

Spółdzielnia energetyczna – generacja rozproszona metodą na zwiększenie efektywności energetycznej na obszarach miejskich

Robert Wójcicki

1. Wstęp

Polski rynek energii elektrycznej jest w większości homogenicznym, scentralizowanym rynkiem, na którym prym wiodzie generacja energii elektrycznej w wielkich blokach wykorzystujących paliwa kopalne – w około 90% jest to węgiel kamienny i brunatny. Utrzymując taką strukturę wytwarzania, kładzie się nacisk na sprawność generacji energii w nowych blokach węglowych, jednakże zapomina się o stratach przesyłowych energii elektrycznej do odbiorców końcowych oraz o braku możliwości zagospodarowania ogromnych ilości ciepła uwalnianego w większości do wód powierzchniowych oraz atmosfery. Zupełnie innym modelem wytwarzania jest model oparty o rozproszoną generację OZE (Odnawialne Źródła Energii) [5, 7] i uzupełniającą ją kogenerację biogazową, gazową lub dieslowską. W takim modelu rozproszone źródła energii elektrycznej znajdują się w sąsiedztwie odbiorców, co eliminuje potrzebę przesyłania energii na duże odległości wraz ze związanymi z tym stratami oraz kosztami. Kolejnym pozytywnym aspektem staje się możliwość wykorzystania ciepła odpadowego, pochodzącego ze stosunkowo niewielkich źródeł umiejscowionych w pobliżu potencjalnych odbiorców ciepła i chłodu. Wykorzystanie źródeł OZE nie tylko zmniejsza emisję szkodliwych substancji do atmosfery, lecz pozwala również na osiągnięcie konkurencyjnych cen energii elektrycznej [7, 9]. Wyniki aukcji nr AZ/1/2017 z dnia 29 czerwca 2017 r. na energię ze źródeł OZE wskazują na ukształtowanie się poziomu cenowego energii pochodzącej ze źródeł fotowoltaicznych między

Streszczenie: Niniejszy artykuł omawia tematykę wykorzystania rozproszonej generacji energii elektrycznej na terenach miejskich przez spółdzielnie energetyczne tworzące wirtualne elektrownie w obrębie wielorodzinnych budynków mieszkalnych, użytkowanych przez mieszkańców spółdzielni lub wspólnot mieszkaniowych. W pierwszej części przedstawiono koncepcję i zasady funkcjonowania takich podmiotów jako integratorów na rynku energii elektrycznej, agregujących pobór

odbiorców indywidualnych oraz wykorzystujących źródła OZE, kogenerację lub trigenerację gazową. W drugiej części skupiono się na badaniach wykorzystania instalacji fotowoltaicznych przez spółdzielnię energetyczną, analizując wykorzystanie wygenerowanej energii elektrycznej w zależności od zainstalowanej mocy źródła pv i parametrów usługi net-meteringu.

Słowa kluczowe: spółdzielnia energetyczna, generacja rozproszona, fotowoltaika, kogeneracja, net-metering

THE COMMUNITY MICROGRID AS A VIRTUAL POWER PLANT ON MULTIFAMILY RESIDENTIAL AREAS

Abstract: This article discusses the idea of distributed generation of electricity on multifamily residential areas by community microgrids which are creating virtual power plants. The first part presents the concept and principles of these entities which could be integrators on the energy market, aggregating the consumption of individual consumers and using renewable energy sources, cogeneration or gas trigeneration. The second part includes

simulation research on the usage of photovoltaic installations by the community microgrids, analyzing the consumption of generated electricity, depending on the installed power of the PV source and the parameters of the net-metering services.

Keywords: community microgrids, distributed generation, photovoltaics, combined heat and power generation, net-metering

195 PLN/MWh a 399 PLN/MWh, gdzie średnia cena zakupu energii wyniosła 373 PLN/MWh. Analizując tendencje na rynku OZE, należy się spodziewać, że w najbliższych latach ceny te będą spadać, i obecnie można je przyjąć jako ceny maksymalne. Porównując uzyskane podczas aukcji poziomy cenowe energii ze średnią ceną sprzedaży energii

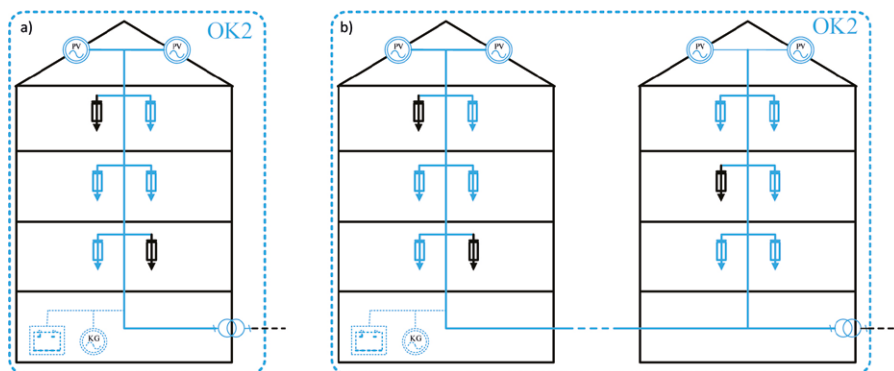
elektrycznej, na rynku konkurencyjnym w III kwartale 2017 wynoszącą 168 PLN/MWh, można uznać, że źródła OZE nie osiągnęły jeszcze paritetu cenowego w modelu rynku opartym na „miedzianej płycie”, jednak po uwzględnieniu kosztów opłat systemowo-sieciowych, które ponoszą odbiorcy, rzeczywisty koszt zakupu energii elektrycznej przez

użytkowników końcowych kształtuje się na poziomie 650 PLN/MWh, dla którego rozproszona energetyka OZE już dziś jest konkurencyjna względem energetyki WEK (Wielkoskalowej Energetyki Korporacyjnej). Uchwalona w 2016 roku Ustawa o OZE wprowadza nowe rozwiązania, definiując takie podmioty, jak prosumenci, spółdzielnie i klastry energetyczne, tworząc tym samym ramy prawne dla funkcjonowania nowych podmiotów wykorzystujących zalety generacji rozproszonej.

