

WYZNACZANIE POZIOMU POPYTU W SYSTEMACH AKTYWNEGO ZARZĄDZANIA ENERGIĄ ELEKTRYCZNĄ W BUDYMKACH

Andrzej OŹADOWICZ¹, Jakub GRELA²

1. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
tel.:+48126175011 e-mail: ozadow@agh.edu.pl
2. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
tel.:+48126175011 e-mail: jgrela@agh.edu.pl

Streszczenie: Efektywne zarządzanie energią w budynkach to kluczowy element inteligentnych sieci elektroenergetycznych z koncepcją zarządzania popytem na energię (Demand Side Management). Znajomość wartości poziomu popytu jest istotna z punktu widzenia organizacji aktywnych systemów zarządzania energią w budynkach. Systemy automatyzacji i sterowania budynkami (BACS) mogą dostarczać i gromadzić informacje o pobieranej mocy i energii przez odbiorniki, wraz z możliwością ich dynamicznego sterowania. W artykule zaproponowano różne algorytmy wyznaczania poziomu popytu, z wykorzystaniem mechanizmów harmonogramowania lub obsługi zdarzeń, charakterystycznych dla systemów BACS. Funkcjonowanie algorytmów poddano weryfikacji doświadczalnej. Przeprowadzono również analizę opracowanych algorytmów pod kątem ich możliwości aplikacyjnych, wskazując ich wady i zalety.

Słowa kluczowe: systemy zarządzania energią; aktywne systemy zarządzania popytem; demand response, automatyka budynkowa.

1. WSTĘP

Budynki są jednym z najbardziej energochłonnych sektorów gospodarki. Dotyczy to różnych rodzajów energii pochłanianych w czasie ich budowy i eksploatacji, w tym w szczególności energii elektrycznej. Zużycie energii w budynkach stanowi ok. 40% ogólnego zużycia zasobów energetycznych na świecie, w tym nawet do 65% globalnego zużycia energii elektrycznej [1]. Dlatego konieczne jest stosowanie różnorodnych technik inżynierskich, w celu ograniczenia konsumpcji energii w tym sektorze, jak również poprawy ogólnego wskaźnika efektywności energetycznej budynków i ich infrastruktury. W nowobudowanych oraz modernizowanych obiektach, instalowane są systemy automatyki budynkowej BACS (ang. Building Automation and Control Systems), pozwalające na sprawne i zdalne sterowanie oraz monitoring elementów infrastruktury budynkowej w tzw. inteligentnych budynkach. Coraz częściej w ramach systemów BACS integrowane są systemy zdalnego opomiarowania mediów (ang. Smart Metering), w tym energii elektrycznej. W oparciu o narzędzia obu tych platform, wdrażane są coraz powszechniej systemy zarządzania energią w budynkach BEMS (ang. Building Energy Management Systems), o różnych poziomach zaawansowania funkcjonalnego. W systemach BEMS integrowane są różne rodzaje czujników, dostarczając informacje o stanie i parametrach pracy

urządzeń infrastruktury budynkowej [2]. Czujniki te, wraz z miernikami i urządzeniami wykonawczymi, mogą być zintegrowane w sieci wymiany danych na poziomie obiektowym, jako element systemów zarządzania budynkami BMS (ang. Building Management Systems), odpowiadających za utrzymanie komfortu oraz poziomu bezpieczeństwa [3]. W ten sposób funkcje systemów BACS realizowane na poziomie obiektowym mogą być zintegrowane z innymi funkcjami BEMS i BMS, pozwalając na efektywne monitorowanie zużycia energii, wraz z aktywnym sterowaniem odbiorników energii elektrycznej i coraz częściej przyłączanych do sieci elektrycznych w budynkach odnawialnych źródeł energii (OZE). Nowym trendem w tym obszarze jest organizacja mechanizmów aktywnego zarządzania popytem na energię elektryczną w budynkach (ang. Demand Side Management - DSM). Do ich realizacji konieczne jest dostarczenie, gromadzenie i analizowanie bardzo wielu parametrów, dotyczących pracy odbiorników i źródeł energii w budynku, poboru mocy, zużycia energii, ale również np. aktywności użytkowników takiego budynku, ich przyzwyczajęń, zachowań itp. Dane te mogą być zbierane w zależności od przyjętych dla danego obiektu harmonogramów czasowych pracy urządzeń i podsystemów, taryf energetycznych, zmian parametrów zewnętrznych, nieprzewidzianych zdarzeń i aktywności użytkowników [1], [3], [4]. Stąd konieczność wprowadzenia w ramach platform systemowych BACS i BEMS mechanizmów wyzwalanych czasowo i zdarzeniowo. Pierwsze z nich działają w oparciu o ustalone harmonogramy czasowe, predefiniowane tryby pracy itp. W mechanizmach wyzwalanych zdarzeniowo, funkcje sterowania realizowane są po identyfikacji określonych zdarzeń wewnętrznych bądź zewnętrznych [5].

