

# Internet Rzeczy jako narzędzie wspomagające poprawę efektywności energetycznej w fotowoltaicznych instalacjach prosumenckich

Robert Wójcicki

## 1. Energetyka prosumencka w Polsce

Pod koniec 2013 roku ustawodawca, wprowadzając przepisy tzw. Małego Trójpaku, umożliwił funkcjonowanie w Polsce podłączonych do sieci współpracujących z Krajowym Systemem Elektroenergetycznym mikroinstalacji prosumenckich wykorzystujących odnawialne źródła energii. Tym samym zapoczątkowana została przemiana systemu elektroenergetycznego z systemu opartego całkowicie o energetykę zawodową w system, w którym jako wytwórcy partycypują również prosumenci. Uchwalona przez sejm w lutym 2015 roku ustawa o OZE będzie dodatkowo wspierała budowę instalacji prosumenckich w Polsce. Głównym celem funkcjonowania instalacji prosumenckich jest wykorzystanie powszechnie lokalnie dostępnych odnawialnych źródeł energii i wytwarzanie energii elektrycznej z przeznaczeniem na własne potrzeby, natomiast w drugiej kolejności wprowadzanie ewentualnych nadwyżek do sieci elektroenergetycznej. Energetyka prosumencka jest odpowiedzią na wyzwania przyszłości stawiane współczesnym rynkiem energii [6], gdyż przyczyni się do zwiększenia podaży energii elektrycznej oraz uzupełni silnie zróżnicowane geograficznie rozmieszczenie urządzeń wytwórczych. Spowoduje również rozwój świadomości odbiorców energii, którzy z odbiorców przeistoczą się w świadomych prosumentów, efektywnie korzystających z zasobów środowiskowych.

Efektywna energetyka prosumencka wymaga jednak wprowadzenia informatycznych systemów nadzoru, zarządzania i monitorowania działania instalacji

oraz jej współpracy z najbliższym otoczeniem, w tym również z infrastrukturą energetyczną [1, 2, 4, 5]. Technologie Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT), inteligentne przedmioty i czujniki podłączone do sieci informatycznej, mogą wspomagać tego rodzaju systemy. Smart Grid – inteligentna sieć elektroenergetyczna – może być również beneficjentem technologii Internetu Rzeczy. Obecnie w Polsce wdrażane są systemy zdalnego odczytu energii (ang. *Automatic Meter Reading*) dla odbiorców indywidualnych. Ułatwiają one odczyty i zmniejszają ich koszty ponoszone przez operatorów systemów dystrybucyjnych, lecz nie zapewniają interakcji pomiędzy odbiorcą a sprzedawcą energii. Jednak w przyszłości Smart Grid wraz z inteligentnymi przedmiotami umożliwią zwiększenie efektywności energetycznej, elastyczne zarządzanie zużyciem energii, stosowanie dynamicznych i elastycznych modeli taryfowych, dostosowanych do zmieniającego się zapotrzebowania na energię, natychmiastowe bilingi po stronie odbiorcy czy też zawieranie kontraktów terminowych na pobór energii elektrycznej w określonym czasie [7]. Prognozuje się, że dostarczenie użytkownikowi bardzo dokładnej informacji dotyczącej zużycia energii w gospodarstwie domowym wpłynie również na zmniejszenie jej użycia, pozwoli wyeliminować urządzenia lub czynności, które ją marnują. W przyszłości będą się również pojawiać nowe usługi umożliwiające efektywne gospodarowanie energią, w tym energią pochodzącą z odnawialnych źródeł, uwzględniające możliwości wytwórcze, magazynowania oraz prognozy zapotrzebowania na energię.

**Streszczenie:** Niniejszy artykuł zawiera analizę pracy prosumenckiej instalacji fotowoltaicznej oraz omówienie sposobów wykorzystania technologii Internetu Rzeczy w celu poprawy jej efektywności energetycznej.

Słowa kluczowe: Internet Rzeczy, prosument, fotowoltaika, odnawialne źródła energii, smart-grid

## THE INTERNET OF THINGS IN ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS FOR RESIDENTIAL PROSUMERS

**Abstract:** This article presents an analysis of the photovoltaic prosumer system and discusses the use of Internet of Things technology in order to improve energy efficiency.

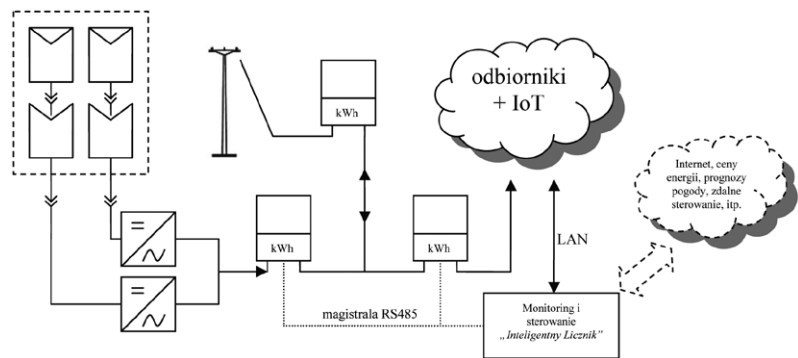
Keywords: IoT, prosumer, photovoltaics, smart-grid, renewable energy

W niniejszym artykule przedstawiono analizę jednej z prosumenckich instalacji fotowoltaicznych pracującej w polskich warunkach. Omówiono zapotrzebowanie na energię elektryczną budynku z uwzględnieniem udziału energii odnawialnej produkowanej oraz zużywanej na potrzeby własne. Celem opracowania jest przedstawienie – na tle rzeczywistej instalacji – wymagań i podstawowych założeń dla systemu wspomagającego poprawę efektywności energetycznej oraz współczynnika wykorzystania energii elektrycznej na potrzeby własne instalacji prosumenckich z wykorzystaniem technologii Internetu Rzeczy.

