

Koncepcja organizacji systemów zarządzania energią w sieciach automatyki budynkowej

Jakub Grela

Wstęp

Tradycyjna koncepcja systemów elektroenergetycznych bazuje zasadniczo na jednokierunkowym przepływie mocy – od wytwórców (elektrownie) do odbiorów końcowych, przemysłowych i indywidualnych. Model ten nadal funkcjonuje w większości krajów świata. Jednak w okresie ostatnich kilkunastu lat obserwowany jest znaczący wzrost udziału tzw. generacji rozproszonej, opartej o różnego typu źródła odnawialne: farmy wiatrowe, elektrownie słoneczne itp. W efekcie ich pracy w systemach elektroenergetycznych naruszona zostaje równowaga bilansu mocy i pojawia się konieczność dynamicznego zarządzania jej przepływami [1]. Bodźcem determinującym zamianę w zarządzaniu i organizacji dotychczas istniejących systemów elektroenergetycznych jest również polityka energetyczna Unii Europejskiej, ukierunkowana na ograniczenie zużycia energii oraz redukcję emisji szkodliwych substancji (w tym w szczególności CO₂) do atmosfery o 20% i zwiększenie o 20% udziału w systemie energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych do poziomu 20% do roku 2020. Należy zauważyć, że w kolejnej perspektywie rozwojowej do roku 2030 wymogi w tym zakresie będą jeszcze bardziej restrykcyjne [2, 3, 4].

W celu sprostania wspomnianym wymaganiom niezbędne jest wprowadzenie w systemach elektroenergetycznych różnych narzędzi wspierających monitoring zużycia energii, rozpyływu mocy i dynamicznego zarządzania energią dostępną w systemie. Implementacja tych rozwiązań wymaga istotnych zmian nie tylko w obszarze samego systemu wytwarzania i dystrybucji energii, ale również jej konsumpcji. Szczególnym elementem tego systemu są zatem odbiorcy, w tym budynki: komercyjne, użyteczności publicznej, prywatne. W wielu tego typu obiektach istnieją już i z powodzeniem funkcjonują zaawansowane sieciowe systemy monitoringu, sterowania i zarządzania (ang. *Building Management Systems* – BMS), obsługujące urządzenia i podsystemy infrastruktury budynkowej (np. oświetlenie, HVAC, kontrolę dostępu i inne) [5]. W większości dotychczasowych zastosowań realizowane przez nie funkcjonalności ukierunkowane są na podniesienie komfortu użytkownika pomieszczeń w budynku, zapewnienie wyższego poziomu bezpieczeństwa osób i urządzeń oraz optymalnych warunków pracy i wypoczynku ludzi [3]. W ostatnich kilku latach zrodziła się idea wykorzystania infrastruktury systemów BMS do integracji obsługi zdalnych systemów pomiarowych i monitoringu zużycia energii elektrycznej i innych mediów. Producenci urządzeń pomiarowych i automatyki budynkowej wprowadzili do swej oferty nowe moduły i urządzenia dla tego typu zastosowań. Ponadto zaczęto analizować możliwości wykorzystania funkcjo-

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję organizacji systemów zarządzania energią w budynkach z wykorzystaniem technologii automatyki budynkowej oraz przybliżono kierunki badań i prac rozwojowych w obszarze dotyczącym ich implementacji w ramach systemów automatyki budynkowej. Przeanalizowano techniczne możliwości realizacji systemów zarządzania energią z wykorzystaniem otwartych, międzynarodowych standardów automatyki budynkowej – KNX, LonWorks. Ponadto zwrócono uwagę na istotne wymagania niezbędne do realizacji systemów zarządzania energią, jako narzędzia wsparcia analizy zużycia energii i mediów w budynkach oraz aktywnego jej zarządzania.

🇬🇧 CONCEPT OF THE ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS IMPLEMENTATION IN THE BUILDING AUTOMATION NETWORKS

Abstract: *In this paper concept of implementation energy management systems with building automation technologies is presented. The author introduces research and development directions in the energy management systems application fields as part of the building automation systems. Open, international building automation standards – KNX, LonWorks are presented as technical solution for these implementations. Additionally special attention is paid to essential requirements for the energy management systems applications as a tool for energy and other media consumption analysis as well as active energy management in buildings.*

nalności automatyki w budynkach w celu ograniczenia zużycia energii i mediów [6].

Wśród działań ukierunkowanych na zwiększenie efektywności energetycznej budynków podjęto prace w obszarach dotyczących opracowania nowych, energooszczędnych technologii dla urządzeń infrastruktury budynkowej oraz zdefiniowania wytycznych konstrukcji i integracji systemów zarządzania energią (*Energy Management Systems* – EMS), jej dystrybucji, monitoringu i sterowania urządzeniami w budynkach, zależnie od potrzeb użytkowników, środowiska, przy zachowaniu wymaganego poziomu komfortu i bezpieczeństwa [7]. W budynkach wyposażonych w systemy automatyzacji i sterowania, funkcje EMS mogą być ściśle zintegrowane w ramach ich infrastruktury.