W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania tych mechanizmów w organizacji aktywnego DSM w ramach systemu BEMS, wraz z nowym podejściem do wyznaczania aktualnego poziomu popytu na energię elektryczną. Systemy BACS mogą dostarczyć danych o zdarzeniach w budynku, które pozwalają na śledzenie parametrów pracy urządzeń i zużywanej przez nie energii, jak również monitorowanie profili użytkowych, zachowań użytkowników, ich przyzwyczajęń itp. [6]. Tego typu informacje dają możliwość dokładniejszego i skutecznego przewidywania poziomu zapotrzebowania na energię

elektryczną w budynku. Kluczowym elementem procedur wyznaczania popytu jest dobór okresów uśredniania (okien czasowych) w analizie gromadzonych danych, wraz z mechanizmem ich wyzwalania w zależności od różnych czynników lub zdarzeń [4], [7], [8]. W artykule zaproponowano dwa podejścia organizacyjne dla tego typu mechanizmów, wraz z wynikami weryfikującymi ich funkcjonowanie.

2. SYSTEMY DYNAMICZNEGO ZARZĄDZANIA ENERGIĄ

Współczesne systemy BEMS, w szczególności bazujące na elementach systemów BACS, dysponują narzędziami umożliwiającymi organizację zaawansowanych strategii zarządzania energią w budynkach, zarówno w obszarze wytwarzania, jak i jej konsumpcji [3], [9], [10]. Nowym paradygmatem wyznaczającym trend rozwoju systemów BACS jest technologia Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things – IoT), w aplikacjach budynkowych pojawiająca się też pod nazwą BIoT (ang. Building IoT) [11]. Umożliwia ona bezpośrednią wymianę danych pomiędzy węzłami sieci BACS z wykorzystaniem protokołu IP, co z kolei pozwala na jeszcze ściślejszą ich integrację i implementację nowych funkcji systemowych BACS i BEMS [3]. Kluczowym elementem tych systemów są tzw. inteligentne liczniki energii, dostarczające informacji nie tylko o zużyciu energii elektrycznej, ale również o innych parametrach pracy urządzeń odbiorczych i zmianach poziomu zapotrzebowania na energię, skorelowanych z danymi na temat aktywności użytkowników, zmian parametrów użytkowych pomieszczeń (np. temperatura, poziom oświetlenia) oraz danych z systemu zasilającego (informacje od dostawcy energii, sygnały zmiany taryf itp.). Wielu ekspertów wskazuje na konieczność zmiany koncepcji organizacyjnej współczesnych systemów BEMS, w szczególności w obszarze dynamicznego reagowania na zmiany parametrów pracy urządzeń oraz funkcjonowania systemów zasilających współpracujących z OZE [12]. Stąd konieczność wypracowania i wdrożenia w BEMS wspomnianych we wstępie mechanizmów aktywnego DSM, z usługami umożliwiającymi reakcję strony popytowej (ang. Demand-Response – DR) [13].

2.1. Aktywne zarządzanie popytem na energię elektryczną

Mechanizmy DSM przedstawiane są w literaturze [14] jako zbiór różnych narzędzi, działań i technologii ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej urządzeń po stronie odbiorczej w sieciach Smart Grid. Implementacji mechanizmów aktywnego DSM w budynkach przyświecają dwa podstawowe cele [4], [14]:

- redukcja zużycia energii elektrycznej i poprawa efektywności energetycznej budynków, poprzez aktywne sterowanie odbiornikami i podsystemami infrastruktury budynkowej, w zależności od rzeczywistego i prognozowanego poziomu popytu na energię,
- dopasowanie aktualnego poziomu mocy generowanej przez OZE i dostępnej z sieci zasilającej, do rzeczywistego zapotrzebowania na energię, poprzez aktywne sterowanie odbiornikami zależnie od zmiennych parametrów i czynników – obecność osób, harmonogramy czasowe, informacje z sieci zasilającej (taryfa, żądanie ograniczenia poboru mocy).

Działania te są istotne z punktu widzenia dążenia do zrównoważenia systemu energetycznego i ograniczenia poborów szczytowych mocy w systemie zasilającym budynki. Uwzględnienie sygnałów i danych z różnych podsystemów i urządzeń infrastruktury budynkowej, wymaga przygotowania strategii działania aktywnych systemów DSM tak, by mogły one adaptować się na bieżąco do zmian poziomu popytu na energię oraz zmiennych warunków funkcjonowania sieci zasilającej. Taka elastyczność może być osiągnięta dzięki pełnej integracji z sieciami rozproszonymi BACS. Wykorzystanie funkcji i sieci BACS ma kluczowe znaczenie w organizacji efektywnie działających platform aktywnego zarządzania energią i popytem na energię elektryczną. Inteligentne i aktywne platformy systemowe BEMS i DSM są bardzo ważnym elementem ogólnej strategii zarządzania popytem na energię w systemie elektroenergetycznym [15]. Ma to szczególne znaczenie przy wdrażaniu w systemach sieci Smart Grid programów zarządzania popytem DSM, poprzez uelastycznienie doboru obciążeń w systemie i dążenie do przesunięcia znaczących poborów mocy poza godziny tzw. szczytu poboru mocy w ciągu doby. Czynnikiem stymulującym takie działania są korzystne dla odbiorców taryfy energetyczne, akcje promocyjne, interakcja z użytkownikami budynków ze strony dostawców energii (DR) itp. [16], [17].