## 2. Analiza prosumenckiej instalacji fotowoltaicznej

Analizowana mikroinstalacja fotowoltaiczna typu *on-grid* została założona w 2014 roku w powiecie bielskim na dachu jednorodzinne go budynku mieszkalnego, od maja 2014 roku jej moc znamionowa wynosi 4,4 kWp<sup>1</sup>. Obecnie składa się z dwóch zestawów paneli fotowoltaicznych zainstalowanych na różnych połaciach dachu. Większa część paneli (11 sztuk), o mocy znamionowej 2695 Wp, została zainstalowana na południowo-wschodniej połaci dachu, o nachyleniu 30°. Drugi zestaw paneli (7 sztuk), o mocy znamionowej 1715 Wp, został założony na południowo-zachodniej połaci dachu o nachyleniu 45°. Ze względu na różne długości stringów oraz na różne warunki panujące na poszczególnych połaciach dachu podłączenie do sieci wykonano poprzez dwa niezależne falowniki.

Działanie instalacji w okresie od maja do sierpnia 2014 roku zostało przeanalizowane w [8]. Instalacja jest monitorowana przez dwa dwukierunkowe liczniki energii elektrycznej LandisGyr E550 ze zdalnym odczytem, które zostały założone przez Operatora Systemu Dystrybucyjnego. Dodatkowo w budynku został zainstalowany niezależny system monitoringu pracy instalacji fotowoltaicznej, zapotrzebowania budynku na energię elektryczną oraz parametrów środowiskowych uwzględniających pomiar temperatur wewnątrz i na zewnątrz budynku. System ten został zbudowany w oparciu o otwarte oprogramowanie, co umożliwił jego łatwą i elastyczną integrację z dowolnymi urządzeniami technologii Internetu Rzeczy, a w przy-



Rys. 1. Schemat instalacji wraz z modułem monitorująco-sterującym, a w przyszłości inteligentnym licznikiem

szłości implementację funkcjonalności inteligentnego licznika uwzględniającego wpływ zewnętrznych parametrów na kształtowanie zapotrzebowania na energię elektryczną, jak np. długoterminowe i chwilowe prognozy pogody, taryfy dynamiczne, zdalne sterowanie itp. Schemat systemu został przedstawiony na rys. 1. W budynku, w celu optymalizacji kosztów, wykorzystywana jest statyczna taryfa G12w, pozwalająca na pobór taniej, pozaszczytowej energii elektrycznej w dni powszednie w godzinach 13.00–15.00 i 22.00–6.00 oraz w soboty i niedziele.

### 2.1. Produkcja i zużycie energii elektrycznej pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej

W załączonej tabeli (tabela 1) przedstawiono zapotrzebowanie oraz produkcję energii elektrycznej analizowanego budynku w rozbiciu na poszczególne miesiące 2014 roku i stycznia 2015 roku oraz na okres szczytowy i pozaszczytowy.

W tym okresie instalacja fotowoltaiczna wyprodukowała 3225 kWh energii elektrycznej, z czego na potrzeby własne zostało zużytych tylko 1587 kWh, a do sieci elektroenergetycznej zostało oddanych aż 1638 kWh. W analizowanym okresie pobrano z sieci elektroenergetycznej 6205 kWh energii elektrycznej, z czego większość w taryfie pozaszczytowej. Zwiększony pobór w taryfie pozaszczytowej można zaobserwować od października, gdyż od tego okresu rozpoczął się sezon grzewczy analizowanego budynku, a do celów grzewczych stosowana jest pompa ciepła. Z uwagi na wykorzystanie akumulacji ciepła w ogrzewaniu podłogowym cała energia elektryczna przeznaczona do ogrzewania była pobierana tylko w taryfie pozaszczytowej.

