

Elementy aktywnego zarządzania popytem na energię w budynkach inteligentnych i mikroinstalacjach prosumenckich

Andrzej Ożadowicz, Jakub Grela

Wstęp

Współczesne systemy elektroenergetyczne podlegają dynamicznym przemianom, zarówno strukturalnym, jak i technologicznym. Wynikają one przede wszystkim z wciąż rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną, głównie ze strony odbiorców indywidualnych, ale również instytucjonalnych i przemysłowych. Ponadto są efektem rozwoju technologii i implementacji różnego typu źródeł energii – niekonwencjonalnych, odnawialnych (OZE). Część z nich instalowana jest na budynkach lub w bezpośrednim ich sąsiedztwie, stając się w efekcie integralnymi elementami lokalnego systemu zasilania w energię elektryczną. Stąd obserwowany w ostatnich latach rozwój lokalnych, prosumenckich mikroinstalacji energetycznych (PME, ang. *microgrids*) oraz pojawiająca się konieczność wdrożenia mechanizmów monitoringu i sterowania rozpięciem mocy w ramach inteligentnych sieci elektroenergetycznych (ISE) – Smart Grid. W sieci ISE odbiorcy, a także prosumenci wyposażeni w OZE, będą postrzegani już nie tylko jako pasywne elementy końcowe systemu zasilania, ale jako swego rodzaju aktywne węzły sieci, z możliwością podejmowania decyzji w zakresie zarządzania energią na poziomie lokalnym lub w systemie zasilania pojedynczego prosumenta, konsumenta [1–3]. W efekcie w systemie elektroenergetycznym dokonują się już teraz zmiany o charakterze strukturalno-organizacyjnym, ukierunkowane na zwiększenie znaczenia tzw. energetyki rozsianej, z rozproszoną terytorialnie strukturą nie tylko źródeł energii (duże elektrownie, mikroinstalacje, OZE), ale również sterowanych i mobilnych

Streszczenie: W rozwoju i implementacji nowych funkcji systemów automatyki budynkowej kluczową rolę odgrywają mechanizmy zarządzania energią elektryczną, zarówno w samych budynkach, jak i ich grupach, objętych lokalnymi mikroinstalacjami prosumenckimi. Jednym z nich jest aktywne zarządzanie popytem na energię, z wykorzystaniem integracji urządzeń monitorujących i sterujących w ramach systemów automatyki budynkowej. Poziom popytu na energię w budynku lub lokalnej mikroinstalacji zmienia się w czasie i zależy od różnych zdarzeń, czynników i parametrów. Dlatego autorzy przedstawiają w tym artykule model elastycznego

zarządzania popytem, wraz z ideą jego implementacji, w systemach monitoringu i sterowania. Zaprezentowano również inne, istotne elementy organizacji zaawansowanych systemów zarządzania energią i popytem na nią w budynkach, w szczególności w świetle planowanego rozwoju inteligentnych sieci elektroenergetycznych oraz lokalnych instalacji zasilających, z odnawialnymi źródłami energii. Proponowane rozwiązanie zapewnia możliwość integracji z sieciowymi systemami automatyki budynkowej, bazującymi na otwartych, międzynarodowych standardach, oraz włączenia w infrastrukturę sieci protokołu IP – Internetu Rzeczy.

🇬🇧 AN ACTIVE ENERGY DEMAND RESPONSE AND MANAGEMENT IN INTELLIGENT BUILDINGS AND PROSUMERS' MICROGRIDS – TECHNOLOGIES AND CONCEPTS

Abstract: *Crucial part of modern Building Automation and Control Systems (BACS) is electric energy management. An active demand side management is very important feature of a Building Energy Management Systems (BEMS) integrated within the BACS. Additionally, energy demand value changes in time and depends on various events, factors and parameters. Therefore, a demand elasticity model has been proposed, providing reliable information about current and expected en-*

ergy demand for individual buildings and groups of buildings within local microgrids. In this paper authors propose extension of this model with respect to parameters available in the BACS, determining energy demand level. Other elements of the advanced energy management systems are shortly presented as well. Solutions described in the paper are ready for integration within distributed BACS, based on open, international standards with Internet of Things paradigm.

zasobników energii (baterie akumulatorów w sieciach lokalnych, akumulatory w pojazdach elektrycznych itp.). Taki rozproszony i dynamiczny system ISE

musi cechować możliwość szybkiej komunikacji danych między poszczególnymi jego elementami i podmiotami oraz dostępność aplikacji umożliwiających

zarządzanie w każdym z obszarów sieci: gospodarstwo domowe, budynek, osiedle, stacje ładowania pojazdów elektrycznych, większe społeczności i skupiska odbiorców i prosumentów. Tworzona w ramach rozwoju sieci ISE struktura komunikacyjno-teleinformatyczna stanowi też podstawę planowanego wprowadzenia mechanizmów konkurencji na rynku energii, umożliwiającą aktywny udział odbiorców i prosumentów w transakcjach takich, jak: handel energią, licytacja usług pomocniczych, ustalanie warunków udziału podmiotów w programach sterowania i zarządzania popytem na energię [4].

