

Artur Rot

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: artur.rot@ue.wroc.pl

MGŁA OBLICZENIOWA JAKO NOWY PARADYGMAT WSPARCIA TRANSMISJI I PRZETWARZANIA DANYCH W KONCEPCJI INTERNETU RZECZY

FOG COMPUTING AS A NEW PARADIGM FOR TRANSMISSION SUPPORT AND DATA PROCESSING SUPPORT IN THE CONCEPT OF THE INTERNET OF THINGS

DOI: 10.15611/ie.2016.3.05

JEL Classification: L86 , O32, O33

Streszczenie: Jednym z istotnych trendów, które mają potencjał, by w najbliższych latach wpłynąć na życie każdego człowieka i funkcjonowanie biznesu, jest Internet rzeczy. Aby obsłużyć bardzo dużą liczbę urządzeń Internetu rzeczy i danych przez nie generowanych, potrzebna jest bardzo wydajna infrastruktura informatyczna. Dlatego też Internet rzeczy wymaga wsparcia chmury obliczeniowej wraz z jej wydajnością i skalowalnością. Jednakże chmura ma wiele wad, z których najważniejsze to ograniczona przepustowość, brak mobilności, strumieniowego przesyłania danych oraz bezprzewodowego dostępu, które są istotne z punktu widzenia Internetu rzeczy. Odpowiedzią na te wyzwania jest koncepcja mgły obliczeniowej, pozwalająca na przetwarzanie danych i zarządzanie nimi lokalnie, bez konieczności komunikacji z odległym centrum przetwarzania. Koncepcja ta stanowi nowy paradygmat wsparcia transmisji, gromadzenia i analizy danych z rozproszonych urządzeń Internetu rzeczy.

Słowa kluczowe: mgła obliczeniowa, chmura obliczeniowa, Internet rzeczy, routery brzegowe, inteligentna analiza danych.

Summary: The Internet of Things is the one of the most important trends that have the potential to influence the life of every human being and functioning of the business in the coming years. The efficient infrastructure is needed to handle very large number of Internet of Things devices and data which are generated by them. Therefore, the Internet of Things requires the support of cloud computing with its performance and scalability. However, the cloud has a number of drawbacks. The most important are the limited bandwidth, lack of mobility, streaming and wireless access, which are vital from the point of view of the Internet of Things. The answer to these challenges is the concept of fog computing, which allows for the processing and management of data locally without having to communicate with a remote

data center. This concept is a new paradigm of supporting the transmission, collection and data analysis from distributed devices of the Internet of Things.

Keywords: fog computing, cloud computing, Internet of Things, edge routers, intelligent data analysis.

1. Wstęp

W ostatnich latach usługi w ramach cloud computingu (CC) zyskały na popularności, jednocześnie obserwujemy dynamiczny wzrost liczby danych przetwarzanych w chmurze obliczeniowej, napędzany przez rosnącą liczbę aplikacji i połączeń Internetu rzeczy, który generuje duże wolumeny danych. Internet rzeczy (*Internet of Things* – IoT) jest połączeniem urządzeń w sieć, aby umożliwić ich zdecentralizowaną komunikację między sobą. Przewiduje się, że koncepcja ta znajdzie wiele zastosowań w różnych dziedzinach usługowych i w działalności gospodarczej: w energetyce, transporcie, przemyśle, budownictwie, logistyce, opiece zdrowotnej, sektorze IT i wielu innych. Szacuje się, że ilość danych przetwarzanych w środowisku chmury od 2019 r. osiągnie ponad 500 ZB rocznie ($1 \text{ ZB} = 10^{21} \text{ B}$), a znaczny udział w tym będą miały dane pochodzące właśnie z aplikacji i urządzeń Internetu rzeczy [Meola 2016]. Poza przesyłaniem i przetwarzaniem ogromnych ilości danych infrastruktura obsługująca Internet rzeczy będzie musiała umożliwić komunikację milionów urządzeń, czujników i serwerów, rozwój tej koncepcji zakłada zaś, że w niedługim czasie komunikacja będzie możliwa między wszystkimi urządzeniami, a wymieniane dane będą analizowane, przetwarzane i wykorzystywane w czasie rzeczywistym. Wymaga to skalowalności rozwiązań w zakresie infrastruktury IT, platform do tworzenia nowych rozwiązań oraz przestrzeni do bezpiecznego przechowywania i przetwarzania danych. Ponadto dla Internetu rzeczy szczególnie istotne stają się wymogi dotyczące ciągłości działania i konieczności zapewnienia odpowiedniego środowiska IT. Odpowiedzią na te wyzwania jest koncepcja mgły obliczeniowej, zaproponowana przez ekspertów firmy Cisco, w której większość obliczeń w ramach przetwarzania danych będzie miała miejsce na brzegu sieci, bez potrzeby przemieszczania wielkich wolumenów danych do samej chmury. Mgła obliczeniowa umożliwi również tzw. wszechobecną przestrzeń obliczeniową (*ubiquitous computing*).

Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie koncepcji Internetu rzeczy, a w szczególności zastosowania technologii mgły obliczeniowej, która w Internecie rzeczy byłaby warstwą pośredniczącą między urządzeniami (rzeczami) a chmurą. Koncepcja ta ma połączyć chmury obliczeniowe z dynamicznie rozwijającym się Internetem rzeczy, a celem jej stosowania jest odciążanie warstwy chmury z części zadań obliczeniowych, co przyspieszyć może transmisję, przetwarzanie, inteligentne analizowanie danych i podejmowanie decyzji.

