

Analiza technologii monitoringu i sterowania w budynkach – Prosumenckie Mikroinstalacje Energetyczne

Andrzej Ożadowicz, Jakub Grela

Wstęp

Poprawa efektywności energetycznej, zrównoważenie poziomów popytu i podaży na energię oraz aktywne wdrożenie elementów inteligentnych sieci elektroenergetycznych – Smart Grid – to kwestie podnoszone coraz częściej w dyskusjach dotyczących przyszłości i rozwoju infrastruktury budynków, zarówno komercyjnych, publicznych, przemysłowych, jak i mieszkalnych, usługowych. Jednym z elementów tego rozwoju jest implementacja odnawialnych źródeł energii (OZE) o znacznym stopniu rozproszenia, najlepiej blisko miejsca użytkowania energii, tzn. w instalacjach odbiorców końcowych. Posiadanie przez nich własnych, zintegrowanych źródeł energii pozwoli na częściowe uniezależnienie się od sieci dystrybucyjnej, a w niektórych sytuacjach również na sprzedaż energii do sieci. Taki odbiorca staje się tzw. prosumentem, a utworzona instalacja energetyczna, swego rodzaju hybryda sieci dystrybucyjnej i alternatywnych źródeł energii, to Prosumencka Mikroinstalacja Energetyczna (PME) [1, 2, 3]. Niestojący charakter mocy wyjściowej OZE, zależny od zmian energii pierwotnej (słońca, wiatru, biomasy), determinuje konieczność stosowania specjalizowanych układów energoelektronicznych, które umożliwiają dopasowanie parametrów generowanej energii do wymagań eksploatacyjnych sieci dystrybucyjnej lub odbiorników oraz zmiennego charakteru zapotrzebowania na moc ze strony użytkowników, konsumentów. Zatem, ponieważ PME wymaga skutecznego zarządzania energią, zarówno tą pozyskiwaną z OZE, jak i tą magazynowaną lokalnie w systemie oraz konsumowaną przez odbiorniki, istnieje konieczność implementacji w ramach PME w budynkach, systemu zarządzania energią (ang. *Energy Management System* – EMS). Organizację EMS ułatwiają sieciowe systemy automatyki przemysłowej i budynkowej, w szczególności tzw. sieci rozproszone, integrujące czujniki, elementy wykonawcze i moduły sterujące na poziomie obiektowym. Ponadto systemy EMS mogą być połączone z sieciami nadrzędnymi standardu IP (teleinformatyczne), co pozwala na zdalne ich zarządzanie i monitoring parametrów pracy urządzeń sieciowych, a co za tym idzie – obsługiwanych przez nie elementów infrastruktury budynkowej. Dlatego też w budynkach z PME proponuje się instalację systemu zarządczo-sterowniczego BMS (ang. *Building Management System*) z funkcjami sterowania pracą odbiorników energii elektrycznej oraz w funkcjach monitorowania i sterowania elementami innych budynkowych instalacji energetycznych, np. zasobników energii cieplnej, biogazu itp. Funkcjonalność ta umożliwi racjonalną gospodarkę energią

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę możliwości technicznych wykorzystania systemów automatyki budynkowej, monitoringu i sterowania w budynkach w organizacji systemów zarządzania energią dla obiektów dodatkowo wykorzystujących odnawialne źródła energii. Efektywne użytkowanie takich źródeł, w połączeniu z klasycznymi instalacjami zasilania w energię elektryczną, wymaga sprawnej dystrybucji energii w mikroinstalacji energetycznej budynku, w zależności od zapotrzebowania ze strony użytkowników, podsystemów infrastruktury budynkowej oraz podaży i popytu ze strony dostawców energii, aktualnej taryfy cenowej itp. Budowa systemów sterowania i monitoringu, realizujących tę ideę, wymaga z kolei zastosowania nowoczesnych standardów komunikacji danych, w oparciu o technologie rozproszonych sieci obiektowych oraz Internetu Rzeczy.

🇬🇧 MONITORING AND CONTROL TECHNOLOGIES ANALYSIS – ENERGY MICROINSTALLATIONS FOR PROSUMERS

Abstract: In this paper authors present a technical analysis of building automation, monitoring and control systems implementations possibility in energy management systems applications for buildings, equipped with additional, renewable energy sources. Effective use of this kind of the energy sources, together with classic energy supply networks, needs efficient energy distribution and flows control in energy micro-installations, depending on users and different subsystems demands as well as supply and demand from energy suppliers, actual tariffs etc. Implementation of the control and monitoring systems to support this idea requires the use of modern data communication standards, based on integrated, distributed field-level networks and the Internet of Things technologies.

w budynkach prosumentów i współpracę z obecnie istniejącymi i rozwijanymi systemami automatyki budynkowej (KNX, LonWorks, BACnet). Koncepcja ta jest także charakterystyczna dla Infrastruktury Sieci Domowej (ISD), rekomendowanej przez Urząd Regulacji Energetyki jako bardzo istotny element inteligentnych sieci Smart Grid. Obiekty z PME, wyposażone w takie systemy sterowania i monitoringu energii, osiągną poziom technologiczny Smart Grid Ready [1, 4, 5].

Otwarte standardy sieciowe w organizacji systemów BMS i EMS

Sieciowe systemy sterowania dedykowane do budowy platform BMS i EMS w budynkach powinny bazować na międzynarodowych standardach, zapewniających ich otwartość i interoperacyjność. Dzięki temu możliwe jest instalowanie w sieci modułów pochodzących od różnych producentów i ich integracja fizyczna i funkcjonalna już na poziomie obiektowym. Taki system jest elastyczny, może być rozbudowany o kolejne elementy, obsługujące różne podsystemy infrastruktury budynkowej. Organizacja sieci otwartych cechuje się rozproszeniem poszczególnych urządzeń realizujących określone funkcje, które połączone ze sobą w warstwie logicznej, wykonują zaawansowane zadania automatyki budynku [3, 6]. Ponadto dla budynków różnego typu, przeznaczenia i kubatury należy zwrócić uwagę na sposób organizacji systemów BMS. W systemach istniejących oraz nowo instalowanych w budynkach możliwe jest wyróżnienie: (a) niezależnych systemów specjalizowanych, (b) systemów zcentralizowanych, (c) systemów rozproszonych i zintegrowanych systemów rozproszonych oraz (d) systemów rozwijanych w ramach koncepcji Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things* – IoT), w tym też znaczące upowszechnienie komunikacji bezprzewodowej. W budynkach proponowanych do implementacji elementów PME realizowane powinny być w szczególności systemy bazujące na architektach (c) i (d). Koncepcja zintegrowanych systemów rozproszonych lub sieci sterowania (c) to rozwiązanie oparte o tzw. węzły sieciowe, moduły wyposażone w mikrokontrolery i interfejs sieciowy, połączone magistralą transmisji danych (możliwe różne nośniki transmisji danych). Każdy węzeł sieci posiada zdolność realizacji algorytmów sterowania, powiązanych z lokalnie przyłączonymi sygnałami procesowymi wejść/wyjść (czujniki, elementy wykonawcze), a także zdolność wymiany danych z innymi węzłami za pośrednictwem sieci. Istotnym elementem takiego systemu jest standardowy protokół wymiany danych, który jest implementowany w mikrokontrolerze każdego węzła sieci. Logika sterująca może być realizowana w ramach poszczególnych węzłów lub poprzez współdziałanie grup wybranych węzłów. Systemy takie są popularne we współczesnych systemach automatyki budynkowej. Oferują one praktycznie bezproblemową integrację funkcjonalną instalacji technologicznych, modułów automatyki i elementów monitoringu parametrów technicznych pracy urządzeń, zużycia energii itp. Pozwala to na realizację systemów BMS i EMS, które mogą znacząco wpływać na sprawność energetyczną wybranych systemów infrastruktury budynkowej, jak i całych budynków. Dlatego też rozwiązanie to powinno być stosowane w obecnie budowanych lub modernizowanych budynkach [7, 8].

