

Możliwość poprawy efektywności energetycznej inteligentnego budynku przez jego współpracę z wirtualną elektrownią

Jerzy Mikulik, Piotr Bartkiewicz

Wprowadzenie

W obecnych czasach automatyzacja oraz bardzo szybki rozwój techniki i usług informatycznych zdołały już objąć niemal każdy aspekt życia człowieka. Podobna sytuacja występuje w przypadku budynku, który obecnie nie jest już tylko obiektem budowlanym, lecz ma wiele istotnych udogodnień, które mogą stanowić o jego wartości dodanej. Do budynków wprowadza się wiele nowoczesnych technik, mających na celu podniesienie komfortu użytkowników i zwiększenie ich bezpieczeństwa, jednocześnie redukując koszty eksploatacji obiektu. Prowadzi to również do wzrostu oczekiwań, które stawiane są efektywnemu funkcjonowaniu inteligentnych budynków. Ludzie chcą mieszkać i pracować w miejscach, które gwarantują im, jako użytkownikom, zarówno dobre samopoczucie, komfort środowiska, jak i bezpieczeństwo. Istnieje pragnienie korzystania z nowoczesnych udogodnień i usprawnień, które pozwolą na życie ludzi w budynkach wyższego standardu, podążających za najnowszą myślą techniczną. Tradycyjne rozwiązania techniczne schodzą na drugi plan, a ich miejsce zaczynają sukcesywnie zajmować systemy, które gwarantują inteligentne sterowanie budynkiem.

Inteligentny budynek

Współczesny inteligentny budynek, określane często mianem *smart*, obejmuje instalacje oraz zawansowane i zintegrowane systemy, techniki i urządzenia. Te systemy dotyczą: zarządzania automatyzacją budynku, zapewnienia bezpieczeństwa życia i zdrowia ludzi, a także bezpieczeństwa technicznego budynku, optymalnego zarządzania energią elektryczną i komfortem fizycznym oraz termicznym obiektu, prawidłowego działania sieci komputerowych, jak również usług FM (*Facility Management*) w celu efektywnego zarządzania budynkiem. Inteligentny budynek jest odzwierciedleniem postępu technicznego w obszarze tzw. systemów budynkowych, które są w stanie dostarczyć dodatkowych i zintegrowanych działań.

Tworzone są specjalne scenariusze energetyczne dla inteligentnych budynków, które w czasie rzeczywistym pozwalają na załączanie lub odłączanie istotnych odbiorników energii elektrycznej, tak aby spełnić założone kryterium energetyczne budynku, przeważnie obniżone koszty zużywanej energii elektrycznej. Stosuje się również sterowanie predykcyjne pomieszczeniami w budynku w oparciu o dane dostarczane ze stacji pogodowych lub harmonogramów dotyczących zajętości poszczególnych pomieszczeń. Największymi odbiorcami energii

Streszczenie: W artykule przedstawiono dodatkowe możliwości poprawy efektywności energetycznej inteligentnego budynku poprzez przyszłościowe zasilenie go z tak zwanej wirtualnej elektrowni. Taka forma zasilania sprowadzi się do świadomego zmniejszenia mocy pobieranej przez budynek i przekazania tej mocy, tzw. negawatów, do wykorzystania przez innych odbiorców. Działania te wymagają zbudowania tzw. inteligentnego rynku mocy i energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: inteligentny budynek, efektywność energetyczna budynku, wirtualna elektrownia, negawaty

THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF INTELLIGENT BUILDING THROUGH ITS COOPERATION WITH THE VIRTUAL POWER PLANT

Abstract: *The paper presents additional opportunities to improve energy efficiency of intelligent building through future energizing it with a so-called virtual power plant. This form of power comes down to consciously reducing the power consumed by the building and to transfer this power, the so-called. negawats, to use by other consumers. These activities need to build the so-called intelligent market of power and electricity.*

Key words: *intelligent building, energy efficiency of building, virtual power plant, negawats*

elektrycznej w budynku są urządzenia ogrzewania, klimatyzacji, wentylacji mechanicznej oraz oświetlenia.

Jedną z podstawowych funkcji automatyki, umożliwiającą osiągnięcie największych oszczędności podczas eksploatacji budynku, jest odpowiednie sterowanie światłem i środowiskiem termicznym pomieszczeń przy zachowaniu wymagań w istniejących normach i przepisach.