2. Koncepcja Internetu rzeczy i obszary jej zastosowań

Internet rzeczy to, w opinii ekspertów, jeden z najistotniejszych trendów, które mają potencjał, by w ciągu najbliższych lat wpłynąć na życie każdego człowieka i funkcjonowanie biznesu. Zachodzące zmiany w sferze technologii i transmisji danych, wpływające m.in. na rozwój tej koncepcji, przez wielu określane są często jako czwarta rewolucja przemysłowa. Internet rzeczy (przedmiotów) to termin, który odnosi się do dynamicznego poszerzenia zastosowań sieci – umożliwia on aktualnie komunikację nie tylko między ludźmi, ale również między różnymi urządzeniami. Przedmioty, połączone ze sobą w odpowiedniej infrastrukturze, mogą identyfikować siebie nawzajem, prowadzić ze sobą komunikację oraz współdziałać. *Internet of Things* to przede wszystkim komunikacja między maszynami (*Machine to Machine* – M2M) i ich autonomiczne działanie w oparciu o wymieniane ze sobą dane.

Według Cisco Internet Business Solutions Group o Internecie rzeczy można mówić od momentu, w którym liczba rzeczy i obiektów podłączonych do Internetu przekroczyła liczbę ludności [Evans 2011]. W 2000 r. na świecie było 500 mln urządzeń podłączonych do sieci, na początku 2009 r. liczba ta przekroczyła już liczbę mieszkańców ziemi i to wtedy właśnie narodził się Internet rzeczy. W 2011 r., dzięki popularyzacji smartfonów, tabletek i innych urządzeń mobilnych, liczba urządzeń podłączonych do Internetu wyniosła ponad 13 mld (liczba ludności to 7 mld) [Raymond 2014]. Według prognoz firmy Gartner w 2020 r. takie połączenie uzyska 26 mld urządzeń, co oznacza ogromny przyrost ilości danych, które trzeba będzie odpowiednio przesyłać, przechowywać i przetwarzać [Middleton, Kjeldsen, Tully 2013]. Badania OECD pokazują, że obecnie krajem z największą liczbą urządzeń podłączonych do Internetu na 100 mieszkańców jest Korea Południowa (wskaźnik 37,9), w pierwszej dziesiątce jest osiem państw europejskich, w Polsce współczynnik ten wynosi 6,3 [EY 2015].

Mimo oczywistego związku IoT z wzajemnie połączonymi i komunikującymi się przedmiotami, brak jednoznacznej definicji tego zjawiska [Van Kranenburg i in. 2011]. Idea Internetu rzeczy po raz pierwszy pojawiła się w artykule *The computer for the 21st century* autorstwa M. Weisera [1991], a sam termin został po raz pierwszy użyty w 1999 r. przez K. Ashtona [2009] z Massachusetts Institute of Technology, współtwórcy globalnego systemu identyfikacji produktów w standardzie RFID (*Radio-Frequency Identification*). Internet rzeczy może być interpretowany jako ogół inteligentnych przedmiotów, mogących reagować na środowisko, gromadzić i przetwarzać informacje cyfrowe, a także przesyłać je do innych obiektów (i ich użytkowników) za pośrednictwem protokołów internetowych [Nowakowski 2015].

Koncepcja IoT bazuje m.in. na radiowym systemie identyfikacji RFID oraz standardzie NFC (*Near Field Communication*, standard komunikacji o krótkim zasięgu pozwalający na bezprzewodową wymianę danych) oraz technologii czujników. Rozwiązania te są już szeroko stosowane w światowej gospodarce. Wykorzystuje się je w paszportach, prawach jazdy, kartach zdrowia, w transporcie publicznym,

w płatnościach (karty płatnicze), środowiskach przemysłowych (np. logistyka, kontrola dostępu do pomieszczeń, rejestracja czasu pracy). IoT stanowi kolejny etap rozwoju tego typu rozwiązań, jako systemu powiązanych inteligentnych obiektów. Ich inteligencja polega na tym, iż nie tylko mają dane np. o swoim stanie, ale mogą też komunikować się z innymi obiektami, analizować posiadane dane, podejmować decyzje i sterować innymi obiektami [Kobyliński 2014].

Internet rzeczy staje się powoli obowiązkowym elementem technologii w biznesie, a dzięki sieci połączonych urządzeń, zasobów ludzkich i zgromadzonych danych firmy będą mogły lepiej zrozumieć wymagania klientów i szybciej wprowadzać zmiany czy implementować innowacje. Może on też wpłynąć na poprawę jakości życia ludzi, którzy będą mogli wykonywać zdalne płatności, monitorować swój stan zdrowia, zarządzać zdalnie urządzeniami w domu itp. Inteligentne systemy zarządzania odpadami, energią czy ruchem ulicznym stają się powoli codzienną rzeczywistością [EY 2015]. Takich obszarów zastosowania Internetu rzeczy może być wiele; mogą one przenikać różne aspekty życia. Nie jest to tylko koncepcja przyszłości, gdyż jest już w pewnym zakresie realizowana aktualnie. Jednym z pierwszych jej zastosowań jest centralny system sterowania tzw. inteligentnym domem, w którym funkcjonalność poszczególnych urządzeń została poszerzona o wykorzystanie danych zbieranych przez czujniki. Przykładowo czujniki wilgotności i temperatury przesyłają informacje do systemu otwierania okien, czujniki ruchu i podczerwieni do systemu oświetlenia pomieszczeń, a czujniki w lodówce generują potencjalną listę zakupów, która może być wysłana do systemu sklepu internetowego [Lipski 2015].

