

Radosław SZCZERBOWSKI*

Generacja rozproszona oraz sieci Smart Grid – wirtualne elektrownie

STRESZCZENIE. W referacie przedstawiono możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz generacji rozproszonej do produkcji energii elektrycznej. Przedstawiono także nowoczesną architekturę systemu elektroenergetycznego z wykorzystaniem sieci Smart Grid. Odpowiednio duża ilość źródeł rozproszonych na niewielkim obszarze systemu elektroenergetycznego oraz potencjał, jaki dają sieci Smart Grid umożliwia połączenie tych źródeł w jeden zarządzany przez operatora system, tworzący „wirtualną elektrownię”. Elektrownia wirtualna ma na celu skoncentrowanie generacji rozproszonej w jeden, logicznie połączony system, zwiększający efektywność techniczną i ekonomiczną wytwarzania energii elektrycznej.

SŁOWA KLUCZOWE: generacja rozproszona, Smart Grid, odnawialne źródła energii, wirtualna elektrownia

Wprowadzenie

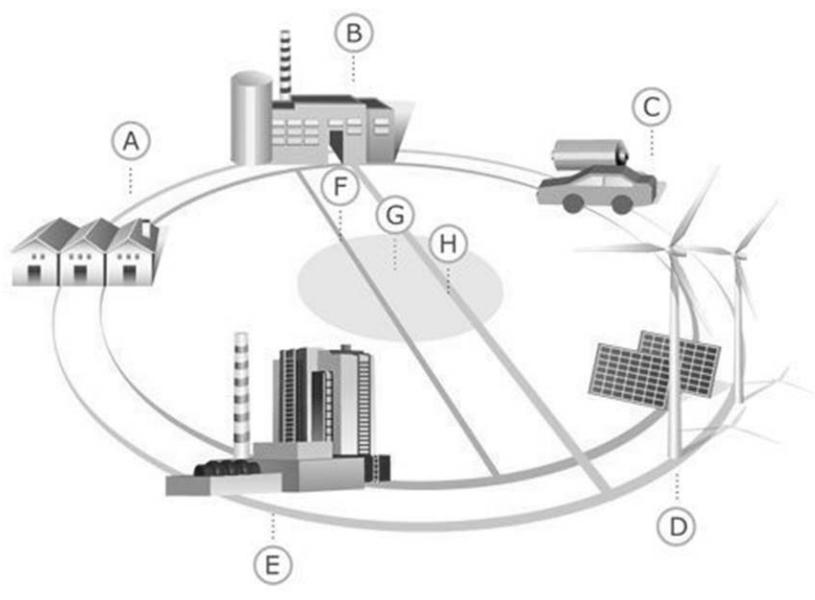
W obliczu wyczerpywania się nieodnawialnych źródeł energii odnawialne źródła energii odrywają coraz istotniejszą rolę w energetyce. Powstają kolejne elektrownie słoneczne, wiatrowe i biogazowe, które mają stanowić podstawę nowego systemu energetycznego. Odnawialne źródła energii to w większości jednostki o niewielkich mocach jednostkowych,

* Dr inż. — Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, Poznań.

a zatem są to źródła rozproszone. Wprowadzanie źródeł rozproszonych do systemu wymaga odpowiedniego dostosowania wielu jego elementów, tzn. sieci, zabezpieczeń, procedur itd.

W klasycznych systemach energetycznych XX wieku energia elektryczna była wytwarzana w przeważającej mierze w centralnych elektrowniach zawodowych i dostarczana do użytkowników za pomocą linii przesyłowych wysokiego napięcia oraz sieci rozdzielczych średniego i niskiego napięcia. W ostatnich latach zaczęto wprowadzać wiele zmian, które były ukierunkowane na budowę systemów rozproszonych. Istotny udział w systemach rozproszonych mają odnawialne źródła energii elektrycznej. Schemat ideowy takiego zdecentralizowanego systemu został przedstawiony na rysunku 1. Szybki rozwój tej koncepcji był możliwy dzięki:

- ✧ liberalizacji sektora energii elektrycznej,
- ✧ zaostrzeniu przepisów związanych z ochroną środowiska,
- ✧ zwiększeniu niezawodności oraz bezpieczeństwa zasilania związanych z dostępem do zasobów energetycznych.