Odbiorcy, prosumenci – zarządzanie energią w mikroinstalacjach energetycznych

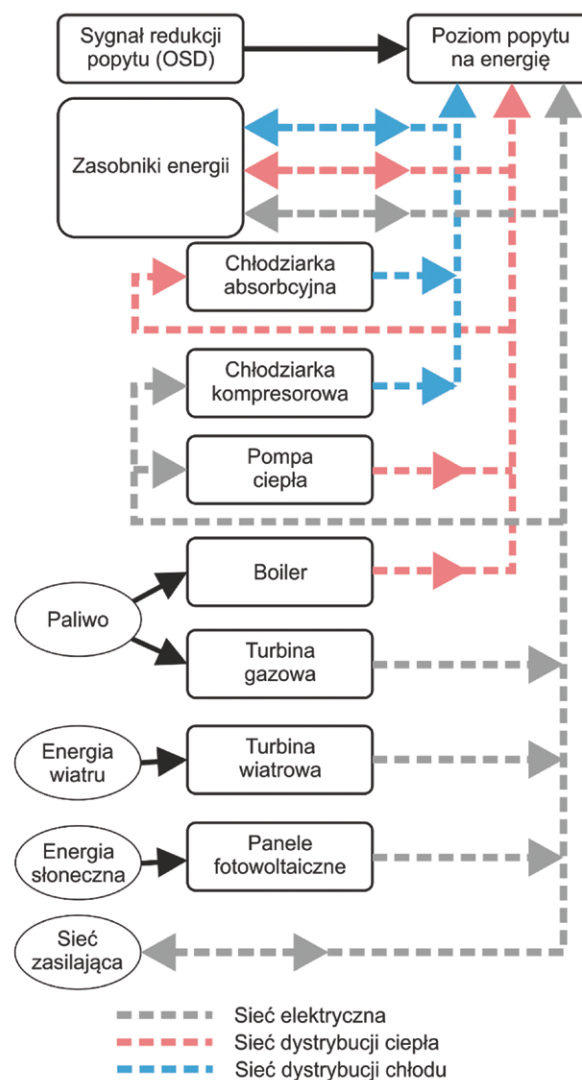
Wszystkie wspomniane działania wymagają i wspierają aktywizację strony konsumenckiej i prosumenckiej w ramach nowoczesnych ISE. Według założeń koncepcji organizacyjnej i rozwojowej Smart Grid, odbiorcy energii i lokalni prosumenci mają docelowo aktywnie uczestniczyć w procesie zarządzania popytem na energię i moc dostępną w systemie elektroenergetycznym, a efektywne wdrożenie niezbędnych ku temu mechanizmów i technologii wymaga wprowadzenia nowych rozwiązań organizacyjnych i technicznych [3–5]. Stąd idea wykorzystania na najniższym poziomie struktur komunikacji i sterowania, na tzw. poziomie obiektowym obsługi odbiorcy i prosumenta, technologii i systemów od wielu już lat obecnych w budynkach, zwłaszcza użyteczności publicznej i komercyjnych czy biurowych. Chodzi tu przede wszystkim o infrastrukturę sieci teleinformatycznych, zintegrowane i rozproszone systemy automatyki budynkowej czy instalacje pomiarowe zużycia energii i innych mediów użytkowanych w budynkach [6]. W ideę tę doskonale wpisuje się również obserwowany aktualnie i niezwykle dynamiczny rozwój technologii i aplikacji Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things* – IoT), bazującego na swobodnej wymianie danych między urządzeniami instalowanymi w budynkach, między serwerami świadczącymi

usługi akwizycji i przetwarzania danych, będącymi w dyspozycji różnych podmiotów rynkowych (np. dostawcy energii, zarządcy budynków, menedżerowie firm, operatorzy usług mobilnych itp.). Obecnie obserwuje się trend integracji, w ramach sieci IoT, elementów i funkcji systemów automatyki budynkowej (BACS – ang. *Building Automation and Control Systems*) oraz sieciowych systemów wymiany informacji, dzięki którym odbiorcy i prosumenci będą mieli w najbliższej przyszłości możliwość zarządzania nie tylko działaniem odborników energii elektrycznej w swoich budynkach, ale również pracą niewielkich odnawialnych źródeł OZE, systemów ogrzewania, nowoczesnych zasobników różnych rodzajów energii oraz samochodów elektrycznych, zintegrowanych w ramach lokalnych PME [7–9].

Rozwój współczesnych sieci elektroenergetycznych przebiega na wielu obszarach. Oprócz konieczności modernizacji istniejących już elektrowni, budowania nowych bloków energetycznych oraz poszukiwania alternatywnych, odnawialnych źródeł energii elektrycznej i ciepłej, ważnym elementem tego rozwoju jest trend budowania lokalnych mikroinstalacji prosumenckich – PME. Tworzą je pojedyncze budynki lub ich grupy (użytkownicy indywidualni, zbiorowi, przemysłowi), wyposażone w różnego typu OZE, w odbiorniki z możliwością sterowania ich załączaniem i wyłączeniem dzięki funkcjom systemów BACS oraz w zasobniki energii, w tym chociażby mobilne baterie pojazdów elektrycznych i zasobniki stacjonarne, wykonane w nowych technologiach (np. zasobniki LIC – ang. *Lithium Ion Capacitor*). W takich PME istnieje możliwość okresowego zasilania odbiorców lokalnie, bez obciążania zewnętrznego systemu elektroenergetycznego. W ten sposób lokalna PME może być postrzegana jako swego rodzaju zamknięta, w pełni monitorowana i sterowalna jednostka, zaspokajająca lokalne potrzeby odbiorców energii. Ponadto, przy zastosowaniu odpowiednich mechanizmów stymulacji zachowań i ewentualnego (za zgodą odbiorców, prosumentów objętych lokalną PME) sterowania z zewnątrz przez dostawców energii,