Według firmy Gartner IoT będzie generować przychody przekraczające 300 mld USD, głównie w usługach [Middleton, Kjeldsen, Tully 2013]. Z kolei według raportu McKinsey&Company [2015] IoT ma szansę utworzyć korzyści ekonomiczne dla światowej gospodarki mieszczące się w granicach 2,7-6,2 trylion USD w 2025 r. Internet rzeczy znajdzie wiele zastosowań w różnych dziedzinach usługowych i w działalności gospodarczej, m.in. w energetyce, transporcie, przemyśle, logistyce, inteligentnej opiece zdrowotnej, sektorze IT i innych. Oczekiwania na szybki rozwój Internetu rzeczy są powiązane także z zastosowaniami tej koncepcji w inteligentnym budownictwie, inteligentnych miastach i samochodach, w automatyce przemysłowej określanej mianem przemysłu 4.0.

Jak już wskazano, Internet rzeczy to koncepcja, która istnieje od około 20 lat. Jednak jej rozwój oraz rosnąca popularność zostały umożliwione dopiero dzięki modelowi chmury obliczeniowej, który zapewnił m.in. odpowiednią pojemność przestrzeni do gromadzenia i przetwarzania różnych danych generowanych przez urządzenia i czujniki. Internet rzeczy potrzebuje skalowalności chmury w zakresie infrastruktury IT. Szybko rosnąca ilość danych w ramach IoT wymaga przestrzeni do ich bezpiecznego przechowywania i przetwarzania, którą oferuje *cloud computing*. Firma Gartner szacuje, iż w 2020 r. Internet rzeczy będzie dotyczył aż ponad 26 mld urządzeń [Middleton, Kjeldsen, Tully 2013], a ta olbrzymia liczba urządzeń

i czujników będzie generować ogromne ilości informacji. Ponadto dla IoT rzeczą szczególnie istotną staje się ciągłość działania i konieczność zapewnienia odpowiedniego środowiska IT. Takie możliwości daje częściowo właśnie *cloud computing*.

3. Chmura obliczeniowa i jej rola w realizacji koncepcji Internetu rzeczy

Przetwarzanie w chmurze to model zdecentralizowanego przetwarzania danych, oparty na korzystaniu z usług dostarczonych przez zewnętrzne przedsiębiorstwa lub działy firmy. Można zauważyć, że sama idea udostępniania programów i usług w modelu *cloud computing* nie jest nowa, gdyż odnosi się do początków ery informatyzacji, kiedy to wszystkie obliczenia dokonywane były na jednostkach centralnych, a terminale, które pozbawione były często jakiegokolwiek mocy obliczeniowej, służyły tylko do wprowadzania i odczytu danych. Kilkadziesiąt lat później, w dobie przetwarzania bez granic, względy ekonomiczne i organizacyjne skłaniają firmy do powrotu ku tej idei sprzed lat [Parys 2015]. *Cloud computing* należy aktualnie do najszybciej rozwijających się usług informatycznych. Rozwiązanie to może sprzyjać obniżeniu kosztów prowadzenia działalności gospodarczej, zapewnić dostęp do większych mocy obliczeniowych, ma też wiele innych korzyści, co sprzyja wzrostowi popularności takiego modelu zarządzania zasobami IT. Znajduje on również zastosowanie w gromadzeniu i przetwarzaniu danych pochodzących z urządzeń i czujników funkcjonujących w ramach koncepcji Internetu rzeczy. Według prognoz Cisco sformułowanych na podstawie badań Global Cloud Index [Cisco... 2015], do roku 2019 chmury obliczeniowe będą przetwarzać co najmniej 8,6 zettabajtów (ZB) danych rocznie, za co bezpośrednio odpowiedzialne są nie tylko urządzenia mobilne, których liczba wciąż rośnie, ale także właśnie coraz popularniejszy Internet rzeczy. W przyszłości ruch w chmurze może być ponadto napędzany przez coraz większą liczbą połączeń *Machine-to-Machine*.

Jedną z najbardziej dokładnych i kompletnych definicji cloud computingu została zaproponowana przez amerykański Narodowy Instytut Standaryzacji i Technologii (National Institute of Standards and Technology – NIST). Zgodnie z nią [Mell, Grance 2011], „*cloud computing* to model umożliwiający powszechny i wygodny dostęp na żądanie za pomocą sieci do współdzielonej puli konfigurowalnych zasobów teleinformatycznych (np. serwerów, pamięci masowych, aplikacji, platform, sieci) oraz ich szybkie pozyskanie i wydanie przy minimalnym wysiłku i interakcji z dostawcą modelu” [Badger i in. 2011].

W niniejszym artykule zdefiniowano przetwarzanie w chmurze poprzez określenie pięciu istotnych jej cech, trzech modeli usług oraz czterech modeli rozmieszczenia usług (patrz rys. 1). Jako najważniejsze cechy chmury wymieniono następujące jej właściwości [Fronczak 2013]:

1. Szeroki dostęp (*broad network access*) – istotną cechą przetwarzania danych w chmurze jest szeroki dostęp sieciowy, który oznacza, że zasoby IT są dostępne