Największe budynki są wyposażane we własne stacje klimatyzacyjne dostarczające dobrej jakości powietrze do pomieszczeń oraz w odpowiednie układy sterowania, które mogą kontrolować nie tylko temperaturę, ale również wilgotność, prędkość powietrza oraz stężenie dwutlenku węgla.

Bardzo często system sterujący klimatyzacją integruje się ze stacją pogodową i sterownikiem żaluzji, co umożliwia np. automatyczne opuszczanie rolet w lecie podczas bezpośredniego nasłonecznienia, zmniejszając w ten sposób zużycie energii elektrycznej pochłanianej przez system klimatyzacji pomieszczeń.

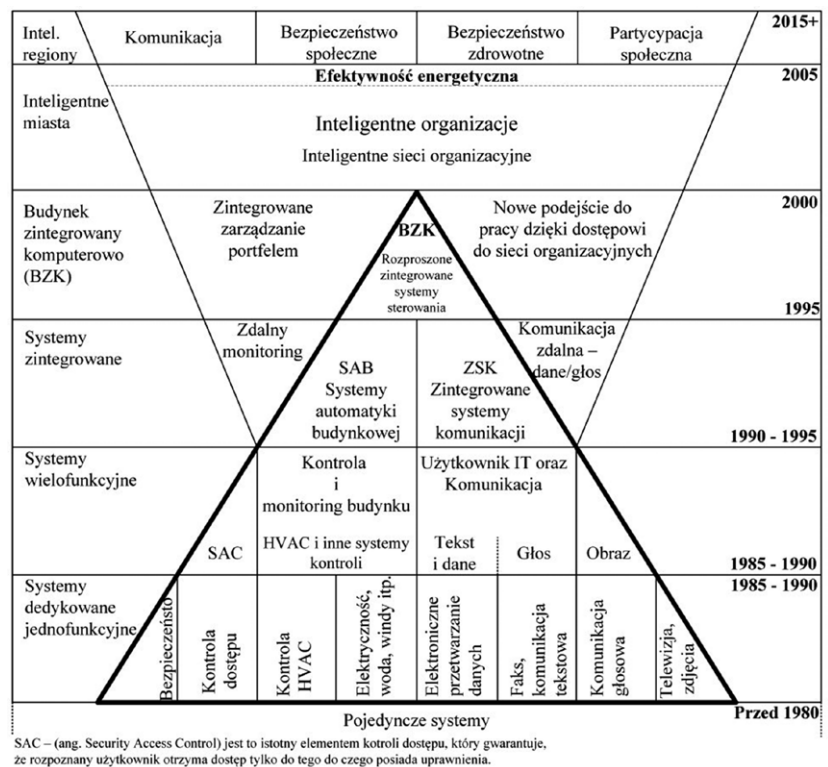
Drugim bardzo ważnym obszarem zastosowań systemów automatyki budynków, mającym wpływ na realne oszczędności, jest sterowanie oświetleniem. Podstawowa funkcjonalność to automatyczne załączanie/wyłączanie połączone z regulacją natężenia oświetlenia i tzw. sceny świetlne. Bardzo często integruje się funkcję sterowania oświetleniem z czujnikami obecności i progowymi czujnikami natężenia oświetlenia. Pozwala to na automatyczne załączanie oświetlenia po wykryciu ruchu, jeżeli natężenie światła naturalnego jest zbyt małe, oraz jego wyłączenie, gdy pomieszczenie nie jest przez dłuższy czas użytkowane.

Dzieje inteligentnego budynku do końca XX wieku są znane i zostały opublikowane w wielu materiałach pisanych, np. [1, 2, 3]. Nowe zjawiska w zarządzaniu tymi obiektami pojawiły się po roku 2000, kiedy to inteligentne budynki zaczęły być wprowadzane do nowej formacji administracyjnej, do inteligentnych miast. Przejście inteligentnych budynków do inteligentnych miast i regionów pokazano na rys. 1. Pojawiły się nowe oczekiwania związane z działaniem innowacyjnych inteligentnych sieci organizacyjnych. Inteligentne sieci wykorzystywane są przez inteligentne organizacje, czyli nowoczesne przedsiębiorstwa przyszłości. Inteligentna organizacja przywiązuje dużą wagę do wiedzy, działa elastycznie i ma umiejętność rozpoznawania nawet słabych sygnałów rynkowych dochodzących z otoczenia, ich analizy i wyciągania wniosków. W nawiązaniu do inteligentnych budynków, po wyszukanych metodach optymalizacji sterowania i działania systemów HVAC oraz oświetlenia, pojawiła się kolejna możliwość nowoczesnego zarządzania dostarczaną energią elektryczną z tzw. wirtualnej elektrowni, co będzie miało znaczący wpływ na polepszenie całkowitej efektywności energetycznej inteligentnego budynku.