mikroinstalacje PME mogą przynieść dodatkowe korzyści dla całego systemu elektroenergetycznego w postaci wyrównania poziomu obciążenia dobowego, w szczególności redukcji tzw. szczytowych obciążeń w godzinach popołudniowych i wieczornych. Wtedy bowiem w bilansie energetycznym największą rolę odgrywa konsumpcja energii przez odbiorniki wykorzystywane w budynkach, mieszkaniach, domach. Wymaga to jednak wprowadzenia odpowiednich narzędzi, np. stymulacji taryfowej (np. zróżnicowanie cen energii w zależności od pory dnia czy aktualnego poziomu zapotrzebowania na energię w danej lokalizacji) oraz usług zarządzania popytem – ang. *Demand Side Management* (DSM) – w połączeniu z szeroką akcją uświadamiającą odbiorców i prosumentów, przekonującą ich do korzystania z tych proponowanych mechanizmów i technologii. Od strony technicznej zaś efektywne wprowadzenie tychże mechanizmów, przy jednoczesnym zapewnieniu zadawalającego prosumenta efektu ekonomicznego, wymaga implementacji na poziomie obiektowym, a więc bezpośredniej obsługi urządzeń, źródeł energii i zasobników w ramach PME, odpowiednich modułów i systemów automatyki. Pozwolą one na interaktywne sterowanie rozpięciem mocy w instalacjach zasilających budynki, zarówno w warunkach zmiennego zapotrzebowania na energię, jak i zmiennej charakterystyki generacji źródeł odnawialnych [4, 10, 11]. Niespokojny charakter mocy wyjściowej OZE, zależnej od zmian poziomu dostępnej energii pierwotnej (słońca, wiatru, biomasy), determinuje konieczność stosowania specjalizowanych układów energoelektronicznych, umożliwiających dopasowanie parametrów generowanej energii do aktualnego poziomu mocy dostępnej w sieci dystrybucyjnej oraz zmiennego zapotrzebowania na moc ze strony użytkowników, konsumentów w PME. Ponieważ efektywne wykorzystanie elementów PME wymaga narzędzi skutecznego zarządzania energią, zarówno tą pozyskiwaną z OZE, jak i tą magazynowaną lokalnie oraz konsumowaną przez odbiorniki, konieczna jest implementacja w takich mikroinstalacjach zaawansowanych systemów zarządzania energią (ang. *Energy Management System* – EMS). Idea organizacji kompleksowej PME, wraz ze wskazaniem elementów zarządzania popytem na energię, pokazana została na rysunku 1.

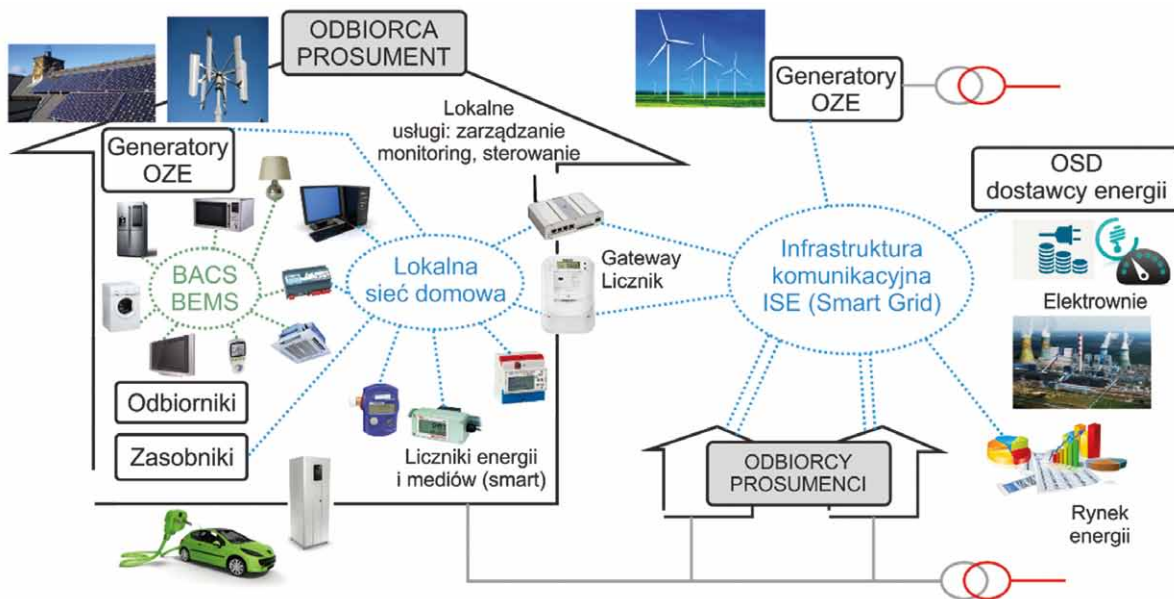
W sukurs użytkownikom PME przychodzą systemy BACS, stosowane w nowo budowanych oraz modernizowanych budynkach i oferujące funkcje sterowania oraz monitoringu elementów infrastruktury budynkowej w tzw. inteligentnych budynkach. Coraz częściej korzystają one również z technologii IoT, integrując elementy infrastruktury teleinformatycznej i narzędzia gromadzenia i przetwarzania danych w tzw. chmurze (zewnętrzne serwery danych, również z zaawansowanymi usługami analitycznymi i decyzyjnymi). W oparciu o narzędzia obu tych platform wdrażane są coraz powszechniej systemy aktywnego zarządzania energią w budynkach BEMS (ang. *Building Energy Management Systems*), o różnych poziomach zaawansowania funkcjonalnego. W systemach BEMS integrowane są liczniki energii, odbiorniki, zasobniki, ale też różne rodzaje czujników, dostarczające informacje o stanie i parametrach pracy urządzeń infrastruktury budynkowej [5, 6, 13]. Użytkownicy i zarządcy budynków, docelowo rozumiani też