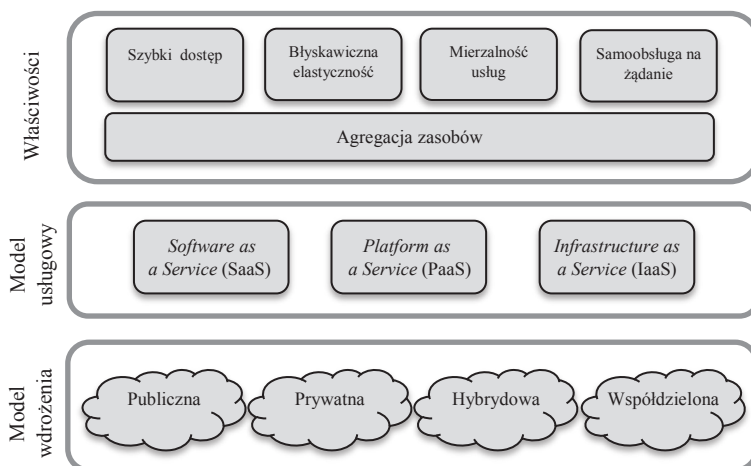
przez powszechnie istniejące mechanizmy tj. smartfony, laptopy, komputery stacjonarne oraz tradycyjne usługi, jak aplikacje i *middleware*.

2. Błyskawiczna elastyczność (*rapid elasticity*) – zasoby dostarczane w modelu chmury powinny być możliwe do wykorzystania dla użytkownika w dowolnej ilości i w dowolnym czasie.

3. Mierzalność usług (*measured service*) – kryteria mierzalności zasobów to np.: moc obliczeniowa, pamięć, przepustowość, ilość przestrzeni dyskowej, liczba aktywnych użytkowników itp.

4. Samoobsługa na żądanie (*on-demand self-service*) – użytkownik może jednostronnie skorzystać z oferowanych zasobów zgodnie ze swoimi potrzebami, w sposób zautomatyzowany, bez konieczności interakcji z dostawcą.

5. Agregacja zasobów (*resource pooling*) – koncepcja znana pod nazwą współdzielenia (*multi-tenancy*) rozdziela zasoby pośród wielu różnych klientów, stosując separację i mechanizmy kontrolne w celu zapobiegania mieszaniu się danych.



Rys. 1. Model chmury według National Institute of Standards and Technology (NIST)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Mell, Grance 2011].

Najbardziej podstawową i najstarszą formą usług w chmurze jest kolokacja (*collocation*), w której dostawca zapewnia pomieszczenie w centrum danych oraz niezbędne media (prąd, klimatyzacja, łącza internetowe, zabezpieczenia fizyczne, serwis), a ogół kwestii dotyczących zakupu, instalacji, konfiguracji i administracji sprzętem oraz oprogramowaniem znajduje się po stronie odbiorcy usługi. Pełniejsze formy integracji z chmurą obliczeniową zapewniają trzy następujące modele, określane jako stos SPI (*Software, Platform, Infrastructure as a Service*):

- oprogramowanie jako usługa (*Software as a Service* – SaaS) – udostępnienie klientowi konkretnych, potrzebnych mu funkcjonalności i oprogramowania;

klient płaci jedynie za każdorazowe ich użycie, a dostęp do nich uzyskuje na żądanie; klient korzysta z aplikacji dostawcy umieszczonych w chmurze, ale nie zarządza ani nie kontroluje podstawowej infrastruktury IT, włączając również zasoby sieciowe, serwery, systemy operacyjne i składowanie danych, ani nawet poszczególnych właściwości aplikacji [Rot 2008];

- platforma jako usługa (*Platform as a Service – PaaS*) – sprzedaż gotowego, często dostosowanego do potrzeb użytkownika oprogramowania, ujednoliconego środowiska pracy; model ten umożliwi klientom instalację własnych aplikacji i systemów w infrastrukturze dostawcy;
- infrastruktura jako usługa (*Infrastructure as a Service – IaaS*) – dostarczanie klientowi infrastruktury IT (sprzętu, oprogramowania oraz serwisowania).

W zależności od umiejscowienia serwerów i sposobu przetwarzania danych istnieją kilka modeli wdrożenia chmury [IBM... 2014; Łapiński, Wyżnikiewicz 2011]:

- Chmura prywatna (*private cloud*) – rozwiązanie, które korzysta z infrastruktury i zasobów IT klienta, co pozwala na wprowadzenie wewnętrznego procesu rozliczania z wykorzystania zasobów, z jednoczesnym zapewnieniem wysokiej elastyczności i efektywności. Wszelkie dane oraz usługi są oferowane w ramach jednej organizacji (choć same serwery nie muszą się znajdować fizycznie w pobliżu korporacji albo ze względów bezpieczeństwa mogą być rozlokowane w kilku miejscach).
- Chmura publiczna (*public cloud*) – usługa dostarczana jest w formie ustalonej i zwymiarowanej w aspekcie funkcjonalności i uwarunkowań związanych ze świadczeniem samej usługi. Specyfikacja zasobów i konfiguracja infrastruktury IT jest niewidoczna dla klienta końcowego. Często nie jest znana lokalizacja samej usługi (o jej jakości decyduje funkcjonalność i dostępność usługi). Jest to najpopularniejsza forma występowania centrów obliczeniowych. W tym modelu użytkownicy mogą korzystać z usług, które przeliczane są oraz przechowywane na serwerach należących do innych firm, zwykle dużych koncernów IT (np. Amazon, Google).
- Chmura hybrydowa (*hybrid cloud*) – połączenie wymienionych wcześniej chmur prywatnych oraz publicznych. W praktyce część serwerów danej firmy może się znajdować wewnątrz korporacji, natomiast same usługi są zwykle ładowane ze zdalnych urządzeń należących do większych koncernów informatycznych.
- Chmura współdzielona/społecznościowa (*community cloud*) – dzielenie pewnych usług chmurowych między kilka organizacji, które łączy wspólny cel; fizycznie całość może być zarządzana wewnątrz, ale również zewnątrz (np. przez wspomniane wcześniej koncerny IT).