Ważnym elementem wdrożenia mechanizmów aktywnego DSM w budynkach wyposażonych w systemy automatyki BACS jest obsługa zdarzeń, jako zmiennych lub losowych parametrów czy sygnałów pojawiających się w sieci monitoringu i sterowania, zależnie od różnych czynników wykrywanych np. przez czujniki zintegrowane w ramach BACS [18]. Umożliwia to organizację zróżnicowanych funkcjonalnie scenariuszy monitoringu i sterowania urządzeń infrastruktury budynkowej, w celu dokładniejszego ustalenia poziomu rzeczywistego zapotrzebowania na energię elektryczną. 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, które mogą być wykorzystane do wyzwolenia określonych akcji lub scenariuszy sterowania urządzeniami wykonawczymi [19].

3. AKTYWNY SYSTEM ZARZĄDZANIA ENERGIĄ ELEKTRYCZNĄ Z WYZNACZENIEM POZIOMU POPYTU NA ENERGIĘ

W celu przedstawienia możliwości funkcjonalnych aktywnego DSM realizowanego w oparciu o system automatyki budynkowej BACS, autorzy opracowali koncepcję implementacyjną modułu pomiarowego i sterującego do zarządzania energią w ramach BEMS [3]. W implementacji wykorzystano platformę systemową przemysłowego Internetu Rzeczy (ang. Industrial Internet of Things – IzoT), wprowadzoną przez firmę Echelon Corp. jako kolejną generację standardu automatyki budynkowej LonWorks. Specyfikacja platformy IzoT obejmuje mikrokontrolery, zbiory plików tzw. stosy programowe, protokół komunikacji, interfejsy aplikacji (API) i oprogramowanie integracyjne. Interoperacyjność węzłów sieciowych zapewniają profile funkcjonalne, zgodne ze specyfikacją wspomnianego standardu LonWorks [3], [18], [20]. W [3] autorzy przedstawili wstępną koncepcję uniwersalnego licznika energii ULE, wraz ze zintegrowaną

funkcją rejestratora danych, która została zaimplementowana na mikrokomputerze Raspberry Pi. W szczególności zaproponowano i opracowano elementy interfejsu logicznego dla ULE, w postaci dwóch bloków funkcjonalnych, z zestawami odpowiednich zmiennych sieciowych (ang. Network Variables - NV), nastaw konfiguracyjnych (ang. Configuration Properties - CP).

3.1 Wyznaczanie poziomu popytu w systemach aktywnego zarządzania energią elektryczną

Najważniejszą informacją w systemach aktywnego zarządzania popytem na energię elektryczną jest poziom popytu na energię, ustalony dla konkretnych grup odbiorników lub dla całego budynku. Zaproponowana przez autorów w ramach wspomnianego interfejsu logicznego wyjściowa zmienna sieciowa *nvoDemand* zawiera wyznaczoną na podstawie danych pomiarowych wartość popytu, która może być wykorzystana w mechanizmach aktywnego DSM oraz w procesach decyzyjnych automatycznego sterowania odbiornikami połączonymi funkcjonalnie z modulem ULE [3].

Na potrzeby usług DR w ramach aktywnego DSM, wartość dla zmiennej *nvoDemand* może być wyznaczona z wykorzystaniem kilku różnych algorytmów obliczeń, uwzględniających zmiany parametrów i w budynku (obecność osób, zmiany parametrów pracy urządzeń itp.). Wyznaczone wartości popytu na energię, w różnych okresach doby mogą mieć wartość ustaloną lub też zmieniać się znacząco i gwałtownie. Dlatego, z punktu widzenia poprawności procesu sterowania, istotne jest szybkie i dokładne wyznaczanie wartości zmiennej *nvoDemand*.

Autorzy zaproponowali kilka wariantów algorytmów obliczeniowych, które podzielono na dwie grupy: (i) wyzwalane czasowo (harmonogram czasowy) i (ii) wyzwalane zdarzeniowo. W grupie pierwszej znalazły się algorytmy funkcjonujące wg następujących założeń:

- TB1 – wartość zmiennej *nvoDemand* jest obliczana dla kolejnych, stykających się ze sobą okien czasowych o stałej szerokości, ustalonej przez zmienną *nviTimeSet* [3], [21]. Ponieważ wartości popytu na energię obliczane dla kolejnych okien czasowych mogą różnić się między sobą, w algorytmie obliczeń zaimplementowano procedurę średniej ważonej, podobnie jak w [22], [23]
- TB2 – wartość zmiennej *nvoDemand* jest obliczana dla kolejnych okien czasowych o stałej szerokości, ustalonej przez zmienną *nviTimeSet*, jednak okna te są oknami przesuwными (ang. Sliding Windows – SW) [24]. Mechanizm ten powoduje, że okna czasowe mogą na siebie w różnym stopniu zachodzić, wpływa na wartości obliczanego popytu na energię. Podobnie jak w poprzednim algorytmie, do obliczeń wartości *nvoDemand* zaimplementowano również procedurę średniej ważonej.