2. Spółdzielnie energetyczne na obszarach miejskich w obrębie budownictwa wielorodzinnego (spółdzielnie, wspólnoty mieszkaniowe)

Naturalną technologią wytwórczą na terenach miejskich jest technologia fotowoltaiczna, wykorzystująca panele instalowane na dachach budynków. Takie instalacje nie wymagają dodatkowych terenów, nie powodują degradacji środowiska naturalnego lecz pozwalają w maksymalnym stopniu wykorzystać obszary zajęte już przez budownictwo mieszkalne, usługowe, czy przemysłowe. Spółdzielnie energetyczne mogą korzystać również z mikroelektrowni wiatrowych, pomp ciepła oraz innych rozwiązań. W przypadku istnienia sieci gazowniczej lub możliwości zainstalowania zbiorników na gaz płynny, źródła OZE mogą współpracować z systemem kogeneracji i trigeneracji gazowej. Technologiom tym sprzyja duże zagęszczenie odbiorców energii elektrycznej oraz ciepła (chłodu) potrzebnego do ogrzewania (chłodzenia) budynków i c.w.u. (cieplej wody użytkowej), zwłaszcza na obszarach pozbawionych dostępu do miejskiej sieci ciepłowniczej.

Uproszczony schemat spółdzielni energetycznej na obszarach miejskich przedstawia rys. 1. Do przedstawionego na schemacie budynku (zespołu budynków, obiektów wspólnoty, spółdzielni mieszkaniowej itp.) doprowadzono publiczną sieć SN. Obiekt został wyposażony w stację transformatorową SN/nN i wewnętrzną sieć nN, do której są przyłączeni odbiorcy, w tym członkowie spółdzielni energetycznej. Punkt przyłączeniowy spółdzielni energetycznej (PPE – Punkt Poboru Energii) znajduje



Rys. 1. Spółdzielnia energetyczna na obszarach miejskich wraz z jej osłoną kontrolną OK2:

a) w obrębie jednego budynku; b) w obrębie wielu budynków

się na styku sieci publicznej zarządzanej przez operatora OSD (Operatora Systemu Dystrybucyjnego) oraz sieci prywatnej, zarządzanej przez spółdzielnię. Infrastruktura energetyczna spółdzielni, oprócz źródła wytwórczego, może być dodatkowo wyposażona w opcjonalny, pełniący dwojaką rolę, zasobnik akumulatorowy lub gazowe źródło kogeneracyjne (trigeneracyjne), wykorzystywane również do ogrzewania (chłodzenia) budynków lub c.w.u. Zasobnik akumulatorowy może pełnić rolę magazynu energii elektrycznej wygenerowanej w źródle pv (fotowoltaicznym), umożliwiając wykorzystanie jej w późniejszym okresie (np. w szczycie wieczornym). Może też pełnić rolę stabilizującą redukując, do poziomu określonego przez ograniczenia sieciowe moc wprowadzaną przez źródło pv do sieci w przypadkach, gdy generacja ze źródła pv przewyższa bieżące zapotrzebowanie odbiorców. Źródło kogeneracyjne z zasobnikiem ciepła może pełnić rolę źródła bilansująco-regulacyjnego, umożliwiającego pracę całego systemu w trybie *semi off-grid*. Infrastruktura techniczna spółdzielni energetycznej (źródła wytwórcze, magazyny energii, odbiorcy) objęta jest węzłową osłoną kontrolną OK2 (konceptcja osłon kontrolnych została szerzej omówiona w [3, 1]), która wydziela granice spółdzielni energetycznej i odseparowuje ją od środowiska zewnętrznego oraz sieci KSE (Krajowy System Elektroenergetyczny).

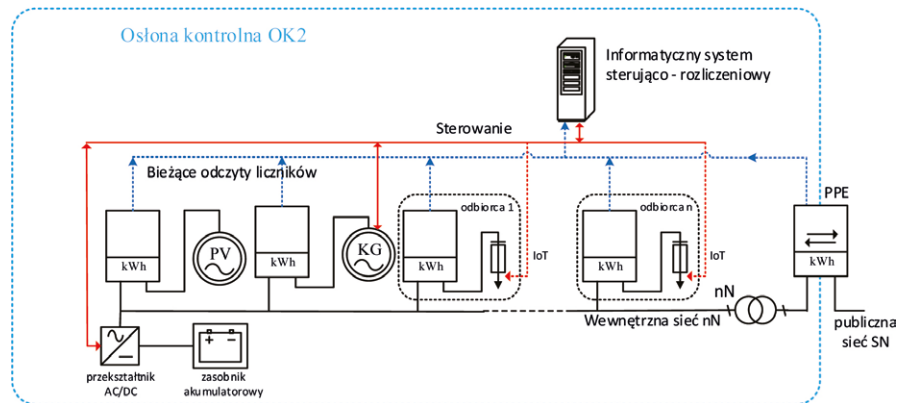
Potencjalnymi inwestorami w prywatną infrastrukturę wytwórczą w obrębie budownictwa wielorodzinnego są wspólnoty i spółdzielnie mieszkaniowe.