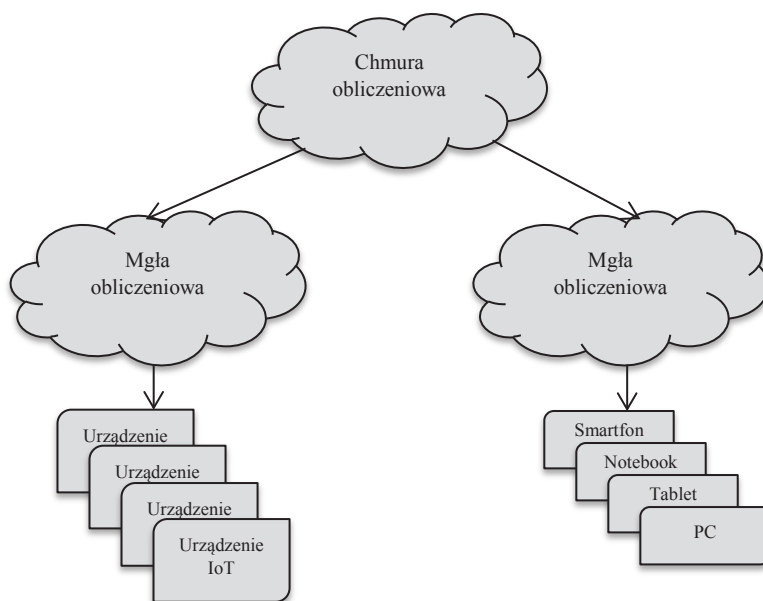
Cloud computing, jak większość nowoczesnych rozwiązań w obszarze IT, może dostarczyć organizacjom wielu korzyści, jednakże usługi w chmurze nie są całkowicie pozbawione wad i niosą ze sobą pewne ryzyko. Główne zagrożenia są związane z obszarami uwierzytelniania, bezpieczeństwa i prywatności danych oraz dostępności i ciągłości działania systemu. Wśród tych czynników ryzyka bezpieczeństwo i prywatność stanowią najistotniejszy obszar [Rot 2016].

Od kilku lat *cloud computing* rozwija się bardzo dynamicznie. Powstają nowe modele usług, zarówno te charakteryzujące się wysokim stopniem specjalizacji, jak i proste rozwiązania, dedykowane dla odbiorców masowych [Nowakowski 2015]. Swoją rosnącą popularność przetwarzanie w chmurze zawdzięcza m.in. wysokiej elastyczności. Jednakże ma ona swoje granice, zwłaszcza przy lawinowym wzroście liczby urządzeń mobilnych i inteligentnych przedmiotów podłączanych do sieci Internet. Według wspomnianych prognoz firmy Gartner, w 2020 r. do Internetu podłączonych będzie ponad 26 mld urządzeń, co oznacza ogromny przyrost ilości danych, które trzeba będzie odpowiednio przesyłać, przechowywać i przetwarzać [Middleton, Kjeldsen, Tully 2013]. Według niektórych szacunków w 2020 r. na każdego człowieka będzie przypadać około 5,2 PB danych (1 PB = 10^{15} B) [Evans 2011], a chmury będą przetwarzać 8,6 ZB danych, z których znaczna część pochodzić będzie z urządzeń i czujników Internetu rzeczy. Rosnąca liczba aplikacji i połączeń IoT generuje duże wolumeny danych, które w roku 2019 osiągną 507,5 ZB rocznie (42,3 ZB miesięcznie) [Cisco... 2015]. Wśród tych urządzeń generujących dane będą laptopy, smartfony, tablety, czujniki w budynkach, samochodach, zegarkach i szereg inteligentnych etykiet na różnych przedmiotach. Transmisja i przetwarzanie danych pochodzących z tak olbrzymiej liczby urządzeń staje się problemem o charakterze megaskali, gdyż żadna chmura obliczeniowa nie będzie w stanie sprawnie obsłużyć aż tak złożonej rzeczywistości [Nowakowski 2015]. Zatem aby zoptymalizować koncepcję chmury obliczeniowej, potrzebny jest nowy sposób przesyłania, przechowywania i przetwarzania danych. Takim rozwiązaniem staje się koncepcja mgły obliczeniowej (*fog computing*).

4. Mgła obliczeniowa jako warstwa pośrednicząca między urządzeniami Internetu rzeczy a chmurą obliczeniową

W Internecie rzeczy funkcjonować będą niezliczone urządzenia, przedmioty oraz różnego rodzaju sensory, które będą rejestrować praktycznie wszystko, co można zmierzyć. Będą rejestrować ruch, obraz, dźwięk oraz sterować innymi urządzeniami. Liczba, rodzaj i zastosowania urządzeń komunikujących się z Internetem rosną aktualnie i dalej lawinowo będą się zwiększać. Wobec tego infrastruktura obsługująca Internet rzeczy musi połączyć miliony urządzeń oraz serwerów, sprawnie przeprowadzać transmisje danych, przetwarzać oraz przysyłać ogromne zbiory danych. Jedną z koncepcji proponuje zbudowanie takiego środowiska, w którym większość decyzji będzie podejmowana na brzegu sieci, bez potrzeby przesyłania olbrzymich zbiorów danych do chmury obliczeniowej, by dopiero stamtąd oczekiwać na dalsze instrukcje. Koncepcją, która ma połączyć chmury obliczeniowe z dynamicznie rozwijającym się Internetem rzeczy, jest mgła obliczeniowa [Janoś 2015]. Pojęcie mgły obliczeniowej zostało wprowadzone przez firmę Cisco Systems jako nowy paradygmat wsparcia transmisji i przetwarzania danych do wspierania rozproszonych