Z przedstawionych danych wynika, że wykorzystanie energii elektrycznej pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej kształtowało się na poziomie 49%, natomiast mimo większego zapotrzebowania na energię w poszczególnych miesiącach aż 51% wyprodukowanej energii

**Tabela 1.** Udział energii odnawialnej w bilansie energetycznym budynku z rozbiem na szczyt i pozaszczyt

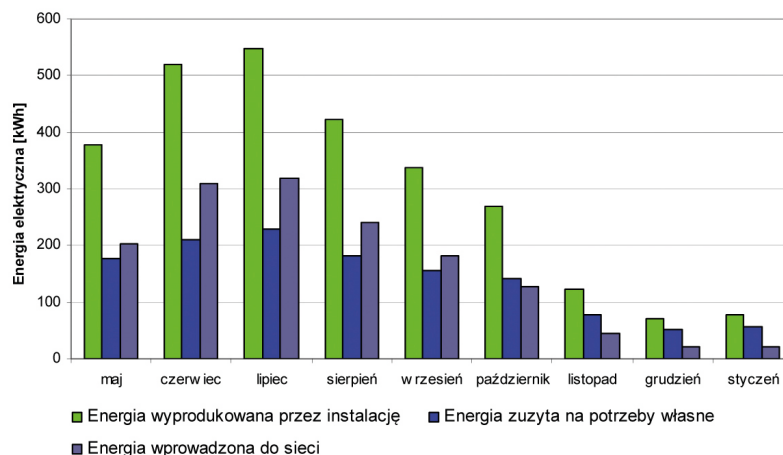
Miesiąc	Produkcja	Zużycie na potrzeby własne		Sprzedaż			Pobór		
	kWh	kWh	% produkcji	Suma	Sz	Psz	Suma	Sz	Psz
				kWh			kWh		
maj	379	177	47	202	121	81	436	71	188
czerwiec	521	211	41	309	165	145	384	53	120
lipiec	548	229	42	318	171	147	451	70	151
sierpień	422	182	43	240	111	129	411	76	153
wrzesień	338	157	46	181	96	86	409	98	154
październik	269	141	52	128	79	49	461	108	213
listopad	122	77	64	44	38	7	668	102	489
grudzień	72	51	71	21	19	2	1016	138	826
styczeń	78	58	74	20	19	1	1047	130	859
SUMA	3225	1587	49	1638	934	704	6205	1180	5025

elektrycznej zostało wprowadzonych do sieci. Podobne proporcje konsumpcji własnej są wykazywane w innych opracowaniach [3]. Mimo dziennych deficytów energii elektrycznej i potrzeby pobierania jej z sieci, największa część produkcji była oddawana do sieci w okresie letnim i sięgała 58%, natomiast w okresie zimowym do sieci oddawanych było tylko około 26–29% wyprodukowanej energii, co przedstawiono na rys. 2.

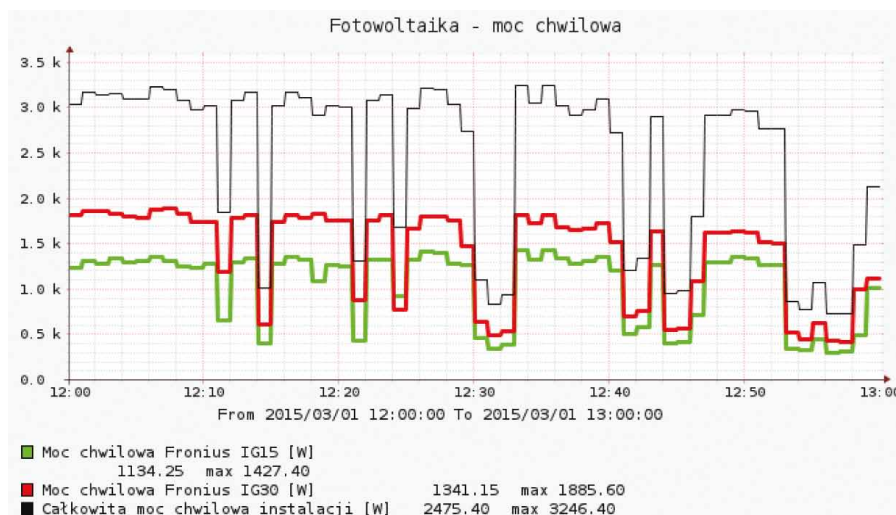
Powyższe dane wskazują na trudności z bieżącym wykorzystaniem energii elektrycznej na potrzeby własne, co powoduje potrzebę pobierania jej z sieci mimo dobowych i miesięcznych nadprodukcji pochodzących z instalacji fotowoltaicznej. Problem ten wynika zarówno z niestabilności fotowoltaicznego źródła wytwórczego (rys. 3), jak i braku synchronizacji produkcji ze zużyciem energii oraz inteligentnego sterowania urządzeniami, dzięki któremu mogłyby one zwiększyć stosunek energii elektrycznej zużytej na potrzeby własne do energii elektrycznej pobranej z sieci.

### 3. Internet Przedmiotów narzędziem poprawiającym efektywność energetyczną urządzeń i instalacji

Nieefektywność wykorzystania energii elektrycznej pochodzącej z mikroinstalacji fotowoltaicznej na potrzeby własne wynika nie tylko z niedopasowania zapotrzebowania na energię elektryczną do chwilowej jej produkcji, ale w dużej mierze z braku odpowiedniego systemu inteligentnego sterowania odbiornikami



**Rys. 2.** Energia elektryczna – produkcja i wykorzystanie na własne potrzeby



**Rys. 3.** Przykład niestabilności źródła fotowoltaicznego

OPROGRAMOWANIE, SIECI PRZEMYSŁOWE

energii elektrycznej. Odbiorniki te można podzielić ze względu na ich tryb pracy na następujące kategorie:

1. wykorzystywane w okresie braku lub niskiej aktywności instalacji fotowoltaicznej, jak np. oświetlenie;
2. priorytetowe, wymagające stałego zasilania;
3. uruchamiane na żądanie lub w zadanym czasie:
  - a. o wysokim zapotrzebowaniu na moc uruchamiane natychmiastowo na żądanie, np. czajnik elektryczny, piekarnik itp.,
  - b. o wysokim zapotrzebowaniu na moc uruchamiane w zadanym czasie, np. pralka, zmywarka, ogrzewanie, klimatyzacja;
3. odbiorniki czuwające przez cały czas, lecz o okresowo zwiększonym poborze mocy, np. chłodziarko zamrażarka;
4. inne.

