

Sieci LPWAN do zdalnego odczytu liczników i monitorowania sieci zasilającej w inteligentnych budynkach

Piotr Derbis, Mariusz Nowak

1. Wprowadzenie

Ciągły postęp techniczny i rozwój nowych technologii przyczyniają się do nieustannego zwiększania komfortu życia w budynkach, w których ludzie spędzają coraz więcej czasu. Inteligentne budynki dostarczają użytkownikom komfortowych warunków pracy, a ich właścicielom gwarantują minimalizację kosztów funkcjonowania infrastruktury technicznej. Rozwój technologii informatycznych, powszechny dostęp do coraz bardziej zaawansowanych układów elektronicznych i postęp w opracowywaniu zaawansowanych rozwiązań z dziedziny automatyki spowodowały rewolucję w sterowaniu i zarządzaniu instalacjami technicznymi w budynkach. Do prawidłowego funkcjonowania instalacji budynkowych, zapewnienia bezpieczeństwa osób, jak i gwarancji odpowiednich efektów ekonomicznych niezbędne jest pozyskiwanie różnorodnych danych z urządzeń funkcjonujących w inteligentnych budynkach oraz danych dotyczących aktualnych wartości parametrów charakteryzujących komfort mikroklimatyczny wewnątrz pomieszczeń. Do pozyskiwania tych danych służą zarówno standardowe czujniki pomiarowe, jak i rozbudowane inteligentne urządzenia pomiarowe [1, 2]. Funkcjonowanie inteligentnych urządzeń pomiarowych gwarantuje bieżący dostęp do informacji o zużyciu energii i jej kosztach. Informacje te pozwalają na budowę profilu odbiorcy i takie sterowanie poborem mocy, aby maksymalnie wykorzystać zmieniające się ceny energii w szczycie i poza szczytem. W artykule przedstawione zostaną sieci radiowe dalekiego zasięgu LPWAN. Wybrana technologia LoRaWAN zostanie przetestowana ze względu na możliwości wykorzystania jej do komunikacji z licznikami energii elektrycznej.

2. Inteligentne budynki

Chcąc zdefiniować pojęcie inteligentnego budynku, mamy najczęściej na myśli obiekt wyposażony w automatykę budynkową, której zadaniem jest sterowanie funkcjami i instalacjami technicznymi budynku, a w szczególności najbardziej energochłonnym systemem HVAC (ang. *Heating, Ventilation, Air Conditioning*). Rozszerzeniem definicji inteligentnego budynku jest informacja o funkcjonowaniu w nim systemu BMS (ang. *Building Management System*), w którym integrowane są wszystkie techniczne instalacje budynkowe i centrale alarmów oraz realizowane są funkcje zarządzania budynkiem [1, 3]. Jeśli do wymienionych funkcjonalności systemu BMS

Streszczenie: W artykule przedstawiono ideę funkcjonowania systemów BMS i OMS w inteligentnych budynkach. Opisano nowe funkcjonalności inteligentnych budynków wynikające z wprowadzania mikrogeneracji. Scharakteryzowano sieci radiowe dalekiego zasięgu LPWAN oraz porównano najpopularniejsze technologie sieciowe niskoenergetyczne. Wybraną technologię LoRaWAN przetestowano ze względu na możliwości wykorzystania jej do komunikacji z licznikami energii elektrycznej i monitorowania sieci zasilającej w inteligentnych budynkach.

Słowa kluczowe: BMS, OMS, LPWAN, LoRaWAN

LPWAN NETWORK FOR ENERGY METERS READING AND MONITORING OF POWER SUPPLY NETWORK IN INTELLIGENT BUILDINGS

Abstract: In this article the idea of functioning of BMS and OMS systems in intelligent buildings is presented. New functionalities of intelligent buildings resulting from the introduction of microgeneration are described. The long-range radio networks LPWAN were characterized and the most popular low-energy network technologies were compared. The selected LoRaWAN technology was tested for its use for communication with energy meters and monitoring the power supply network in intelligent buildings.

Keywords: BMS, OMS, LPWAN, LoRaWAN

dodany zostanie system automatyki procesów realizowanych wewnątrz budynku, dochodzimy do definicji Systemu Zarządzania Obiektem – OMS (ang. *Object Management System*), którego zadaniem jest integrowanie sterowania budynkiem ze sterowaniem zachodzących w nim procesów. Funkcjonowanie OMS spotykane było do niedawna głównie w obiektach przemysłowych, w których realizowane procesy charakteryzowały się dużą energochłonnością, a powiązanie działania automatyki budynku z automatyką procesów pozwalało na uzyskiwanie dużych oszczędności energii.

Wydaje się jednak, że funkcjonalność systemu OMS będzie musiała w najbliższej przyszłości ulec rozszerzeniu na skutek bardzo dynamicznego rozwoju nowych technologii związanych

z wytwarzaniem energii w mikroinstalacjach oraz sposobami zarządzania siecią elektryczną zasilającą inteligentny budynek. Ewolucja systemu OMS zapewne najszybciej nastąpi w przypadku zarządzania kompleksem budynków biurowych, dużymi centrami handlowymi, wydzielonymi osiedlami z kompleksami budynków mieszkalnych.