urządzeń w koncepcji Internetu rzeczy. Można ją określić jako wirtualną platformę, która zapewnia możliwości obliczeniowe, pamięci masowe i usługi sieciowe między urządzeniami końcowymi i tradycyjnym centrum danych chmury obliczeniowej [Billewicz 2016]. Ogólny schemat współdziałania chmury i mgły obliczeniowej w obsłudze urządzeń Internetu rzeczy prezentuje rys. 2.



Rys. 2. Zastosowanie mgły obliczeniowej w koncepcji Internetu rzeczy

Źródło: opracowanie własne.

Mgła obliczeniowa będzie bazować na lokalnych zasobach obliczeniowych, a nie, jak jest to w usłudze chmury obliczeniowej, znajdujących się gdzieś w odległym (często nieznanym użytkownikowi) miejscu. Takie przetwarzanie zapewni większe bezpieczeństwo (którego poziom w CC stanowił obawy wielu użytkowników chmury) i większą wydajność. Podstawową właściwością mgły jest instalacja serwerów na granicach chmury obliczeniowej, które będą odbierać dane z urządzeń Internetu rzeczy, a następnie je przechowywać, przetwarzać i odpowiednio analizować, uporządkowując w ten sposób dane pozyskane z bardzo wielu urządzeń i czujników. Mgła obliczeniowa, podobnie jak w modelu *cloud computing*, dostarcza dane, moce obliczeniowe lub oprogramowanie dla użytkowników końcowych. Podstawowa różnica między mgłą a chmurą obliczeniową to fakt bliskości oraz gęstego rozmieszczenia w przestrzeni urządzeń mgły, a przede wszystkim wsparcie dla mobilności użytkowników końcowych [Billewicz 2016]. Wsparcie to osiągnięte zostanie dzięki temu, iż router łączący urządzenia w IoT ma zajmować się nie tylko

transmisją danych, ale przede wszystkim odciążać chmurę obliczeniową, wykonując za nią część obliczeń lokalnie. Na routerach tych wykonywane byłyby wstępne lub prostsze obliczenia zlecane przez aplikacje, tak aby nadawały się do dalszego przetwarzania. Routery brzegowe będą musiały być w stanie odbierać bardzo duże ilości danych z bardzo wielu urządzeń. W ten sposób mgła obliczeniowa byłaby warstwą pośredniczącą między urządzeniami a chmurą obliczeniową, a jej podstawowym wyznacznikiem jest to, iż oprogramowanie, pamięć masowa i moc obliczeniowa są instalowane jak najbliżej urządzeń Internetu rzeczy.

Właśnie zdefiniowanie mgły jako warstwy pośredniej do chmury obliczeniowej stworzy możliwości szybszego rozwoju Internetu rzeczy. Omówiona wcześniej w artykule chmura obliczeniowa ma bowiem wiele wad, z których najważniejsze to ograniczona przepustowość, brak mobilności, strumieniowego przesyłania danych oraz bezprzewodowego dostępu. Odpowiedzią na niedoskonałości cloud computingu jest właśnie koncepcja mgły obliczeniowej. Rozwiązanie to ma wiele innych cech charakterystycznych istotnych z punktu widzenia Internetu rzeczy, wśród których warto wymienić [Bonomi i in. 2012]:

- bliską lokalizację elementów sieci i świadomość otoczenia,
- małe opóźnienia transmisji – ideą mgły jest wsparcie bogatej oferty usług sieciowych wymagających niskich opóźnień (gry, rozrywka, strumieniowanie wideo, rzeczywistość rozszerzona – *augmented reality*),
- rozproszenie geograficzne – w przeciwieństwie do scentralizowanej chmury obliczeniowej, usługi i aplikacje mgły wymagają rozproszonego rozlokowania (np. mgła będzie odgrywać aktywną rolę w dostarczaniu wysokiej jakości streamingu do pojazdów, poprzez punkty proxy i punkty dostępowe rozmieszczone wzdłuż dróg i autostrad),
- uwzględnienie wielkich sieci komunikacyjnych z czujnikami, zwykle będą to sieci bezprzewodowe i będą dostarczać różnorodnych danych,
- obsługę wielkiej liczby elementów (czujników i węzłów) wykorzystywanych w celach monitorowania otoczenia oraz obsługę inteligentnych sieci energetycznych (*smart grids*), które są kolejnymi przykładami odpowiednio rozproszonych systemów, wymagających rozproszonego przetwarzania i przechowywania zasobów,
- bardzo dużą liczbę węzłów sieci jako konsekwencję rozproszenia geograficznego w sieciach czujników, a w szczególności w inteligentnych sieciach energetycznych,
- wsparcie dla mobilności – rzeczą podstawową dla aplikacji mgły obliczeniowej jest to, aby komunikować się bezpośrednio z urządzeniami mobilnymi i w ten sposób wspomagać rozwiązania mobilne,
- współpracę urządzeń w czasie rzeczywistym – ważne aplikacje w fog computingu dotyczą interakcji w czasie rzeczywistym zamiast przetwarzania wsadowego,
- przewagę dostępu bezprzewodowego,
- heterogeniczność – węzły sieci w *fog computing* występują w różnej formie i postaci, są też wdrożone w różnych środowiskach,

- interoperacyjność i konsolidację – bezproblemowa obsługa niektórych usług (np. strumieniowanie wideo) wymaga współpracy różnych dostawców, stąd elementy w *fog computing* muszą być w stanie współdziałać ze sobą, a usługi muszą być skonsolidowane w ramach całej domeny,
- szerokie rozproszenie inteligencji, wsparcie dla analityki *on-line* i współdziałania z chmurą – mgła jest tak skonfigurowana, aby odgrywać istotną rolę w gromadzeniu, przetwarzaniu i analizowaniu danych blisko ich źródła.