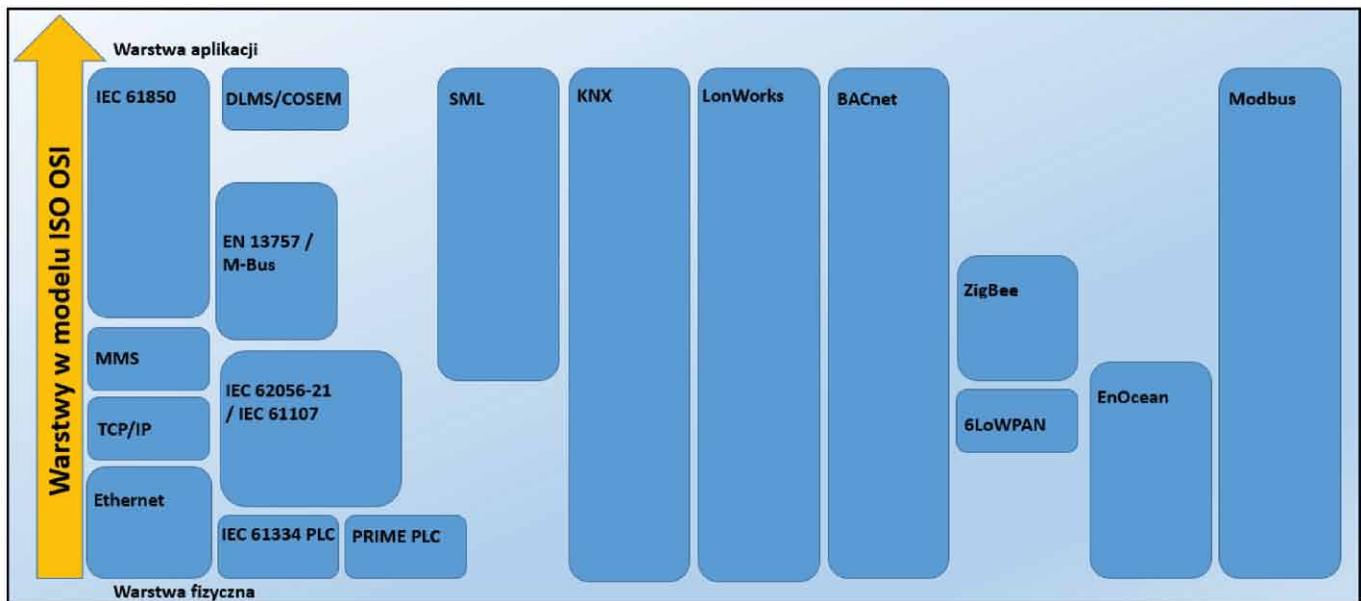
Ważnym kierunkiem rozwoju sieci sterowania i monitoringu w budynkach są nowe technologie dedykowane dla systemów BMS i instalacji prosumenckich oraz ewolucja istniejących standardów automatyki budynków w kierunku wspomnianej idei IoT czy też Budynkowego Internetu Rzeczy (BIoT). IoT to nowy paradygmat, wskazujący na wykorzystanie technologii sieci IT i protokołu IP w celu połączenia i wymiany danych różnych urządzeń, systemów, podsystemów i technologii wykorzystywanych w budynkach i w otoczeniu człowieka. Obserwowana

tendencja stałego wzrostu oczekiwań użytkowników budynków i odbiorców energii (poprawa komfortu użytkowania, zapewnienie bezpieczeństwa oraz redukcja zużycia energii) wymaga stosowania złożonych rozwiązań technologicznych i systemów sieciowych, ukierunkowanych na jak najpełniejszą integrację instalacji technologicznych. Zastosowanie koncepcji IoT w budynkach (BIoT) powinno umożliwić pełną, bezproblemową integrację różnych fizycznych obiektów, elementów instalacji technologicznych, w sieci Internet. W oparciu o IoT w budynkach rozwijana jest komunikacja typu M2M (*Machine-to-Machine*), umożliwiająca interakcję na poziomie obiektowym urządzeń pochodzących z różnych obszarów i podsystemów infrastruktury budynkowej. Dodatkowo w ramach implementacji BIoT zauważalny jest wzrost zastosowania sieci bezprzewodowych jako medium transmisji danych. Prowadzone są też prace rozwojowe nad platformami, które będą umożliwiały integrację popularnych otwartych standardów automatyki budynkowej z wykorzystaniem technologii IP. Na rynku automatyki budynkowej pojawiają się nowe grupy modułów i urządzeń, które mogą być wykorzystane w realizacji idei IoT [9, 10, 11, 12]. Wskazuje to wyraźnie kształtujące się już dziś tendencje rozwojowe systemów BMS i EMS, które powinny być uwzględniane w koncepcjach organizacyjnych systemów sterowania i monitoringu budynków z elementami PME.

Protokoły i standardy sieciowe współczesnych systemów automatyki budynkowej

Otwarte standardy komunikacji dla sieciowych systemów BMS i EMS oraz technologie dedykowane dla platformy IoT mogą korzystać z różnych protokołów transmisji danych i mediów transmisyjnych. Ich przemyślany dobór jest kluczowym elementem strategii budowy sieciowych, rozproszonych systemów zarządzania energią i automatyki budynkowej. Podstawowymi kryteriami wyboru danej technologii do realizacji systemów EMS są:

- otwartość standardu – zapewnia interoperacyjność oraz możliwości rozbudowy sieci w oparciu o współpracę różnych urządzeń, pochodzących od wielu producentów. Tylko standardy otwarte powinny być uwzględniane przez projektanta i inwestora przy budowie kompleksowego systemu zarządzania energią w ramach PME;
- korelacja protokołu do referencyjnego modelu systemów otwartych (model ISO OSI). Istotne jest określenie, czy dany standard koncentruje się na obsłudze niższych warstw modelu, związanych głównie ze sprzętem (warstwa fizyczna) – jak np. IEC 61334-5 lub IEC 62056-21, czy na wyższych warstwach modelu związanych z formatem danych (warstwa aplikacji) – jak np. DLMS/COSEM, czy na obu tych aspektach – jak np. KNX lub LonWorks. Na rysunku nr 1 została przedstawiona lokacja poszczególnych technologii w odniesieniu do warstw modelu ISO OSI;
- wymagane funkcjonalności i przeznaczenie zastosowania standardu. Podejście takie prowadzi do rozróżnienia technologii stosowanych w tzw. inteligentnych domach, skupiających się na komunikacji i automatyzacji procesów w ramach budynku, od standardów przeznaczonych dla inteligentnych sieci elektroenergetycznych Smart Grid, skupiających się na



Rys. 1. Lokacja poszczególnych technologii w odniesieniu do warstw modelu ISO OSI

aspektach związanych z komunikacją dalekiego zasięgu i zarządzaniem energią dostarczaną do budynków przez system elektroenergetyczny;

- ugruntowana pozycja rynkowa oraz wydajność i skalowalność.