W grupie drugiej zaproponowano również dwa podejścia do organizacji procedur obliczeniowych:

- EB1 – Procedura obliczania wartości dla zmiennej *nvoDemand* uruchamiana jest tylko przy sygnale obecności z czujników zintegrowanych w systemie BACS. Jeżeli obecność nie jest stwierdzona, obliczana wartość popytu na energię wynosi zero. W tym algorytmie obliczeń również zaimplementowano procedurę średniej ważonej. Szerokość okien czasowych odpowiada okresom czasu z aktywnym sygnałem obecności (okna różnej szerokości), a okna czasowe nie

zachodzą na siebie. W obliczeniach nowej wartości *nvoDemand* może być uwzględniana ostatnia, zapamiętana wartość popytu na energię. Jednak, ponieważ możliwe są długie okresy bez sygnału obecności, zaimplementowano procedurę, wg której nowa wartość *nvoDemand* może być obliczana z uwzględnieniem danych historycznych (ostatnia wartość *nvoDemand* różna od zera) lub bez nich. Uzależnione jest to od stosunku okresu czasu bez obecności do ostatniego okresu z obecnością.

- EB2 – Podobnie jak poprzednio, procedura obliczania wartości dla zmiennej *nvoDemand* uruchamiana jest tylko przy sygnale obecności z czujników zintegrowanych w systemie BACS. W obliczeniach uwzględniane są tylko nowe wartości popytu na energię, bez żadnych danych historycznych. Podobnie jak w algorytmie EB1 okna czasowe nie zachodzą na siebie i mogą mieć różną szerokość, zależnie od aktywności sygnału obecności. W tym algorytmie obliczeń również zaimplementowano procedurę średniej ważonej.

Ostatnie z zaproponowanych podejść to połączenie w jednym algorytmie mechanizmów wykorzystanych zarówno w algorytmach czasowych jak i zdarzeniowych:

- MIX – Procedura obliczania wartości dla zmiennej *nvoDemand* uruchamiana jest tylko przy sygnale obecności z czujników zintegrowanych w systemie BACS. Jednakże, szerokość okien czasowych jest stała i ustalana przez zmienną *nviTimeSet* [3]. Zaimplementowano tu również mechanizm okien przesuwanych, ale krok przesunięcia między oknami ma wartość stałą i wyzwalany jest sygnałem obecności. Dlatego możliwe jest zachodzenie okien czasowych na siebie przy obliczaniu wartości *nvoDemand*.

4. IMPLEMENTACJA I WYNIKI

Wspomniane algorytmy wyznaczania wartości popytu na energię elektryczną opracowano i zaimplementowano w środowisku MATLAB, wykorzystywanym w symulacjach i przetwarzaniu danych pomiarowych. Warto podkreślić, że w symulacjach obliczeń wykorzystano dane pomiarowe zmierzone dla rzeczywistego obiektu laboratorium systemów automatyki budynkowej AutBudNet, zlokalizowanego na AGH w Krakowie [25]. Dane te zawierają informację o poborze mocy w pomieszczeniu laboratorium, logowane w okresach 5 minutowych oraz o obecności osób, z odpowiednich czujników zintegrowanych w ramach systemu BACS.

4.1 Symulacje i eksperymenty

Na rysunku 1 pokazano wyniki obliczeń wartości *nvoDemand* dla kilku wybranych algorytmów obliczeniowych. Dla grupy algorytmów wyzwalanych czasowo (TB), zamieszczono trzy różne zbiory wyników. W pierwszym z nich TB1 15 wartość zmiennej *nvoDemand* jest wyznaczana na podstawie wartości popytu obliczanych dla okien czasowych 15 minutowych. Dla kolejnych dwóch TB2 15 SW 10 oraz TB2 15 SW 5, w obliczeniach *nvoDemand* uwzględniony jest mechanizm przesuwanych okien czasowych (SW), z krokiem przesunięcia odpowiednio na poziomie 10 i 5 minut. Długość okna czasowego bez zmian – 15 minut. W algorytmach zaimplementowano mechanizm średniej ważonej. Gdy wartość popytu na energię dla nowego, pojedynczego okna 15 minutowego jest

dostępna (D^w), wartość dla zmiennej *nvoDemand* (D_C^w) jest obliczana wg zależności:

$$D_C^w = D^w * f_w + D^{w-1} * f_{w-1} + D^{w-2} * (1 - f_w - f_{w-1}) \quad (1)$$

gdzie: D^x – wartość popytu dla okna czasowego x ,
 f_x – współczynnik wagi dla wartości D^x w mechanizmie średniej ważonej.