Rys. 1. Zdecentralizowany system energetyczny

A – odbiorcy indywidualni, B – odbiorcy przemysłowi, C – akumulacja energii, D – zdecentralizowana generacja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, E – elektrownie i elektrociepłownie systemowe, F – sterujące systemy informatyczne, G – rynek energii, H – sieci elektroenergetyczne

Fig. 1. Decentralized energy system

A – residential consumers, B – industrial consumers, C – storage system, D – DER from RES, E – power plants and CHP plants, F – IT systems, G – energy market, H – power lines

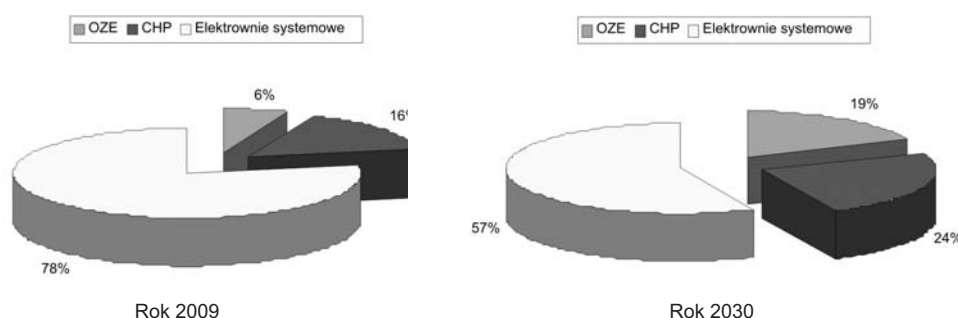
Wymienione tendencje rozwoju sieci energetycznych stały się wyzwaniem dla rozwoju nowych technologii generacji energii elektrycznej na małą i średnią skalę. Ponadto rozwój w dziedzinach energoelektroniki, automatyki, technik informatycznych i telekomunika-

cyjnych spowodował powstanie koncepcji tzw. sieci Smart Grid. Najogólniej Smart Grid to system elektroenergetyczny, który integruje w sposób inteligentny działania wszystkich uczestników procesów generacji, transmisji, dystrybucji i użytkowania, aby dostarczać energię elektryczną w sposób ekonomiczny, trwały i bezpieczny.

Źródła odnawialne pełnią coraz ważniejszą rolę w systemie elektroenergetycznym, zwłaszcza elektrownie wiatrowe i słoneczne. Wadą ich jest jednak, że pracują jedynie w sprzyjających warunkach atmosferycznych (odpowiednia siła wiatru, nasłonecznienie). Nie są zatem w pełni dyspozycyjne; wymagają uruchamiania i efektywnego sterowania w czasie rzeczywistym źródeł rezerwujących w szczytach zapotrzebowania oraz możliwości sterowania poborem w dolinach zapotrzebowania na energię elektryczną. Dyrektywy Unii Europejskiej oraz działania rządów dotyczące zwiększenia niezawodności sieci energetycznych, przechodzenie na rozproszone wytwarzanie energii, jak również coraz szersze zastosowanie odnawialnych źródeł energii wpływają na zmiany dotyczące dynamiki generowania i konsumpcji energii elektrycznej. Dlatego przedsiębiorstwa energetyczne wprowadzają nowoczesne technologie, umożliwiające dynamiczne zarządzanie sieciami przesyłowymi i dystrybucyjnymi. Działania te stanowią podstawę wprowadzania inteligentnych systemów, określanych jako Smart Grid [13, 25].

Główne cele Krajowej polityki energetycznej w zakresie rozwoju wykorzystania OZE obejmują:

- ✧ wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w finalnym zużyciu energii co najmniej do poziomu 15% w 2020 roku oraz dalszy wzrost tego wskaźnika w latach następnych, do 19% w roku 2030 (rys. 2),
- ✧ zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie optymalnych warunków do rozwoju energetyki rozproszonej opartej na lokalnie dostępnych surowcach.



Rys. 2. Produkcja energii elektrycznej

Fig. 2. Production of electric energy

Obecnie prowadzonych jest wiele analiz dotyczących wpływu pracy źródeł rozproszonych na system elektroenergetyczny. Wynika z nich, że pojawienie się w systemie źródeł rozproszonych może niekorzystnie wpływać na jego pracę, przy czym oddziaływania w znacznym stopniu zależą od nasycenia systemu źródłami rozproszonymi. W związku z tym

prowadzone są równolegle badania, dotyczące zminimalizowania niekorzystnego wpływu źródeł rozproszonych na system elektroenergetyczny.