Mnogość oferowanych współcześnie standardów i protokołów komunikacji dla sieciowych systemów automatyki może powodować dezorientację również wśród samych projektantów i integratorów systemów, wymaga bowiem ciągłego doskonalenia przez nich wiedzy technicznej i praktycznej. Dlatego w artykule zebrano podstawowe informacje o większości najpopularniejszych z nich, z ustaleniem uwagi odnośnie do parametrów technicznych i obszarów aplikacyjnych. Wybrane standardy pogrupowano wg sekcji: sekcje A do G to standardy odnoszące się do rozwiązań z obszaru Smart Grid, sekcje H do L odnoszą się do aplikacji w inteligentnych budynkach. Sieci dedykowane obsłudze systemów PME stanowią swego rodzaju miks standardów komunikacji z tych dwóch obszarów.

A. IEC 61850 and UCA 2.0

Projekt UCA (ang. *Utility Communications Architecture*) został opracowany na początku lat 90. XX w., z zamiarem wprowadzenia wspólnego standardu dla szybkiej komunikacji w branży elektroenergetycznej. Efektem tego projektu jest standard IEC 61850, definiujący zasady wymiany danych wewnątrz podstacji, ale również zasady komunikacji między podstacjami lub centrami sterującymi/pomiarowymi (IEC 62445-1 i -2) oraz w zastosowaniach pomiarowych. Założeniem projektowym standardu IEC 61850 było nie tylko utworzenie kolejnego protokołu komunikacyjnego, ale też standaryzacja całej automatyki stacji, począwszy od dokumentacji, a na wizualizacji kończąc. IEC 61850 oparto na komunikacji zorientowanej obiektowo oraz na oddzieleniu funkcji aplikacyjnych od funkcji komunikacyjnych, co umiejscawia IEC 61850 w warstwie aplikacji mo-

delu ISO OSI. W komunikacji zorientowanej obiektowo każdy obiekt realizuje funkcję lub stanowi część większej funkcji, również usługa komunikacyjna wymieniająca informacje między obiektami jest funkcją, która może zostać wywołana. Koncepcja ta pozwala opracować rozproszoną automatykę, zapewniającą szybką wymianę informacji – czasy poniżej 4 ms. Główną cechą standardu IEC 61850 jest jego wszechstronność w bezpośredniej wymianie informacji, co sprowadza się do podzielenia funkcji na możliwie najmniejsze elementy, zwane logicznymi węzłami, które komunikują się między sobą. Każdy węzeł logiczny ma swój zbiór danych, które podlegają wymianie z innymi węzłami w procedurze zwanej usługą. Dane oraz usługi z nimi związane są mapowane w stosach, indywidualnych dla każdego producenta [13, 14].

B. IEC 61334 PLC

Jednym ze standardów transmisji stosowanych do przesyłania danych z wykorzystaniem sieci rozdzielczej (medium transmisji są przewody energetyczne – PLC – ang. *Power Line Communication*) jest IEC 61334. To standard komunikacji wąskopasmowej, oferujący małe szybkości transmisji danych (do ok. kilkuset kb/s), przy odległościach dochodzących nawet do kilku kilometrów. Koncentruje się on na fizycznych aspektach związanych z komunikacją za pomocą sieci rozdzielczych, dlatego w modelu referencyjnym ISO OSI kojarzony jest z warstwą fizyczną. Komunikacja PLC z zastosowaniem standardu IEC 61334, wykorzystuje pojęcie tzw. szczeliny czasowej, względem której urządzenia biorące udział w transmisji synchronizują swoje układy nadawczo-odbiorcze. Podstawowa prędkość transmisji wynosi 300 b/s. Wyższe prędkości są jej krotnością. Stosowany jest tryb komunikacji klient – serwer. Urządzenie typu klient może adresować pytanie do jednego urządzenia, do określonej grupy urządzeń, a także do wszystkich urządzeń typu serwer. Standard ten jest stosowany do przesyłania danych pomiarowych z liczników do nadrzędnych systemów zbiorczych [15].

C. PRIME PLC

Technologia PRIME (ang. *Powerline Related Intelligent Metering Evolution*) to otwarta specyfikacja, tworząca wolne od opłat wąskopasmowe rozwiązanie komunikacyjne za pośrednictwem sieci zasilających. Opracowano ją do świadczenia różnych usług w ramach sieci Smart Grid. Specyfikacja PRIME obejmuje warstwę fizyczną PHY, warstwę łącza danych MAC oraz warstwę konwergencji dla IPv4 i IEC 61334-4-32, w celu efektywnej pod kątem złożoności, wąskopasmowej (<20 kb/s) transmisji danych w liniach energetycznych. Technologia PRIME stosuje pasmo częstotliwości od 41,992 kHz do 88,867 kHz (pasmo CENELEC-A). IEC 61334-5 i PRIME nie mogą współistnieć na tym samym segmencie sieci rozdzielczej. Technologia ta jest sprawdzona (wdrożenia w 10 krajach, w tym w Polsce, kilka milionów obsługiwanych urządzeń), otwarta i zapewniająca interoperacyjność pomiędzy urządzeniami pochodzącymi od różnych producentów [16].

D. IEC 62056-21/IEC 61107

Norma IEC 62056-21, zatytułowana „Lokalna bezpośrednia wymiana danych”, określa specyfikację dotyczącą sprzętu i protokołów do lokalnej wymiany danych, w celu odczytu liczników energii, sterowania taryfami i obciążeniem. Warstwę fizyczną opracowano z wykorzystaniem interfejsu optycznego (dioda LED i fotodioda) lub pary przewodów (pętla prądowa 4–20 mA). W wyższych warstwach zastosowano asynchroniczny protokół transmisji tekstowej w oparciu o kod ASCII (*half-duplex*). Możliwe są różne tryby pracy, oznaczone od A do D, z różnymi szybkościami transmisji, kierunkowością i bezpieczeństwem. Standard ten jest powszechnie stosowany, jednak należy zaznaczyć, że model wymiany informacji nie jest ustandaryzowany i wymaga mapowania. Dlatego komunikacja z miernikami może wymagać specyfikacji producenta, co ogranicza interoperacyjność.