Część odbiorników energii elektrycznej nie jest podatna na sterowanie (odbiorniki z grupy 1 i 2). Kolejna grupa uruchamiana jest na żądanie, oferując funkcjonalność wymaganą w danym czasie przez użytkownika (systemy audio-wideo, komputery domowe, część sprzętu AGD). Niektóre tego typu urządzenia, np. niektóre telewizory, pozwalają już dziś na automatyczną regulację jasności w zależności od intensywności oświetlenia, co powoduje częściowe skorelowanie pobieranej przez nie mocy z produkcją energii przez panele fotowoltaiczne, lecz duża część odbiorników pracuje obecnie w trybie indywidualnym, bez uwzględnienia podaży energii elektrycznej pochodzącej z odnawialnych źródeł. Wśród tych urządzeń i instalacji można znaleźć takie, które wykorzystując technologię Internetu Rzeczy i system inteligentnego sterowania, będą mogły poprawić swoją efektywność energetyczną. Można do nich zaliczyć część urządzeń z grupy 3 a, większość z 3 b oraz 4, czyli np. instalacje ogrzewania, klimatyzacji, wentylacji, ogrzewania ciepłej wody użytkowej, domowe urządzenia chłodnicze (chłodziarki, chłodziarko-zamrażarki), czajniki elektryczne, piekarniki, kuchenki elektryczne itd.

Inteligentne sterowanie odbiornikami wykorzystujące technologię Internetu Rzeczy powinno korzystać zarówno

z pomiarów bieżącego i prognozowanego zapotrzebowania na moc odbiorników energii elektrycznej, jak i chwilowej oraz prognozowanej mocy źródła fotowoltaicznego. Dodatkowo, w zależności od cen energii elektrycznej w różnych okresach czasu, możliwa jest optymalizacja kosztów funkcjonowania poszczególnych urządzeń. Obecnie operatorzy OSD i sprzedawcy energii elektrycznej udostępniają sztywne taryfy, lecz w przyszłości można się spodziewać, że cena energii będzie się mogła dynamicznie zmieniać w zależności od zapotrzebowania Krajowego Systemu Energetycznego oraz cen na Towarowej Giełdzie Energii [7], co wzmocni zastosowanie technologii Internetu Rzeczy w kierunku optymalizacji kosztów pracy prosumenckich gospodarstw domowych.

Sterowanie domowymi odbiornikami energii elektrycznej powinno zapewniać następujące możliwości:

- automatycznego włączania i wyłączania odbiorników w zależności od potrzeb i chwilowych nadmiarów mocy instalacji fotowoltaicznej;
- priorytetowania i kolejkowania pracy odbiorników w celu unikania spiętrzenia chwilowego zapotrzebowania na moc, co będzie prowadzić do spłaszczenia charakterystyki poboru mocy całej instalacji;
- regulacji poboru mocy urządzeń poprzez bezpośrednie sterowanie ich mocą (np. inwerterowych klimatyzatorów i pomp ciepła) oraz poprzez wykorzystanie sterowalnych przetworników AC/AC, AC/DC lub w uproszczonej wersji sekcji grzałek w odbiornikach, dla których tego typu regulacja mocy jest możliwa;
- monitorowania parametrów pracy poszczególnych urządzeń oraz parametrów środowiskowych budynku;
- śledzenia bieżącego zachmurzenia w celu określenia krótkoterminowych prognoz mocy wytwórczych instalacji fotowoltaicznych.

### **3.1. Internet Rzeczy – przykładowe zastosowania**

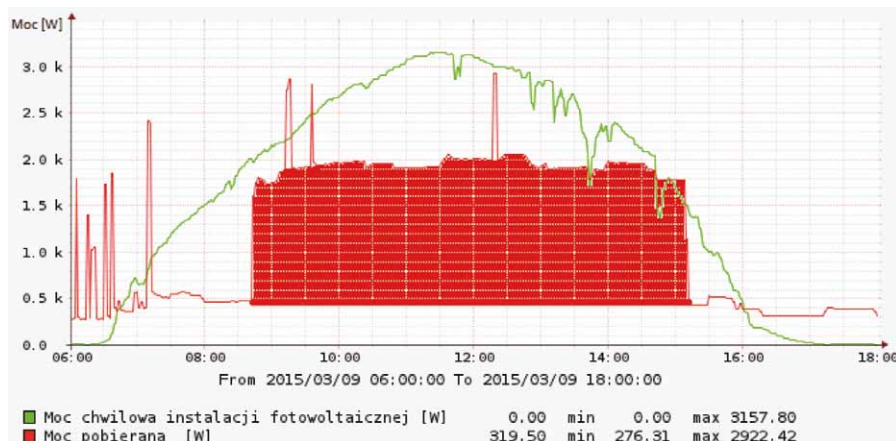
W tej części opracowania zaprezentowano wyniki analiz pracy odbiorników energii elektrycznej z wybranych kategorii i omówiono możliwości sterowania nimi w celu zwiększenia stopnia wyko-