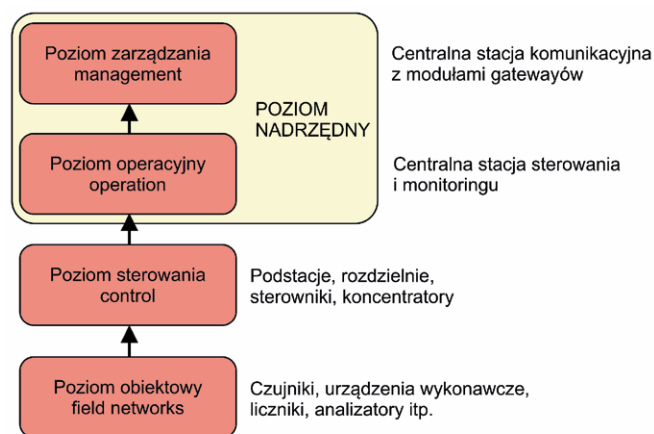
Użytkownicy i zarządcy budynków zyskują w ten sposób nowe narzędzie monitoringu zużycia energii i mediów, bez konieczności instalowania dodatkowej dedykowanej sieci, modułów systemowych itp. Liczniki i moduły monitorujące, z odpowiednimi interfejsami sieciowymi do standardowych sieci automatyki budynkowej poziomu obiektowego, są bezpośrednio przyłączane do sieciowych kanałów komunikacyjnych. Takie zintegrowane rozwiązanie umożliwia wykorzystanie danych generowanych przez liczniki i moduły monitorujące parametry zasilania lub też wyników ich przetwarzania w lokalnych serwerach czy w systemie nadrzędnym, bezpośrednio jako parametrów do zrealizowania funkcji sterowania, dostępnych na poziomie obiektowym. Umożliwia to również organizowanie zaawansowanych scenariuszy sterowania np. oświetleniem czy ogrzewaniem/wentylacją pomieszczeń zależnie od obecności osób lub innych parametrów zewnętrznych (temperatura, intensywność oświetlenia, stężenie CO₂ itp. – sygnały z rozproszonych na obiekcie czujników), jednakże dodatkowo z uwzględnieniem sygnałów i danych dotyczących zużycia energii, poziomów obciążenia obwodów zasilających, okresów z różnymi taryfami cen energii itd. [8]. Taka funkcjonalność otwiera nowe obszary w zakresie poprawy efektywności energetycznej budynków, obniżenia ich kosztów eksploatacyjnych, poprawy funkcji użytkowych współczesnych budynków, zwłaszcza użyteczności publicznej, komercyjnych, biurowych oraz przemysłowych. Ponadto możliwe staje się zarządzanie popytem – Demand Response, a w perspektywie wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych do zasilania pojedynczych budynków lub całych kampusów czy osiedli, wsparcie użytkownika takich obiektów w trybie tzw. prosumenckim – okresowej konsumpcji i okresowej generacji energii na potrzeby budynków oraz jako produktu do systemu elektroenergetycznego [1, 3, 9, 10].

Badania i koncepcje rozwojowe systemów zarządzania energią

Dynamicznie rosnące zapotrzebowanie na systemy EMS w budynkach powoduje obserwowany obecnie rozwój różnych koncepcji ich organizacji. Poczynając od dedykowanych liczników energii i mediów, poprzez zcentralizowane systemy monitoringu i akwizycji danych, aż po zdecentralizowane, rozproszone systemy sieciowe, bazujące na standardowych platformach komunikacji danych. Organizacja sieciowych systemów EMS dla budynków zwykle posiada strukturę wielopoziomową, widoczną na rysunku 1 [11, 12].

Badania i prace rozwojowe nad systemami EMS dedykowanymi do zastosowań w budynkach skupiają się obecnie wokół kilku podstawowych obszarów:

- Technologie komunikacji, architektury systemowe i kwestia ich integracji dla swobodnego, dwukierunkowego przepływu danych. Na poziomie nadrzędnym sieciowych systemów EMS i BMS dominującą rolę odgrywają sieci transmisji danych bazujące na protokole TCP/IP, zarówno na poziomie sieci lokalnych – operacyjnych, jak i globalnych – zarządzania, zapewniających też możliwość zdalnego dostępu do danych systemowych na potrzeby monitoringu, zadawania nastaw czy rozliczeń. Na pozostałych dwóch poziomach – obiektowym i sterowania, wciąż w praktycznych aplikacjach stosowane



Rys. 1. Poziomy strukturalne sieciowych systemów EMS [12]

są różnorodne protokoły sieci obiektowych (fieldbus), dedykowane dla aplikacji przemysłowych (Profibus, EtherNet/IP), budynkowych (LonWorks, KNX, BACnet), ale również stricte pomiarowych (MBus, Modbus). Coraz częściej też pojawiają się systemy oparte o komunikację bezprzewodową (ZigBee, WiFi, Bluetooth), umożliwiające instalację np. czujników w miejscach trudno dostępnych, bez dostępu medium przewodowego. Niekiedy wykorzystywane jest również medium Power Line, komunikacji przez linie sieci zasilającej [5, 13, 14, 15]. Mnogość technologii komunikacyjnych wymaga podjęcia działań ukierunkowanych na zagwarantowanie poprawności transmisji danych pomiędzy urządzeniami poziomu obiektowego, ale również przy przekazywaniu danych do wyższych poziomów struktury systemów sieciowych EMS i BMS. Prowadzone są również prace badawcze i technologiczne nad ujednoczeniem standardu komunikacyjnego, z wyraźną już tendencją do implementacji protokołu TCP/IP (Ethernet) w różnych odmianach jako uniwersalnej platformy wymiany informacji w poziomach nadrzędnym oraz sterowania i obiektowym [16, 17].