Rys. 1. Elementy kompleksowej Prosumenckiej Mikroinstalacji Energetycznej z wybranymi elementami zarządzania popytem [12]

jako prosumenci, zyskują w ten sposób nowe narzędzie monitoringu zużycia energii i mediów, bez konieczności instalowania dodatkowej dedykowanej sieci, modułów systemowych itp. Dzięki zintegrowanym na poziomie obiektowym w ramach BACS licznikom i modułom monitorującym możliwe jest wykorzystanie generowanych przez nie danych lub wyników ich przetwarzania (w lokalnych serwerach lub w chmurze), bezpośrednio jako parametrów do realizacji funkcji sterowania urządzeniami i OZE w ramach PME. W efekcie powstaje system zarządzania energią i popytem w ramach lokalnej PME, który integruje różne elementy, urządzenia i podsystemy wykorzystywane w samych budynkach oraz w infrastrukturze ISE, co pokazano schematycznie na rysunku 2 [13].

System taki pozwala na implementację zaawansowanych scenariuszy sterowania oświetleniem, ogrzewaniem lub wentylacją pomieszczeń, zależnie od różnych parametrów zewnętrznych (temperatura, intensywność oświetlenia, stężenie CO₂ itp.) lub



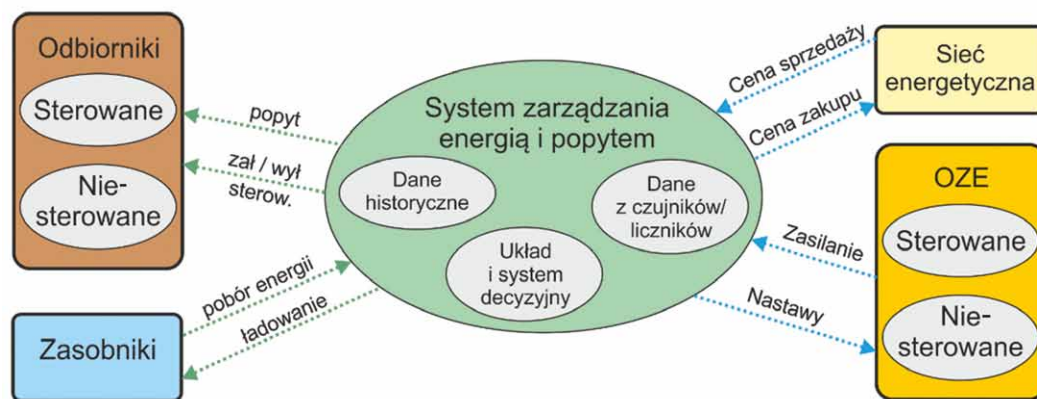
Rys. 2. Przykładowa infrastruktura techniczna i systemowa w lokalnej PME, ze zintegrowanymi funkcjami zarządzania popytem na energię w ramach rozproszonych systemów BACS i BEMS oraz wybranymi narzędziami z poziomu obsługi ISE [13]

np. obecności osób, z uwzględnieniem sygnałów i danych dotyczących zużycia energii, poziomów obciążenia obwodów zasilających, okresów z różnymi taryfami cen energii itp. Ponadto możliwe jest również realizowanie zadań związanych z aktywnym zarządzaniem popytem (DSM) i efektywnym wykorzystaniem energii OZE do zasilania pojedynczych budynków lub całych kampusów czy osiedli, z własnymi zintegrowanymi mikroinstalacjami PME [3, 5, 10].

