecie Rzeczy (IoT) dla wszystkich. Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania, język polski, 2015, nr 9/2015.
- [9] Roman Czajkowski, Wojciech Nowakowski. Technologie komunikacji cyfrowej bliskiego zasięgu. Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania język polski, 2015, nr 2/2015.

**Artykuły publikowane w Elektronice są rejestrowane w bazie danych CrossRef. Każdemu artykulowi przyznawany jest numer identyfikacyjny DOI (*Digital Object Identifier*). Autorzy artykułów publikowanych w Elektronice są proszeni do stosowania numerów DOI w wykazach literatury, wszędzie tam gdzie jest to możliwe.**