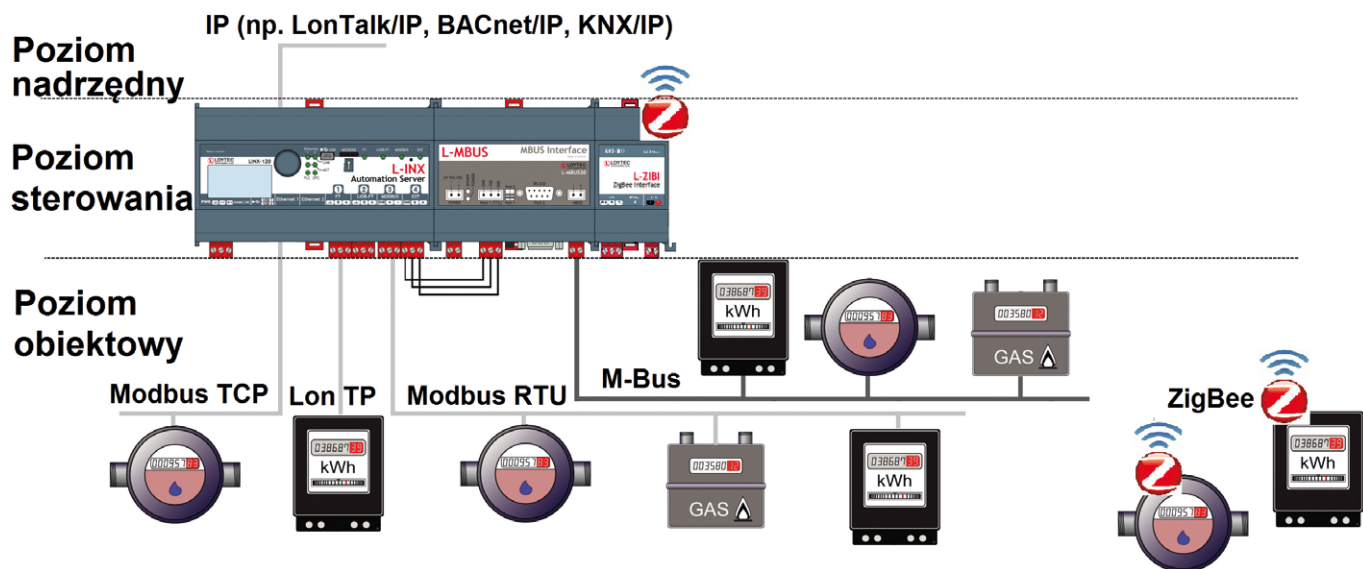
- Dobór elementów infrastruktury sieci na wszystkich poziomach strukturalnych, dobór funkcjonalności. Ze względu na bardzo bogatą ofertę urządzeń i modułów dedykowanych dla systemów automatyki i zarządzania budynkami (BMS) w trakcie projektowania tego typu instalacji z uwzględnieniem ich oddziaływania na efektywność energetyczną budynków oraz możliwość integracji funkcjonalności systemowego zarządzania energią (EMS) konieczna jest ich właściwa selekcja i dobór do realizacji określonych zadań. We współczesnych instalacjach tego typu coraz większą rolę odgrywa kwestia ich elastyczności i konieczności dynamicznego reagowania na zmieniające się czynniki zewnętrzne lub wewnętrzne. Dlatego ważnym elementem doboru urządzeń i technologii sieciowych jest możliwość dynamicznej samoorganizacji czujników, elementów wykonawczych i powiązanych z nimi bloków funkcjonalnych oraz połączeń zmiennych sieciowych już na poziomie obiektowym. Wiele uznanych ośrodków

badawczych, uczelni technicznych i laboratoriów firm branżowych prowadzi badania i testy takich rozwiązań, z wykorzystaniem algorytmów logiki rozmytej oraz elementów sztucznej inteligencji. Zintegrowane systemy BMS i EMS powinny mieć możliwość łatwego rekonfigurowania i wspierać różne tryby pracy, z możliwością ich szybkiego przełączania [18, 19, 20].