Przy odpowiednio dużej ilości źródeł rozproszonych na niewielkim obszarze systemu elektroenergetycznego oraz dzięki możliwościom, jakie dają sieci Smart Grid możliwe i opłacalne staje się połączenie tych źródeł w jeden zarządzany przez operatora system, tworzący „wirtualną elektrownię”. Połączenie i wspólne zarządzanie źródłami jest możliwe dzięki odpowiednio rozbudowanej sieci teleinformatycznej. Elektrownia wirtualna ma na celu skoncentrowanie generacji rozproszonej w jeden, logicznie połączony system, zwiększający efektywność techniczną i ekonomiczną wytwarzania energii elektrycznej [4, 5, 11, 15].

1. Smart Grid – mikrosieci

Smart Grid to nowoczesny system elektroenergetyczny, integrujący w sposób inteligentny działania wszystkich uczestników, czyli: generacji, transmisji, dystrybucji i użytkowania, w celu dostarczania energii elektrycznej w sposób ekonomiczny, trwały i bezpieczny. Koncepcja Smart Grid polega na współdziałaniu odbiorców, dystrybutorów i wytwórców energii elektrycznej w celu poprawy efektywności energetycznej. Podstawą rozwoju sieci Smart Grid jest rozbudowany system pomiarowy, który sprawia, że w każdej chwili posiadamy informacje o sieci energetycznej. Dodatkowo dane pomiarowe przekazywane są do punktów podejmowania decyzji, a całością zarządzają inteligentne algorytmy informacyjne, prognostyczne i decyzyjne. Technologia Smart Grid pozwala także dokładnie określić ile energii elektrycznej jest zużywane, gdzie i w jakim czasie. Dzięki temu można ustalić, kiedy występują okresy maksymalnego i minimalnego zużycia energii elektrycznej przez odbiorców. Dokładne określenie zapotrzebowania na energię elektryczną jest trudne, dlatego system elektroenergetyczny musi korzystać z tzw. „gorącej rezerwy”. Wykorzystanie generacji rozproszonej w połączeniu ze Smart Grid może w znacznym stopniu ograniczyć konieczność utrzymywania dużych źródeł wytwórczych w pełnej gotowości do pokrywania zmienności obciążeń. Cyfrowy charakter Smart Grid umożliwia dużą elastyczność w zarządzaniu siecią. Ponadto sieci Smart Grid pozwalają na: zdalny odczyt liczników energii elektrycznej, obserwację stanu odbioru oraz sieci, a także profilu odbioru energii, wykrycie nielegalnych poborów energii, ingerencji w liczniki oraz strat energetycznych, zdalne odłączenie/podłączenie odbiorcy, przełączanie taryf, archiwizację oraz fakturowanie odczytanych wartości i inne.

Dla odbiorcy energii elektrycznej, sieć inteligentna oznacza aktywne zarządzanie jego własnym zapotrzebowaniem na energię, co nie tylko obniży jego rachunek, ale przyniesie także istotne korzyści ekologiczne, ponieważ skutek racjonalnej gospodarki energetycznej zmniejszy się zapotrzebowanie na energię.

Filarem sieci Smart Grid jest rozbudowany system pomiarowy (*Smart Metering*), czyniący sieć obserwowalną w wymaganym horyzoncie czasowym. Zawiera on systemy tele-

komunikacyjne, przekazujące dane pomiarowe do punktów decyzyjnych, oraz inteligentne algorytmy informacyjne, prognostyczne i decyzyjne. W ten sposób można wymuszać na odbiorcach oszczędność energii w czasie największego zapotrzebowania na energię elektryczną. Można więc podzielić bilansowanie i zarządzanie systemem pomiędzy elektrycznymi systemami i wytwórcami rozproszonymi.