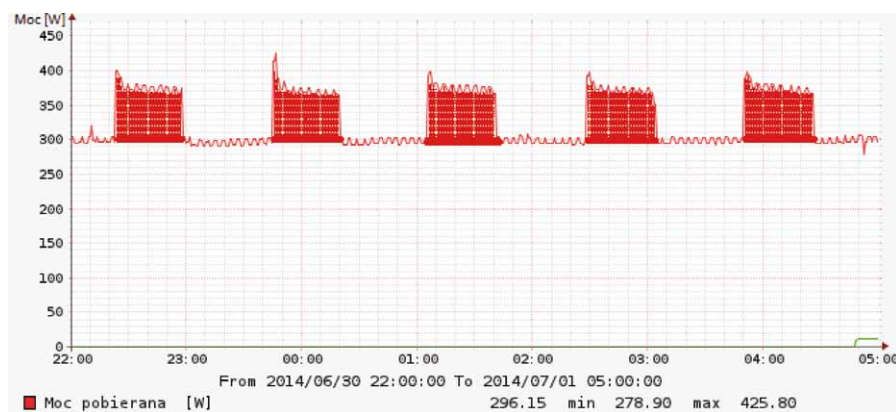
rzystania energii elektrycznej generowanej w instalacji fotowoltaicznej na potrzeby własne prosumenta. Prezentowane dane pochodzą z monitoringu rzeczywistej instalacji prosumenckiej, w której zastosowano fotowoltaiczne źródło wytwórcze o mocy znamionowej 4,4 kWp.

### 3.1.1. Ogrzewanie i klimatyzacja, ciepła woda użytkowa

Systemy centralnego ogrzewania wymagają dostarczenia dużych ilości energii elektrycznej, co może pozwolić na lokalne wykorzystanie większości produkcji z instalacji fotowoltaicznej w okresie zimowym oraz przejściowym. Magazynowanie ciepła jest jednym z najtańszych i najłatwiejszych do wykonania sposobów wykorzystania energii elektrycznej na własne potrzeby. Zastosowanie magazynów ciepła w postaci zasobników wypełnionych wodą lub instalacji ogrzewania podłogowego pozwala na magazynowanie nadmiarów ciepła i stabilizowanie temperatury wewnątrz budynku, a zastosowanie odpowiedniego sterowania umożliwi optymalne wykorzystanie energii. Źródłami ciepła mogą być grzałki lub kable grzejne, których mocą można łatwo sterować, lecz bardziej efektywnym rozwiązaniem jest zastosowanie pomp ciepła. Rys. 4 przedstawia działanie gruntuwej pompy ciepła typu on/off o mocy 5 kW w skojarzeniu z instalacją fotowoltaiczną, gdzie sterownik, analizując chwilową moc instalacji fotowoltaicznej decydował o włączeniu i wyłączeniu pompy w odpowiednim czasie mimo obowiązywania wysokich cen energii elektrycznej w okresie szczytowym. Sterowanie pompą ciepła typu on/off pozwala tylko na jej włączenie i wyłączenie w odpowiednim czasie z uwzględnieniem okresów przerw, które ze względu na trwałość sprężarki powinny być zachowane zgodnie z zaleceniami producenta. Pompy ciepła typu powietrze – woda, powietrze – powietrze oraz klimatyzatory zazwyczaj wyposażone są w jednostki inwerterowe, które umożliwiają zmianę pobieranej mocy, a tym samym mocy grzewczej/chłodniczej urządzenia. Jednak duża część tego typu urządzeń nie posiada interfejsów pozwalających na sterowanie mocą przez zewnętrzny sterownik, co dla instalacji



Rys. 4. Przebieg czasowy mocy źródła PV oraz mocy pobieranej przez pompę ciepła i pozostałe odbiorniki



Rys. 5. Przebieg czasowy mocy pobieranej przez chłodziarko-zamrażarkę

prosumenckich byłyby wskazane i umożliwiłyby lepsze dopasowanie poboru energii elektrycznej do zmieniającej się w czasie produkcji.