- Implementacja platform technologii Internetu Rzeczy jako aktywnego elementu zarządzania energią i infrastrukturą budynkową. Internet Rzeczy (ang. *Internet of Things* – IoT) to koncepcja powszechnie przedstawiana jako kolejny etap komputerowej i sieciowej rewolucji. IoT obejmuje obecnie szereg technologii i obszarów badawczych, które mają na celu wykorzystanie i rozszerzenie istniejącej sieci Internet jako platformy komunikacyjnej również dla różnego typu urządzeń i modułów występujących w otoczeniu człowieka. Całkowicie nową koncepcją jest możliwość organizacji połączeń sieciowych i transmisji danych w ramach systemów automatyki, monitoringu i zarządzania budynkami w oparciu o protokoły komunikacji IP. Powszechność dostępu do takich sieci, znajomość ich technologii wśród integratorów systemowych, stosunkowo niskie koszty instalacji oraz łatwość rozbudowy i organizacji zdalnego dostępu do danych systemowych sprawiają, że technologia ta staje się obecnie realną alternatywą dla klasycznych już sieci automatyki budynkowej [21, 22]. Implementacja protokołu i interfejsu sieci IP w węzłach sieciowych systemów BMS i EMS pozwala na swobodne zarządzanie danymi generowanymi w takich modułach, wysyłanie do nich pakietów konfiguracyjnych, zapytań itp. bezpośrednio z poziomu systemów menedżerskich, serwisowych [4, 23].
- Opracowanie wytycznych i wskazówek organizacji różnych trybów pracy, scenariuszy i algorytmów stero-

wania dla aktywnych platform zarządzania energią. Systemy monitoringu i automatyki są instalowane w różnego typu budynkach. Również same budynki, zwłaszcza komercyjne, użyteczności publicznej, biurowe, są podzielone na strefy użytkowe o zróżnicowanych wymaganiach co do parametrów użytkowych, komfortu, obciążenia użytkowego w czasie doby itp. Realizacja systemu BMS w takich obiektach wymaga rzetelnej identyfikacji funkcjonalności instalacji technologicznych, funkcji pomieszczeń oraz analizy funkcji systemu automatyki i wyposażenia technicznego. W oparciu o nią możliwe jest budowanie strategii sterowania poszczególnymi podsystemami, urządzeniami i elementami systemowymi.

reklama



Rys. 2. Schemat poglądowy instalacji EMS integrującej różne protokoły komunikacyjne

(Źródło: oprac. własne)

Strategie te są zbiorem funkcji oferowanych przez moduły automatyki, sensory i elementy wykonawcze, kontrolujące pracę układu technologicznego lub urządzenia. Należy zaznaczyć, że o ile funkcjonalności poszczególnych urządzeń automatyki dla określonych podsystemów infrastruktury budynkowej są precyzyjnie zdefiniowane i ustandaryzowane w postaci profili i bloków funkcjonalnych, o tyle same relacje między urządzeniami w ramach scenariusza sterowania opisane są w sposób niejednoznaczny, pozostawiając otwarte pole do kreowania różnych opcji sterowania i integracji obiektowej [2, 24, 25].

- Integracja elementów funkcjonalnych systemów EMS – pomiary zużycia energii i mediów, kontrola dostępu i powiązanie jej sygnałów z organizacją funkcjonowania urządzeń budynkowych (uruchamianie urządzeń zależnie od obecności, zmian stężenia CO₂ – duża liczba osób w pomieszczeniu, dynamiczne zmiany oświetlenia w zależności od potrzeb użytkowników itp.) stwarza zupełnie nowe możliwości w tym zakresie. Jednak mnogość opcji i możliwości prowadzi też do chaosu organizacyjnego i „samowolki” integratorów systemowych. To szczególnie istotne również w kontekście wprowadzenia do infrastruktury budynków nowych elementów, jak odnawialne źródła energii, inteligentne liczniki energii i mediów. Stąd konieczność wypracowania zaleceń i wytycznych dotyczących sposobów integracji funkcjonalnej systemów BMS i EMS w ramach jednolitych platform systemowych.
- Identyfikacja i analiza wpływu systemów automatyki i EMS w budynkach na poprawę ich efektywności energetycznej, w oparciu o zalecenia i wytyczne zawarte w odpowiednich standardach i normach w tym zakresie. Norma PN-EN 15232 „Energetyczne właściwości budynków. Wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami” wskazuje możliwości efektywnej realizacji automatyzacji budynku, systemów BMS, poprzez właściwe powiązania pomiędzy

poszczególnymi podsystemami technicznymi, zapewniające zwiększenie ogólnej efektywności budynków. Algorytmy sterujące i złożone, zintegrowane funkcje, mogą być konfigurowane w oparciu o informacje z modułów systemu EMS oraz według rzeczywistych potrzeb jej użytkowników. Niezależnie od tego funkcje automatyki budynku mogą dostarczyć informacje w obszarach bieżącego użytkowania, utrzymania i zarządzania budynkiem, dystrybucji i zużycia energii i innych mediów. Ma to szczególne znaczenie dla zarządzania ich zużyciem, w analizie, raportowaniu i prognozowaniu zużycia, zarówno globalnego, jak i miejscowego, oraz określania obszarów nieefektywnego ich użytkowania. Zalecenia i wytyczne normy bardzo dobrze wpisują się w przedstawioną już wcześniej koncepcję organizacji różnorodnych algorytmów sterowania, trybów pracy i scenariuszy dla różnego typu budynków i wybranych ich stref. Warto podkreślić, że największe oszczędności w zakresie użytkowania energii przynosi organizacja systemów automatyki z pełną integracją urządzeń już na poziomie obiektowym systemów BMS z systemami bezpieczeństwa budynku i monitoringu energetycznego EMS. Funkcje i czujniki stosowane w systemach bezpieczeństwa (kontrola dostępu, sygnalizacja włamania i napadu, monitoring CCTV) umożliwiają realizację sterowania dostawami energii do pomieszczeń na podstawie rzeczywistego zapotrzebowania, co potęguje efekt synergii w dziedzinie efektywności energetycznej budynku. Ponadto systemy sterowania i automatyki wszystkich instalacji technologicznych muszą pracować na bazie jednego, standardowego protokołu transmisji danych dla systemów automatyki budynkowej, w celu zapewnienia bezpośredniej wymiany danych pomiędzy poszczególnymi sterownikami i czujnikami, bez udziału centralek sterujących lub systemów nadrzędnych. Ta wymiana danych na poziomie obiektowym jest niezbędna do efektywnego sterowania odbiornikami energii [13, 26].