To podejście do organizacji obliczeń autorzy nazwali strategią konserwatywnej ważonej (SKW). Na podstawie informacji zawartych w [22], w symulacjach testowano różne schematy doboru wag; ostatecznie wybrano współczynniki wagowe na poziomie: $f_w = 20\%$ oraz $f_{w-1} = 30\%$.

Na rysunku 1 pokazano również wyniki dla dwóch algorytmów wyzwalanych zdarzeniowo (EB). Wartość *nvoDemand* jest tu wyznaczana na podstawie wartości popytu obliczanych dla okien czasowych różnych szerokości, zależnie od sygnału obecności, odpowiadającego aktywności użytkowników pomieszczenia. Ostatni z wykresów na rysunku 1 (prawy dolny róg) pokazuje wyniki obliczeń *nvoDemand* uzyskane dla algorytmu mieszanego MIX,

z mechanizmem okien przesuwnych o stałej długości 15 minut i krokiem przesunięcia 5 minut. Kolejne, przesunięte okna czasowe są wyzwalane tylko przy aktywnym sygnale obecności z BACS. W algorytmach tych uwzględniono SKW.

Z kolei na rysunku 2 zaprezentowano wyniki obliczeń wartości *nvoDemand* dla algorytmów wyzwalanych czasowo i zdarzeniowo oraz mieszanego, przy założeniach identycznych jak opisane dla algorytmów z rysunku 1. Jednakże przy wyznaczaniu wartości *nvoDemand* zaimplementowano inny schemat doboru współczynników wagowych w algorytmie średniej ważonej, nazwany przez autorów strategią agresywnej ważonej (SAW). Zatem

wartość *nvoDemand* (D_A^w) jest tym razem liczona według zależności:

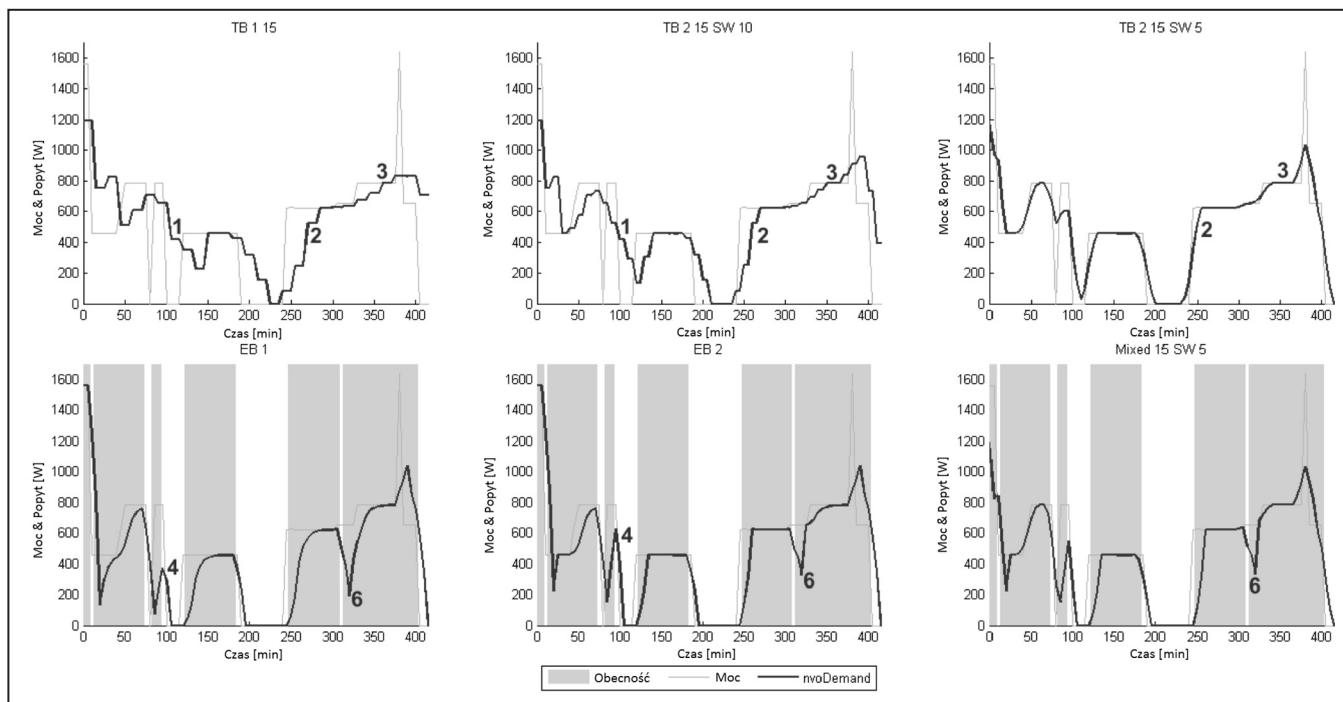
$$D_A^w = D^w * f_w + D^{w-1} * (1 - f_w) \quad (2)$$

Podobnie jak poprzednio, po symulacjach, do prezentacji wyników wybrano współczynnik wagowy na poziomie $f_w = 60\%$ [22].