### 3.1.2. Domowe urządzenia chłodnicze

Domowe urządzenia chłodnicze, jak chłodziarki, chłodziarko-zamrażarki czy zamrażarki, stanowią o znaczącej części zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach domowych. Na rysunku (rys. 5) przedstawiono charakterystykę pracy domowej chłodziarko-zamrażarki na tle stałego zapotrzebowania na energię w analizowanym gospodarstwie domowym. Można na nim zaobserwować, że analizowana chłodziarko-zamrażarka pracowała w regularnych cyklach, włączając się okresowo co około 40–50 minut na około 30–40 minut pracy. Podczas pracy chłodziarko-zamrażarka pobiera-

ła około 150 W. Biorąc pod uwagę ilość gospodarstw domowych obliczoną przez GUS podczas spisu ludności i mieszkań w 2011 r. na 13 572 tys., zakładając, że 80% gospodarstw domowych wyposażonych jest w przynajmniej jedną chłodziarkę bądź chłodziarko-zamrażarkę, można oszacować, że w Polsce pracuje w trybie ciągłym co najmniej 11 mln tego typu urządzeń. Przyjmując cykl pracy jako 1/3 czasu, a średnią moc jako 150 W, można oszacować, że domowe urządzenia chłodnicze odpowiedzialne są za około 550 MW zapotrzebowania na moc.

Obecnie w domowych urządzeniach chłodniczych nie stosuje się żadnych mechanizmów obniżających zużycie energii elektrycznej w szczycie, tym bardziej nie stosuje się mechanizmów synchronizujących zużycie energii z produkcją z odnawialnych źródeł. Korzystając



Rys. 6. Przebieg czasowy mocy pobieranej przez zmywarkę

z technologii Internetu Rzeczy oraz inteligentnego licznika energii elektrycznej, można wprowadzić mechanizmy umożliwiające zmniejszenie w szczycie zapotrzebowania chłodziarko-zamrażarek na energię elektryczną. Wprawdzie w przypadku domowych urządzeń chłodniczych priorytetem jest utrzymanie odpowiedniego mikroklimatu wewnątrz urządzenia, lecz biorąc pod uwagę bezwładność cieplną chłodziarko-zamrażarek, sterownik analizujący temperatury panujące wewnątrz urządzenia i sygnały pochodzące z inteligentnego licznika mógłby obniżać częstotliwość lub skracać czas załączania się urządzeń w szczycie. Analogicznie możliwe jest częściowe zsynchronizowanie pracy tego typu urządzeń chłodniczych z produkcją energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej. W przypadku chłodziarko-zamrażarek wyposażonych w inwerterowe agregaty chłodnicze umożliwiające sterowanie mocą chłodniczą urządzenia, inteligentny sterownik mógłby czasowo wyłączać chłodzenie lub zmniejszać do niezbędnego minimum moc chłodniczą agregatu. Inteligentny sterownik chłodziarko-zamrażarki, współpracujący z inteligentnym licznikiem, mógłby również uczyć się, w jakich okresach jakie ceny energii obowiązują, i następnie w celu zoptymalizowania kosztów pracy urządzenia odpowiednio wykorzystywać statyczne lub dynamicznie zmieniające się taryfy. W przypadku dużego nasycenia rynku domowych urządzeń chłodniczych przez inteligentne sterowanie wykorzystujące obowiązujące taryfy energii

elektrycznej wskazane by było wprowadzenie losowo wybranych okresów oczekiwania na załączenie się urządzenia, aby uniknąć jednoczesnego włączenia się wielu urządzeń w tym samym czasie, natychmiast po zmianie taryfy.

### 3.1.3. Urządzenia AGD wyposażone w grzałkę

Część domowych odbiorników energii elektrycznej wyposażona jest w grzałkę, która odpowiada za większość konsumpcji energii elektrycznej przez te urządzenia. Sterowanie nimi powinno umożliwiać nie tylko włączenie i wyłączenie w odpowiednim czasie, ale też regulację mocy pozwalającą na zwiększenie stopnia wykorzystania energii elektrycznej pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej na potrzeby własne.

#### 3.1.3.1. Pralki, zmywarki

Pralki i zmywarki należą do urządzeń gospodarstwa domowego o dosyć wysokim chwilowym poborze mocy. Związane jest to z wykorzystaniem grzałek przeznaczonych do podgrzewania wody podczas prania i zmywania. Grzałki te bardzo często osiągają moc około 2 kW i pracują zgodnie z odpowiednim programem prania czy zmywania w trybie włącz/wyłącz. Taka praca bardzo często powoduje nieefektywne wykorzystanie energii elektrycznej pochodzącej z odnawialnych źródeł.

Przykład takiej nieefektywności można zaobserwować na rys. 6, gdzie urządzenie włączyło grzałkę około godziny 11.20 oraz 12.35, przekraczając w tym