System zarządzania energią – realizacja w otwartych standardach automatyki budynkowej

Budynki są obiektami będącymi jednym z największych konsumentów różnych rodzajów energii, pochodzącej z różnorodnych źródeł. Stąd podejmowane są liczne działania ukierunkowane na zmniejszenie energochłonności budynków, przy zachowaniu ich pełnej funkcjonalności i komfortu użytkownika [2, 8, 25]. Poziom energochłonności budynków zależy od bardzo wielu czynników, które wymagają identyfikacji oraz klasyfikacji dla konkretnych obiektów. Nakłady ponoszone na eksploatację i konserwację stanowią zwykle większość kosztów cyklu życia budynku. Dlatego w nowoczesnym obiekcie powinno się projektować systemy automatyzacji i sterowania oraz technicznego zarządzania budynkiem zapewniające oszczędności w zużyciu energii i mediów. Wysoko postawione wymogi poprawy efektywności energetycznej obiektów budowlanych mogą być spełnione, jeśli zrealizowane zostanie zintegrowanie procesu projektowania budynku z uwzględnieniem jego docelowej efektywności energetycznej. W procesie tym należy uwzględnić nie tylko wysokiej jakości system automatyzacji i sterowania, ale również właściwe zaprojektowanie kojarzonych z nim instalacji technologicznych. Najbardziej efektywne energetycznie będą takie rozwiązania i organizacja poszczególnych instalacji technologicznych budynku, które pozwolą sterować dostawą każdej formy energii indywidualnie do każdego pomieszczenia, w zależności od zapotrzebowania [26, 27].

Podjęcie to również wymusza kształt koncepcyjny organizacji sprawnych systemów zarządzania energią i różnymi mediami energetycznymi w budynkach (EMS), które w pierwszej kolejności odpowiedzialne są za zmierzenie parametrów eksploatacyjnych, a następnie ich przetworzenie oraz podjęcie odpowiednich decyzji, ukierunkowanych na minimalizację zużycia energii. Należy podkreślić, że proces projektowania systemów automatyki budynkowej jest ściśle podporządkowany uzyskaniu zadanej formy organizacyjnej systemów EMS, którą może być określona sprawność energetyczna budynku. Zadanie to jest postawione projektantom i integratorom systemów automatyzacji i sterowania budynkiem, których rolą jest określenie kształtu, funkcjonalności i sposobu działania instalacji inteligentnych. W tym celu zalecane jest wykorzystanie naturalnych właściwości, jakie oferują poszczególne standardy/technologie automatyki – np. ujednolicone zmienne sieciowe określonych typów danych, dedykowane do rozwiązania danego zadania bloki funkcjonalne i profile funkcjonalne.

W celu ułatwienia implementacji aplikacji oraz procesu integracji i zarządzania zmiennie przeznaczone do realizacji zadań grupowane są w bloki funkcjonalne. Blok funkcjonalny, który jest częścią aplikacji, pobiera dane wejściowe z sieci, z wejść modułu oraz z innych bloków funkcjonalnych w urządzeniu. Dane wyjściowe bloku funkcjonalnego mogą być z kolei wysłane do sieci, do wyjść urządzenia oraz do innych bloków funkcjonalnych w module. W urządzeniu blok funkcjonalny powinien być zaimplementowany dla każdej funkcji urządzenia, z którą powinny się komunikować inne węzły sieci, oraz dla funkcji, które wymagają konfiguracji danego zachowania. Każdy blok funkcjonalny powinien być definiowany przez profil funkcjonalny (ustandaryzowany szablon dla konkretnych funkcji auto-

matyki). Profile szczegółowo definiują ilości i typy zmiennych sieciowych, określają wymagania dotyczące sposobu przetwarzania danych, reakcji na określone zdarzenia lub dopuszczalne wartości zmiennych, w celu ujednolicenia typów zmiennych sieciowych oraz algorytmów bloków funkcjonalnych czujników i elementów wykonawczych [28, 29, 30].