Możliwość produkcji energii elektrycznej w miejscu jej użytkowania zaczyna mieć duży wpływ na rozwój sieci dystrybucyjnej, sposoby zarządzania siecią i konieczność stosowania nowych rozwiązań układów automatyki. Konieczne będzie rozszerzenie funkcjonalności inteligentnego budynku o:

- urządzenia systemu wytwarzania energii elektrycznej, np. instalację fotowoltaiczną zainstalowaną na dachu lub elewacji budynku;
- urządzenia systemu magazynowania energii, takie jak zasobniki energii elektrycznej z możliwością oddania jej z powrotem do zużycia przez odbiorcę końcowego oraz zasobniki energii cieplnej, w których energia elektryczna jest zamieniana na energię cieplną magazynowaną w izolowanych zbiornikach wody i oddawana do wykorzystania jako ciepła woda użytkowa lub woda do celów grzewczych;
- stanowiska ładowania samochodów elektrycznych.

Nowe funkcjonalności budynków będą wymuszały zmiany w zasadach projektowania instalacji elektrycznych w nowych budynkach, modernizację już istniejących układów zasilania oraz zmiany algorytmów sterowania zapotrzebowaniem budynku na energię elektryczną z uwzględnieniem energii wyprodukowanej w miejscu. Dysponując lokalnym potencjałem w postaci magazynów energii, konieczne będzie także opracowanie strategii ich optymalnego wykorzystania w oparciu nie tylko o prognozę zapotrzebowania, ale również o prognozę produkcji energii z własnych źródeł wytwórczych. Nowym zjawiskiem może być nadmiar mocy w stosunku do aktualnego zapotrzebowania i związane z tym odwrotne przepływy energii w kierunku do sieci elektroenergetycznej.

Wspomniane systemy OMS będą musiały uwzględniać zmiany w strukturze zasobów wewnętrznej sieci elektrycznej i jednocześnie rozszerzać zakres stosowanych kryteriów regulacji, w tym regulacji z zastosowaniem algorytmów predykcyjnych [1, 3]. Oprócz optymalizacji zużycia energii w budynku lub kompleksie budynków istotne będzie zmniejszanie przepływów energii w miejscach przyłączenia do publicznej sieci elektroenergetycznej. Celem nadrzędnym systemów optymalizacji będzie możliwie maksymalne wykorzystanie własnych zasobów energetycznych.

Już dzisiaj na rynku dostępne są zarówno systemy fotowoltaiczne (PV – ang. *Photovoltaics*), jak i magazyny energii małej oraz średniej mocy. Coraz powszechniejsze jest instalowanie punktów ładowania samochodów elektrycznych, szczególnie w centrach handlowych lub na stacjach benzynowych. Aby wykorzystać w pełni możliwości nowych technologii w budynkach inteligentnych, konieczne jest określenie zasad współpracy odbiorcy energii elektrycznej z Operatorem Sieci Dystrybucyjnej, zarówno w zakresie uzgodnień technicznych, jak i formalno-prawnych regulujących obowiązki obu stron. Przyjmuje się, że nowe uregulowania prawne wprowadzane przez ustawę

„Prawo energetyczne” w znacznym stopniu uproszczą ten proces, określając zasady wprowadzania do sieci odbiorców końcowych nowych rozwiązań technologicznych.

3. Sieci radiowe dalekiego zasięgu LPWAN i Internet Rzeczy

W systemie sterowania w inteligentnych budynkach konieczne jest zapewnienie komunikacji pomiędzy czujnikami i urządzeniami wykonawczymi a systemem BMS. Komunikacja najczęściej realizowana jest z wykorzystaniem połączenia poprzez magistralę szeregową (np. *twisted pair bus*), sieć zasilającą 230 V AC (technologia PLC – ang. *Power Line Communication*) oraz połączenia RF (technologia radiowa krótkiego zasięgu). W komunikacji bezprzewodowej można wyróżnić takie standardy, jak: Zigbee, Z-Wave, Bluetooth, Wireless M-bus oraz WiFi [4]. Wszystkie z wymienionych technologii można wykorzystać do odczytu liczników wody, ciepła, gazu oraz energii elektrycznej, jeśli tylko odległości pomiędzy urządzeniami w sieci mieszczą się w zasięgu działania danej technologii. Z reguły jest to dystans od kilku do kilkudziesięciu metrów.

Nowe możliwości w komunikacji pomiędzy urządzeniami wykonawczymi i czujnikami pomiarowymi a systemami sterowania i zarządzania pojawiły się wraz z rozwojem technologii dedykowanych dla Internetu Rzeczy. Są to rozwiązania z zakresu komunikacji bezprzewodowej, takie jak Sigfox, LoRaWAN, LTE Cat M1, NB-IoT, RF Mesh, określane jako niskoenergetyczne sieci radiowe dalekiego zasięgu LPWAN (ang. *Low Power Wide Area Network*). Wspólną cechą wymienionych rozwiązań jest osiągnięcie większych zasięgów oraz zmniejszenie mocy urządzeń końcowych kosztem zmniejszenia przepustowości [5]. Należy podkreślić, że oprócz wymienionych technologii radiowych do komunikacji z różnymi urządzeniami wykorzystywane były od wielu lat także sieci komórkowe GSM/GPRS/LTE. Przykładem mogą być systemy zdalnego odczytu liczników energii elektrycznej zainstalowanych w sieciach elektroenergetycznych wyższych napięć (sieci o napięciu powyżej 1 kV). Wraz z wprowadzeniem Smart Meteringu, czyli inteligentnych liczników dla odbiorców komunalnych, technologie GSM/GPRS/LTE zaczęto także wykorzystywać do zdalnego odczytu liczników w sieciach niskiego napięcia.