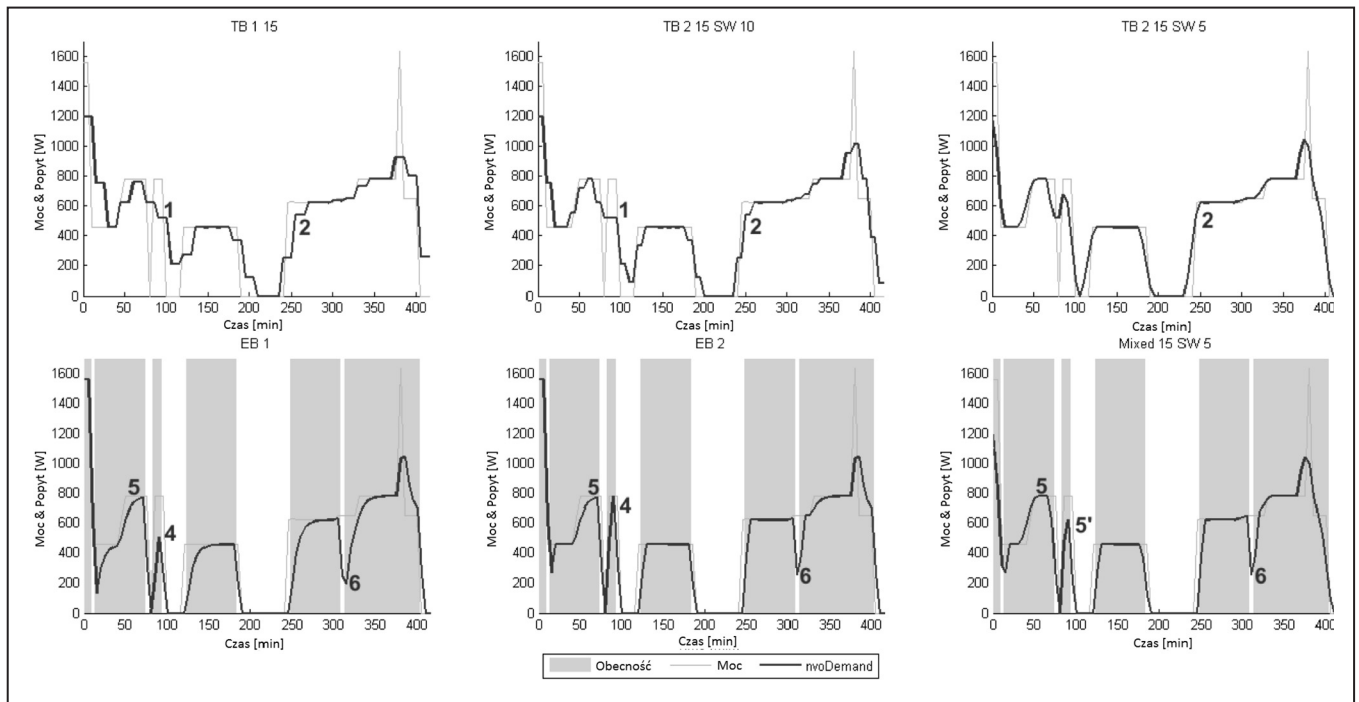
4.2 Analiza wyników badań

W pierwszej kolejności przeanalizowano algorytmy wyzwalane czasowo – TB. W punktach 1 zaznaczonych na rysunkach 1 i 2, widoczne krótkotrwałe zmiany poziomu poboru mocy, praktycznie nie przenoszą się na zmianę wartości zmiennej *nvoDemand*. Poprawę dokładności przyniosło wprowadzenie mechanizmu przesuwnych okien czasowych (SW), szczególnie dla krótszych, 5 minutowych kroków przesunięcia okien (SW 5). Uwzględnienie SW przyczynia się ogólnie do podniesienia dokładności obliczeń wartości zmiennej *nvoDemand* i lepszego odwzorowania rzeczywistego poziomu poboru mocy (patrz: porównanie punktów 2 i 3 na wykresach TB1 15 i TB2 15 SW 5 na rysunku 1). Jeszcze lepsze odwzorowanie widoczne jest w punkcie 1 na wykresach z rysunku 2, dla algorytmów uwzględniających SAW. Tutaj nawet bardzo krótkotrwałe zmiany poboru mocy oddziałują na wartość obliczanego popytu na energię.