Źródła odnawialne są podstawowym elementem systemów Smart Grid i tworzą system generacji rozproszonej. Cechą charakterystyczną elektroenergetycznych systemów rozproszonych są: różnorodność źródeł i parametrów energii elektrycznej, stosunkowo małe moce pojedynczych źródeł, nierównomierna w czasie produkcja energii elektrycznej zależna od czynników zewnętrznych; ponadto rozproszone źródła energii elektrycznej mogą mieć niekorzystny wpływ na jakość energii w sieci, do której są przyłączone. Źródła rozproszone powodują między innymi zaburzenia napięcia w postaci tak zwanego efektu migotania i wprowadzają do systemu wyższe harmoniczne [4, 7, 13, 14, 17, 18, 25].

2. Generacja rozproszona i odnawialne źródła energii

W klasycznych systemach energetycznych energia elektryczna jest wytwarzana w przeważającej mierze w centralnych elektrowniach zawodowych i dostarczana do użytkowników za pomocą linii przesyłowych wysokiego napięcia oraz sieci rozdzielczych średniego i niskiego napięcia. Sprawność polskich elektrowni wynosi około 35%, a produkcja energii elektrycznej związana jest z dużymi stratami ciepła odpadowego. Wyższe sprawności osiągają elektrociepłownie. Jeszcze większe korzyści w postaci tańszej energii, bezpieczeństwa energetycznego i mniejszej emisji spalin oraz mniejszych strat przesyłowych może przynieść generacja rozproszona oparta na małych jednostkach wytwórczych, w tym opartych na odnawialnych źródłach energii. Generacja rozproszona położona w bezpośrednim sąsiedztwie odbiorców energii może wykorzystywać również lokalne zasoby paliw, w tym biopaliw i energii ze źródeł odnawialnych, a nawet odpady komunalne. Zaletą generacji rozproszonej są niskie koszty rozbudowy sieci i związane z ich eksploatacją straty energii. Inwestycje w energetyce rozproszonej wymagają stosunkowo niskich nakładów finansowych na pojedyncze projekty, a czas inwestycji jest krótszy. Rozproszenie źródeł energii zwiększa też bezpieczeństwo energetyczne na obszarze jej stosowania. Wśród wad należy wymienić: problemy techniczne przy integrowaniu systemów.

Generacja rozproszona to małe (o mocy znamionowej do 50–150 MW) jednostki lub obiekty wytwórcze, przyłączane bezpośrednio do sieci rozdzielczych lub zlokalizowane w sieci elektroenergetycznej odbiorcy (za urządzeniem kontrolno-rozliczeniowym), nie podlegające centralnemu planowaniu rozwoju i dysponowaniu mocą. Inne definicje generacji rozproszonej to:

- ❖ źródła wytwórcze pracujące na potrzeby własne klienta lub dostarczające energię do sieci dystrybucyjnej (nie obejmuje zazwyczaj energetyki wiatrowej w dużych farmach wiatrowych) – (wg IEA),

- ✧ zintegrowane z systemem lub autonomiczne użycie małych, modułowych generatorów energii elektrycznej, usytuowanych w pobliżu odbiorców; może pozwolić przedsiębiorstwu energetycznym uniknąć kosztownych inwestycji w sieć przesyłową i dystrybucyjną, zwiększa możliwości systemu i przyczynia się do dostarczenia odbiorcom energii elektrycznej o wyższej jakości, zwiększa niezawodność dostaw i przyczynia się do zachowania czystości środowiska (US DoE),
- ✧ źródło rozproszone – źródło nie planowane centralnie, w chwili obecnej nie dysponowane centralnie, przyłączone do sieci rozdzielczej (Cigre).

Odnawialne źródła energii elektrycznej ze względu na swoją niewielką moc jednostkową należą do rozproszonych źródeł energii elektrycznej. Przy czym rozproszone źródła energii elektrycznej definiowane są jako źródła o mocy jednostkowej mniejszej niż 50 do 100 MW instalowane blisko końcowego odbiorcy energii. W praktyce jednak graniczna wartość mocy źródła traktowanego jako rozproszone jest bardzo zróżnicowana w zależności od kraju, np. w Szwecji wynosi ona 1,5 MW, w Nowej Zelandii 5 MW, w USA 5 MW, a w Wielkiej Brytanii 100 MW.