Istotną kwestią organizacji efektywnych systemów automatyki, szczególnie w perspektywie ich wykorzystania jako platformy dla systemów EMS, jest określenie jak najlepszych powiązań pomiędzy zmiennymi sieciowymi zorganizowanymi w bloki funkcjonalne. Analiza popularnych technologii automatyki budynkowej wskazuje, że powiązania te pomiędzy profilami funkcjonalnymi, o ile występują, są bardzo uproszczone. Zarówno organizacje opiekujące się danymi standardami, jak i producenci urządzeń automatyki nie wskazują różnych możliwości konfiguracji instalacji. Zadania te zostały przeniesione na projektantów i integratorów systemów automatyki, których rolą jest dobór jak najlepszych scenariuszy i strategii sterowania. Tymczasem okazuje się, że przy wielu typach aplikacji na obiektach wzajemne powiązania funkcjonalne, zwłaszcza te niezbędne do realizacji podstawowych funkcjonalności ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej, powtarzają się.

Powodzenie w opracowaniu udanych scenariuszy i strategii sterowania w dużej mierze zależy od dostępności odpowiednich elementów w danym standardzie automatyki budynkowej. Wspomniane standardy powinny posiadać zdefiniowane odpowiednie zmienne sieciowe – dzięki którym możliwa jest reprezentacja wielkości fizycznych oraz wykonanie funkcji sterowania oraz zestawy profili funkcjonalnych – umożliwiające implementację bloków funkcjonalnych. Przykładami otwartych, rozproszonych systemów sterowania automatyki budynkowej, spełniającymi powyższe wymagania, są technologie KNX i LonWorks. Posiadają one odpowiednie mechanizmy umożliwiające zrealizowanie niezbędnej funkcjonalności systemów EMS, jaką jest organizacja zaawansowanych instalacji pomiarowo-rozliczeniowych [31].

Dla systemu opomiarowania zużycia energii w standardzie LonWorks dostępne są urządzenia odpowiedzialne za Zarządzanie Energią (m.in. Rejestratory Danych Dostawcy, Wielofazowe Liczniki Energii, Mocy) oraz za Automatyczny Czytnik Liczników (Licznik Dostawcy). Przykładowo profil funkcjonalny Rejestrowa Danych Dostawcy może zawierać kilka rejestrów, zbierających dane o różnych typach pomiarowych, np. zużycie energii. Producent Rejestrowa określa, jakiego rodzaju dane mogą być przechowywane w rejestrach (czy jest to licznik ciepła, energii elektrycznej, gazu czy uniwersalny koncentrator dla różnych mediów). Dane pomiarowe mogą pochodzić np. z wyjść impulsowych liczników mediów lub trafiać do Rejestrowa przy pomocy transmisji cyfrowej. Konfigurację Rejestrowa określa każdorazowo jego producent. Warto zaznaczyć, że funkcją Rejestrowa oprócz akwizycji danych jest też konwersja zbieranych informacji do spójnej, jednolitej postaci.

W przypadku standardu KNX możliwe są dwa tryby realizacji systemu opomiarowania. Pierwszy tryb wykorzystuje jako podstawę systemu pomiarowego standard M-Bus i jego specyficzne profile funkcjonalne, które następnie są mapowane na zmienne sieciowe wykorzystywane w technologii KNX. Tryb drugi,

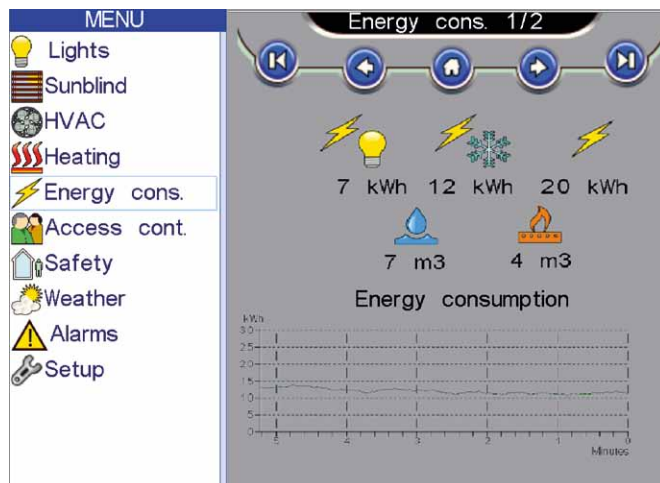
dedykowany tylko do pomiarów energii elektrycznej, oparty jest o natywne moduły pomiarowe KNX, wraz z odpowiednio zaimplementowanymi blokami funkcjonalnymi i ich zmiennymi sieciowymi. Dzięki tym trybom możliwa jest w standardzie KNX obsługa takich modułów pomiarowych, jak liczniki ciepła, wody, gazu, energii elektrycznej. Przykładowo podstawową rolę bloku funkcjonalnego *Electrical Energy Tariff Sensor* (EETS) jest pomiar mocy i energii obwodu elektrycznego, a następnie przetworzenie i dostarczenie tych informacji do systemu KNX. Może on zostać wykorzystany zarówno w przypadku pomiarów zużycia, jak i produkcji energii. Oprócz zmiennej sieciowej przechowującej informacje dotyczące zmierzonej mocy posiada on również zmienną umożliwiającą ustawienie aktualnej taryfy oraz przechowującą informacje dotyczące całkowitej lub częściowej wartości energii czynnej oraz jej taryfy.