W kolejnym etapie przeanalizowano algorytmy wyzwalane zdarzeniowo – EB oraz algorytm mieszany - MIX. W przeciwieństwie do TB, podejście zdarzeniowe EB zapewnia bardzo dobre wykrywanie krótkotrwałych zmian poziomu poboru mocy (patrz: punkty 4 na rysunkach 1 i 2). Jednakże, dla podejścia EB1, zarówno dla algorytmów ze średnią ważoną SAW jak i SKW, dynamika odpowiedzi wartości zmiennej *nvoDemand* nie jest wystarczająca w przypadku bardzo szybkich i znaczących co do wartości zmian poboru mocy. Dla podejścia EB2 dynamika ulega poprawie i wartość *nvoDemand* lepiej odpowiada zmianom poziomu poboru mocy, szczególnie dla algorytmu z SAW.



Rys. 1. Moc i wyznaczona wartość popytu na energię dla wybranych algorytmów wyzwalanych czasowo i zdarzeniowo, z uwzględnieniem strategii konserwatywnej ważonej (SKW)



Rys. 2. Moc i wyznaczona wartość popytu na energię dla wybranych algorytmów wyzwalanych czasowo i zdarzeniowo, z uwzględnieniem strategii agresywnej ważonej (SAW)

W punktach 5 i 5' na rysunku 2 można zaobserwować, że podejście MIX z SAW oferuje bardzo podobną dynamikę zmian **nvoDemand** jak EB2, z jeszcze szybszą reakcją na zmiany poboru mocy. Warto podkreślić, że dla dłuższych okresów, w których utrzymuje się stały poziom poboru mocy, podejście MIX oferuje dokładniejszą odpowiedź w wartości zmiennej **nvoDemand**, ale dla krótszych okresów, dokładność podejścia MIX plasuje się pomiędzy osiąganymi przez EB2 i EB1 (patrz: punkt 5' na rysunku 2).

W porównaniu algorytmów TB i EB bardzo widocznym zjawiskiem jest wystąpienie spadku wartości zmiennej **nvoDemand** w punktach 6 na rysunkach 1 i 2, zarówno dla algorytmów z SAW jak i SKW. To skutek uzależnienia algorytmu obliczeniowego od sygnału obecności z BACS. Pokazuje to jak ważne jest poprawne, przemyślane skorelowanie sygnałów wyzwalających od zdarzeń (np. obecność) z danymi o poborze mocy. W sytuacji kiedy np. sygnał o obecności zanika, ale dane o poziomie poboru mocy nie mają wartości zerowej (włączone odbiorniki), wartość zmiennej **nvoDemand** wciąż powinna być obliczana. Ponadto, wprowadzenie w algorytmie średniej ważonej SKW oraz podejścia typu MIX przyczynia się do ograniczenia wspomnianych spadków wartości zmiennej **nvoDemand**.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono koncepcję implementacji mechanizmów aktywnego DSM z usługami DR w ramach systemów BEMS. Zaproponowano kilka wariantów algorytmów wyznaczania poziomu popytu na energię, które zostały dopasowane do interfejsu logicznego opracowywanego przez autorów modułu licznika ULE. Algorytmy przetestowano, z użyciem rzeczywistych danych pomiarowych, z uwzględnieniem efektywności i dokładności ich działania przy zastosowaniu wyzwalania czasowego i zdarzeniowego.

Każdy z zaproponowanych i zweryfikowanych algorytmów wyznaczania poziomu popytu na energię ma swoje zalety i wady, które predysponują go do

wykorzystania w różnych aplikacjach. Dlatego, kluczowym elementem decydującym o efektywności funkcjonowania mechanizmu aktywnego DSM jest wybór właściwego algorytmu, dopasowanego do profilu użytkowego danego obiektu.

W dalszych pracach badawczo-rozwojowych modułu licznika ULE oraz algorytmów wyznaczania poziomu popytu na energię elektryczną, szczególna uwaga poświęcona zostanie poprawie ich dokładności oraz weryfikacji poprawności działania w pomieszczeniach budynkowych o zróżnicowanych profilach poboru mocy i zużycia energii elektrycznej.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Missaoui, H. Joumaa, S. Ploix, and S. Bacha, "Managing energy Smart Homes according to energy prices: Analysis of a Building Energy Management System," *Energy Build.*, vol. 71, pp. 155–167, Mar. 2014.
- [2] K. Amarasinghe, D. Wijayasekara, and M. Manic, "Neural Network based downscaling of Building Energy Management System data," in *2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2014, pp. 2670–2675.
- [3] A. Ozadowicz and J. Grela, "Control application for Internet of Things energy meter - A key part of integrated building energy management system," *IEEE Int. Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. ETFA*, vol. 2015-October, pp. 1–4, 2015.
- [4] G. Bettinazzi, A. A. Nacci, and D. Sciuto, "Methods and Algorithms for the Interaction of Residential Smart Buildings with Smart Grids," *2015 IEEE 13th Int. Conf. Embed. Ubiquitous Comput.*, pp. 178–182, 2015.
- [5] W. Kastner, M. Jung, and L. Krammer, "Future Trends in Smart Homes and Buildings," in *Industrial Communication Technology Handbook, Second Edition*, R. Zurawski, Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2015, pp. 59–1 – 59–20.
- [6] P. Augustyniak and E. Kantoch, "Turning Domestic