Szybki rozwój Internetu Rzeczy spowodował dwutorowy rozwój urządzeń GSM/GPRS/LTE i podział na urządzenia przeznaczone dla telefonii komórkowej oraz urządzenia dedykowane dla Internetu Rzeczy nazywanego także Cellular IoT (CIoT). W obszarze CIoT pojawiły się dwa najbardziej rozpowszechnione standardy: LTE Cat M1 oraz Narrowband IoT (NB-IoT, ang. *Narrowband Internet of Things*). Wraz z rozwojem architektury 5G dla kolejnej generacji urządzeń LTE oraz rozwojem platform chmurowych do przetwarzania danych, wprowadzone zostało kolejne pojęcie: *Industrial Internet of Things* (IIoT) odnoszące się do urządzeń wspomagających procesy produkcyjne i technologie przemysłowe.

W tabeli 1 przedstawiona została charakterystyka sieci komunikacyjnych LPWAN stosowanych w dziedzinie Internetu Rzeczy. Dla porównania parametrów zestawiono technologie Cellular IoT wprowadzane przez operatorów sieci komórkowych,

pracujące w licencjonowanych pasmach częstotliwości oraz technologicznie wykorzystujące nielicencjonowane pasma ISM. W paśmie 868 MHz pracują trzy spośród przedstawionych: Sigfox, LoRaWAN, Wi-SUN (*Wireless Smart Utility Network*), z których ostatnia jest szczególnie predysponowana do odczytu liczników energii elektrycznej, wody i gazu [6]. Sieć Wi-SUN oparta jest na standardzie IEEE 802.15.4g opisującym sieć urządzeń końcowych pracujących w konfiguracji Mesh, gdzie – w odróżnieniu do Sigfox i LoRaWAN – urządzenia końcowe nie muszą być połączone bezpośrednio ze stacją bazową w sytuacji, gdy nie ma zasięgu radiowego, lecz mogą być połączone za pośrednictwem innego urządzenia końcowego lub routera Wi-SUN. Taka architektura sprawia, że sieć typu Mesh konfiguruje się dynamicznie w zależności od rozmieszczenia urządzeń w terenie i jakości sygnału radiowego dla połączeń pomiędzy urządzeniami oraz pomiędzy urządzeniami a stacją bazową.

Zestawione w tabeli 1 technologie różnią się nie tylko parametrami technicznymi, ale również warunkami związanymi z wdrożeniem, kosztami urządzeń, kosztami eksploatacji, wymaganym stopniem zabezpieczenia kanału komunikacyjnego oraz niezawodnością i wielkością systemu.

Porównanie technologii komunikacyjnych można przeprowadzić w oparciu o przedstawione poniżej kryteria, istotne z punktu widzenia wymagań dla Internetu Rzeczy [7].

- **Jakość usługi** – rozumiana jako niezawodność. W przypadku usług operatorów sieci komórkowych jest ona duża, lecz wiąże się z większym kosztem usługi. Dodatkowo usługa jest standardowa, a więc dostępna na obszarze np. całego kraju. Z drugiej strony, jeśli parametry niezawodności i prędkości transmisji nie są priorytetowe, to ponosząc mniejsze nakłady finansowe, można zastosować sieć LoRaWAN, uzyskując porównywalny zasięg komunikacji.
- **Czas życia baterii i tryb uśpienia** – parametry wpływające na czas pracy urządzenia bez konieczności serwisowania. W przypadku urządzeń CIoT pobór prądu z baterii jest większy, jednak czas reakcji urządzeń końcowych krótszy i prędkość transmisji większa w porównaniu z LoRaWAN.
- **Pokrycie sieci i zasięg** – w przypadku urządzeń i sieci pokrycie dla CIoT będzie takie samo, jak dla sieci LTE (te same stacje bazowe), przy czym wymagane jest uruchomienie obsługi urządzeń przez operatora sieci LTE na danym obszarze. Sieci prywatne oparte o pasmo ISM mogą mieć lepsze pokrycie i zasięg na terenach wiejskich, natomiast w terenie zurbanizowanym parametry są porównywalne. Oba parametry zależą od mocy wyjściowej, gdzie dla LTE wynosi ona 20 do 23 dBm, czyli 100 do 200 mW, a dla pasma 868 MHz 14 dBm, czyli 25 mW. Zatem pomimo kilkukrotnie mniejszej mocy sieci te dorównują zasięgiem i pokryciem sieciom CIoT. Jest to ich duża zaleta w przypadku budowania prywatnej niezależnej sieci dalekiego zasięgu.
- **Lokalizacja** – zależnie od przeznaczenia, sieć może być oparta o istniejące stacje bazowe telefonii komórkowej, zatem koszty uruchomienia nowej usługi w istniejącej infrastrukturze nie są duże. Natomiast z drugiej strony może to być ograniczenie w porównaniu np. z technologią LoRaWAN, gdzie rozmieszczenie gatewayów w terenie może być dostosowywane do konkretnych wymagań projektu.

- **Koszt sieci** – obejmuje koszty urządzeń końcowych, stacji bazowych, bramek, opłaty za użytkowanie aplikacji chmurowych na zasadach komercyjnych, abonamenty sieci LTE. Przygotowanie całkowicie prywatnych sieci, np. LoRaWAN, również wymaga poniesienia kosztów na zbudowanie własnej warstwy serwerów sieciowych oraz serwerów aplikacyjnych.