E. SML (Sym2 project)

SML (ang. *Smart Message Language*) jest protokołem warstwy aplikacji, całkowicie niezależnym od niższych warstw architektury komunikacyjnej, jego specyfikacja ma charakter otwarty. Bazuje na prostych strukturach, które nadają się do użytku w urządzeniach wbudowanych o małej mocy, dlatego z powodzeniem może być stosowany w infrastrukturze AMI do komunikacji pomiędzy licznikami a koncentratorami danych. Protokół jest bezpołączeniowy, oznacza to, że nie jest wymagane zestawianie dwukierunkowego połączenia logicznego w warstwie aplikacji. SML charakteryzuje się dużą prostotą dzięki minimalizacji ilości danych przesyłanych przez system zdalnej komunikacji z licznikiem. Jest to osiągnięte na drodze kompresji danych, wykonywanej strumieniowo „w locie”. Dane z różnych liczników (np. w koncentratorze) podlegają łącznej kompresji – po stronie odbiorczej wymagana jest ich dekompresja i dekoncentracja. W odniesieniu do licznika protokół SML umożliwia komunikację typu *pull/push*. Typ *pull* to wymiana wymuszona przez koncentrator lub bezpośrednio przez system odczytowy (np. odczyt danych pomiarowych zarejestrowanych w ciągu doby), typ *push* to wymiana wymuszona przez licznik do koncentratora lub bezpośrednio do systemu odczytowego

(np. wysłanie informacji o próbie włamania do licznika). W typowych zastosowaniach pomiarowych, wiadomości SML są przetransportowane przy użyciu protokołu TCP/UDP w sieciach IP. Jednak dla łączy szeregowych takich jak GSM/PSTN lub bezpośredniego odczytu, również możliwe jest stosowanie protokołu SML. Należy podkreślić, że SML definiuje strukturę wiadomości, a nie model danych lub standardową listę funkcji czy też interfejs [17].

F. DLMS/COSEM lub IEC 62056

DLMS (ang. *Device Language Message Specification*) jest protokołem warstwy aplikacji, umożliwiającym projektowanie urządzeń pomiarowych opartych o modele odpowiednie dla danej funkcjonalności. Model przesyłanych danych COSEM (ang. *Companion Specification for Energy Metering*) jest w pełni znormalizowany i przydatny do realizacji funkcji w systemach AMI, definiuje on sposób komunikacji z licznikami w warstwie aplikacji. Funkcjonalność licznika jest reprezentowana przez klasy interfejsów COSEM, zgodne z normą IEC 62056-62. Model danych COSEM licznika jest w pełni niezależny od wykorzystanego protokołu warstwy aplikacji. Norma IEC 62056-53 definiuje protokół warstwy aplikacji przeznaczony m.in. do komunikacji z licznikami energii elektrycznej, którym jest DLMS. Został on znormalizowany na podstawie „otwartej” specyfikacji protokołu DLMS/COSEM. Protokół DLMS jest zorientowany połączeniowo. W układzie komunikacji z licznikiem rolę serwera pełni licznik, zaś rolę klienta koncentrator – gdy w systemie AMI komunikacja pośrednia z systemem odczytowym. Należy podkreślić, że obsługa i wsparcie DLMS/COSEM są oferowane również w wielu innych standardach, takich jak M-Bus, IEC 62056-21, -31 lub ZigBee, w celu obsługi istniejących instalacji pomiarowych [18].

G. EN 13757/M-Bus

Opisany w rodzinie norm EN 13757 standard M-Bus (ang. *Meter-Bus*) jest protokołem komunikacyjnym opracowanym do zdalnego odczytywania wskazań przyrządów pomiarowych (np. gazomierze, liczniki energii elektrycznej, inne przyrządy pomiarowe) oraz interakcji pomiędzy różnymi czujnikami lub elementami wykonawczymi. Standard M-Bus bazuje na zredukowanym modelu referencyjnym ISO OSI. Część nr 2 normy EN 13757 specyfikuje wymagania dotyczące interfejsu elektrycznego (warstwa fizyczna), a część nr 3 wymagania dotyczące protokołu komunikacyjnego (warstwa aplikacji). Standard wspiera kilka rodzajów mediów transmisji danych, np. para skręcona lub komunikacja bezprzewodowa w ramach Wireless M-Bus. Prędkości transmisji uzyskiwane w parze skręconej zawierają się w przedziale od 300 do 9600 bodów, a długości kanałów transmisji dla pojedynczych segmentów sieci mogą wynosić kilka kilometrów. Transmisja danych jest dobrze zabezpieczona przed wystąpieniem błędów. Typową właściwością tego standardu jest niezbyt częste odczytywanie mierzonych wartości, z niskimi wymogami odzewu w czasie rzeczywistym. Magistrała oparta o M-Bus spełnia dodatkowe funkcje, jak zdalne zasilanie modułu komunikacyjnego uczestniczącego w transmisji, tak by transmisja nie obciążała głównego modułu zliczającego, który jest najczęściej zasilany bateryjnie. M-Bus jest powszech-

nie stosowany i spełnia wymagania stawiane standardom do lokalnej wymiany danych, w ramach sieci Smart Grid [19].

H. KNX

Zatwierdzony jako norma międzynarodowa (ISO/IEC 1543-3) i europejska (CENELEC EN 50090 i CEN EN 13321-1), KNX jest jednym z międzynarodowych, otwartych, magistralnych standardów rozproszonych sieci automatyki budynkowej. Promująca standard organizacja zrzesza ponad 300 firm dostarczających produkty zgodne ze standardem KNX. Jako medium transmisji danych w sieciach standardu KNX możliwe jest wykorzystanie sieci rozdzielczej Power Line, radia lub – co jest realizowane w praktyce najczęściej – dedykowanego czterożyłowego, ekranowanego przewodu, zwanego magistralą komunikacyjną. Urządzenia wchodzące w skład systemu KNX zasilane są za pomocą specjalnych zasilaczy przyłączanych do magistrali (29 V DC). Napięcie 230 V AC doprowadzane jest bezpośrednio tylko do odbiorników prądu, takich jak lampy czy gniazda elektryczne. Transmisja danych odbywa się z prędkością 9,6 kb/s. Dla uniknięcia błędów transmisji stosowany jest mechanizm potwierdzeń odbioru poprawnej wiadomości. Protokół standardu KNX obejmuje 5 warstw zgodnych z modelem ISO/OSI. Standard KNX umożliwia realizację zintegrowanych, kompleksowych systemów automatyki, w których oddziałujące na siebie urządzenia zapewniają funkcje poprawy komfortu użytkownika budynków, bezpieczeństwa użytkowników oraz ograniczenia zużycia energii elektrycznej i innych mediów energetycznych w budynkach. Dostępne są liczniki energii elektrycznej oraz ciepłej lub moduły koncentratorów danych, wyposażone w interfejs komunikacyjny tej technologii [20].