Energetyka wiatrowa jest obecnie najintensywniej rozwijającą się dziedziną energetyki odnawialnej. Technologia budowy turbin wiatrowych staje się coraz prostsza, a efektywność ich pracy osiąga 99%. Moce jednostkowe elektrowni wiatrowych zawierają się w granicach od 200 W do 3 MW. Energetyka wiatrowa to nie tylko ogromne farmy wiatrowe, to również małe turbiny wiatrowe, które produkują energię dla jednego budynku lub kilku gospodarstw domowych. Małe turbiny wiatrowe to urządzenia o mocach wytwórczych poniżej 100 kW. Są to turbiny, które z reguły zaspokajają potrzeby własne właściciela i nie są podłączone do sieci elektroenergetycznej.

TABELA 1. Moc elektrowni wiatrowych w wybranych krajach UE [MW] [21]

TABLE 1. Power of wind power plant in selected UE countries [MW]

	2008	2009
Niemcy	23 896,9	25 777,0
Hiszpania	16 689,4	19 148,8
Włochy	3 736,5	4 850,0
Francja	3 532,0	4 626,0
Wielka Brytania	3 406,2	4 424,0
Dania	3 166,0	3 482,0
Polska	451,1	705,3
Razem UE	65 098,4	75 124,9

Fotowoltaika jest jednym ze sposobów wykorzystania energii słonecznej; zajmuje się bezpośrednim przetwarzaniem promieniowania słonecznego na energię elektryczną, nie powodując przy tym zanieczyszczenia środowiska czy hałasu. Możliwości zastosowania

układów fotowoltaicznych są nieograniczone. Główną zaletą instalacji z ogniw fotowoltaicznych jest ich niezawodność, lekkość oraz możliwość uzyskiwania darmowej energii elektrycznej o parametrach sieciowych za potrzebą gospodarstwa domowego w sposób praktycznie bezobsługowy. Dlatego stają się coraz bardziej powszechne w autonomicznych systemach prądotwórczych oraz układach podłączonych bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej. Produkcja energii elektrycznej za pomocą ogniw słonecznych odbywa się z relatywnie dużą sprawnością, wynoszącą 13–18%. Ta stosunkowo duża sprawność wynika z faktu, że energia promieniowania słonecznego zamienia się w energię elektryczną bez udziału ciepła. Największe elektrownie słoneczne to tysiące ogniw, zajmujące kilometry kwadratowe powierzchni.

TABELA 2. Moc elektrowni PV w wybranych krajach UE [MW] [21]

TABLE 2. Power of PV power plant in selected UE countries [MW]

	2008			2009		
	On gfid	Off grid	razem	On gfid	Off grid	razem
Niemcy	5 979,0	40,0	6 019,0	9785,3	45,0	9 830,3
Hiszpania	3 402,2	18,8	3 421,1	3 500,0	20,1	3 520,1
Włochy	445,3	13,3	458,6	1 168,3	13,4	1 181,7
Czechy	54,3	0,4	54,7	465,3	0,6	465,9
Belgia	70,9	0,1	70,9	362,9	0,05	363,0
Francja	90,7	23,3	114,0	301,8	29,2	331,0
Polska	0,18	0,8	1,1	0,18	0,8	1,1
Razem UE	10 257,9	128,2	10 386,1	15 926,6	144,6	16 071,2

Energetyka biogazowa jest źródłem wykorzystania energii odnawialnej w postaci biogazu, powstającego w wyniku procesu fermentacji beztlenowej, jaki przechodzi masa organiczna pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego. Najczęściej spotykanym sposobem wytwarzania energii elektrycznej z biogazu jest jego spalanie w tłokowych silnikach spalinowych lub skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w silniku Stirlinga, mikroturbinach gazowych, ogniwach paliwowych, układach ORC (*Organic Ranking Cycle*) lub zasilanie ogniw paliwowych. Biogaz można uzyskać:

- ✧ w wyniku fermentacji odpadów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego (biogazownie rolnicze),
- ✧ z gazu wysypiskowego (biogazownie na wysypiskach odpadów),
- ✧ jako gaz fermentacyjny ze ścieków (biogazownie w oczyszczalniach ścieków).