Podmioty te, przyłączone do sieci SN, mogą dodatkowo stać się integratorami wykorzystującymi taryfę B i rozliczać się z zewnętrznym dostawcą energii elektrycznej oraz usług systemowo-sieciowych, korzystając z taryfy B, natomiast członków spółdzielni rozliczać wg własnych stawek. Członkowie spółdzielni (rys. 1, kolor niebieski) mogą pobierać energię elektryczną z następujących źródeł: 1) fotowoltaiki, 2) jeśli zostały zainstalowane, z opcjonalnych zasobników akumulatorowych lub źródła kogeneracyjnego, 3) z KSE, rozliczając opłaty za pośrednictwem spółdzielni – integratora. W pierwszych dwóch przypadkach odbiorcy nie są obciążani opłatami systemowo-sieciowymi, gdyż przepływ energii odbywa się w obrębie węzłowej osłony kontrolnej OK2, która obejmuje prywatną infrastrukturę spółdzielni. W okresach deficytów, w których własne źródła nie pokrywają potrzeb energetycznych spółdzielni, energia pobierana z systemu KSE obciążana jest opłatami systemowo-sieciowymi obowiązującymi dla taryfy B lub wymieniana w barterze z wykorzystaniem net-meteringu (obecne przepisy nie obejmują net-meteringiem spółdzielni energetycznych). Pozostali odbiorcy (kolor czarny), nienależący do spółdzielni energetycznej, pobierają energię elektryczną wg dotychczasowych zasad, ponosząc pełne opłaty systemowo-sieciowe oraz opłaty za pobraną energię zgodnie z zapisami taryfy G.

Rys. 2 przedstawia schemat infrastruktury technicznej spółdzielni energetycznej. Na styku osłony kontrolnej i publicznej sieci dystrybucyjnej SN

zainstalowany jest dwukierunkowy licznik, umożliwiający rozliczanie ze sprzedawcą energii elektrycznej zakupionej oraz wyeksportowanej poza osłonę kontrolną OK2. Urządzenie pomiarowe w tym punkcie jest również źródłem danych dla systemu teleinformatycznego spółdzielni, przekazując dane o bieżącym przepływie energii w punkcie PPE spółdzielni i tym samym umożliwiając prowadzenie usług bilansująco-regulacyjnych wewnątrz OK2. Wnętrze osłony kontrolnej OK2, tj. prywatna sieć spółdzielni energetycznej, widziana jest przez operatora OSD jako czarna skrzynka, opomiarowana w punkcie PPE dwukierunkowym licznikiem energii elektrycznej. Gdy źródła spółdzielni pokrywają część zapotrzebowania, wtedy przepływ energii wewnątrz OK2, np. energia przepływająca ze źródła pv do odbiorców, nie jest rejestrowany przez licznik operatora OSD i tym samym nie jest dla niego widoczny – widoczne jest tylko zmniejszenie poboru energii w punkcie PPE. Gdy generacja źródeł spółdzielni przekracza bieżące zapotrzebowanie, wtedy nadmiar energii ponad bieżące zapotrzebowanie wprowadzany jest do sieci publicznej, co rejestruje dwukierunkowy licznik energii elektrycznej operatora OSD, wskazując w tym okresie zerowy pobór energii.

Infrastruktura teleinformatyczna spółdzielni obejmuje również opomiarowanie źródeł wytwórczych oraz odbiorców. Obiekty te wyposażone są w liczniki energii elektrycznej ze zdalnym odczytem, umożliwiające odczyt m.in. takich parametrów, jak energia pobrana i wygenerowana, moc poboru, moc generacji, prądy, napięcia itd. Dane te mogą służyć spółdzielni – integratorowi nie tylko do prowadzenia usług



Rys. 2. Schemat infrastruktury technicznej spółdzielni energetycznej.

PV – źródło fotowoltaiczne; KG – źródło kogeneracyjne; kWh – licznik energii elektrycznej

bilansująco-regulacyjnych, lecz również do optymalizacji pracy źródeł wytwórczych, optymalizacji kosztów zakupu i wytwarzania energii, kształtowania cen energii elektrycznej w taryfie dynamicznej oraz rozliczania poboru energii przez odbiorców. Spółdzielnia energetyczna może pracować w wielu konfiguracjach sprzętowych. W najprostszej spółdzielnia wyposażona jest przykładowo tylko w fotowoltaiczne źródło wytwórcze, które częściowo pokrywa roczne zapotrzebowanie odbiorców. W takiej konfiguracji nie jest możliwe prowadzenie usług regulacyjno-bilansujących czy praca w trybie *off-grid*, lecz tylko zmniejszenie ilości energii zakupionej od dostawców. Kolejną możliwością jest rozszerzenie funkcji integratora o optymalizację zakupów energii z wykorzystaniem taryf strefowych. Zastosowanie zdalnego sterowania odbiornikami przez system teleinformatyczny spółdzielni z wykorzystaniem technologii IoT (ang. *Internet of Things*) może poprawić skuteczność optymalizacji taryfowej oraz stopień wykorzystania

energii generowanej we własnym źródle pv. Przykładowo, możliwe jest przesunięcie poboru w czasie, realizowane poprzez zdalne uruchamianie urządzeń sterowalnych (np. elektryczne ogrzewanie c.w.u., pralki, zmywarki itp.) na okres występowania nadwyżek energii generowanej w źródle pv lub obowiązywania niskich cen energii. Dalsze rozszerzenie funkcjonalności spółdzielni obejmuje wprowadzenie usług bilansująco-regulacyjnych, które docelowo mogą zapewnić utrzymanie trybu *semi off-grid*, czyli zerowych przepływów energii w punkcie PPE spółdzielni w okresach, gdy jest to opłacalne. Aby osiągnąć tryb pracy *semi off-grid*, niezbędne jest zastosowanie źródeł regulacyjno-bilansujących (np. kogeneracyjnych z zasobnikami ciepła, zasobników akumulatorowych), systemu teleinformatycznego umożliwiającego sterowanie i bilansowanie wewnętrznego popytu z podażą energii.