Aktywne zarządzanie popytem na energię w budynkach i mikroinstalacjach

W praktyce DSM to zbiór różnych narzędzi, działań i technologii ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej urządzeń wykorzystywanych w PME, w kontekście ich współdziałania z siecią dystrybucji energii. Implementacja mechanizmów aktywnego DSM ma na celu przede wszystkim ograniczenie zużycia energii elektrycznej

pozyskiwanej z systemu elektroenergetycznego i poprawę efektywności energetycznej budynków poprzez aktywne sterowanie odbiornikami i podsystemami infrastruktury budynkowej, w zależności od rzeczywistego i prognozowanego poziomu popytu na energię. Dzięki systemom aktywnego DSM możliwe jest również dopasowanie aktualnego poziomu mocy generowanej przez OZE, zgromadzonej w zasobnikach w strukturze PME oraz tej dostępnej z zewnętrznej



Rys. 3. Idea organizacji funkcji aktywnego zarządzania energią i popytem w ramach PME [12]

sieci zasilającej, do rzeczywistego zapotrzebowania na energię w mikroinstalacji PME. Służy temu aktywne sterowanie odbiornikami zależnie od zmiennych parametrów i czynników – obecność osób, harmonogramy czasowe, informacje z sieci zasilającej (taryfa, żądanie ograniczenia poboru mocy) [14]. Uwzględnienie sygnałów i danych z różnych podsystemów i urządzeń infrastruktury PME wymaga przygotowania strategii działania aktywnych systemów DSM tak, by mogły one adaptować się na bieżąco do zmian poziomu popytu na energię w PME oraz zmiennych warunków funkcjonowania zewnętrznej sieci zasilającej. Taka elastyczność może być osiągnięta dzięki pełnej integracji z sieciami rozproszonymi systemów BACS. Inteligentne i aktywne platformy systemowe BEMS i DSM są bardzo ważnym elementem ogólnej strategii zarządzania popytem na energię w systemie elektroenergetycznym i powinny być uwzględniane przy wdrażaniu w systemach sieci Smart Grid programów zarządzania popytem Demand Response (DR) [15]. Aktywne zarządzanie popytem odbywa się przede wszystkim poprzez sterowanie załączaniem i wyłączeniem wybranych grup lub pojedynczych urządzeń w budynku lub w zespole budynków oraz przez regulację mocy dostarczanej przez zasobniki energii oraz źródła odnawialne, w oparciu o analizowane na bieżąco informacje z czujników wybranych parametrów oraz sygnałów zewnętrznych od operatora sieci dystrybucyjnej – OSD.

Dlatego sterowanie staje się elementem swego rodzaju negocjacji, realizowanych przez system sterowania i monitoringu, w którym można wydzielić cztery kategorie urządzeń i elementów infrastruktury PME: lokalne źródła OZE, odbiorniki (obciążenie), zasobniki energii i przyłącze do konwencjonalnej sieci elektroenergetycznej. Na rysunku 3 pokazano schematycznie organizację takiego systemu zarządzania energią i popytem w ramach PME [12].

W tej koncepcji organizacyjnej należy przede wszystkim zwrócić uwagę na nieprzewidywalne zachowanie źródeł OZE, w których wytwarzana moc zależy od zewnętrznych, zmiennych czynników (wiatr, nasłonecznienie). Stąd trudność uwzględnienia ich udziału w procesach sterowania, zarządzania mocą w ramach PME i związana z tym konieczność włączenia w ramach PME zasobników energii, pozwalających na gromadzenie energii oraz jej oddawanie do PME w sposób bardziej przewidywalny. To wszystko w bezpośrednim powiązaniu z wykorzystaniem grup odbiorników, których załączanie i wyłączenie z sieci zasilającej może być sterowane zależnie od zmieniających się uwarunkowań, jednak bez utraty komfortu i bezpieczeństwa funkcjonowania budynków oraz ich użytkowników [12, 13]. Wszystkie te działania pozwalają na uelastycznienie doboru obciążeń w PME i dalej w ISE oraz przesunięcie znaczących poborów mocy poza godziny tzw. szczytu poboru mocy w ciągu doby. Systemy EMS i BEMS powinny

umożliwiać obsługę implementowanych już przez OSD w instalacjach pilotażowych działań stymulujących prosumen-tów i odbiorców do aktywnego udziału w zarządzaniu energią, m.in. poprzez korzystne dla odbiorców taryfy energetyczne, akcje promocyjne, interakcję z użytkownikami budynków ze strony dostawców energii itp.

W organizacji aktywnych systemów DSM kluczowym elementem jest reakcja strony popytowej DR. Odbiorca i prosument włączany do mechanizmu zarządzania popytem w ramach PME wyraża zgodę na dobrowolne, czasowe dostosowanie swojego zapotrzebowania na moc (zmniejszenie poboru mocy lub przesunięcie go w czasie), w przypadku otrzymania informacji systemowej np. o atrakcyjnej taryfie cenowej w innych godzinach doby. Może on reagować na tego typu sygnały indywidualnie lub przez pośrednika (tzw. agregator lub OSD), któremu powierza takie uprawnienia. Efektywnie działanie takiego systemu wymaga zatem zaangażowania odbiorcy i prosumenta i dostępnej w jego budynku lub mikroinstalacji PME infrastruktury, poprzez włączenie jej i integrację z sieciowymi systemami monitoringu i sterowania, budowanymi w oparciu m.in. o infrastrukturę systemów BACS oraz elementy sieci teleinformatycznych, umożliwiającą komunikację zdalną pomiędzy instalacją sterowania PME oraz systemem komunikacji i sterowania OSD [4]. Wykorzystanie systemów BACS ułatwia też wprowadzenie obsługi

zdarzeniowej załączania i wyłączania odbiorników oraz źródeł energii, zależnie od dynamicznych zmian parametrów funkcjonowania budynku, wykrywanych np. przez czujniki zintegrowane w ramach BACS. Różne czujniki zintegrowane w systemach BACS, w przypadku wykrycia zdarzenia (np. obecność osób, zmiana temperatury, zmiana poziomu oświetlenia itp.), wysyłają dane w postaci zmiennych sieciowych BACS, które mogą być wykorzystane do wyzwolenia określonych akcji lub scenariuszy sterowania urządzeniami wykonawczymi. Jednym z najnowszych trendów w tym zakresie jest wprowadzenie aktywnej mikrolokalizacji użytkowników w budynkach, w oparciu o technologię nadajników Bluetooth czy stacji bazowych Wi-Fi [16, 17].