I. LonWorks

Zatwierdzony jako grupa norm międzynarodowych (ISO/IEC 14908), standard LonWorks jest jednym z międzynarodowych, otwartych, magistralnych standardów rozproszonych systemów automatyki. Dedykowany jest do realizacji systemów sterowania w aplikacjach przemysłowych oraz w budynkach, obiektach użyteczności publicznej itp. Organizacja LonMark, odpowiadająca za ten standard, zrzesza ponad 400 firm dostarczających produkty zgodne ze standardem. Standard ten posiada kilka charakterystycznych cech. Pierwszą z nich jest specjalizowany mikroprocesorowy kontroler NeuronChip, implementowany w każdym urządzeniu sieciowym – węźle sieci. NeuronChip realizuje aplikacje funkcjonalne w węzłach sieci oraz funkcje dedykowane rozwiązywaniu konfliktów dostępu do wspólnej magistrali oraz adresowanie. W standardzie LonWorks dostępne są różne media transmisji danych: skręcona para przewodów, sieci elektroenergetyczne, światłowody, radio. Do komunikowania się węzłów wykorzystywany jest protokół LonTalk – kompletny siedmiowarstwowy protokół komunikacji, zgodny z modelem ISO OSI. Jego zastosowanie pozwala na standaryzację rozwiązań technologicznych różnych wytwórców urządzeń. Otwartość standardu zapewniają też zdefiniowane (ponad 200) standardowe typy zmiennych sieciowych SNVT. Dają one możliwość przekazywania danych pomiędzy urządzeniami różnych producentów. W standardzie LonWorks wykorzystano model komunikacji każdy z każdym P2P (ang.

peer-to-peer). Dostępne są liczniki energii elektrycznej oraz ciepłej lub moduły koncentratorów danych, wyposażone w interfejs komunikacyjny tej technologii [21].

J. BACnet

BACnet to otwarty protokół komunikacji, który umożliwia współdziałanie systemów budynkowych: sterowania i monitorowania, pochodzących od różnych producentów. Został opracowany przez ASHRAE i ustandaryzowany w ramach normy międzynarodowej (EN/ISO 16484-5). BACnet dostarcza mechanizmy wymiany informacji między urządzeniami i systemami, z możliwością implementacji:

- w oprogramowaniu stacji roboczych i serwerów (system zarządzania budynkiem lub zespołem budynków);
- w sterownikach swobodnie programowalnych, ogólnego przeznaczenia, jak i sterownikach do konkretnych aplikacji (sterowanie urządzeniami takimi, jak klimakonwektory, skrzynki VAV (ang. *Variable Air Volume* – zmienna ilość powietrza), pompy ciepła, kontrolery dostępu, centrale pożarowe);
- w „inteligentnych” czujnikach pomiarowych;
- w elementach wykonawczych (siłowniki, falowniki).

Protokół BACnet jest niezależny od sprzętu. Dzięki temu producent dowolnie decyduje o rodzaju procesora wykorzystanego do implementacji protokołu, o architekturze urządzenia lub o zasobach. W specyfikacji protokołu zdefiniowane są 4 warstwy modelu ISO/OSI: fizyczna, łącza danych, sieci oraz aplikacji. W warstwie fizycznej i łącza danych BACnet udostępnia pięć opcji: Ethernet (z ISO 8802-2), ARCNET (z ISO 8802-2), MS/TP (poprzez RS485), PTP (*point-to-point*) poprzez EIA-232 i LonTalk. Każde urządzenie sieci BACnet posiada unikatowy adres MAC (ang. *Medium Access Control*). W standardzie BACnet zdefiniowano sześć klas zgodności, określających zbiór wymaganych usług aplikacyjnych, a tym samym możliwości urządzeń w sieci BACnet, zgodnie z rosnącym numerem klasy, od prostego czujnika (klasa 1) do uniwersalnego sterownika (klasa 6). BACnet nie narzuca struktur używanych do przechowywania danych w urządzeniu implementującym ten standard. Jednak, aby urządzenia mogły się ze sobą komunikować, zdefiniowano obiektową reprezentację danych. W BACnet zdefiniowano zbiór standardowych typów obiektów oraz usług i ich własności, które służą do dostępu i operowania na obiektach (elementy należą do warstwy aplikacji). Producent systemu ma możliwość implementacji własnych obiektów lub własności, przy czym niestandardowe obiekty muszą mieć co najmniej własności wymagane w standardzie. Wszystkie urządzenia zgodne z protokołem BACnet powinny mieć dokument zwany PICS (ang. *Protocol Implementation Conformance Statement*), który pokazuje, w jakiej części standard został zaimplementowany. Jest to dokument tworzony przez producenta [22, 23].

K. ZigBee (*Smart Energy Profile*)

Technologia ZigBee to implementacja standardu IEEE 802.15.4. Umożliwia tworzenie bezpiecznych, energooszczędnych sieci bezprzewodowych, stosowanych głównie w automatyce budynków. Standard obsługuje wiele topologii siecio-

wych: kraty (ang. *Mesh*, z dynamiczną modyfikacją ścieżek łączących węzły, w zależności od zmieniających się warunków), *peer-to-peer* oraz gwiazdy, które mogą składać się z 65 536 urządzeń. Sieć specyfikacji ZigBee tworzą trzy typy urządzeń: koordynator, router, end (urządzenie końcowe).

Minimalizacja zużycia energii elektrycznej w węzłach sieci uzyskiwana jest również poprzez wejście w stan uśpienia urządzeń końcowych. Jest to możliwe, ponieważ przejście ze stanu hibernacji do stanu aktywności oraz uzyskanie dostępu do kanału transmisji odbywa się w czasie mniejszym niż 15 ms. Urządzenia końcowe, które przechodzą w stan uśpienia, mogą działać bez wymiany źródła zasilania przez wiele lat. W celu ułatwienia doboru urządzeń oraz tworzenia aplikacji udostępnione zostały również standardy (profile), odpowiadające najpopularniejszym zastosowaniom i innowacyjnym rozwiązaniom. Pośród nich można wyróżnić: ZigBee Home Automation – profil dedykowany dla automatyki domowej, umożliwia sterowanie oświetleniem, temperaturą w pomieszczeniach, ochroną budynku oraz odtwarzaniem multimedialnych; ZigBee Building Automation – profil wspierany przez BACnet, zapewnia łączność bezprzewodową między kontrolerami, sterownikami oświetlenia, czujnikami i innymi urządzeniami w budynkach komercyjnych; połączenie ZigBee oraz sieci przewodowej protokołu BACnet odbywa się dzięki zastosowaniu tzw. BACnet Tunneling; ZigBee Smart Energy – profil, w którym znajdują się rozwiązania wspomagające idee tworzenia technologii Smart Grid oraz Smart Metering. Mierniki zgodne z technologią ZigBee pozwalają na pomiar zużycia energii elektrycznej, gazu, wody i energii cieplnej. Za ich pomocą możliwe jest odczytywanie informacji w czasie rzeczywistym lub w razie potrzeby ich gromadzenie w liczniku lub zaprojektowanej bazie danych.

Protokół ZigBee zawiera bardzo zaawansowane opcje bezpieczeństwa przesyłanych informacji. Nad technologią ZigBee kontrolę sprawuje stowarzyszenie *non-profit* zrzeszające ponad 150 firm z całego świata [23, 24].

L. 6LoWPAN

6LoWPAN – akronim angielskiego wyrażenia *IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks*, czyli niskonapięciowy protokół sieci bezprzewodowej PAN (ang. *Personal Area Network*), zwany również bezprzewodowym Internetem systemów wbudowanych. Zasadniczo jest to protokół IPv6, z pewnymi elementami pozwalającymi na jego bardziej efektywne wykorzystanie i implementację w komunikacji bardzo małych urządzeń i czujników, rozmieszczonych np. w ramach jednego budynku. Protokół 6LoWPAN jest związany z normą organizacji IETF (RFC 4944 opublikowana w 2007), która optymalizuje protokół IPv6 do pracy z niskimi napięciami oraz technologią niskiej szerokości pasma (2.4 GHz), jaką deklaruje standard radiowy IEEE 802.15.4. 6LoWPAN może być wykorzystany do realizacji koncepcji Internetu Rzeczy (IoT) poprzez implementację w czujnikach i elementach wykonawczych adresowania IP i oferowanych przez ten protokół funkcji [23].