Małe elektrownie biogazowe o mocy elektrycznej kilkunastu kilowatów mogą z powodzeniem zasiląć w energię elektryczną pojedyncze budynki, a przy większych mocach nawet niewielkie osiedla. Takie rozwiązanie może być efektywne na terenach wiejskich lub na

TABELA 3. Produkcja energii elektrycznej z biogazu w wybranych krajach UE [GWh] [21]

TABLE 3. Production of electric energy from biogas in selected UE countries [GWh]

	2008			2009		
	elektrownie	CHP	razem	elektrownie	CHP	razem
Niemcy	8 837,0	1 142,0	9 979,0	11 325,0	1 237,0	12 562,0
Wlk. Bryt.	4 844,9	460,0	5 304,9	5 064,7	526,8	5 591,5
Włochy	1 290,8	308,7	1 599,5	1 374,1	365,5	1 739,6
Holandia	83,0	651,0	734,0	82,0	833,0	915,0
Francja	605,6	94,7	700,3	671,4	175,0	846,4
Austria	557,0	45,0	602,0	602,0	36,0	638,0
Czechy	63,2	203,7	266,9	241,6	199,6	441,3
Dania	1,5	297,2	298,7	1,3	323,5	324,7
Polska	0,0	251,6	251,6	0,0	319,2	319,2
Razem UE	17 364,9	4 049,7	21 414,6	20 394,0	4 773,4	25 167,4

obszarach oddalonych od sieci energetycznych. Moce zespołów wytwórczych biogazowni zawierają się w przedziale 100 kW – 20 MW.

Energetyka wodna jest źródłem energii odnawialnej wykorzystywanej od wielu lat, która osiągnęła dominującą rolę w Europie wśród odnawialnych źródeł w produkcji energii elektrycznej. W krajach UE-15 udział produkcji energii elektrycznej z tego źródła wynosi 13% w produkcji energii elektrycznej ogółem. Udział energetyki wodnej (bez udziału elektrowni szczytowo-pompowych) w krajowej produkcji energii elektrycznej wynosi około 1,1%. W Polsce wykorzystuje się obecnie zaledwie 11% potencjału, co stawia nas na ostatnim miejscu w Europie, natomiast Niemcy wykorzystują 80%, Norwegia 84%, Francja prawie 100%. Łączna moc dużych elektrowni wodnych wynosi około 630 MW, a małych (o mocy poniżej 5 MW) wynosi około 160 MW. Koniecznym jest wdrożenie nowych technologii umożliwiających produktywnie ponowne wykorzystanie wód bez konieczności prowadzenia wielkich prac hydrotechnicznych dla dodatkowych zysków energetycznych.

Najniższe koszty uzyskania energii z biomasy wykazuje technologia współspalania biomasy z węglem, wykorzystywana w wielu istniejących elektrowniach i elektrociepłowniach. Głównym uwarunkowaniem jest uprawa roślin na biomase na glebach marginalnych lub tam, gdzie jest nieopłacalna lub niemożliwa produkcja podstawowa, stanowiąca około 30% gruntów ornych. W Polsce promowane są następujące rośliny wyróżniające się dużym jednostkowym plonem energii: krzewy i drzewa szybko rosnące – wierzba, topola, robinia akacjowa; byliny wieloletnie – ślazier pensylwański, topinambur oraz trawy wieloletnie – miskant, mozga trzcinowata, proso różgowe. Charakterystyczną cechą tych roślin jest ich uprawa wieloletnia do 20 lat, nie wymagająca corocznego nasadzenia, a tym samym ograniczająca koszty corocznego zakładania plantacji. Inną propozycją energetyczną jest

TABELA 4. Moc małych elektrowni wodnych (>10 MW) w wybranych krajach UE [MW] [21]

TABLE 4. Power of small water power plant (>10 MW) in selected UE countries [MW]

	2008	2009
Włochy	2 542,0	2 588,0
Francja	2 079,0	2 082,0
Hiszpania	1 872,0	1 909,0
Niemcy	1 552,0	1 590,0
Szwecja	916,0	923,0
Austria	820,0	842,0
Polska	257,0	261,0
Razem UE	12 483,5	12 742,7

wykorzystanie ubocznych pozostałości rolniczych, do których zaliczamy słomę (zboż, rzepaku, kukurydzy), odpady chmielowe czy łodygi tytoniu [1, 2, 3, 6, 8, 9, 15].