Odbiorca i prosument profilowany

Integracja systemów BACS i BEMS umożliwia również identyfikację i budowę profili odbiorców energii elektrycznej oraz prosumentów. Dzięki informacjom z liczników energii elektrycznej i innych mediów wykorzystywanych w budynkach oraz dostępnych przez BEMS danych dotyczących załączania i wyłączania lub regulacji określonych grup odbiorników operatorzy systemu energetycznego oraz podmioty zarządzające lokalnymi PME zyskują unikalną możliwość poznania schematów funkcjonowania określonych urządzeń w budynkach. Analiza takich danych pozwala z kolei na pogrupowanie odbiorców i prosumentów o podobnych profilach zużycia energii i zapotrzebowania na moc i w oparciu o te analizy przygotowanie dla nich określonych, dopasowanych ofert np. w zakresie taryfikacji w ciągu doby, możliwości sterowania mocą dostępną w ramach ich lokalnych PME – z OZE lub zasobników energii [18, 19]. Profile zużycia energii mogą bowiem radykalnie różnić się między sobą w przypadku analizy różnego typu budynków: obiekty przemysłowe, budynki administracyjne i biurowe, obiekty użyteczności publicznej oraz budynki mieszkalne. Profile mogą się jednak różnić również w ramach poszczególnych grup – zależnie od wspomnianych zachowań użytkowników

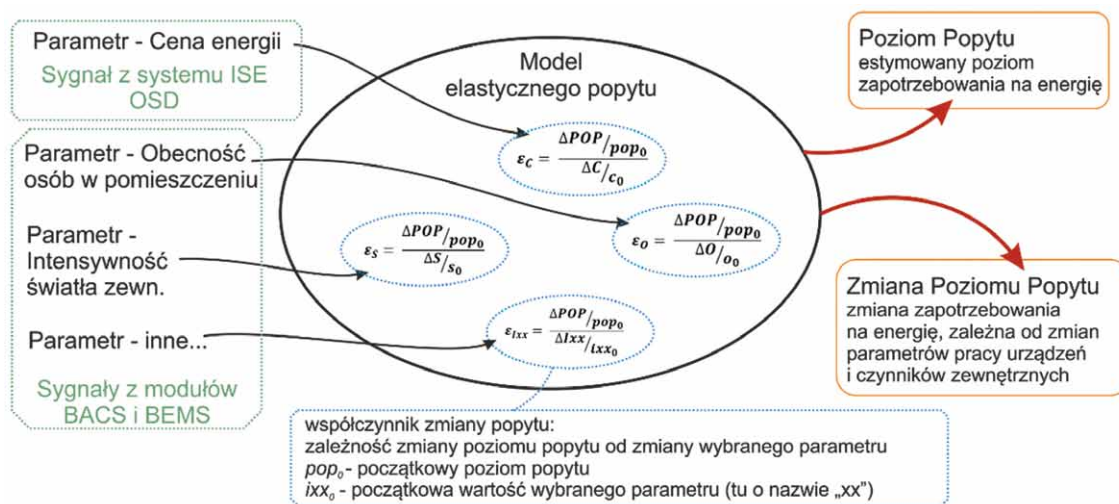
czy stopnia automatyzacji infrastruktury budynkowej. Przykładowo w gospodarstwach domowych profile są ściśle powiązane z okresami obecności mieszkańców i właśnie wtedy sensowne jest ich aktywne angażowanie w strategię zarządzania energią, ukierunkowane na ograniczenie jej konsumpcji, bądź pobór mocy z dostępnych w ramach PME OZE czy zasobników energii [4, 20].

Dla efektywnego zarządzania energią w ramach PME bardzo istotna jest identyfikacja podobnych profili odbiorców i prosumentów. Pozwala ona efektywnie prognozować popyt oraz możliwe zakresy redukcji mocy w godzinach szczytu [18]. Dlatego dla dystrybutorów energii, ale również dla aktywnie działających w ramach ISE odbiorców i prosumentów, bardzo istotne jest zbudowanie prawidłowego profilu poboru mocy, tak by im zaproponować odpowiednią ofertę w zakresie sprzedaży energii. Dlatego przy wdrażaniu programów aktywizacji strony popytowej tak duże znaczenie ma przemyślana organizacja i integracja systemów BEMS na poziomie obiektowym, z możliwością współpracy z zewnętrzną siecią teleinformatyczną. Budowanie profilu energetycznego wymaga bowiem wyznaczenia i analizy wszystkich czynników mających wpływ na profil zużycia energii w budynkach, ich interakcji i ostatecznej analizy zachowań użytkowników budynków oraz stanów pracy wykorzystywanej w nich infrastruktury [15, 18, 21, 22]. Dlatego też, z punktu widzenia efektywnej organizacji ISE, określenie profilu zużycia energii odbiorcy i prosumenta, a w szczególności identyfikacja szczytowych okresów poboru mocy przez odbiorców końcowych, jest podstawowym elementem redukcji kosztów oraz tworzenia równowagi między stronami popytu i podaży. Agregacja profili odbiorców i prosumentów na ograniczonym, lokalnym obszarze (również w ramach PME), jest podstawą określenia potencjału programów aktywnego DSM i DR, wdrożenia systemu stymulacji popytu i taryfikacji odbiorców i prosumentów [2, 4, 21].