Zwiększenie efektywności energetycznej inteligentnego budynku będzie można uzyskać również przez własną produkcję elektryczności, optymalne zarządzanie odbiornikami lub wręcz chwilowe odłączenie wybranych odbiorników od zasilania z sieci energetycznej. Stąd też pojawia się coraz częściej określenie negawatów, czyli zerowej mocy chwilowej urządzenia odłączonego od sieci zasilającej.

Efektywność energetyczna inteligentnego budynku

Inteligentne budynki wyposażane są w zintegrowane systemy automatycznego sterowania i monitorowania, które mają optymalnie zarządzać systemami komfortu fizycznego obiektu i jego



Rys. 1. Ewolucja systemów inteligentnego budynku na tle nowych struktur organizacji

Zródło: materiały własne na podstawie [3]

bezpieczeństwem, co naturalnie przekłada się na wysoką efektywność energetyczną budynku. Aby można było optymalnie zarządzać systemami, w budynku muszą zostać zamontowane instalacje technologiczne przygotowane na takie sterowania.

Efektywność energetyczna budynku wraz z charakterystyką energetyczną budynku stały się wiodącymi hasłami współczesnego budownictwa. Efektywność energetyczna definiowana jest w tym kontekście jako stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, albo w wyniku wykonanej usługi niezbędnej do uzyskania tego efektu [5]. Korzystając z definicji efektu użytkowego określanego jako efekt uzyskany w wyniku dostarczenia energii do danego obiektu dla zapewnienia komfortu cieplnego lub oświetlenia, jasne staje się zwrócenie szczególnej uwagi na koszt energetyczny towarzyszący konieczności zapewnienia komfortu użytkowników w pomieszczeniach budynku. Zagadnienia efektywności energetycznej budynku stanowią w warunkach polskich próbę praktycznego wdrożenia Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej.

Niezwykle ważnym dla budownictwa aktem prawnym związanym ze zużyciem energii w budynku była Dyrektywa 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, która przekształciła się po latach w Dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Zmiana ta, znana jako Recast, wprowadziła do dokumentu ramowego

nowe elementy i wymagania, których stosowanie wymusiły lata wdrożeń w Europie. Wspomniany dokument stanowił podstawę do analiz zużycia energii w budynkach. Zgodnie z tymi dyrektywami na rys. 2 pokazano zestawienie wszystkich rodzajów energii, które analizowane są w badanym budynku, jak również przepływy tych energii w instalacjach budynku.