Spośród technologii przedstawionych w tabeli 1, biorąc pod uwagę zarówno parametry techniczne, jak i dostępność urządzeń oraz wsparcie od strony istniejących i sprawdzonych platform chmurowych, do testów w zakresie możliwości odczytu liczników energii elektrycznej wybrana została technologia LoRaWAN.

Istotną zaletą tej sieci w porównaniu z innymi technologiami jest niższy koszt urządzeń końcowych oraz koszt wdrożenia samej sieci. Natomiast możliwe do osiągnięcia zasięgi komunikacji są porównywalne z komercyjnymi sieciami LTE. Oprócz tego sieć gatewayów może być w dowolny sposób zagęszczana lub rekonfigurowana w zależności od wymagań danego projektu sieci komunikacyjnej.

4. Wykorzystanie sieci LoRaWAN do komunikacji z licznikami energii elektrycznej i monitorowania sieci zasilającej w budynkach

Przy znacznym rozbudowaniu struktury zasilania oraz powiązaniach pomiędzy wytwarzaniem, magazynowaniem i zużyciem energii konieczne będzie wprowadzenie wewnętrznego systemu opomiarowania i zarządzania przepływami energii w sieci. System powinien składać się z liczników energii elektrycznej, urządzeń warstwy komunikacyjnej i aplikacji odpowiedzialnej za akwizycję danych pomiarowych. System opomiarowania przepływu energii w budynku powinien funkcjonować na poziomie systemu OMS.

4.1. Warstwa sprzętowa – liczniki energii elektrycznej

Pierwszym elementem systemu będą liczniki, najczęściej już funkcjonujące, zainstalowane na granicy z siecią publiczną i służące do rozliczeń z dostawcą energii, oraz liczniki w sieci wewnętrznej, przeznaczone do rozliczeń z odbiorcami. W dalszej kolejności liczniki we wszystkich kluczowych punktach sieci.

Wymagane będzie zastosowanie liczników 3-fazowych, dwukierunkowych, do pomiaru energii czynnej i biernej (wymagania takie spełnia np. licznik E650 ZMD410CT44.0459 firmy Landis+Gyr), wyposażonych w szereg dodatkowych elementów i funkcji, takich jak [8]:

- moduł do taryfikacji energii i mocy oraz wewnętrzny zegar sterujący pracą modułu;
- rejestracja profili obciążenia dla wszystkich rodzajów energii – kolejne wartości rejestrów energii zapamiętywane co 15 minut;
- rejestracja energii całkowitej oraz dla każdej z faz;
- pomiar mocy całkowitej czynnej i biernej oraz dla każdej z faz oddzielnie;
- pomiary wartości sieciowych, takich jak napięcia, prądy, współczynnik mocy, współczynnik zawartości wyższych harmonicznych w napięciach i prądach, częstotliwość sieci;

Tabela 1. Charakterystyka technologii niskoenergetycznych sieci radiowych dalekiego zasięgu – LPWAN [5, 6, 7]

Technologia Parametry	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT, 3GPP	Wi-SUN IEEE 802.15.4g	LTE Cat M1
Częstotliwość pasma, rodzaj	863–870 MHz (868,0–868,2 MHz)	863–870 MHz (867,0–868,6 MHz)	GSM 900 MHz, LTE 800 MHz, Standalone GSM LTE – In-Band LTE – Guard Band	863–870 MHz	LTE 800 MHz
Ilość kanałów/ szerokość kanału	2000/100 Hz	8/125 kHz (250, 500 kHz)	DL: 12/15 kHz (OFDM) UL: 12/15 kHz (SC-FDMA)	35/200 kHz	6/180 kHz
Modulacja	DBPSK (Differential Binary Phase Shift-Keying)	CSS (Chirp Spread Spectrum), GFSK	BPSK, QPSK	FSK, GFSK	BPSK, QPSK, 16QAM
Prędkość transmisji	UL: 100 bps DL: 600 bps Max. payload 12 bajtów, 140 pakietów/dzień	0,3–11 kbps <50 kbps (FSK)	20–250 kbps	50–300 kbps	<1 Mbps
Moc wyjściowa	14 dBm	14 dBm	20/23 dBm	14 dBm	20/23 dBm
Rodzaj sieci	Prywatna SIGFOX, konfiguracja gwiazda	Prywatna, konfiguracja gwiazda, Mesh	Sieć komórkowa LTE	Prywatna, konfiguracja Mesh	Sieć komórkowa LTE
Zasięg: miasto/teren wiejski	9/40 km	5/15 km	35 km	2/5 km	–
Praca na baterii	20 lat	10 lat	10 lat	w trakcie testów	5–10 lat

- rejestracja zdarzeń mających wpływ na rzetelność pomiarów, funkcje antykradzieżowe;
- dodatkowe wyjścia dwustanowe, pozwalające na konfigurowanie sygnałów alarmowych;
- dodatkowy zasilacz podtrzymujący pracę licznika w przypadku wyłączenia danego odbiornika lub punktu pomiarowego;
- interfejsy komunikacyjne obejmujące zarówno standardy złączy elektrycznych (RS232, RS485) jak i standardy protokołów komunikacyjnych, z których najczęściej stosowanym jest protokół opisany pakietem norm serii IEC 62056, nazwany protokołem dlms.