Elastyczne zarządzanie popytem

W nowoczesnych sieciach elektroenergetycznych typu ISE interaktywna

reklama



Rys. 4. Koncepcja funkcjonowania modelu elastycznego popytu na energię, z uwzględnieniem wpływu wybranych, zmieniających się w czasie czynników i parametrów

współpraca pomiędzy OSD a odbiorcami i prosumentami wymaga wdrożenia skutecznych mechanizmów aktywnego kształtowania popytu na energię po stronie odbiorczej. Pobyć ten, jak już wspomniano, zależy od wielu czynników: przede wszystkim od obecności osób i ich zachowań w budynkach, parametrów pracy urządzeń infrastruktury budynkowej oraz różnych czynników zewnętrznych, takich jak temperatura, poziom intensywności światła itp. Jednym z elementów aktywnego DSM jest model elastycznego kształtowania popytu na energię, z możliwością predykcji i estymacji poziomu popytu na podstawie danych historycznych, ale również tych na bieżąco rejestrowanych w budynku, w ramach infrastruktury BEMS i BACS. Elastyczność popytu jest w tym podejściu definiowana jako zmiana poziomu popytu w ustalonym okresie czasu (standardowo 1 godzina), powodowana zmianą określonego czynnika zewnętrznego (np. cena energii) lub parametru mierzonych przez systemy BACS i BEMS [22–24]. Implementacja takiego modelu kształtowania popytu w ramach mechanizmu aktywnego DSM pozwala OSD (dostawcy energii) na aktywne kształtowanie np. poziomu ceny energii oferowanej odbiorcy, zależnie od okresu doby, tygodnia i aktualnego oraz prognozowanego dla niego

(lub grupy odbiorców i prosumentów w ramach PME) popytu na energię. W konsekwencji możliwe jest elastyczne i aktywne zarządzanie popytem na energię w budynkach i PME, wspierające obsługę różnych danych i sygnałów z obiektów, mających wpływ na kształtowanie się poziomu popytu na energię. Autorzy niniejszego artykułu biorą aktywny udział w pracach badawczych i wdrożeniowych takiego modelu, przy współpracy z naukowcami z Uniwersytetu Technicznego z Eindhoven w Holandii (TU/e). Aktualnie prace skupiają się na weryfikacji poprawności założeń modelu elastycznego zapotrzebowania na energię, z wykorzystaniem wybranych zmieniających się w czasie parametrów wpływających na poziom zapotrzebowania na energię w budynkach i PME. W pierwszej kolejności zaimplementowano w algorytmach działania modelu tylko informację o zmianach cen energii w różnych okresach czasu, przesyłaną ze strony OSD do odbiorcy i prosumenta. Następnie, korzystając z dostępności w ramach systemów BEMS i BACS danych z czujników różnych parametrów związanych z funkcjonowaniem budynków, w modelu uwzględniono sygnał o obecności osób w wybranych pomieszczeniach. Implementację tę przeprowadzono na modułach uniwersalnych mikrokomputerów Raspberry Pi,

korzystających z platformy systemowej Internetu Rzeczy i zintegrowanych na poziomie obiektowym w ramach systemu BACS, opartego o otwarty standard automatyki budynkowej LonWorks i zainstalowanego w pomieszczeniach laboratoryjnych AutBudNet AGH [25–27]. Stanowi ona rozwinięcie koncepcji modułów IoT dla systemów zarządzania energią, prezentowanych już na łamach magazynu „Napędy i Sterowanie” w bieżącym roku [9]. Ideę funkcjonowania modelu elastycznego popytu na energię, z uwzględnieniem możliwości oddziaływania różnych parametrów i czynników, przedstawiono schematycznie na rysunku 4.

Elementy implementacyjne modelu elastycznego popytu na energię, kształtowanego w zależności od wybranych parametrów rejestrowanych w systemach BACS i BEMS, są aktualnie w fazie badawczo-rozwojowej. Zespoły naukowców AGH i TU/e przygotowują dedykowane dla niego profile funkcjonalne jako rozwinięcie możliwości funkcjonalnych licznika energii z funkcją aktywnego zarządzania energią i sterowania odbiornikami w budynku. Licznik taki, zintegrowany w ramach BEMS, będzie elementem wsparcia procesów decyzyjnych i zarządczych aktywnych odbiorców i prosumentów, korzystających z infrastruktury PME.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania za dotychczasową, niezwykle owocną współpracę badawczo-rozwojową zespołowi naukowemu z Uniwersytetu Technicznego TU/e Eindhoven z Holandii. W szczególności zaś Panu Muhammadowi Babarowi – za aktywne wsparcie merytoryczne przy budowaniu koncepcji modelu elastycznego zarządzania popytem oraz jego implementacji w ramach systemów BACS.