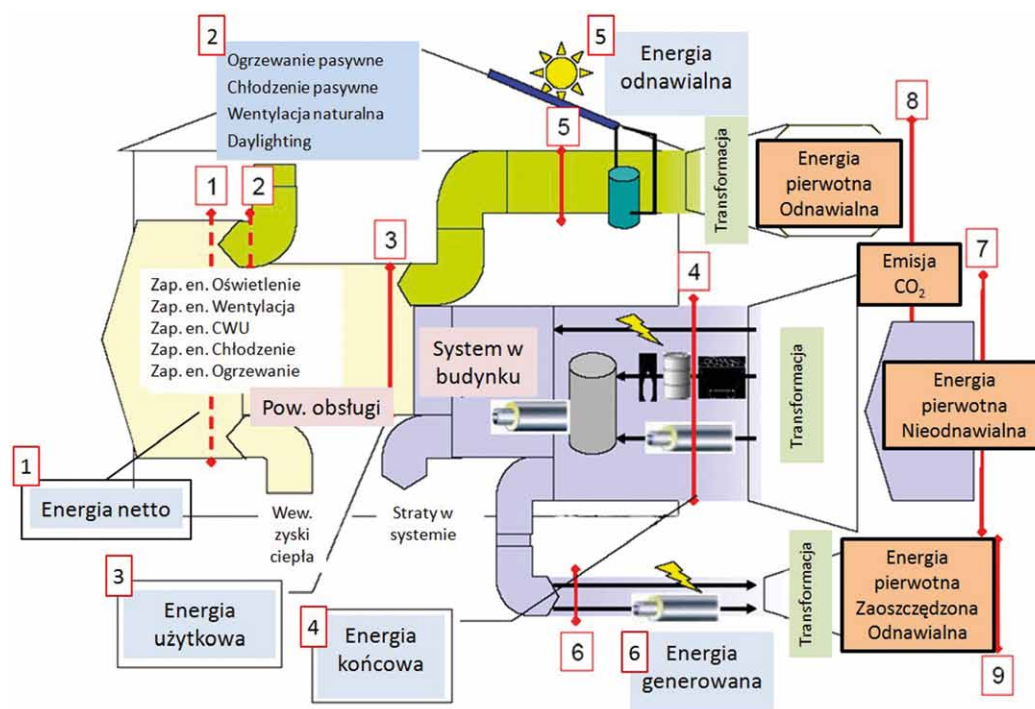
Zaproponowane podejście do zużycia energii w Polsce zostało oparte na wskaźnikach definiujących roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU), a w przypadku budynków użyteczności publicznej również oświetlenia wbudowanego. Oznaczało to w praktyce poszukiwanie racjonalnych rozwiązań technicznych w budynku, zapewniających spełnienie wymagań EP poniżej wartości EP_{max} zdefiniowanych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Analizując te wymagania, należy zauważyć, iż określenie niniejszych wymagań stanowi „polską drogę” do spełnienia wymagań Dyrektywy 2010/31/UE. Zgodnie z jej zaleceniami bowiem: „Do celów optymalizacji zużycia energii w systemach technicznych budynku państwa członkowskie określają wymagania dotyczące ogólnej charakterystyki energetycznej systemów, odpowiedniej instalacji i właściwego zwymiarowania, regulacji i kontroli systemów technicznych zainstalowanych w istniejących budynkach”. Oznacza to, że ustanowione prawnie zmiany dotyczące współczynników EP_{max} zakładają podwyższenie wymagań w roku 2017 i 2021 oraz wskazują na racjonalne w warunkach polskich dochodzenie do wysokich standardów energooszczędności. Zgodnie z kierunkiem zmian wszystkie budynki wybudowane po

31 grudnia 2020 r. będą musiały spełniać wysokie standardy energooszczędności i być zasilane w dużej mierze przez energię odnawialną (budynki użyteczności publicznej od 31 grudnia 2018 r.). Alternatywne rozwiązania, takie jak zdecentralizowane systemy dostaw energii, systemy centralnego ogrzewania i chłodzenia będą musiały zostać wzięte pod uwagę dla wszystkich nowo wznoszonych budowli.

Aby uporządkować i znormalizować stan wiedzy technicznej dotyczącej wymagań od systemów automatyzacji budynków oraz instalacji technologicznych, wprowadzona została w 2012 r. w Polsce norma PN-EN 15232, która wyjaśnia zasady projektowania i eksploatacji tych systemów, tak aby miały one znaczący wpływ na efektywność energetyczną budynków.

Norma PN-EN 15232 wprowadza definicje Systemu Automatyki i Sterowania Budynku BACS (*Building Automation and Control System*) oraz Systemu Technicznego Zarządzania Budynkiem TBMS (*Technical Building Management System*). Zastosowanie tych systemów daje możliwość obniżenia zużycia wszelkich energii w budynku. Systemy BACS i TBMS są powiązane bezpośrednio ze strategicznym nadsystemem zarządzania budynkiem BMS (*Building Management System*). Zmienia się dotychczasowe rozumienie głównych systemów automatyzacji i zarządzania w inteligentnym budynku na nowe, co zostało pokazane na rys. 3.

Zgodnie z rys. 3 nadsystem BMS integruje działania systemów BACS, TBMS oraz SMS (*Security Management System*) i optymalizuje na poziomie strategicznym pracę całego budynku. W nadsystemie BMS umieszczone są również tzw. usługi budynkowe, jak: usługi techniczne (obejmują działania podejmowane przez systemy techniczne w celu zaspokojenia



Rys. 2. Analiza zużycia energii w budynku w świetle wymagań Dyrektywy Parlamentu Europejskiego w sprawie charakterystyki energetycznej budynków

Źródło: materiały Energy Performance of Building Directive

potrzeb technicznych użytkowników budynku), usługi finansowe (obejmują obsługę bieżącej działalności podmiotów gospodarczych i osób fizycznych oraz obsługę obrotu płatniczego) i usługi w obszarze infrastruktury technicznej (sieci przesyłowe i związane z nimi obiekty).