W rozbudowanym systemie pomiarowym możliwe będzie także zastosowanie tak zwanych liczników inteligentnych, które instalowane będą głównie u odbiorców komunalnych, posiadające oprócz wcześniej wymienionych funkcji standardowych także funkcje dodatkowe, takie jak:

- zdalnie sterowany rozłącznik, pozwalający na wyłączenie poszczególnych odbiorców po przekroczeniu przez nich określonego poziomu pobieranej mocy czynnej;
- dodatkowy interfejs do komunikacji z siecią domową – Home Area Network;
- możliwość wysyłania z systemu pomiarowego na wyświetlacz licznika informacji tekstowych przeznaczonych dla danego klienta.

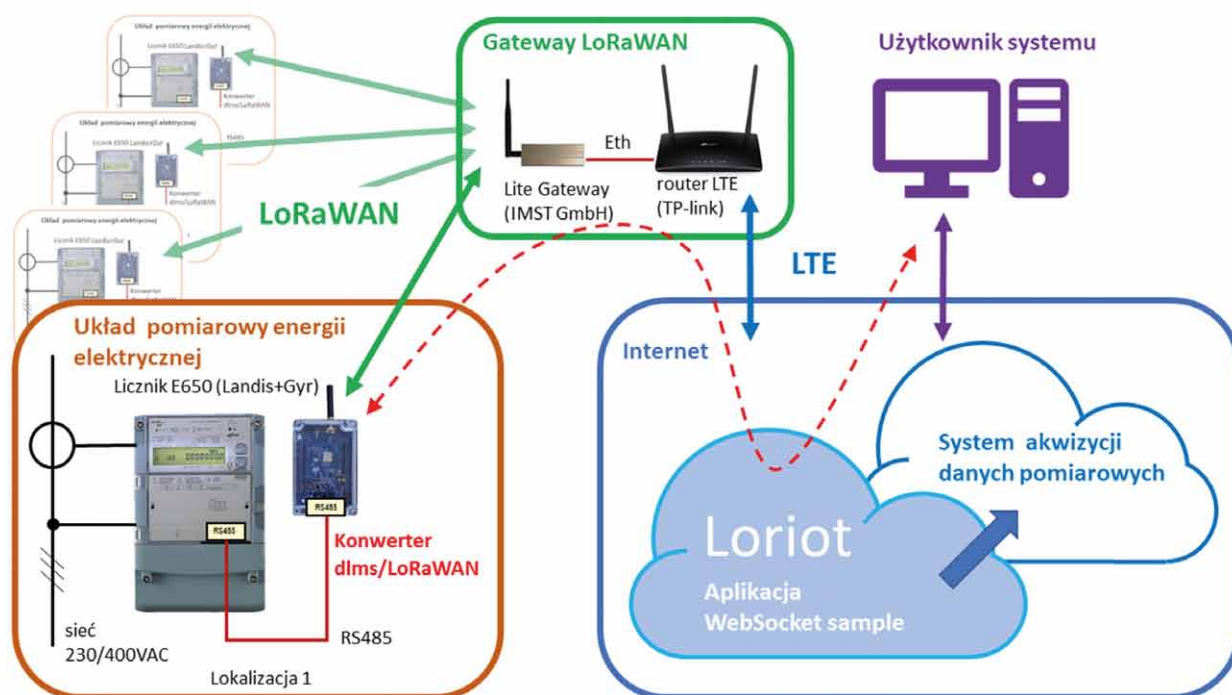
Spośród wymienionych powyżej funkcji interfejsy komunikacyjne nabierają szczególnego znaczenia w kontekście nowych

technologii informatycznych opartych na platformach chmurowych do przetwarzania i wizualizacji danych, rozwoju usług sieciowych oraz wykorzystania algorytmów sztucznej inteligencji do sterowania obiektami. W przypadku systemów pomiarowych warunkiem determinującym wprowadzenie nowych rozwiązań informatycznych jest ciągły dostęp do danych pomiarowych w czasie rzeczywistym, a tym samym dostęp do interfejsu komunikacyjnego licznika.

Wspomniany wcześniej protokół dlms jest sprawdzonym i stosowanym standardem komunikacji w układach pomiarowych energii elektrycznej. Wykorzystywany jest w licznikach bezpośrednich 1-fazowych (np. typu *smart*) przeznaczonych do zainstalowania u odbiorców komunalnych, jak i w licznikach 3-fazowych zainstalowanych w przyłączach budynków, w centrach handlowych, budynkach biurowych oraz u odbiorców przemysłowych. Protokół posiada dwie cechy istotne z punktu widzenia sposobu komunikacji:

- wymiana danych pomiędzy urządzeniem a systemem odczytowym oparta jest o model client/server, w którym licznik pełni funkcję serwera;
- protokół jest zorientowany połączeniowo, gdzie sesja komunikacji obejmuje 3 fazy: nawiązanie połączenia na poziomie aplikacji, wymianę pakietów i odczyt danych oraz zakończenie sesji połączeniowej; całość procesu musi trwać nieprzerwanie [9].