M. Modbus

Modbus to protokół komunikacji ze sterownikami, programowalnymi kontrolerami, czujnikami i elementami wykonaw-

czymi – jest standardem zaakceptowanym przez wielu producentów urządzeń automatyki. Umożliwia zarządzanie systemami sterowania temperatury i wilgotności, systemami pomiaru zużycia energii i innych. Powstały wersje dla portu szeregowego (Modbus RTU i ASCII) i dla sieci Ethernet (Modbus TCP/IP). Modbus jest obecnie standardem otwartym. Definiuje podstawową jednostkę danych (PDU), niezależną od wykorzystywanych mediów transmisji danych. Modbus zapewnia możliwe szybkie przesłanie danych (np. przez grupowanie informacji o zawartości rejestrów i przesyłanie tylko jednego adresu początkowego), przy jednoczesnej kontroli przekłamań. Organizacja łączności między urządzeniami oparta jest na prostej zasadzie, gdzie nadrzędne jest jedno urządzenie typu *Master*, a reszta jest podrzędna typu *Slave* [23, 25].

N. EnOcean

Technologia EnOcean wykorzystuje bezprzewodowe medium komunikacyjne z zaawansowanymi elementami energooszczędności. Stosowana jest w systemach automatyki budynkowej. Spora część urządzeń jest bezbateryjna, a energia potrzebna do ich działania jest pobierana z otoczenia – fotowoltaika, piezoelektryk lub ciepło. Niekiedy urządzenia posiadają dodatkowo rezerwowe zasilanie bateryjne. System ten jest otwarty, co powoduje, że na rynku działa wielu producentów urządzeń korzystających z tego protokołu komunikacji, a urządzenia są wzajemnie kompatybilne. Standard opisano normą ISO/IEC 14543-3-10, a w jego ramach zaimplementowano warstwy odpowiadające trzem pierwszym z modelu referencyjnego ISO OSI. Sygnał radiowy może być transmitowany na dystansie 300 metrów w terenie otwartym oraz do 30 metrów w budynkach. Pakiety danych cechują się wielkością 14 bajtów, a prędkość transmisji wynosi 125 kb/s. Zastosowanie technologii EnOcean umożliwia np. sterowanie bezbateryjne, bezprzewodowe temperaturą pomieszczenia, oświetleniem, roletami czy układami HVAC [26].

Systemy EMS i BMS – platforma wsparcia w zarządzaniu instalacjami PME

Realizacja systemu automatyzacji i sterowania elementami infrastruktury budynkowej wymaga rzetelnej identyfikacji funkcjonalności instalacji technologicznych, funkcji pomieszczeń, a w przypadku implementacji elementów PME również analizy dostępnych źródeł energii i zapotrzebowania ze strony odbiorczej. Działania te powinny wynikać z założeń inwestycyjnych i być zrealizowane w procesie projektowania, który jest ściśle podporządkowany uzyskaniu określonej sprawności energetycznej budynku oraz zapewnieniu bezpieczeństwa i komfortu jego użytkowników. Należy określić strategię sterowania poszczególnymi podsystemami, urządzeniami i elementami systemowymi instalowanymi w obiekcie budowlanym, ze szczególnym uwzględnieniem ich energochłonności i/lub bezpośredniego wpływu na komfort użytkownika pomieszczeń w budynku:

- ogrzewanie (źródła ciepła, dystrybucja, odbiornik);
- chłodzenie (źródła ciepła, dystrybucja, odbiornik);
- ciepła woda użytkowa (źródła ciepła, dystrybucja, odbiornik);

- wentylacja i klimatyzacja;
- oświetlenie, zasilanie gniazd i innych odbiorników energii elektrycznej;
- żaluzje, osłony przeciwsłoneczne;
- bezpieczeństwo ludzi i mienia;
- zasilanie w energię (opomiarowanie, monitoring).

Podstawowymi elementami obowiązującej obecnie koncepcji organizacji funkcjonalnej sieciowych systemów BMS są profile funkcjonalne, które definiują możliwe bloki funkcjonalne i wreszcie powiązane z nimi zmienne sieciowe – elementy bezpośredniej komunikacji danych między węzłami sieci. W oparciu o nie i analizowane zapotrzebowanie użytkowników oraz zasoby technologiczne budynku i systemu automatyki możliwe jest budowanie różnych profili użytkowych [27, 28, 4].

Integracja elementów funkcjonalnych systemów EMS – pomiary zużycia energii i mediów, kontrola dostępu i powiązanie jej sygnałów z organizacją funkcjonowania urządzeń budynkowych (dynamiczne uruchamianie urządzeń zależnie od obecności, zmian stężenia CO₂ itp.) – otwiera zupełnie nowe możliwości w tym zakresie. Jednak mnogość opcji i możliwości prowadzi do chaosu organizacyjnego i „samowolki” integratorów systemowych. Jest to szczególnie istotne w kontekście wprowadzenia do infrastruktury budynków nowych elementów, związanych z platformą PME oraz perspektywą prosumencką w systemach energetycznych: sterowanie modułów odnawialnych źródeł energii (fotowoltaika, pompy ciepła), obsługa inteligentnych liczników energii i mediów, możliwość dynamicznego sterowania wybranymi urządzeniami, zależnie od sygnałów z sieci zasilającej o przekroczeniu lub nieokreślonego poziomu poboru mocy przez obiekt itp. [1, 2, 5, 14, 29].

Dlatego też w projektach implementacyjnych i rozwojowych zaawansowanych systemów EMS, o różnym stopniu integracji z systemami BMS, konieczne jest zwrócenie uwagi na kilka czynników związanych z infrastrukturą sterującą i monitorowania, wpływających na efektywność energetyczną i możliwość jej poprawy:

- zastosowanie indywidualnych liczników zużycia różnych mediów energetycznych. Możliwość pomiaru zużycia energii w poszczególnych pomieszczeniach, a w razie potrzeby na wydzielonych w nich obwodach (oświetlenie, gniazda itd.) pozwala porównywać zużycie w różnych miejscach budynku, analizować przyczyny różnic oraz stosować indywidualne dla pomieszczeń strategie oszczędzania. Poza tym znajomość rzeczywistego zużycia daje możliwość świadomego gospodarowania mediami i motywuje do ich oszczędzania;
- zastosowanie czujników parametrów powietrza wewnątrz i na zewnątrz dla zapewnienia sterowania ogrzewaniem i/lub klimatyzacją, pod kątem redukcji zużycia energii, przy zachowaniu założonego poziomu komfortu w pomieszczeniach i całym budynku;
- wykorzystanie algorytmów sterowania zaimplementowanych w sterownikach instalacji;
- wyposażenie budynku w jednolitą, rozproszoną sieć sterującą, pozwalającą zintegrować ze sobą już na poziomie obiektowym instalacje: elektryczną, grzewczą i klimatyzacji. Zintegrowane sterowanie wszystkimi systemami budynku pozwala

na bardziej efektywne gospodarowanie wszystkimi mediami energetycznymi w obiekcie.