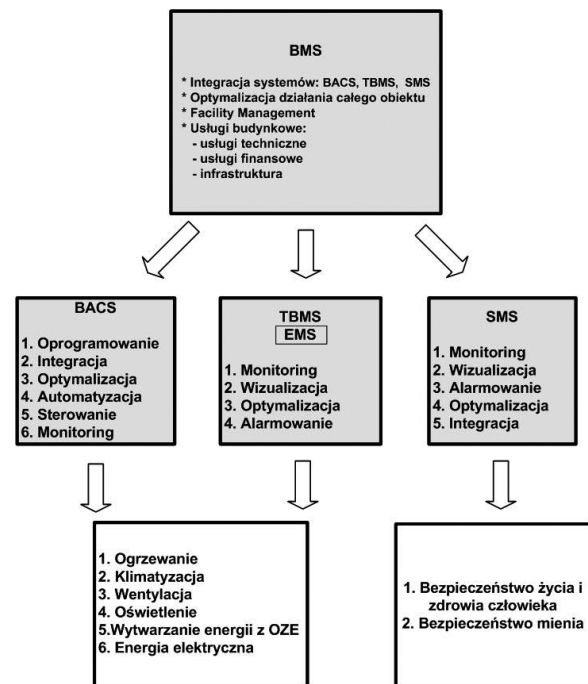
System BACS związany jest bezpośrednio z automatyzacją budynku i obejmuje głównie sterowniki i oprogramowanie dla sterowników działających w obszarze zarządzania komfortem fizycznym budynku, czyli jakością powietrza i oświetleniem.

Nowym systemem jest TBMS, który monitoruje i wizualizuje pracę urządzeń klimatyzacji, ogrzewania, wentylacji, oświetlenia i urządzeń generujących energię z odnawialnych źródeł energii. W systemie TBMS jest też wydzielony podsystem EMS (*Energy Management System*) dedykowany optymalnemu zarządzaniu energią ciepłą i elektryczną. Podsystem EMS ma zbierać i rejestrować dane, alarmować przekroczenia ustalonych poziomów oraz analizować i optymalizować zużycie energii w budynku. Systemy BACS, TBMS i EMS zarządzają najbardziej energochłonnymi urządzeniami w budynku (HVAC i oświetlenie). Na świecie sprzedawanych jest najwięcej podsystemów EMS, bo to właśnie one mają największy wpływ na efektywność energetyczną budynku.

Możliwość spełnienia postawionych celów wymagać będzie zatem znacznie bardziej kompleksowego projektowania zintegrowanego, większej dbałości o efektywność energetyczną budynku i systemów ogrzewania, wentylacji i przygotowania CWU, choć w opinii specjalistów konieczne stanie się także pełniejsze wdrożenie odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym budynku. Możliwości prostych oszczędności uzyskiwanych dzięki poprawie efektywności energetycznej poszczególnych elementów systemów wydają się bowiem być na wyczerpaniu.

3. Współpraca inteligentnego budynku z wirtualną elektrownią przyszłości

Współcześnie możliwa staje się już budowa tzw. inteligentnych sieci energetycznych, czyli kompleksowych rozwiązań energetycznych, które pozwalają na wzajemną komunikację i sterowanie rozproszonymi elementami tej sieci (elektrownie konwencjonalne, biogazownie, farmy wiatrowe, farmy fotowoltaiczne i magazyny energii elektrycznej) zarówno po stronie producentów, jak i odbiorców energii elektrycznej.