Protokół został pierwotnie opracowany do odczytu liczników poprzez sieć komutowaną telefonii stacjonarnej. Następnie był stosowany w sieciach GSM kolejnych generacji: 2G, 3G



Rys. 1. Schemat kanału komunikacyjnego do odczytu liczników energii elektrycznej w sieci LoRaWAN z wykorzystaniem konwertera dlms/LoRaWAN i platformy chmurowej Loriot (opracowanie własne)

aż do obecnie stosowanej sieci 4G – LTE. Struktura protokołu pozwala użytkownikom posiadającym odpowiednie uprawnienia na nawiązanie połączenia i otwarcie sesji komunikacyjnej, a następnie na zdalny dostęp do danych i parametrów licznika. Komunikacja najczęściej wymaga zastosowania modemów lub routerów sieciowych i korzystania z płatnych usług operatorów telefonii komórkowej dla zapewnienia wymaganej ciągłości połączenia oraz małych opóźnień (rzędu kilkuset milisekund) przesyłanych pakietów.

Opisany sposób komunikacji wynika z koncepcji architektury systemu akwizycji danych. Aplikacja, razem z bazą danych, zainstalowana jest w centralnej lokalizacji, skąd inicjowane są (np. raz na dobę) połączenia z licznikami i odczyt danych pomiarowych. Oprogramowanie musi posiadać zaimplementowane drivery protokołów, zapewniające odczyt urządzeń różnych producentów. Mimo że obowiązuje jeden standard – norma IEC 62056 – w praktyce każdy z producentów implementuje go w liczniku w nieco odmienny sposób, co prowadzi w systemie do konieczności zaimplementowania kilku driverów protokołu dlms.

4.2. Warstwa komunikacyjna

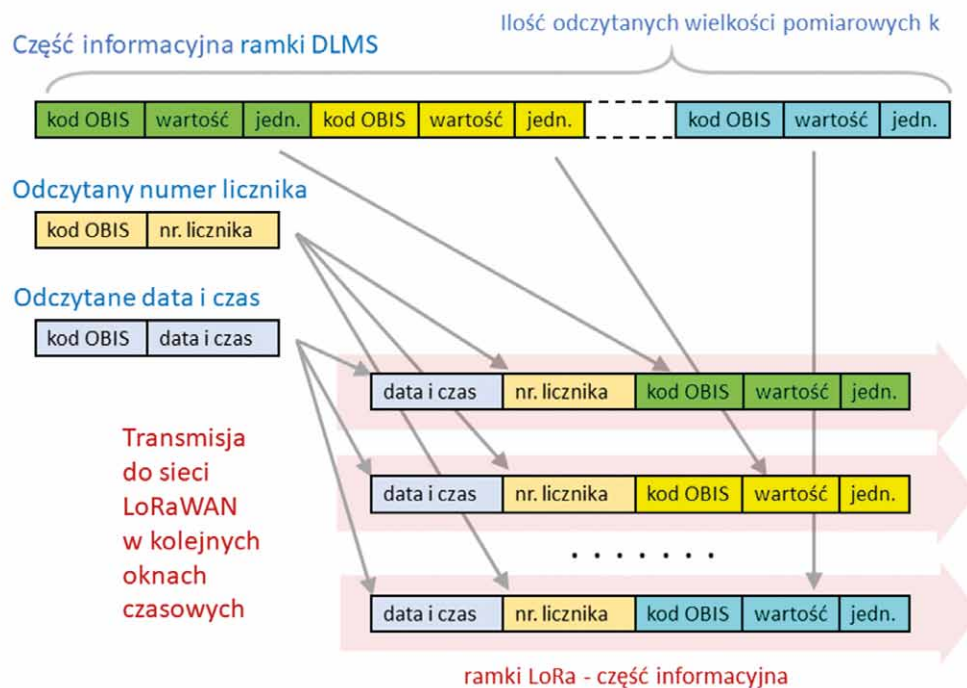
Drugim elementem systemu opomiarowania są urządzenia warstwy komunikacyjnej oraz zastosowana technologia sieciowa. Dotychczas najczęściej stosowanym rozwiązaniem była wspomniana już sieć operatora telefonii komórkowej lub sieć ethernetowa TCP/IP, jeśli została ona wcześniej doprowadzona do wszystkich miejsc zainstalowania liczników. Oba rozwiązania mają swoje ograniczenia. Ograniczenie pierwszego

z wymienionych związane jest z koniecznością ponoszenia opłat za usługi telekomunikacyjne. Drugie z kolei wymaga posiadania rozbudowanej wewnętrznej sieci TCP/IP, ponieważ jej rozbudowa tylko na potrzeby systemu pomiarowego powoduje przewymiarowanie kanałów komunikacyjnych i jest nieopłacalna.

Wykorzystanie sieci LoRaWAN do komunikacji z licznikami energii elektrycznej wymagało rozwiązania dwóch, przedstawionych poniżej problemów.

- Cechy protokołu dlms uniemożliwiają włączenie liczników wprost do sieci LoRaWAN bez konieczności zastosowania dodatkowych urządzeń pośredniczących. Sieć nie zapewnia wymaganej przez dlms ciągłości połączenia, ponieważ z powodu ograniczeń w zajętości pasma ISM do wartości 1% wymagane jest zachowanie odstępów czasowych pomiędzy kolejnymi ramkami danych. Nawet przy największych przewidywanych prędkościach odstęp pomiędzy ramkami może dochodzić do 2 sekund [10].
- Protokół sieci LoRaWAN dla urządzeń końcowych klasy A zakłada przede wszystkim komunikację jednokierunkową (*uplink*), a więc przesył danych z urządzenia do serwera aplikacyjnego [11]. Nie jest przewidywana duża przepustowość kanału dla kierunku *downlink*. Cecha ta całkowicie uniemożliwia zastosowanie trybu połączenia sesyjnego dlms, w którym odczyt polega na wymianie ramek typu zapytanie – odpowiedź.