Dzięki dużemu rozproszeniu geograficznemu mgła jest odpowiednio przygotowana do przetwarzania dużych ilości danych i wykonywania analiz w czasie rzeczywistym. Zarówno mgła obliczeniowa, jak i chmura mogą występować jednocześnie (jak to zobrazowano na rys. 2), ponieważ duże i wymagające aplikacje będą wykorzystywać zalety lokalnego charakteru mgły i globalny charakter cloud computingu [Nowakowski 2015]. Mgła obliczeniowa odciąży CC z części zadań obliczeniowych w Internecie rzeczy, co przyspieszy analizowanie informacji i podejmowanie decyzji. Dodatkowymi argumentami przemawiającymi za zastosowaniem mgły obliczeniowej w koncepcji Internetu rzeczy mają być większe możliwości działania, gdy połączenie z chmurą będzie utracone, oraz unikanie konieczności transmisji wrażliwych danych na zewnątrz, np. poza sieć przedsiębiorstwa, co budziło znaczne obawy wśród potencjalnych użytkowników CC [Rot, Sobińska 2013]. Możliwość instalowania systemów pamięci masowej i przetwarzania danych na urządzeniach końcowych prowadzi do zapewnienia względnie wysokiego poziomu bezpieczeństwa danych i aplikacji w całym środowisku IoT [Janoś 2015].

Jak wspomniano, serwery i routery brzegowe będą musiały przetwarzać ogromne ilości danych, w związku z tym przed modelem *fog computing* stoją także następujące wyzwania [Madsen i in. 2013]:

- gwarancja dynamicznego przydzielania zasobów (zasoby będą przydzielane automatycznie),
- gwarancja niezawodności sprzętu, aplikacji, danych i zasobów sieciowych, niezbędnych do realizacji usługi dla użytkowników,
- gwarancja niezawodności świadczenia usług sieciowych,
- gwarancja niezawodności pracy sieci wspomagających przesyłanie danych.

Internet rzeczy, aby działać, wymaga wsparcia chmury obliczeniowej wraz z jej wydajnością i skalowalnością. Jednakże chmura obliczeniowa ma dużo wad, z których najważniejsze to ograniczona przepustowość, brak mobilności, strumieniowego przesyłania danych oraz bezprzewodowego dostępu – są one bardzo istotne z punktu widzenia wymagań stawianych koncepcji Internetu rzeczy. Odpowiedzią na te wady chmury jest zaprezentowane połączenie Internetu rzeczy z chmurą i mgłą obliczeniową. Według szacunków Cisco 40% danych pochodzących z Internetu rzeczy będzie do roku 2018 przetwarzanych właśnie we mgle obliczeniowej.

5. Zakończenie

Internet rzeczy to jednak tylko początek sieciowej rewolucji. Specjaliści już kilka lata temu przedstawili koncepcję Internetu wszechrzeczy (*Internet of Everything* – IoE), który ma być siecią łączącą ze sobą już nie tylko rzeczy, ale także ludzi (za pośrednictwem smartfonów, laptopów i tabletów, również czujników na skórze lub w ubraniach), dane oraz procesy (technologiczne, biznesowe czy organizacyjne). Stwarza to wiele możliwości zarówno dla firm, jak i pojedynczych użytkowników, ale niesie także zagrożenia i wyzwania, takie jak ochrona prywatności i bezpieczeństwo. Kolejnym wyzwaniem jest także opracowanie efektywnych i skutecznych sposobów gromadzenia, przechowywania, przetwarzania, analizowania i transmisji ogromnej ilości danych, jaka będzie generowana. Samo inteligentne miasto (*smart city*) mające milion mieszkańców będzie w roku 2019 generować ponad 180 GB danych dziennie [Cisco... 2015]. W tym kontekście mgła obliczeniowa będzie rozwiązaniem, które może zagwarantować w przyszłości obsługę takich dużych zbiorów danych.