Rys. 3 przedstawia przykładowy bilans mocy wewnątrz osłony OK2 spółdzielni energetycznej o rocznym zapotrzebowaniu na energię elektryczną w wysokości

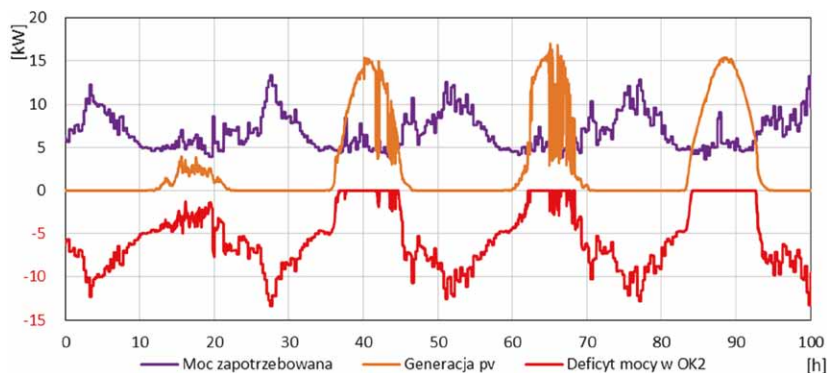
reklama

reklama

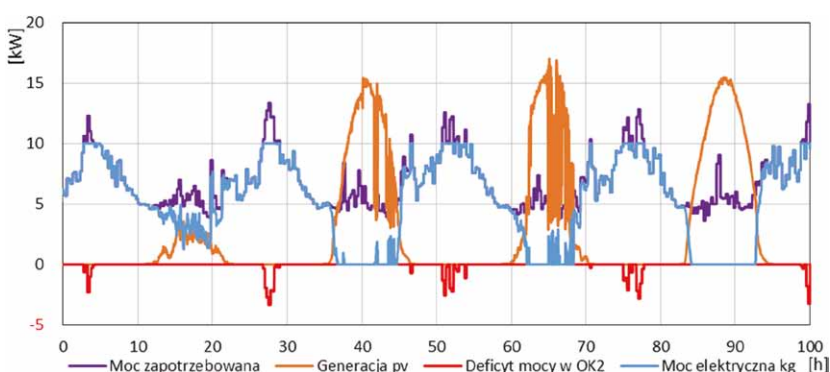
60 MWh, w której zainstalowano fotowoltaiczne źródło wytwórcze o mocy znamionowej 20 kW. Kolorem fioletowym zaznaczono moc zapotrzebowaną przez odbiorniki znajdujące się wewnątrz OK2, kolorem pomarańczowym generację energii w źródle fotowoltaicznym, natomiast kolorem czerwonym wielkość deficytu mocy w punkcie PPE, która musi być pokryta poprzez zakup energii od sprzedawcy. Na rysunku widać, że fotowoltaiczne źródło wytwórcze nie jest w stanie pokryć dobowego zapotrzebowania na energię, lecz tylko zmniejsza jej pobór w pewnym zakresie.

W celu pokrycia większej części zapotrzebowania na energię lub wprowadzenia w spółdzielni energetycznej usług bilansująco-regulacyjnych wymagane jest zastosowanie dodatkowych urządzeń, jak np. zasobnika akumulatorowego czy systemu kogeneracji. Ze względu na ograniczoną pojemność i wysoką cenę zasobnik akumulatorowy może pozwolić na prowadzenie krótkookresowych usług bilansująco-regulacyjnych, magazynując energię w okresach nadwyżek generacji i wprowadzając energię do sieci w późniejszym czasie. W ten sposób można zmniejszyć zapotrzebowanie na energię np. w okresach szczytowych, gdy u zewnętrznych dostawców obowiązują najwyższe ceny. Większe możliwości daje zastosowanie systemu kogeneracji/trigeneracji gazowej bądź dieslowskiej w połączeniu z systemem magazynowania ciepła/chłodu.

Rys. 4 przedstawia przykładowy bilans mocy wewnątrz osłony kontrolnej OK2 spółdzielni energetycznej, w której zastosowano fotowoltaiczne źródło wytwórcze o mocy 20 kW oraz system regulowanej kogeneracji gazowej (z zasobnikiem ciepła) o maksymalnej mocy elektrycznej 10 kWe. Kolorem niebieskim zaznaczono bieżącą moc elektryczną kogeneratora. Na wykresie widać, że w przedstawionym odcinku czasu spółdzielnia energetyczna w większości pokrywa zapotrzebowanie na energię elektryczną z własnych źródeł wytwórczych, a sieć publiczna uzupełnia niewielkie niezbilansowania mocy w okresach szczytowego zapotrzebowania. W takiej konfiguracji, w zależności od dobranych mocy urządzeń, możliwe jest przejście z systemu *on-grid*, przez *semi off-grid*, gdzie sieć publiczna staje