Aby rozwiązać przedstawione problemy, opracowano konwerter protokołu dlms/LoRaWAN, którego głównym zadaniem jest



Rys. 2. Przetwarzanie części informacyjnej ramki dlms z danymi pomiarowymi na odpowiadające im zawartości ramek w sieci LoRaWAN

(opracowanie własne)

cykliczne lokalne odczytywanie danych pomiarowych z licznika energii elektrycznej z wykorzystaniem protokołu dlms, przetwarzanie ich do formatu i wielkości pakietów możliwych do transmisji poprzez sieć LoRaWAN, a następnie wysyłanie kanałem radiowym do gatewaya sieci. Strukturę kanału komunikacyjnego z zastosowaniem konwertera przedstawiono na rysunku 1. Urządzenie wyposażone jest w trzy porty komunikacyjne:

- interfejs RS485 przeznaczony do lokalnej komunikacji z licznikiem, obsługiwany przez zaimplementowany w konwerterze driver protokołu dlms;
- port USB wykorzystywany do parametryzowania urządzenia i lokalnego monitorowania odczytywanych danych pomiarowych oraz do zasilania konwertera; w przypadku, gdy lokalne monitorowanie nie jest konieczne, port służy jedynie do podłączenia zasilacza sieciowego;
- interfejs radiowy LoRa z wbudowanym stosem protokołu sieci LoRaWAN, dostarczonym przez firmę ST Microelectronics w formie bibliotek do oprogramowania wewnętrznego dla mikrokontrolerów STM32L0 – ARM Cortex M0+.

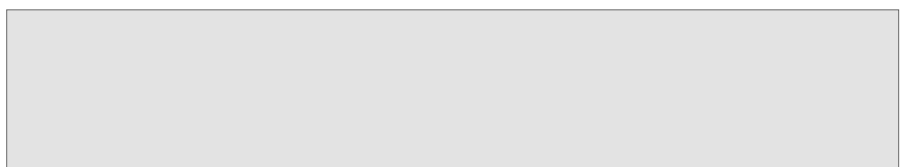
Z punktu widzenia sieci konwerter staje się urządzeniem końcowym – *end-nodem*, który z jednej strony realizuje wymianę danych z licznikiem w trybie *client/server*, z drugiej zaś strony jest źródłem danych okresowo wysyłanych w trybie *push* poprzez gateway do aplikacji zajmującej się akwizycją danych pomiarowych. Strukturę logiczną oraz sposób przetwarzania części informacyjnej

jednej ramki dlms na odpowiadający jej zestaw kilku ramek sieci LoRaWAN przedstawiono na rysunku 2. Konwerter pozwala na sparametryzowanie częstotliwości odczytu licznika oraz listy odczytywanych wielkości. Podczas testowania pracy konwertera w układzie przedstawionym na rysunku 1 co 5 minut dokonywano odczytu 10 różnych wielkości, rejestrowanych lub mierzonych przez licznik. Format części informacyjnej ramek LoRa może być w dowolny sposób przygotowany, w zależności od wymagań aplikacji zajmującej się akwizycją danych. Jednym z popularnych formatów, stosowanych na przykład w aplikacjach webowych, jest format JSON możliwy do zaimplementowania w oprogramowaniu konwertera.

4.3. Warstwa aplikacji

Zastosowanie konwertera pozwala na zmianę architektury systemu akwizycji danych pomiarowych i przesunięcie odczytu licznika do urządzenia lokalnego. Zmienia się charakter pracy oprogramowania, nie jest to aplikacja realizująca harmonogram odczytu (odpytywania) wszystkich liczników raz na dobę lub raz na kilka godzin, ale system działający w trybie nasłuchu, zbierający online dane przychodzące z wielu urządzeń w tym samym czasie. Sama koncepcja tak działającego systemu nie jest

reklama



nowa. Odczyt liczników energii elektrycznej z wykorzystaniem sieci LoRaWAN był realizowany w systemach służących do rozliczania odbiorców komunalnych, gdzie zastosowano specjalnie zaprojektowane do takiego rozwiązania liczniki z wbudowanym wewnętrznym modemem radiowym, pracującym w standardzie LoRa [12]. W zakresie protokołu komunikacyjnego odczyt ograniczony był tylko do jednej wielkości mierzonej energii czynnej.

Konwerter dlms/LoRaWAN, podłączony do liczników energii elektrycznej zainstalowanych w przyłączach do sieci elektroenergetycznej oraz w sieci wewnętrznej odbiorcy, pozwala na akwizycję danych ze standardowych urządzeń wyposażonych w interfejs dlms.

Wracając do opisu systemu zarządzania inteligentnym budynkiem, zawartego na początku opracowania, można zastanowić się, jak umieścić przedstawioną powyżej architekturę w strukturze systemu BMS lub OMS. W przypadku dużej liczby urządzeń – konwerterów oraz zwiększenia częstotliwości odczytów otrzymujemy strumień informacji, który w warstwie nadrzędnej będzie wymagał przetwarzania potokowego.