Literatura

- [1] OŻADOWICZ A.: *Nieodwracalny Smart Grid*. „Energ. Ciepl. i Zawodowa” 5/2014.
- [2] OLKUSKI T., CIESIELKA E., SZURLEJ A.: *Programy zarządzania popytem odbiorcy energii elektrycznej*. „Rynek Energii” 2(117)/2015.
- [3] NOGA M., OŻADOWICZ A., GRELA J., HAYDUK G.: *Active Consumers in Smart Grid Systems-Applications of the Building Automation Technologies*. „Electr. Rev.” 6/2013.
- [4] PAMUŁA A.: *Zaangażowanie odbiorców z grupy gospodarstw domowych w zarządzanie popytem na energię*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2013.
- [5] PALENSKY P., DIETRICH D., MEMBER S.: *Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems and Smart Loads*. IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 7, 3/2011, pp. 381–388.
- [6] OŻADOWICZ A., GRELA J.: *Analiza technologii monitoringu i sterowania w budynkach – Prosumenckie Mikroinstalacje Energetyczne*. „Napędy i Sterowanie” 12/2015.
- [7] OŻADOWICZ A.: *Internet Rzeczy w systemach automatyki budynkowej*. „Napędy i Sterowanie” 12/2014.
- [8] OŻADOWICZ A.: *Zarządzać energią z głową: OpenADR – dwukierunkowa komunikacja dostawcy energii – odbiorcy*. „Energ. Ciepl. i Zawodowa” 2013.
- [9] GRELA J., OŻADOWICZ A.: *Uniwersalne moduły technologii Internetu Rzeczy (IoT) dla systemów automatyki budynkowej i zarządzania energią w budynkach*. „Napędy i Sterowanie” 6/2016.
- [10] GRELA J.: *Koncepcja organizacji systemów zarządzania energią w sieciach automatyki budynkowej*. „Napędy i Sterowanie” 12/2014.
- [11] TASCIKARA OGLU A., BOYNUEGRI A.R., UZUNOGLU M.: *A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: A smart home system in Turkey*. „Energy Build.” 80/2014.
- [12] PRODANOVIC M., GAFUROV T., TELLEZ M.B.: *A demand based approach to optimisation of energy supply mix for smart buildings*. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2012, pp. 1–8.
- [13] WENNINGER J., HAASE J.: *The effect of smart appliances and smart gateways on network loads*. IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2014, pp. 2682–2687.
- [14] PALENSKY P., DIETRICH D.: *Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads*. IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 7, no. 3, Aug. 2011, pp. 381–388.
- [15] BETTINAZZI G., NACCI A.A., SCIUTO D.: *Methods and Algorithms for the Interaction of Residential Smart Buildings with Smart Grids*. IEEE 13th Int. Conf. Embed. Ubiquitous Comput., 2015, pp. 178–182.
- [16] ZAFARI F., PAPAPANAGIOTOU I., CHRISTIDIS K.: *Microlocation for Internet-of-Things-Equipped Smart Buildings*. IEEE Internet Things J., vol. 3, no. 1, Feb. 2016, pp. 96–112.
- [17] SHEINKER A., GINZBURG B., SALOMONSKI N., FRUMKIS L., KAPLAN B., MOLDWIN M.B.: *A method for indoor navigation based on magnetic beacons using smartphones and tablets*. „Measurement” 81/2016.
- [18] KWAC J., FLORA J., RAJAGOPAL R.: *Lifestyle segmentation based on energy consumption data*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3053, no. c, 2016.
- [19] KAVOUSIAN A., RAJAGOPAL R., FISCHER M.: *Ranking appliance energy efficiency in households: Utilizing smart meter data and energy efficiency frontiers to estimate and identify the determinants of appliance energy efficiency in residential buildings*. „Energy Build.” 99/2015.
- [20] PICAULT D., COTTET O., RUEZ T.: *Demand response: A solution to manage loads in the smart grid*. IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2015, pp. 352–356.
- [21] VÁZQUEZ F.I., KASTNER W.: *Usage profiles for sustainable buildings*. IEEE 15th Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. (ETFA 2010), Sep. 2010, pp. 1–8.
- [22] KNX_Association, *KNX Demand Side Management*. „White Paper” 2013.
- [23] BABAR M., NGUYEN P.H., CUK V., KAMPHUIS I.G.: *The development of demand elasticity model for demand response in the retail market environment*. IEEE Eindhoven PowerTech, 2015, pp. 1–6.
- [24] OŻADOWICZ A., GRELA J., BABAR M.: *Implementation of a Demand Elasticity Model in the Building Energy Management System*. International Conference on Event-based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP), 2016, pp. 1–4.
- [25] NOGA M., OŻADOWICZ A., GRELA J.: *Modern, certified building automation laboratories AutBudNet – put ‘learning by doing’ idea into practice*. „Electr. Rev.” 11/2012.
- [26] OŻADOWICZ A., GRELA J.: *Control application for Internet of Things energy meter – A key part of integrated building energy management system*. IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), Octob. 2015, pp. 1–4.
- [27] OŻADOWICZ A., GRELA J.: *An Event-Driven Building Energy Management System Enabling Active Demand Side Management*. International Conference on Event-based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP), 2016, pp. 1–8.

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