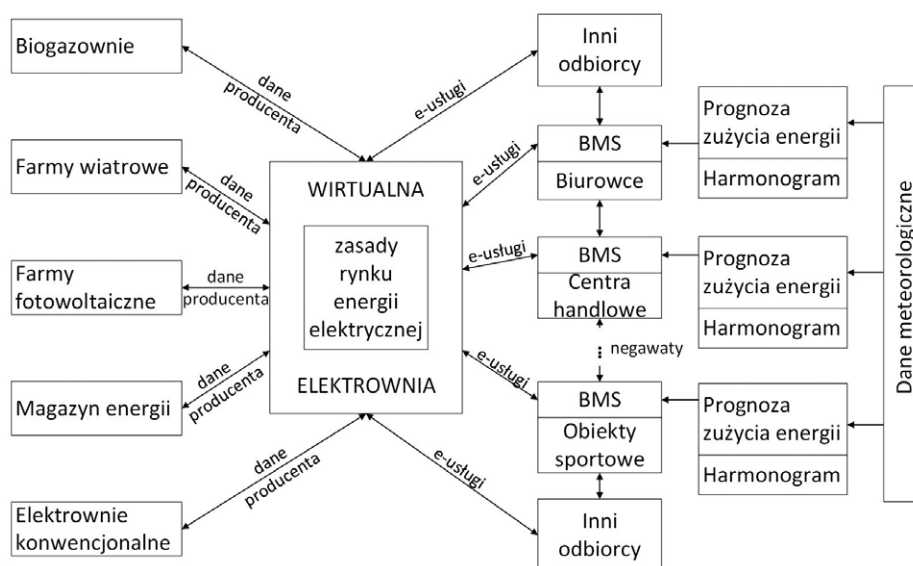


Rys. 3. Współczesna struktura systemów zarządzania inteligentnym budynkiem

Źródło: materiał własny

Kolejnym etapem będzie stworzenie wirtualnej elektrowni, której projekt jest już obecnie możliwy do zrealizowania dzięki ogromnemu rozwojowi technologii telekomunikacyjnych i informacyjnych. Przykładowo, z punktu widzenia zarządzania i sterowania, wirtualną elektrownię można przedstawić jako obiekt, do którego zbiegają się: dane dotyczące nowoczesnych rozproszonych producentów energii elektrycznej, dane o regulacjach rynku energii elektrycznej i który może prowadzić e-usługi. E-usługi prowadzone będą poprzez sieci telekomunikacyjne na indywidualne żądania usługobiorców bez ich jednoczesnej obecności w tej samej lokalizacji. Oddzielnym problemem jest transport energii elektrycznej poprzez krajowe sieci elektroenergetyczne, który w tym artykule nie jest analizowany.

Coraz większą rolę w procesie zarządzania zaczynają odgrywać: informacja i metody jej przetwarzania oraz komunikacja,



Rys. 4. Koncepcja zarządzania i działania wirtualnej elektrowni pod kątem zasilania inteligentnych obiektów

Źródło: materiały własne

które pozwalają skutecznie i optymalnie sterować strumieniami energii elektrycznej w rejonach, miastach i budynkach. Ciągłe rosną też zasoby informacji, której posiadanie stanowi o wartości jej właściciela. W dużych budynkach istotne znaczenie zyskują systemy informacyjne rozumiane ogólnie jako strukturalnie uporządkowane metody tworzenia, pozyskiwania, przetwarzania, przesyłania i przechowywania informacji.

W związku z możliwością korzystania z bieżącej informacji możliwe staje się polepszenie efektywności energetycznej inteligentnego budynku, ale można również podobnie zarządzać centrami handlowymi lub obiektami sportowymi, poprzez konsumowanie tylko niezbędnej ilości energii elektrycznej do zaspokojenia konkretnych codziennych potrzeb. Pojawia się nowa usługa typu DSR. W uproszczeniu usługa DSR (*Demand Side Response*) polega na świadomym chwilowym redukowaniu mocy przez odbiorców i przeniesieniu części ich popytu poza szczyty dobowego zapotrzebowania na energię elektryczną, w odpowiedzi na atrakcyjne sygnały cenowe. Przesuwanie zasilania odbiorców jest realizowane w trybie automatycznego dostosowywania zużycia energii elektrycznej do aktualnego obciążenia budynków oraz wykorzystania innych informacji, takich jak krótkoterminowa prognoza pogody oraz harmonogramy obciążeń pomieszczeń. Nastąpi więc adaptacja konsumpcji energii elektrycznej inteligentnego biurowca w ciągu doby do sygnałów z rynku energii, np. poprzez e-usługę z wirtualnej elektrowni.

Wirtualna elektrownia umożliwi zarządzanie lokalnymi obszarami bilansowania energii, co w naszym przypadku można sprowadzić do obszarów: inteligentnych biurowców, centrów handlowych, obiektów sportowych lub grup tych obiektów [6]. Wybrany inteligentny biurowiec stanie się fragmentem sieci energetycznej, co umożliwi optymalizację konsumpcji energii elektrycznej poprzez powiązanie aktualnego i prognozowanego wewnętrznego zużycia jego energii, a także zdolności do

oddawania energii elektrycznej do sąsiadujących węzłów sieci energetycznej, czyli np. sąsiadujących obiektów.