reklama

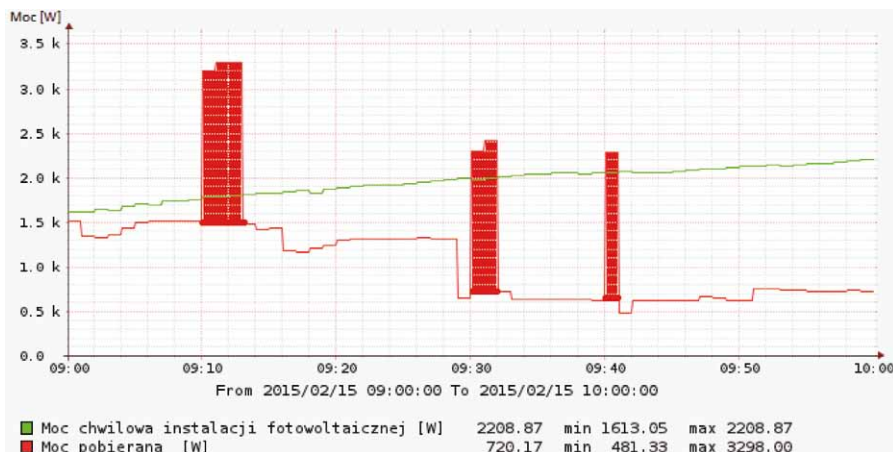
czasie możliwości wytwórcze instalacji fotowoltaicznej. Inteligentny sterownik takiego urządzenia mógłby zmniejszyć moc pracy grzałki (stosując sekcje grzałek lub odpowiedni przetwornik), dostosowując ją do nadmiarów energii elektrycznej pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej, wydłużając tym samym czas operacji podgrzewania wody. W ten sposób ilość energii pobieranej z sieci mogłaby, dla przypadku przedstawionego na rys. 6, zostać całkowicie lub w znacznym stopniu ograniczona.

### 3.1.3.2. Czajniki elektryczne, tostery, ekspresy do kawy, żelazka

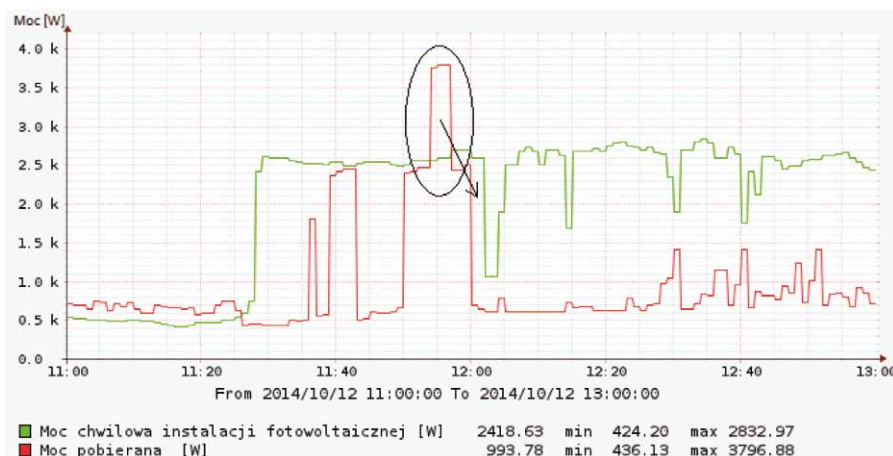
Urządzenia takie, jak czajniki elektryczne, tostery, ekspresy do kawy i inne, również należą do urządzeń o wysokim poborze mocy ze względu na zastosowanie w nich elementów grzejnych. Na rys. 7 widać trzy wyróżniające się piki poboru mocy spowodowane przez czajnik elektryczny. Zmniejszenie poboru mocy nawet pierwszego z nich zwiększyłoby procent wykorzystania energii elektrycznej pochodzącej z mikroinstalacji, a dla pozostałych dwóch możliwe by było nawet całkowite ograniczenie poboru energii elektrycznej z sieci bez zauważalnego zmniejszenia komfortu użytkownika związanego z dłuższym oczekiwaniem.

### 3.1.4. Kolejowanie i harmonogramowanie

Inną metodą pozwalającą na zwiększenie wykorzystania energii pochodzącej z instalacji fotowoltaicznej na potrzeby własne może być zastosowanie kolejowania pracy poszczególnych urządzeń. Sterownik, znając charakterystykę poboru energii elektrycznej poszczególnych urządzeń, monitorując bieżące zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz produkcję instalacji fotowoltaicznej, może przesunąć w czasie uruchomienie kolejnych urządzeń, tak by zapotrzebowanie na moc nie przekraczało możliwości wytwórczych instalacji fotowoltaicznej lub maksymalnej mocy generatora wykorzystującego akumulatory. W ten sposób mogą być ograniczane lub rozładowywane spiętrzenia zapotrzebowania na moc, przyczyniając się do poprawy współczynnika wykorzystania energii odnawialnej na własne potrzeby (rys. 8).



Rys. 7. Przebieg czasowy mocy pobieranej przez czajnik elektryczny w kilku cyklach pracy



Rys. 8. Rozładowanie spiętrzenia mocy pobieranej przez odbiorniki

Kolejkowanie i harmonogramowanie pracy odbiorników najwydajniej będzie funkcjonować wraz z krótkoterminowymi prognozami mocy instalacji fotowoltaicznej. Prognozy mogą być wykonywane na podstawie analizy bieżącego pokrycia i ruchu chmur obserwowanego przez kamerę, będącą jednym ze źródeł danych dla systemu sterującego. Umożliwi to efektywne wykorzystanie energii słonecznej również podczas dni ze zmiennym zachmurzeniem, które bardzo często występują w polskich warunkach i w znaczący sposób obniżają chwilową moc instalacji fotowoltaicznej.

## 4. Podsumowanie

Rozpoczynające się zmiany na rynku energii energetycznej wprowadzają coraz szersze zastosowanie w codziennym życiu odnawialnych źródeł energii.