Projektowanie i organizacja funkcjonalna systemów EMS dla budynków to proces wieloetapowy, który wymaga zaangażowania różnych podmiotów i specjalistów wielu branż, związanych z budową nowego obiektu lub modernizacją już istniejącego. Eksperti branży systemów automatyki i EMS podkreślają, że pierwszą i najważniejszą funkcjonalnością systemu zarządzania energią, nawet w najprostszej wersji, powinno być dokładne opomiarowanie budynku i jego instalacji, zapewniające możliwość monitorowania zużycia energii i mediów. To podstawowy element, warunkujący energooszczędną eksploatację budynku. Aby uzyskać pełny obraz zużycia mediów energetycznych, przynajmniej niektóre urządzenia pomiarowe planowane do montażu w budynku powinny pozwalać nie tylko na odczyt poziomu ich zużycia, ale także innych, pomocniczych parametrów określających własności medium i charakter odbiorników oraz przyłączonych do sieci zasilania urządzeń wykonawczych itp. W przypadku energii elektrycznej wynika to z faktu, że jej zużycie jest mocno uzależnione od jej jakości. Niedotrzymanie właściwego poziomu jakości energii elektrycznej przez dostawcę może fałszować przyczyny zwiększonego zużycia energii, wynikającego z eksploatacji urządzeń poza optymalnym obszarem pracy i prowadzić w rezultacie do poszukiwań przez użytkownika błędnych dróg prowadzących do redukcji zużycia. W związku z tym przynajmniej główne liczniki zużycia energii elektrycznej powinny pozwalać na monitoring jak największej liczby parametrów tego medium, w tym m.in.: energii czynnej całkowitej i w poszczególnych fazach, energii biernej całkowitej i w poszczególnych fazach, napięć fazowych, prądów fazowych, mocy czynnej i biernej, współczynnika mocy oraz dodatkowo – harmonicznych napięcia (wskaźniki THD).

Na głównych przyłączach dużych budynków użyteczności publicznej, komercyjnych, przemysłowych zaleca się we współczesnych instalacjach montaż tzw. analizatorów sieci zasilającej, czyli mierników energii wraz z pełnym zestawem dodatkowych parametrów jakościowych.

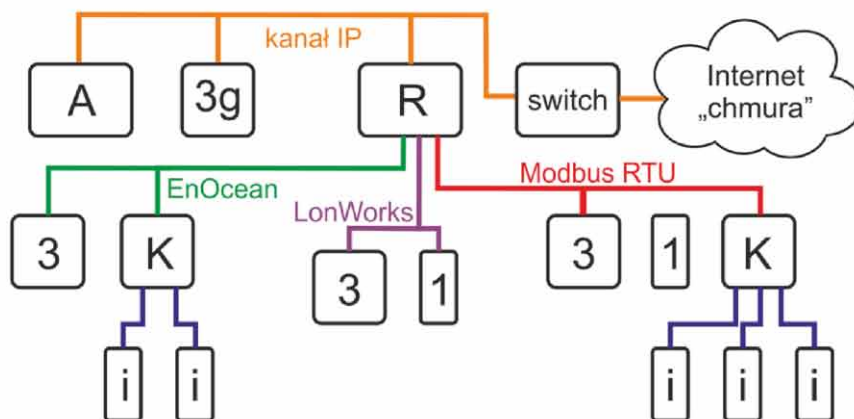
W instalacjach, gdzie niezbędne są pomiary zużycia energii lub mediów i/lub ich wybranych parametrów jakościowych, również w wydzielonych obszarach budynków, zaleca się montaż liczników i modułów pomiarowych na zasilających je liniach lub kanałach dostawczych mediów energetycznych. W przypadku instalacji elektrycznych możliwa jest instalacja liczników energii 3- lub 1-fazowych, z interfejsami komunikacji do sieci poziomu obiektowego lub z wyjściami impulsowymi. Te ostatnie wymagają dodatkowo instalacji odpowiednich koncentratorów danych, z wejściami cyfrowymi zliczającymi impulsy z liczników i przetwarzającymi je na komunikaty danych do systemu poziomu obiektowego lub nadrzędnego. Przykładową strukturę takiego systemu pomiarowego pokazano na rysunku 2.

Punkty pomiarowe, zwłaszcza w przypadku pomiarów bezpośrednich (konieczność użycia licznika), powinny być zdefiniowane już na etapie projektu, a możliwość ich instalacji zapewniona na etapie realizacji systemu.

Obszarami stosowania elementów systemu EMS, zwłaszcza w obiektach z infrastrukturą PME, powinny być:

LEGENDA:

- A - analizator sieci - gł. linia zasilania
- R - router/gateway
- K - koncentrator danych
- 3g - licznik 3-fazowy główny
- 3 - licznik 3-fazowy (np. HVAC)
- 1 - licznik 1-fazowy (np. oświetlenie)
- i - licznik 1-fazowy z wyjściem impuls. (np. obw. gniazd)



Rys. 2. Przykład architektury systemu EMS z różnymi licznikami energii i protokołami komunikacji sieciowej

- monitoring całej energii zużywanej i ewentualnie produkowanej;
- wszystkie obszary zużycia energii: ogrzewanie, wentylacja, ogrzewanie wody użytkowej, oświetlenie, urządzenia biurowe itp.;
- wszystkie obszary budynku (części wynajmowane, części wspólne itp.);
- wszystkie urządzenia, które zużywają lub ewentualnie wytwarzają energię;
- ewentualne zmiany w trakcie użytkowania budynku.

Obszary te determinują metodologię podejścia do projektowania systemów EMS oraz dobór dedykowanej do nich infrastruktury. Ich odpowiednia organizacja i zarządzanie energią mają również wpływ na wskaźniki efektywności energetycznej budynków. Dlatego też konieczne jest wskazanie kilku uniwersalnych wytycznych dla procesu projektowania systemu pomiarowo-zarządzającego dla obiektów z elementami PME, który można podzielić na kilka etapów:

- podział budynku na obszary o podobnym przeznaczeniu. Wydzielenie części wspólnych wewnętrznych oraz zewnętrznych obszarów zasilanych z budynku (np. oświetlenie parkingu);
- zdefiniowanie niezbędnych funkcjonalności pomiarowych i raportujących;
- zdefiniowanie funkcji zarządzających i przydzielenie w odpowiednich miejscach systemu sterującego zgodnie z ich obszarem stosowania. Daje to możliwość określenia poszczególnych funkcjonalności budynku, w ramach których można:
 - realizować odpowiednie algorytmy dotyczące utrzymania temperatury w przypisaniu do indywidualnych obszarów,
 - stosować podsystemy ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji zgodnie z zapotrzebowaniem,
 - realizować właściwy podział kosztów energii na poszczególnych użytkowników,
 - definiować i monitorować wydajność energetyczną poszczególnych najemców;
- zdefiniowanie związanych z wydajnością energetyczną interfejsów pomiędzy systemem pomiarowo-zarządzającym a pozostałymi podsystemami technicznymi budynku.