Międzynarodowe otwarte standardy automatyki budynkowej, poprzez swoją konstrukcję i odpowiednie narzędzia, w wysokim stopniu wspierają i ułatwiają organizację instalacji pomiarowych, stanowiących podstawę lokalnych systemów EMS. Jednak rolą tych ostatnich jest również możliwość realizacji zadań i usług doradczych, decyzyjnych oraz zarządzających pracą poszczególnych części instalacji, mających wpływ na zużycie energii i innych mediów w budynkach. W przypadku wspomnianych otwartych standardów KNX i LonWorks jednym z ich podstawowych zadań jest umożliwienie zarządzania odbiorami zlokalizowanymi w budynku lub jego otoczeniu. Wykorzystując rozproszenie logiki sterującej i dedykowane aplikacje urządzeń, służące rozwiązaniu konkretnych zadań, wraz z możliwością implementacji specyficznych, zaawansowanych algorytmów przetwarzających dane dostępne w systemie, możliwe jest realizowanie praktycznie dowolnych funkcji zarządzających. Omawiane technologie posiadają szereg narzędzi ułatwiających przetwarzanie różnego rodzaju informacji i danych. Wśród nich należy wymienić: możliwość wizualizacji stanu pracy urządzeń, realizacji harmonogramów, alarmowanie o zaistniałych warunkach, rejestrację i archiwizację danych oraz zdalny dostęp (rysunek 3).

Na podstawie obserwacji i analizy danych historycznych oraz posiadanych informacji dostarczanych w czasie rzeczywistym, a dotyczących stanu pracy odbiorów, można opracować dodatkowy podsystem doradczo-decyzyjny, wspierający użytkownika w zarządzaniu energią w obiekcie. W obecnym kształcie omawianych standardów możliwe jest zrealizowanie funkcji „strażnika mocy”, który na podstawie odpowiednich pomiarów zużycia energii będzie w stanie odpowiednio zarządzać pracą odbiorów.

Kolejną z funkcjonalności nowoczesnych systemów automatyki budynkowej, przydatną z punktu widzenia organizacji systemów EMS, jest możliwość obliczania czasu pracy poszczególnych odbiorów i na jego podstawie szacowanie zużycia energii. Rozwiązanie to może być przydatne w przypadku ograniczonych nakładów inwestycyjnych na dodatkowe urządzenia pomiarowe lub wykorzystywane w razie trudności w rozbudowie instalacji automatyki.

Należy nadmienić, że wspomniane technologie automatyki budynkowej wspierają obsługę funkcjonalności zarządzania energią w obiektach również poprzez odpowiednio przygoto-



Rys. 3. Widok przykładowego ekranu systemu EMS na panelu dotykowym [25]

wane zmienne sieciowe i bloki funkcjonalne poszczególnych grup urządzeń, nie dedykowanych „z definicji” do realizacji systemów EMS. Przykładowo w standardzie LonWorks profil funkcjonalny oświetlenia zewnętrznego (OLC) zawiera zmienną EnergyCnt, odpowiedzialną za wstępny pomiar zużytej energii elektrycznej przez daną oprawę oświetleniową, której pracą zarządza moduł. Dodatkowo w profilu tym zaimplementowano zmienne sieciowe informujące o parametrach pracy instalacji, jak np. pomiar dostarczanego napięcia zasilającego.

Wnioski

Systemy EMS sukcesywnie stają się kolejnym komponentem rozbudowanych platform systemowych automatyki budynkowej (BMS). Z perspektywy przyjmowanych norm i wytycznych w zakresie oszczędzania energii i podniesienia ogólnej efektywności energetycznej budynków odgrywają one bardzo znaczącą rolę. Dlatego istotny jest taki sposób ich organizacji, który będzie zapewniał jak największe wsparcie użytkowników i zarządców budynku w zakresie monitoringu zużycia energii oraz poprawy efektywności energetycznej. Bardzo ważnym elementem, decydującym o skuteczności wdrożenia systemów sterowania i zarządzania energią w budynkach, jest sposób wykonania wszystkich instalacji w obiekcie, nie tylko samej infrastruktury sieci automatyki i monitoring.

Literatura

- [1] PALENSKY P., 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.
- [2] 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.
- [3] NOGA M., OŻADOWICZ A., GRELA J., HAYDUK G.: *Active Consumers in Smart Grid Systems-Applications of the Building Automation Technologies*. „Przegląd Elektrotechniczny” 6/2013, pp. 227–233.