Rys. 3. Bilans mocy w OK2 spółdzielni energetycznej wyposażonej w źródła pv



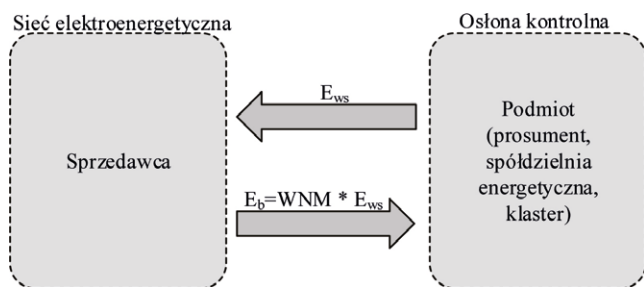
Rys. 4. Bilans mocy w OK2 spółdzielni energetycznej wyposażonej w źródła fotowoltaiczne i kogeneracyjne

się *backupem*, aż do systemu *off-grid* umożliwiającego całkowite odłączenie się od sieci (najtrudniejsza opcja). Obecnie celowe wydaje się zastosowanie systemu *semi off-grid*, w którym energia jest pobierana z sieci publicznej wtedy, kiedy jest to opłacalne – gdy koszty zakupu energii elektrycznej z KSE (wraz z opłatami systemowo-sieciowymi) są niższe od kosztów generacji we własnych źródłach oraz w przypadkach awarii własnej infrastruktury. Kogeneracja, oprócz zapotrzebowania na energię elektryczną, może pokryć w całości lub częściowo zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku oraz c.w.u., przyczyniając się do ograniczenia emisji oraz zwiększenia efektywności wykorzystania paliw kopalnych. Dobór mocy systemu kogeneracji/trigeneracji powinien być przeprowadzony w taki sposób, aby możliwe było zagospodarowanie ciepła wytwarzanego podczas generacji energii elektrycznej.

3. Net-metering

Net-metering jest usługą umożliwiającą wymianę barterową energii elektrycznej wprowadzonej do sieci elektroenergetycznej przez podmiot (prosumenta, spółdzielnię energetyczną, klaster energii) z energią elektryczną pobraną przez ten podmiot w innym czasie. Na rys. 5 przedstawiono ogólną koncepcję net-meteringu.

Podmiot posiadający umowę kompleksową ze sprzedawcą, może wprowadzić energię elektryczną (E_{ws}) do sieci publicznej, poza swoją osłoną kontrolną (OK1, OK2 lub OK3 [3]), a następnie w innym czasie pobrać energię z sieci i wprowadzić do własnej osłony kontrolnej jako energię bilansowaną E_b , skorygowaną przez wartość współczynnika WNM (współczynnik *net-meteringu*). Podmiotem tym może być prosument, spółdzielnia energetyczna, klaster energii lub inny podmiot, posiadający własne źródła wytwórcze i zawartą ze sprzedawcą



Rys. 5. Net-metering – ogólna koncepcja

umowę obejmującą net-metering. Rozliczenie opłaty systemowo-sieciowej za energię pobieraną w net-meteringu (E_b) przeniesione jest na sprzedawcę, który rozlicza ją z operatorem OSD. Czas, w którym takie rozliczenie barterowe może być dokonane, ograniczony jest do ustalonego okresu bilansowania (w Ustawie o OZE 365 dni), a współczynnik net-meteringu WNM ogranicza energię elektryczną odbieraną w barterze w stosunku do energii wprowadzonej do sieci. Obecne prawodawstwo nie przewiduje zastosowania net-meteringu dla spółdzielni energetycznych, lecz tylko dla instalacji prosumenckich o mocy elektrycznej do 40 kW (obecnie wg Ustawy o OZE dla mikroinstalacji prosumenckich o mocach znamionowych poniżej 10 kW WNM = 0,8; dla mikroinstalacji o mocach od 10 do 40 kW WNM = 0,7). Jednakże w przyszłości sytuacja prawna spółdzielni energetycznych może ulec zmianie, stąd celowe jest prowadzenie badań z uwzględnieniem tej usługi.

4. Spółdzielnia energetyczna i źródło fotowoltaiczne – badania symulacyjne

Niżej przedstawiono wyniki badań symulacyjnych dla spółdzielni energetycznej wyposażonej w fotowoltaiczne źródło wytwórcze.

4.1. Założenia

4.1.1. Model spółdzielni energetycznej

Podczas badań zastosowano model spółdzielni energetycznej przedstawiony na rys. 2, bez uwzględnienia modułu kogeneracji, zasobnika akumulatorowego oraz sterowania poborem. Model źródła pv zasilono minutowym rocznym profilem generacji energii elektrycznej, pochodzącym z rzeczywistego źródła fotowoltaicznego, natomiast pobór zasymulowano za pomocą rzeczywistego 15-minutowego profilu poboru energii przez zagregowanych odbiorców indywidualnych. Profile przeskalowano tak, aby roczna generacja i pobór spełniały przyjęte założenia. Podczas symulacji przyjęto niezmodyfikowany naturalny profil poboru bez uwzględnienia elastyczności popytu – wpływu taryfy dynamicznej na odbiorców czy zastosowania przez odbiorców sterowania odbiornikami (IoT) w celu poprawy bilansu energetycznego spółdzielni. Model dwukierunkowego licznika energii elektrycznej, zainstalowanego w punkcie PPE spółdzielni, zliczał energię wprowadzoną do sieci i pobraną z sieci. Różnica pomiędzy energią wygenerowaną a wprowadzoną do sieci publicznej stanowi energię zużytą bezpośrednio wewnątrz osłony kontrolnej OK2 (tabela 1).