Dzięki nim również w Polsce pojawiają się instalacje prosumenckie, w których kojarzona jest produkcja i konsumpcja energii elektrycznej, gdzie część wyprodukowanej energii jest wykorzystywana na potrzeby własne prosumenta, a nadmiary odprowadzane są do sieci elektroenergetycznej. Instalacje prosumenckie mogą korzystać z odnawialnych źródeł energii, z których część można zaliczyć do źródeł stabilnych, jak np. biogazownie, wykorzystywanych również do bilansowania podaży energii elektrycznej. Jednak większą część stanowią źródła niestabilne, jak np. wiatrowe czy fotowoltaiczne, które bez zastosowania magazynów energii stawiają duże wymagania współpracującym z nimi odbiornikom. Niestety obecnie wykorzystywane instalacje i urządzenia zazwyczaj nie są zaprojektowane i przygotowane tak, aby



efektywnie współpracować z niestabilnymi źródłami energii odnawialnej, co objawia się niskim stopniem wykorzystania wyprodukowanej energii elektrycznej na potrzeby własne oraz zmniejsza efektywność energetyczną i ekonomiczną instalacji prosumenckich. Duża część urządzeń gospodarstwa domowego potencjalnie umożliwi współpracę ze źródłami wytwórczymi, lecz wymaga to ich modyfikacji oraz zapewnienia odpowiednich systemów komunikacji i sterowania. Inteligentne sterowanie urządzeniami i instalacjami, oprócz minimalizowania kosztów funkcjonowania, powinno również zadbać o komfort użytkownika, do którego należą ostateczne decyzje, czy preferuje on wykorzystanie energooszczędnego, dopasowanego do zewnętrznych warunków trybu pracy urządzeń, czy też preferuje szybkie wykonanie pewnych zadań bez względu na koszt.

W artykule przedstawiono efekty pracy prosumenckiej instalacji fotowoltaicznej, zwracając uwagę na problem zagospodarowania produkowanej energii elektrycznej na potrzeby własne. Wskazano również metody wykorzystania technologii informatycznych, w tym Internetu Rzeczy, których zastosowanie może pozwolić na zwiększenie efektywności energetycznej instalacji prosumenckich, jak również na poprawienie stopnia wykorzystania produkowanej energii elektrycznej na potrzeby własne. Ich wykorzystanie wymaga jednak opracowania algorytmów umożliwiających efektywne sterowanie poborem energii elektrycznej przez urządzenia domowe oraz metod komunikacji z nimi. Autor artykułu widzi potrzebę dalszych prac nad poprawą efektywności energetycznej instalacji prosumenckich i zamierza je w przyszłości kontynuować w kierunku budowy systemu zarządzającego urządzeniami domowymi, wykorzystującego technologie Internetu Rzeczy, jak i budowy modelu symulacyjnego pozwalającego na przeprowadzenie badań proponowanych rozwiązań.


## Przypisy

1. Wp – moc wyjściowa modułu fotowoltaicznego dla warunków STC (ang. *Standard Test Condition*) odpowiadających temperaturze modułu 25°C, natężeniu

promieniowania słonecznego 1000 W/m<sup>2</sup> i rozkładowi spektralnemu promieniowania AM 1,5 (bezchmurne niebo w południe).

## Literatura

- [1] CASINI M.: *Internet of Things for energy efficiency of buildings*. „International Scientific Journal Architecture and Engineering” 2/2014.
- [2] DĘBOWSKI K.: *Licznik inteligentny EP wg iLab EPRO*. BŻEP (Biblioteka Źródłowa Energetyki Prosumenckiej), www.klaster3x20.pl, Nr katalogowy 1.2.02. Systemy pomiarowe w EP.
- [3] International Energy Agency, Residential prosumers – drivers and policy options (re-prosumers), IEA-RETD, June 2014.
- [4] KARNOUSKOS S.: *The cooperative Internet of Things enabled Smart Grid*, In proceedings of the 14th IEEE International Symposium on Consumer Electronics, Braunschweig, Germany 2010.
- [5] MORENO V. ÚBEDA B., SKARMETA A., ZAMORA M: *How can we tackle energy efficiency in IoT based smart buildings*, „Sensors Journal” 14/2014.
- [6] NIEDZIÓŁKA D.: *Rozwój energetyki prosumenckiej a bezpieczeństwo energetyczne. Energetyka prosumencka. Pierwsza próba konsolidacji*, Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2014, s. 41–50.
- [7] POPCZYK J.: *Model interaktywnego rynku energii elektrycznej. Od modelu WEK-IPP-EP do modelu EP-IPP-WEK*, BŻEP (Biblioteka Źródłowa Energetyki Prosumenckiej), www.klaster3x20.pl, Nr katalogowy 1.1.06. Synteza EP.
- [8] WÓJCICKI R.: *Prosumencka mikroinstalacja fotowoltaiczna na przykładzie domu jednorodzinnego. Energetyka prosumencka. Pierwsza próba konsolidacji*, Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2014, s. 164–168.

 Robert Wójcicki – Politechnika Śląska, Instytut Informatyki,  
e-mail: robert.wojcicki@polsl.pl

artykuł recenzowany