- [4] MORENO M.V., ÚBEDA B., SKARMETA A.F., ZAMORA M.A.: *How can we tackle energy efficiency in IoT based smart buildings?* Sensors (Basel), vol. 14, no. 6, pp. 9582–614, Jan. 2014.
- [5] HAN D.-M., LIM J.-H.: *Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee.* IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 56, no. 3, pp. 1417–1425, Aug. 2010.
- [6] 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, pp. 109–114.
- [7] XINGWANG C., SHUJING W., RENLONG W.: *LonWorks based standby electric equipment energy saving management system.* International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011, pp. 1533–1536.
- [8] MISSAOUI 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, pp. 155–167, Mar. 2014.
- [9] AL-MULLA A., ELSHERBINI A.: *Demand management through centralized control system using power line communication for existing buildings.* Energy Convers. Manag., vol. 79, pp. 477–486, Mar. 2014.
- [10] OŻADOWICZ A.: *Zarządzać energią z głową: OpenADR – dwukierunkowa komunikacja dostawcy energii – odbiorcy.* „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 6/2013, pp. 109–112.
- [11] JUNG D., LEE D., PARK S.: *Energy operation management for Smart city using 3D building energy information modeling.* Int. J. Precis. Eng. Manuf., vol. 15, no. 8, pp. 1717–1724, Aug. 2014.
- [12] Levemore G.: *Building Energy Management Systems: An Application to Heating, Natural Ventilation, Lighting and Occupant Satisfaction.* 2nd ed. Taylor & Francis, 2002, pp. 1–31.
- [13] GRELA J., OŻADOWICZ A.: *Instalacja oświetlenia przestrzeni publicznych Street Lighting w technologii LonWorks – przykład aplikacji systemów automatyki budynkowej ukierunkowanej na poprawę efektywności energetycznej [w:] MIKULIK J. (RED.): Inteligentne budynki. Nowe możliwości działania.* Wydawnictwo LIBRON, 2014, pp. 215–236.
- [14] LANGHAMMER N., KAYS R.: *Performance Evaluation of Wireless Home Automation Networks in Indoor Scenarios.* IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 4, pp. 2252–2261, Dec. 2012.
- [15] Hong S.H., Kim S.H.: *Integrated BACnet-ZigBee communication for building energy management system.* IECON 2013 – 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013, pp. 5723–5728.
- [16] JUNG M., WEIDINGER J., KASTNER W., OLIVIERI A.: *Building Automation and Smart Cities: An Integration Approach Based on a Service-Oriented Architecture.* 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2013, pp. 1361–1367.
- [17] RAMAKRISHNAN S., RAMAKRISHNAN S.: *WoT (Web of Things) for Energy Management in a Smart Grid-Connected Home.* Issues Informing Sci. Inf. Technol., vol. 10, 2013.
- [18] BYUN J., PARK S.: *Development of a self-adapting intelligent system for building energy saving and context-aware smart services.* IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 57, no. 1, pp. 90–98, Feb. 2011.
- [19] OEZLUEK A.C., PLOENNIGS J., KABITZSCH K.: *Designing building automation systems using evolutionary algorithms with semi-directed variations.* 2010 IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern., pp. 2328–2335, Oct. 2010.
- [20] BERNIER F., PLOENNIGS J., PESCH D., LESECQ S., BASTEN T., BOUBEKEUR M., DENTENEER D., OLTMANN S., BONNARD F., LEHMANN M., MAI T.L., MCGIBNEY A., REA S., PACULL F., GUYON-GARDEUX C., DUCREUX L.-F., THIOR S., HENDRIKS M., VERRIET J., FEDOR S.: *Architecture for self-organizing, co-operative and robust Building Automation Systems.* IECON 2013 – 39th Annual Conf. IEEE Ind. Electron. Soc., no. 1, pp. 7708–7713, Nov. 2013.
- [21] YOUNG J.: *BloT BUILDING Internet of Things.* AutomatedBuildings.com. [online]. Available: <http://www.automatedbuildings.com/news/mar14/articles/realcomm/140219043909realcomm.html>.
- [22] *Building Automation Prepares for the Building Internet of Things (BloT),* <http://www.memoori.com/>.
- [23] GRELA J., OŻADOWICZ A.: *PORTFOLIO: Opracowanie analizy możliwości technicznych i funkcjonalnych integracji technologii Internetu Rzeczy w systemach automatyki budynkowej.* 2014.
- [24] 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.
- [25] OŻADOWICZ A.: *Automatyka budynkowa w realizacji systemów smart grid – energooszczędność i integracja na poziomie odbiorcy energii.* „Wiadomości Elektrotechniczne” 11/2013, pp. 40–44.
- [26] KWASNOWSKI P.: *Ocena wpływu systemów automatyki na efektywność energetyczną budynków w świetle normy PN-EN 15232 Cz. 1.* „Inteligentny Budynek. Nowoczesne technologie dla inżynierów” 1/2013, pp. 34–37.
- [27] EN-15232 Standard, *Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management,* 2012.
- [28] LonMark: *Standard Program Identifier (SPID) Master List,* 2014. [Online]. Available: https://www.lonmark.org/technical_resources/resource_files/spid_master_list#DeviceClasses.
- [29] KNX Association: *Introduction to KNX and Konnex,* vol. 32, no. 0, 2004.
- [30] RUTA M., SCIOSCIA F., DI SCIASCIO E., LOSETO G.: *Semantic-Based Enhancement of ISO/IEC 14543-3 EIB/KNX Standard for Building Automation.* IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 7, no. 4, pp. 731–739, Nov. 2011.
- [31] KABITZSCH K., STAIN G.: *NETWORK PROFILES FOR LON,* 2000.



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