Wnioski


Prosumenckie Mikroinstalacje Energetyczne tworzą nową jakość w obszarze zaawansowanych technologicznie i energooszczędnych systemów zasilania budynków i zespołów budynków. Jednak efektywność ich działania jest ściśle powiązana z właściwie zorganizowaną infrastrukturą systemów monitoringu i sterowania, które zapewniają kontrolę przepływów energii w systemie zasilającym, w zależności od zapotrzebowania ze strony użytkowników i dostępnych zasobów energii z różnych źródeł dostępnych w PME. Ważnym aspektem jest konieczność zapewnienia elastyczności systemów automatyki i monitoringu dla różnego typu obiektów, w szczególności zaś dotyczy to budynków przeznaczonych pod wynajem, komercyjnych i biurowych. Istotnym wsparciem w tym zakresie jest poprawna implementacja zintegrowanych, rozproszonych sieci sterowania i monitoringu już na poziomie obiektowym, bezpośredniej obsługi czujników i elementów wykonawczych, wspierających działanie urządzeń PME.

Niniejszy artykuł powstał w ramach prac związanych z projektem pt. „Rewitalizacja prosumenckich mikroinstalacji energoelektrycznych (REWIPROMIEN)” w ramach Programu GEKON – Generator Koncepcji Ekologicznych, realizowanego w ramach wspólnej inicjatywy Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) oraz Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) zgodnie z umową nr GEKON1/02/213877/31/2015 z dnia 12.02.2015 r.

Bibliografia

- [1] NOGA M., OŻADOWICZ A., GRELA J., HAYDUK G.: *Active Consumers in Smart Grid Systems-Applications of the Building Automation Technologies*. „Przegląd Elektrotechniczny” 6/2013.
- [2] OŻADOWICZ A.: *Systemy automatyki budynkowej jako element inteligentnych sieci elektroenergetycznych – Smart Metering i aktywny odbiorca*. „Napędy i Sterowanie” 12/2013.
- [3] OŻADOWICZ A., MIKOŚ Z., GRELA J.: *Zintegrowane zdalne systemy pomiaru zużycia i jakości energii elektrycznej – technologiczne case study platformy Smart Metering*. „Napędy i Sterowanie” 6/2014.
- [4] OŻADOWICZ A.: *Automatyka budynkowa w realizacji systemów smart grid – energooszczędność i integracja na poziomie odbiorcy energii*. „Wiadomości Elektrotechniczne” 11/2013.

- [5] MISSAOU R., JOUMAA H., PLOIX S., BACHA S.: *Managing energy Smart Homes according to energy prices: Analysis of a Building Energy Management System*. „Energy Build.” vol. 71, Mar. 2014, pp. 155–167.
- [6] OŻADOWICZ A., GRELA J.: *Street Lighting – nowoczesne oświetlenie przestrzeni publicznych. Automatyka budynkowa w infrastrukturze inteligentnych miast – Smart Cities*. „Napędy i Sterowanie” 6/2014.
- [7] MARINAKIS V., KARAKOSTA C., DOUKAS H., ANDROULAKI S., PSARRAS J.: *A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption*. „Sustain. Cities Soc.” vol. 6, Feb. 2013, pp. 11–15.
- [8] ELECTRIC S.: *Measurement and Management of Energy Performance in Office Buildings*. 2010.
- [9] JUNG M., REINISCH C., KASTNER W.: *Integrating building automation systems and IPv6 in the internet of things*. Proc. – 6th Int. Conf. Innov. Mob. Internet Serv. Ubiquitous Comput. IMIS 2012, pp. 683–688, 2012.
- [10] KASTNER W., NEUGSCHWANDTNER G., SOUCEK S., NEWMAN H.M.: *Communication Systems for Building Automation and Control*. Proc. IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1178–1203, 2005.
- [11] OŻADOWICZ A., GRELA J.: *The Street Lighting Integrated System Case Study, Control Scenarios, Energy Efficiency*. in 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), 2014.
- [12] YOUNG J.: *BIoT BUILDING Internet of Things*. AutomatedBuildings.com. [Online]. Available: <http://www.automatedbuildings.com/news/mar14/articles/realcomm/140219043909realcomm.html>.
- [13] Schneider Electric: *IEC 61850 Standard Interoperability for advanced protection and control applications*. pp. 1–2, 2010.
- [14] PALENSKY P., DIETRICH D., MEMBER S., DIETRICH D.: *Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads*. IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
- [15] BAUER M., LIU W., KALLENBERG J., DOSTERT K., WEILIN L., HOHL H., KMETHY G., MONETA D., ARZUAGA A., NEUMANN O., WOLFF A., BITTNER M., DENDA R., SCHAUB T., STRABBING W., BERGANZA Í.: *Description of State-of-The-Art Communication Protocols and Data Structures*. Framework, 2010.
- [16] Prime Alliance: *Projekt specyfikacji dla Projektu PRIME*. 2008.
- [17] EMSYCON GMBH, WISY D.M.: *Smart Message Language Version 1.02*. pp. 1–42, 2008.
- [18] DLMS User Association: *What is DLMS/COSEM*. 2015, [Online], Available: <http://www.dlms.com/information/whatisdlmscosem/index.html>.
- [19] M-Bus Usergroup: *The M-Bus: A Documentation*. pp. 1–88, 1997.
- [20] KNX Association and B. Control, *Introduction to KNX and Konnex*. Vol. 32, no. 0, 2004.
- [21] Echelon Corporation: *Introduction to the LonWorks Platform*. 2009.
- [22] MORENO M.V., ÚBEDA B., SKARMETA A.F., ZAMORA M.: *How can we tackle energy efficiency in IoT based smart buildings?* Sensors (Basel), vol. 14, no. 6, Jan. 2014.
- [23] HERSENT O., BOSWARTHICK D., ELLOUMI O.: *The Internet of Things. Applications to the Smart Grid and Building Automation*. A John Wiley & Sons, Ltd., 2012.
- [24] HONG S.H., KIM S.H.: *Integrated BACnet-ZigBee communication for building energy management system*. in IECON 2013 – 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013, pp. 5723–5728.
- [25] Modbus-IDA: *MODBUS Application Protocol Specification v1.1b3*. Vol. 1–50, pp. 1–50, 2012.
- [26] EnOcean Alliance: *EnOcean Wireless Standard*. 2015, [Online], Available: <https://www.enocean.com/en/enocean-wireless-standard/>.
- [27] VAZQUEZ F.I., KASTNER W.: *Usage profiles for sustainable buildings*. 2010 IEEE 15th Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. (ETFA 2010), pp. 1–8, Sep. 2010.
- [28] DIBOWSKI H., PLOENNIGS J., KABITZSCH K.: *Automated Design of Building Automation Systems*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 57, no. 11, pp. 3606–3613, Nov. 2010.
- [29] OŻADOWICZ A.: *Zarządzać energią z głową: OpenADR – dwukierunkowa komunikacja dostawcy energii–odbiorcy*. „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 2013, pp. 109–112.

 dr inż. Andrzej Ożadowicz, mgr inż. Jakub Grela – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej; Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii

artykuł recenzowany