4.1.2. Budynki oraz zapotrzebowanie na energię elektryczną

Spółdzielnia energetyczna obejmuje typowy sześciokondygnacyjny blok mieszkalny o następujących parametrach [11]: powierzchnia zabudowy budynku 307 m², powierzchnia ogrzewana 1624 m² (w tym lokali mieszkalnych 1189 m²), kubatura części ogrzewanej 4078 m³, moc cieplna systemu grzewczego 71 kW, moc cieplna na przygotowanie c.w.u. 6 kW, roczne zużycie energii do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu 95 MWh, roczne zużycie energii na potrzeby c.w.u. 48 MWh, wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku z uwzględnieniem sprawności systemu grzewczego i przerw w ogrzewaniu 59 kWh/m²/rok. W każdym budynku znajduje się 30 lokali mieszkalnych. Wg GUS [1] średnie roczne zużycie energii elektrycznej dla gospodarstwa domowego w mieście w 2015 r. wynosiło 2 MWh, przyjęto więc roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną odbiorców indywidualnych jednego wielorodzinnego budynku mieszkalnego, obejmującego 30 lokali mieszkalnych, na 60 MWh.

4.1.3. Źródło wytwórcze

Maksymalna możliwa do zainstalowania moc dachowego źródła fotowoltaicznego zależy od takich parametrów dachu, jak powierzchnia, nachylenie, zacienienie, oraz od sprawności zastosowanych paneli pv. W optymistycznej konfiguracji, przyjmując, że dach jest jednospadowy bez zacienienia, stosując panele pv o wysokiej wydajności (np. moduły Panasonic VBHN330SJ47 o mocy 330 W), na dachu budynku o powierzchni zabudowy 307 m² możliwe jest zainstalowanie fotowoltaiki o mocy nawet do około 55 kW. Zwiększenie mocy instalacji fotowoltaicznej możliwe jest poprzez wykorzystanie dodatkowych powierzchni, jak np. elewacji budynku, zadaszonych parkingów, garaży itp. Jednak w przypadku mniej korzystnych warunków przeciętny budynek o powierzchni zabudowy 307 m² może pozwolić na zainstalowanie dachowego źródła fotowoltaicznego o mocy około 20 kW [8]. W związku

Tabela 1. Roczny bilans energetyczny spółdzielni energetycznej

Moc pv [kW]	Energia [MWh]				Energia zakupiona [MWh]			
	Wygenerowana	Zużyta w OK2	Wprowadzona do sieci	Pobrana z sieci	WNM			
					0	0,5	0,7	1,0
10	9,8	8,4	1,4	51,6	51,6	50,9	50,6	50,2
20	19,7	11,6	8,1	48,4	48,4	44,3	42,7	40,3
30	29,7	13,3	16,4	46,7	46,7	38,5	35,2	30,3
40	36,4	15,2	21,2	44,9	44,9	33,0	28,0	20,4
60	59,5	15,9	43,6	44,1	44,1	22,3	13,6	0,5

z powyższymi założeniami dla poszczególnych scenariuszy badań przyjęto, że budynek wyposażony jest w źródło fotowoltaiczne o następujących mocach znamionowych: 10, 20, 30, 40 oraz 60 kW.

4.1.4. Net-metering

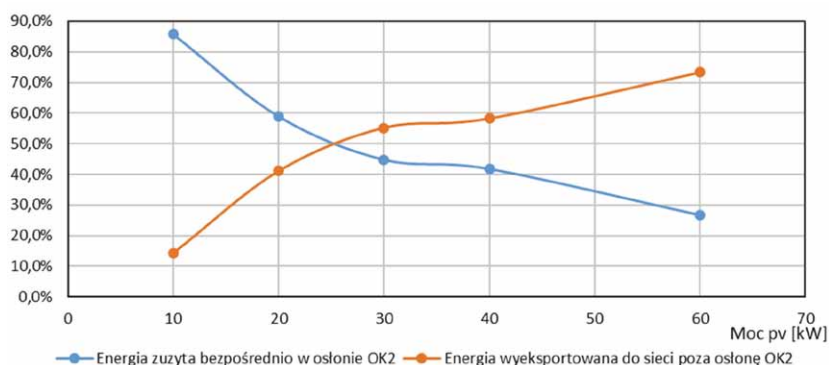
Badania przeprowadzono dla następujących wartości współczynników net-meteringu: 0 (stan obecny – brak net-meteringu dla spółdzielni energetycznych), 0,5, 0,7 (współczynnik obowiązujący obecnie dla instalacji prosumenckich o mocy powyżej 10 kW) oraz 1,0.

4.2. Wyniki

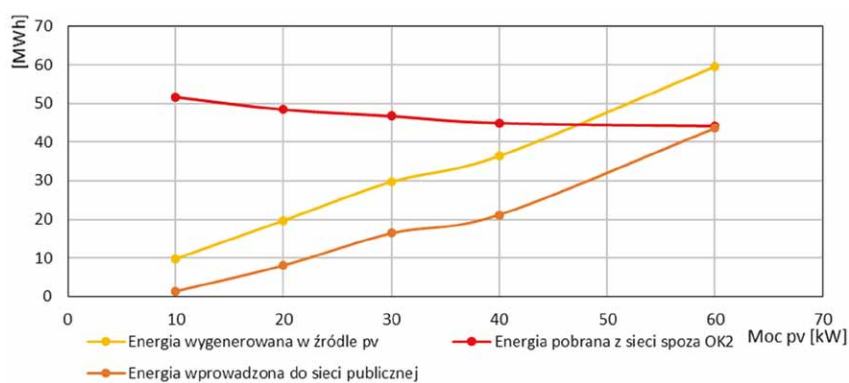
Tabela 1 zawiera wyniki badań symulacyjnych, przedstawiające roczny bilans energetyczny analizowanej spółdzielni energetycznej w zależności od mocy zainstalowanej instalacji pv.