Literatura

- Ashton K., 2009, *That 'Internet of Things' Thing. In the real world, things matter more than ideas*, RFID Journal, 22.06.2009, <http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986> (27.09.2015).
- Badger L., Grance T., Patt-Corner R., Voas J., 2011, *Cloud Computing Synopsis and Recommendations*, NIST Special Publication 800-146, US Department of Commerce, <http://csrc.nist.gov/publications/drafts/800-146/Draft-NIST-SP800-146.pdf> (11.05.2016).
- Billewicz K., 2016, *Possibility of Internet of things technology implementation in smart power grids*, Oficyna Wydawnicza Energia, Stowarzyszenie Elektryków Polskich – COSiW, Energetyka, nr 5/2016, s. 264-270, https://www.researchgate.net/publication/303700705_Possibility_of_Internet_of_things_technology_implementation_in_smart_power_grids (5.01.2017).
- Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S., 2012, *Fog Computing and Its Role in the Internet of Things*, Proceedings of the first edition of the MCC 2012 workshop on Mobile cloud computing, s. 13-16, Helsinki <http://conferences.sigcomm.org/sigcomm/2012/paper/mcc/p13.pdf> (7.06.2017).
- Cisco *Global Cloud Index 2014-2019*, 2015, http://www.cisco.com/c/pl_pl/about/press/press-information-2015/20151118.html (10.01.2017).
- Evans D., 2011, *The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*, Cisco Internet Business Solutions Group White Paper, April, http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf, (19.12.2016).
- EY, 2015, *Insights on Governance, Risk and Compliance: Cybersecurity and the Internet of Things*, [www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-cybersecurity-and-the-internet-of-things/\\$FILE/EY-cybersecurity-and-the-internet-of-things.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-cybersecurity-and-the-internet-of-things/$FILE/EY-cybersecurity-and-the-internet-of-things.pdf) (4.01.2017).
- Fronczak M., 2013, *Zarządzanie ryzykiem w modelu cloud computing – wprowadzenie*, https://www.governica.com/wiadomosc/Zarzadzanie_ryzykiem_w_modelu_cloud_computing_-_wprowadzenie (24.11.2016).
- IBM SmartCloud, 2014, www-05.ibm.com/pl/cloud/ (30.09.2015).
- Janoś T., 2015, *Internet rzeczy – przez mgłę do chmury?*, <http://www.polskaszerokopasmowa.pl/artykuly/internet-rzeczy-przez-mgle-do-chmury.html> (8.01.2017).

- Kobyliński A., 2014, *Internet przedmiotów: szanse i zagrożenia*, Zeszyty Naukowe nr 808, Ekonomiczne Problemy Usług nr 112, *Ekonomiczno-społeczne i techniczne wartości w gospodarce opartej na wiedzy*, t. 1, Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin.
- Kranenburg Van R., Anzelmo E., Bassi A., Caprio D., Dodson S., Ratto M., 2011, *The Internet of things*, 1st Berlin Symposium on Internet and Society, October 2011, Berlin.
- Lipski J., 2015, *Internet rzeczy w zastosowaniu do sterowania produkcją*, [w:] *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t. 2, Knosala R. (red.), Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Opole.
- Łapiński K., Wyżnikiewicz B., 2011, *Raport: Cloud Computing – wpływ na konkurencyjność przedsiębiorstw i gospodarkę Polski*, Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową, Warszawa, <http://www.ibngr.pl/Publikacje/Raporty-IBnGR/Cloud-Computing-elastycznosc-efektywnosc-bezpieczenstwo> (7.12.2016).
- Madsen H., Albeanu G., Burtschy B., Popentiu-Vladicescu F.L., 2013, *Reliability in the utility computing era: Towards reliable fog computing*, 20th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP) 2013, issue date: 7-9 July 2013.
- McKinsey&Company: McKinsey Global Institute, 2015, *The Internet Of Things: Mapping The Value Beyond The Hype*, <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world> (30.10.2016).
- Mell P., Grance T., 2011, *The NIST Definition of Cloud Computing*, NIST Special Publication 800-145, U.S. Department of Commerce, <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf> (12.06.2016).
- Meola A., 2016, *The Roles of Cloud Computing and Fog Computing in the Internet of Things Revolution*, Business Insider 20th of December 2016, <http://www.businessinsider.com/internet-of-things-cloud-computing-2016-10?IR=T> (11.01.2017).
- Middleton P., Kjeldsen P., Tully J., 2013, *Forecast: The Internet of Things, Worldwide 2013*, Gartner, November 2013, <http://www.gartner.com/doc/2625419/forecast-internet-things-worldwide-19.12.2016>.
- Nowakowski W., 2015, *Bliższa chmura, czyli usługi obliczeniowe we mgle*, Elektronika – Konstrukcje, Technologie, Zastosowania, nr 5/2015, http://www.imm.org.pl/imm/plik/pliki-do-pobrania-elektronika52015_nn358.pdf (16.12.2016).
- Parys T., 2015, *Cloud computing – korzyści i bariery wdrożenia oraz ich przejawy w ocenie użytkowników*, [w:] *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t. 2, Knosala R. (red.), Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją (PTZP), Opole.
- Raymond J., 2014, *The Internet of Things – A Study in Hype, Reality, Disruption, and Growth*, 4.06.2014, http://www.supplychain247.com/paper/the_internet_of_things_a_study_in_hype_reality_disruption_and_growth (8.09.2016).
- Rot A., 2008, *Oprogramowanie dostarczane jako usługa – model SaaS. Stan obecny, perspektywy rozwoju oraz przykłady rozwiązań*, Informatyka Ekonomiczna, nr 12.
- Rot A., 2016, *Zarządzanie ryzykiem w cyberprzestrzeni – wybrane zagadnienia teorii i praktyki*, [w:] *Projektowanie i realizacja systemów informatycznych zarządzania. Wybrane aspekty*, Komorowski T.M., Swacha J. (red.), Polskie Towarzystwo Informatyczne, Warszawa.
- Rot A., Sobińska M., 2013, *IT security threats in cloud computing sourcing model*, [w:] *Proceedings of the 2013 Federated Conference on Computer Science and Information*, Ganzha M., Maciaszek L., Paprzycki M. (red.), PTI, Kraków, <https://fedcsis.org/proceedings/2013/pliks/fedcsis.pdf> (28.10.2016).
- Weiser M., 1991, *The computer for the 21st century*, Scientific American, no. 265(3), s. 94-104.