- Appliances Into a Sensor Network for Monitoring of Activities of Daily Living,” *J. Med. Imaging Heal. Informatics*, vol. 5, no. 8, pp. 1662–1667, Dec. 2015.
- [7] M. Jachimski, Z. Mikos, G. Wrobel, G. Hayduk, and P. Kwasnowski, “Event-based and time-triggered energy consumption data acquisition in building automation,” in *2015 International Conference on Event-based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP)*, 2015, pp. 1–6.
- [8] M. Simonov and G. Zanetto, “Event-based hybrid metering feeding AMI and SCADA,” in *2015 International Conference on Event-based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP)*, 2015, pp. 1–8.
- [9] M. Moreno, B. Úbeda, A. Skarmeta, and M. Zamora, “How can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?,” *Sensors*, vol. 14, no. 6, pp. 9582–9614, May 2014.
- [10] M. Noga, A. Ozadowicz, J. Greła, and G. Hayduk, “Active consumers in smart grid systems - Applications of the building automation technologies,” *Electr. Rev.*, vol. 89, pp. 227–233, 2013.
- [11] J. Young, “BIoT BUILDING Internet of Things,” *AutomatedBuildings.com*. [Online]. Available: <http://www.automatedbuildings.com/news/mar14/articles/realcomm/140219043909realcomm.html>.
- [12] K. Aduda, W. Zeiler, and G. Boxem, “Smart Grid - BEMS: The Art of Optimizing the Connection between Comfort Demand and Energy Supply,” in *2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications*, 2013, vol. 2050, pp. 565–569.
- [13] A. Kavousian, R. Rajagopal, and M. Fischer, “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.*, vol. 99, pp. 220–230, Jul. 2015.
- [14] P. Palensky, D. Dietrich, S. Member, D. Dietrich, S. Member, and D. Dietrich, “Demand Side Management : Demand Response , Intelligent Energy Systems , and Smart Loads,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
- [15] A. Ozadowicz and J. Greła, “The street lighting control system application and case study,” in *2015 International Conference on Event-based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP)*, 2015, pp. 1–8.
- [16] A. Di Giorgio, L. Pimpinella, A. Quaresima, and S. Curti, “An event driven Smart Home Controller enabling cost effective use of electric energy and automated Demand Side Management,” in *2011 19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)*, 2011, vol. 96, pp. 358–364.
- [17] M. Babar, P. H. Nyugen, V. Cuk, I. G. R. Kamphuis, M. Bongaerts, and Z. Hanzelka, “The rise of AGILE demand response: Enabler and foundation for change,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 686–693, Apr. 2016.
- [18] Echelon Corp., “The Industrial Internet of Things is Really Control Networking 2.0,” 2014.
- [19] D. Picault, O. Cottet, and T. Ruez, “Demand response: A solution to manage loads in the smart grid,” in *2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 2015, pp. 352–356.
- [20] Echelon Corp., “IzoT™ Platform Info,” *WWW page*, 2014. .
- [21] Y. Chen and A. Jaekel, “Energy-Aware Scheduling and Resource Allocation for Periodic Traffic Demands,” *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 5, no. 4, p. 261, Apr. 2013.
- [22] M. Frincu, C. Chelms, M. U. Noor, and V. Prasanna, “Accurate and efficient selection of the best consumption prediction method in smart grids,” in *2014 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2014, pp. 721–729.
- [23] L. Continental Control Systems, “WattNode Plus for LONWORKS Installation and Operation Manual,” no. WNC-FT10–3.37b, 2011.
- [24] T. Fang and R. Lahdelma, “Optimization of combined heat and power production with heat storage based on sliding time window method,” *Appl. Energy*, vol. 162, pp. 723–732, 2016.
- [25] M. Noga, A. Ozadowicz, and J. Greła, “Modern, certified building automation laboratories AutBudNet – put ‘learning by doing’ idea into practice,” *Electr. Rev.*, no. 11, pp. 137–141, 2012.

ENERGY DEMAND CALCULATION IN ACTIVE BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS

Buildings with implemented Building Energy Management Systems (BEMS) are crucial part of smart grids with demand-response mechanism. Mostly the BEMS are based on Building Automation and Control Systems (BACS). Devices, controllers and meters integrated in the BACS could be used to provide data about energy consumption, instantaneous power and actively control loads in buildings. An energy demand value is essential for the BEMS with an active demand side management (DSM). Different approaches to calculate the energy demand value have been introduced in this paper. Various algorithms with time-driven and event-driven calculation mechanism have been proposed. They have been implemented and experiment with real data has been performed to verify this implementation. Results of experiment have been analysed and discussed, taking into account the accuracy and speed of computing the energy demand value. The algorithms proposed in the paper have been developed according the LonWorks – open, international building automation standard, providing full interoperability with other devices integrated in the BACS. They are ready to use in an Internet of Things networks as well.

Keywords: building energy management systems; active demand side management; event-driven building automation.