Część energii wygenerowanej w źródle pv została bezpośrednio zużyta przez odbiorniki znajdujące się wewnątrz osłony OK2, natomiast nadmiary zostały wprowadzone do sieci publicznej. Rys. 6 przedstawia odsetek wygenerowanej energii, bezpośrednio zużytej przez odbiorniki wewnątrz osłony OK2, oraz energii wprowadzonej do sieci publicznej w zależności od mocy instalacji fotowoltaicznej. Można na nim zauważyć, że dla instalacji pv generującej energię elektryczną porównywalną z 16% rocznego zapotrzebowania (np. moc pv 10 kW na 60 MWh rocznego zapotrzebowania) ponad 85% wygenerowanej energii używana jest bezpośrednio przez odbiorców, natomiast tylko niecałe 15% wprowadzane jest do sieci publicznej. Wraz ze wzrostem mocy instalacji fotowoltaicznej stosunek energii spożytkowanej bezpośrednio przez odbiorców spółdzielni do energii wprowadzanej do sieci maleje. Dla źródła pv o mocy umożliwiającej wygenerowanie energii porównywalnej z 33%, 50%, 61% oraz 100% rocznego zapotrzebowania spółdzielni odbiorcy zużywają bezpośrednio około 60%, 45%, 42% i 27% wygenerowanej energii odpowiednio, a reszta wprowadzana jest do sieci.

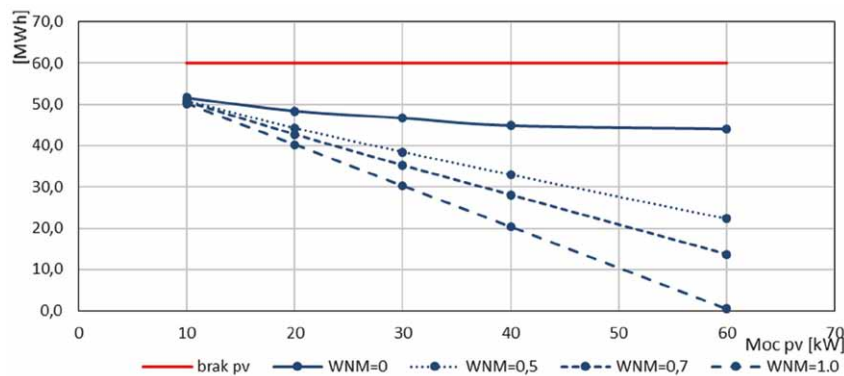
W okresach, w których moc źródła pv nie wystarczała do zaspokojenia potrzeb odbiorców, lub w okresach, w których generacja nie występowała,



Rys. 6. Procent energii wygenerowanej w źródle pv i zużytej wewnątrz OK2 oraz wprowadzonej do sieci publicznej



Rys. 7. Wygenerowana energia zużyta wewnątrz OK2 i wprowadzona do sieci publicznej



Rys. 8. Energia zakupiona przez spółdzielnię energetyczną w zależności od mocy instalacji pv i współczynnika net-meteringu

zapotrzebowana energia była pobierana z sieci publicznej. Rys. 7 przedstawia zależność pomiędzy mocą instalacji pv a energią wygenerowaną, wprowadzoną do oraz pobraną z sieci publicznej. Można zauważyć, że przy znacznym wzroście mocy instalacji pv energia pobierana z sieci spada tylko nieznacznie, a większość wygenerowanej energii

wprowadzana jest poza osłonę OK2. Sytuację tę może zmienić zastosowanie zasobników akumulatorowych lub inteligentnego sterowania poborem tak, by w jak największym stopniu wykorzystać energię wygenerowaną w źródle pv.

Usługa net-meteringu, dostępna dziś dla prosumenatów, pozwala im na zmniejszenie kosztów zakupu energii

elektrycznej. Aby zwiększyć dynamikę przemian na polskim rynku energii, taki mechanizm może w przyszłości znaleźć również zastosowanie dla spółdzielni energetycznych. Rys. 8 przedstawia energię zakupioną przez spółdzielnię energetyczną w zależności od współczynnika net-meteringu oraz mocy zainstalowanej instalacji pv. Czerwoną linią zaznaczono roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną odbiorców należących do analizowanej spółdzielni. Na potrzeby obliczeń założono roczny okres bilansowania net-meteringu. Wprowadzenie net-meteringu jest szczególnie istotne dla tych spółdzielni, które mają możliwość zainstalowania na tyle dużych źródeł pv, aby mogły pokryć znaczącą część rocznego zapotrzebowania na energię.

5. Podsumowanie

Zmiany na krajowym rynku energii elektrycznej dotyczą m.in. pojawienia się nowych podmiotów, takich jak prosumenci, spółdzielnie i klastry energetyczne. Obecnie w Polsce zarejestrowano ponad 20 tys. mikroinstalacji prosumenckich, natomiast spółdzielnie i klastry energetyczne znajdują się na początkowym etapie rozwoju, lecz są one podmiotami, które znacząco mogą poprawić efektywność energetyczną w Polsce [6]. Naturalną technologią OZE na terenach miejskich jest technologia fotowoltaiczna ze źródłami pv instalowanymi na dachach budynków. Energia elektryczna, wygenerowana w źródłach pv spółdzielni, zużywana będzie przez lokalnych odbiorców, a niewykorzystane nadmiary mogą zostać wprowadzone do sieci publicznej. Większość nadmiarów energii generowana będzie w okresie szczytu okołopołudniowego i po wprowadzeniu jej do sieci będzie zużywana przez odbiorców w najbliższej okolicy, odcinając tym samym KSE w najtrudniejszych okresach [10].