Kolejnym rozwiązaniem w zakresie warstwy aplikacyjnej może być przeniesienie akwizycji danych na platformę chmurową lub wykorzystanie gotowych platform oferujących usługi zarządzania siecią LoRaWAN. Popularnymi platformami tego typu są: The Things Network, Lorient, Actility, Cisco, ResIOT. Oferowane na platformach usługi dla zastosowań komercyjnych są płatne, stąd takie rozwiązania wymagają odpowiednich wcześniejszych kalkulacji finansowych. Wśród oferowanych usług jest także integracja sieci LoRaWAN ze środowiskiem programistycznym Microsoft Azure, zlokalizowanym w chmurze, oraz możliwość wykorzystywania oferowanych na platformie aplikacji dla Internetu Rzeczy.

5. Podsumowanie

Spośród dostępnych bezprzewodowych sieci komunikacji niskoenergetycznej do analizy wybrana została technologia LoRaWAN. Sieć LoRaWAN została wykorzystana do zdalnego odczytu liczników energii elektrycznej i monitoringu sieci zasilającej w inteligentnym budynku. Proponowany system zdalnego odczytu i monitoringu składa się z warstwy sprzętowej, którą stanowią liczniki energii, warstwy komunikacyjnej, którą stanowi opracowany konwerter protokołu dlms/LoRaWAN, oraz warstwy aplikacji, w której można wykorzystać gotowe platformy chmurowe. Przedstawiony system, oparty na komunikacji za pomocą sieci LoRa, spełnia warunki stawiane systemom opomiarowania zużycia energii w inteligentnych budynkach. W obiektach takich dostęp do danych w czasie rzeczywistym warunkuje możliwość optymalnego zarządzania poborem mocy, a w przypadku funkcjonowania mikrogeneracji także odpowiednie zarządzanie dostępem do zmagazynowanej energii. Technologia LoRaWAN, jako jedna z przedstawicieli sieci bezprzewodowych niskoenergetycznych, może być z powodzeniem wykorzystywana w inteligentnych budynkach do monitorowania sieci elektrycznej, zdalnego odczytu liczników energii elektrycznej, ciepła i wody.

Literatura

- [1] NOWAK M., URBANIAK A.: *Rozwój automatyki. Cz. 1. „Builder”* 6/2018.
- [2] NOWAK M.: *Innowacyjne rozwiązania informatyczne wspomagające systemy sterowania, monitorowania i wizualizacji w inżynierii środowiska* [w:] DYMACEWSKI Z., JEŻ-WALKOWIAK J., NOWAK M., URBANIAK A. (RED.): *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, Wyd. PZITS O/Wielkopolski, Poznań 2018, s. 233–244.
- [3] NOWAK M., URBANIAK A.: *Rozwój systemów automatyki i zarządzania w budynkach* [w:] CZARNECKI L. (RED.): *Innowacyjne wyzwania techniki budowlanej*, Wyd. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2017, s. 241–260.
- [4] KOPERSKI B., NOWAK M., SZYMBORSKA A.: *Wykorzystanie standardu LoRaWAN do budowy bezprzewodowych sieci sensorowych w inteligentnych budynkach*. „Napędy i Sterowanie” 6/2016.
- [5] LoRa Alliance Website, LoRa Technology, <https://loro-alliance.org/about-lorawan> (dostęp: 15.11.2018).
- [6] HARADA H., MIZUTANI K., FUJIWARA J., MOCHIZUKI K., OBATA K., OKUMURA R.: *IEEE 802.15.4g Based Wi-SUN Communication System*. IEICE Transactions on Communication, vol.E100-B, no. 7, July 2017, DOI: 10.1587/transcom.2016SCI0002.
- [7] SINHA S.R., WEI Y., HWANG S.: *A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT*, Division of Electronics and Electrical Engineering, Dongguk University – Seoul, Korea 2017.
- [8] *E650 Seria 3 Podręcznik użytkownika. Liczniki energii elektrycznej w standardzie IEC/MID. Segment przemysłowy i komercyjny (I&C), D000030110_n_PL*, Landis+Gyr AG, 2016-04-07 (wersja elektroniczna).
- [9] Green Book Edition 8.3, *Excerpt from Companion Specification for Energy Metering, DLMS/COSEM Architecture and Protocols*, DLMS User Association, 2017-06-30 (wersja elektroniczna).
- [10] ADELANTADO F., VILAJOSANA X., TUSET-PEIRO P., MARTINEZ B., MELIÀ-SEGUÍ J., WATTEYNE T.: *Understanding the Limits of LoRaWAN*. IEEE Communications Magazine, vol. 55, June 2017, DOI:10.1109/MCOM.2017.1600613.
- [11] LoRa Alliance Technical Committee, *LoRaWAN™ 1.1 Specification, Version 1.1*, LoRa Alliance, October 11, 2017, https://loro-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_specification_v1.1.pdf (dostęp: 15.11.2018).
- [12] Semtech White Paper, *Real-world LoRaWAN™ Network Capacity for Electrical Metering Applications*, Semtech Corporation, www.semtech.com/iot, September 2017.

 dr inż. Mariusz Nowak – adiunkt w Instytucie Informatyki na Wydziale Informatyki Politechniki Poznańskiej,
e-mail: Mariusz.Nowak@put.poznan.pl;

mgr inż. Piotr Derbis – student kierunku Informatyka na Wydziale Informatyki Politechniki Poznańskiej, specjalność Aplikacje wbudowane i mobilne dla Internetu Rzeczy,
e-mail: Piotr.Derbis@student.put.poznan.pl