Koncepcję działania wirtualnej elektrowni z lokalnymi obszarami bilansowania energii w inteligentnych: biurowcach, centrach handlowych, obiektach sportowych i innych obiektach pokazano na rys. 4.

Tak, jak to opisano wcześniej, dostawcy energii elektrycznej przesyłają swoje aktualne dane do wirtualnej elektrowni, a ona zarządza odbiorcami przy pomocy regulacji rynkowych i e-usług. Powstanie świadoma chwilowa redukcja poboru energii w formule DSR. Nowym tworem cyfrowej gospodarki energetycznej będą negawaty. Negawaty powstaną poprzez świadome zaniechanie poboru energii elektrycznej (kojarzone będą bezpośrednio z oszczędnością) w odpowiedzi na potrzebę zapewnienia nadwyżki energii w konkretnym węzle sieci energetycznej. Cena jednostki mocy megawata lub negawata będzie wyznaczana w przyszłości zapewne w oparciu o grę rynkową popytu i podaży na tzw. rynku mocy.

Podsumowanie

Nadchodzi era cyfrowej gospodarki energetycznej i zmiany tradycyjnego modelu zużywania energii w oderwaniu od kosztów jej wytwarzania lub dostępności w różnych porach dnia, na korzyść dopasowywania odbiorców energii do krótkoterminowych prognoz zapotrzebowania, z jednej strony z niesterowalnych odnawialnych źródeł energii, a z drugiej ze strony biernych odbiorców dysponujących wolnymi megawatami [4]. Powstanie pojęcie aktywnego odbiorcy energii, który będzie korzystał z narzędzi udostępnianych przez dostawców nowych usług z wirtualnej elektrowni. Zbudowany zostanie system regulujący konsumpcję energii po stronie wielu odbiorców, z których każdy będzie w stanie dostarczyć od kilkudziesięciu kilowatów do kilku megawatów zredukowanej chwilowo mocy, co przełoży się doskonale na zdecydowane zwiększenie

bezpieczeństwa energetycznego. To właśnie zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego staje się nowym wyzwaniem dla wielu innowacyjnych projektów z dziedziny inteligentnej energetyki i jednocześnie wytworzy nowe źródła przychodów dla aktywnych odbiorców energii.

Efektywność energetyczną inteligentnego budynku można jeszcze poprawić o kilka procent w skali całego roku poprzez inteligentne odłączanie wybranych urządzeń energochłonnych, przy silnym założeniu, że zachowany zostanie prawidłowy komfort fizyczny w regulowanych pomieszczeniach, a pracujący tam ludzie nie odczują pogorszenia warunków pracy.

Literatura

- [1] CLEMENTS-CROOME D.J.: *Intelligent buildings – design, management and operations*. Published by Thomas Telford Publishing, London 2004.
- [2] MIKULIK J.: *Wybrane zagadnienia zapewnienia bezpieczeństwa i komfortu w budynkach*, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2008.
- [3] HIMANEN M.: *The Feasibility of the Intelligent Building Concept in Office Buildings*, Helsinki University of Technology, 2003.
- [4] THON F.: *Scenariusze rozwoju technologii na polskim rynku energii do 2050 roku*, raport RWE Polska 2014.
- [5] Ustawa o efektywności energetycznej z dnia 20 maja 2016 r., Dz.U. RP Warszawa dn. 11.06.2016, poz.831.
- [6] Materiały firmowe VPPlant.


Artykuł opracowano jako część projektu „oBEMS (*Office Building Energy Management System*) inteligentna nakładka sprzętowo-programowa na systemy automatyki budynków biurowych, nowa metoda zarządzania komfortem oraz energią elektryczną, ciepłem optymalizująca na bieżąco wentylację, ogrzewanie, chłodzenie (HVAC) z wykorzystaniem multisensorycznej mapy komfortu”, realizowanego przez spółkę Virtual Power Plant i współfinansowanego w ramach Działania 1.1.

„Projekty B+R przedsiębiorstw”, Poddziałanie 1.1.1.: „Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa” Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.



Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



 Jerzy Mikulik – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania;
Piotr Bartkiewicz – Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska

artykuł recenzowany