Poza przedstawionymi koncepcjami budowy spółdzielni energetycznych w oparciu o źródła OZE oraz lokalne operatorstwo w obrębie węzłowej osłony kontrolnej z wykorzystaniem kogeneracji, przedstawione w artykule wyniki wskazują na istotę wymiarowania instalacji fotowoltaicznych i odpowiednie dopasowanie ich do rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną. Analizowany

budynek mieszkalny o powierzchni zabudowy 307 m² pozwala na zainstalowanie na płaskim dachu fotowoltaiki w optymalnej konfiguracji o mocy około 20 kW. Możliwe jest zwiększenie mocy instalacji, lecz wiąże się to z pewnym zmniejszeniem uzysków na kW zainstalowanej mocy (np. zredukowanie odstępów między rzędami, zastosowanie konstrukcji wschód – zachód) lub wykorzystania dodatkowych powierzchni (elewacja, zadaszone parkingi, garaże itp.). Jednakże 20 kW pv wystarczy, by wygenerować energię elektryczną w ilości odpowiadającej około 1/3 rocznego zapotrzebowania mieszkańców budynku. W przypadku braku zasobników akumulatorowych i inteligentnego sterowania poborem około 60% wygenerowanej energii zostanie bezpośrednio zużyte przez odbiorców, a około 40% zostanie wprowadzone do sieci. Wraz z dalszym wzrostem mocy instalacji pv maleje stosunek energii wykorzystanej na potrzeby własne do energii wprowadzonej do sieci, tym samym, dla większych instalacji, coraz bardziej istotne staje się dopasowanie profilu poboru odbiorców do profilu generacji źródła (wykorzystanie technologii IoT). Obecne regulacje prawne pozwalają na sprzedaż nadmiarów energii, co może zmniejszyć całkowity koszt zakupu energii elektrycznej w okresach niedoborów generacji, jednak objęcie spółdzielni energetycznych net-meteringiem dodatkowo wspierałoby tworzenie instalacji OZE na terenach miejskich, przyczyniając się do tworzenia źródeł wytwórczych w najbliższym sąsiedztwie odbiorców.


Kolejnym aspektem projektowania infrastruktury spółdzielni energetycznych jest dobór źródeł kogeneracyjnych, które powinny zostać dobrane zarówno do zapotrzebowania na energię elektryczną, jak też na ciepło do ogrzewania budynków i zapewnienia mieszkańcom c.w.u. oraz do pokrycia zapotrzebowania na chłód w okresie letnim.

Literatura

[1] FICE M.: *Techniczno-ekonomiczne ekwiwalentowanie osłon kontrolnych na monorynku energii elektrycznej OZE i rynkach energii użytecznej – modele dla potrzeb inwestycyjnych i rozproszonego operatorstwa*. BŻEP, listopad 2017.

- [2] GUS, *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2015 r.*, Warszawa 2017.
- [3] POPCZYK J.: *Architektura transformacyjna rynku energii elektrycznej*. BŻEP, listopad 2017.
- [4] POPCZYK J.: *Elektrownia EW+ (Elektrownia Wirtualna Plus)*. *Rzeczywista elektrownia rozproszona bilansująca popyt i podaż z dokładnością do regulacji pierwotnej, działająca w rzeczywistych ograniczeniach systemowo-sieciowych kontrolowanych przez rzeczywistą inteligentną infrastrukturę energoelektroniczną zarządzaną przez Internet Rzeczy (R9)*. BŻEP, styczeń 2018.
- [5] POPCZYK J.: *Monorynek energii elektrycznej (użytecznej) OZE (R2)*, listopad 2017.
- [6] POPCZYK J., BODZEK K.: *Kierunki rewitalizacji technologiczno-systemowej sieci elektroenergetycznych na monorynku energii elektrycznej OZE i rynkach energii użytecznej*. BŻEP, grudzień 2017.
- [7] POPCZYK J., FICE M.: *Trajektoria transformacyjna 2018–2050 polskiej energetyki – zawężanie obszaru poszukiwań, etap 2*. BŻEP, listopad 2017.
- [8] SLIZ-SZKLINIARZ B.: *Energy Planning in Selected European Regions – Methods for Evaluating the Potential of Renewable Energy Sources*, Karlsruhe Institut für Technologie, 2013.
- [9] WÓJCICKI R.: *Ekonomia prosumenckiej partycypacji w osłonach kontrolnych OK1, OK2 i OK3 na rynku wschodzącym energii elektrycznej w środowisku kosztów krańcowych długookresowych i kosztów unikniętych*. BŻEP, grudzień 2017.
- [10] WÓJCICKI R.: *Rozproszone źródła PV – potencjał kształtowania profilu KSE w sezonie (szczyte) letnim*. „Energetyka” 2/2016.
- [11] www.smlw.waw.pl/pliki/audyty/Sobieskiego8.pdf.

Prace zostały przeprowadzone w ramach badań statutowych prowadzonych w Instytucie Informatyki, BK-213/RAU2/2018

 dr inż. Robert Wójcicki
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

artykuł recenzowany