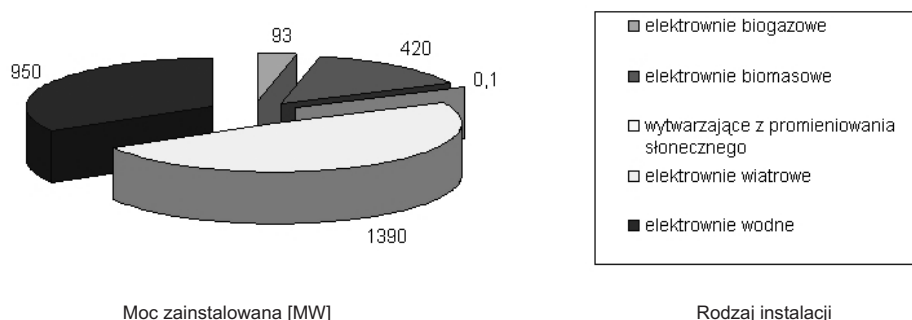
TABELA 5. Produkcja energii elektrycznej z biomasy w wybranych krajach UE [GWh] [21]

TABLE 5. Production of electric energy from biomass in selected UE countries [MW]

	2008			2009		
	elektrownie	CHP	razem	elektrownie	CHP	razem
Niemcy	8,213	3,080	11,293	7,882	3,474	11,356
Szwecja	0,000	8,932	8,932	0,000	10,057	10,057
Finlandia	1,588	8,469	10,057	0,870	7,532	8,402
Polska	0,000	3,200	3,200	0,000	4,907	4,907
Holandia	1,228	1,335	2,563	1,764	1,786	3,550
Wlk. Brytania	2,768	0,000	2,768	3,535	0,000	3,535
Razem	22,3	35,6	57,9	23,3	38,9	62,2

3. Warunki techniczne rozwoju odnawialnych źródeł energii elektrycznej w Polsce

W Polsce jest ponad 1,5 tys. instalacji opartych na źródłach odnawialnych, a ich łączna moc osiągnęła prawie 3 GW. Największy udział w produkcji energii elektrycznej w tych źródłach mają instalacje wiatrowe, których liczba przekroczyła 470 sztuk (są to zarówno pojedyncze wiatraki, jak i farmy wiatrowe). Obecnie elektrownie wiatrowe mają moc zainstalowaną na poziomie 1389 MW. Elektrownie wodnych w krajowym systemie elektroenergetycznym jest ponad 740, a ich łączna moc wynosi około 950 MW. W Polsce w połowie 2011 roku było 157 elektrowni na biogaz, ich łączna moc wytwórcza przekroczyła 93 MW. Ponadto w systemie pracuje 19 elektrowni opalanych biomasą o łącznej mocy 420 MW. Do systemu przyłączone są także cztery istniejące w kraju elektrownie słoneczne o łącznej mocy zainstalowanej 0,1 MW. W Polsce pracują też 44 instalacje wytwarzające energię elektryczną poprzez współspalanie biomasy z paliwami kopalnymi (URE).



Rys. 3. Odnawialne źródła energii według typu instalacji (bez instalacji ze współspalaniem)

Fig. 3. RES in selected types of installation (without cofiring)

Warunki techniczne rozwoju energetyki opartej na źródłach odnawialnych zależą od wielu czynników. Czynniki te można przedstawić w trzech grupach:

- ✧ zasoby energii pierwotnej: wielkość zasobów oraz ich parametry,
- ✧ technologie odnawialnych źródeł energii: dostępność technologii, efektywność energetyczna technologii, rodzaj zastosowanej energii pierwotnej,
- ✧ warunki współpracy z siecią elektroenergetyczną: standardy jakości energii w punktach przyłączenia, stan infrastruktury przyłączeniowej, elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, zagrożenia zwarciovowe, użyteczność w stanach awaryjnych, właściwości regulacyjne, elektrownie wirtualne [16, 26].

4. Elektrownia wirtualna

Wirtualna elektrownia łączy ze sobą na określonym obszarze wiele różnych lokalnych źródeł energii elektrycznej (elektrownie wodne, wiatrowe, fotowoltaiczne, turbiny gazowo-parowe, generatory napędzane silnikami itp.) oraz zasobniki energii elektrycznej (zbiorniki wodne, akumulatory), które sterowane są zdalnie za pomocą rozbudowanego systemu informatycznego.

Wirtualna elektrownia, aby spełniać swoją rolę w systemie elektroenergetycznym, powinna wypełniać zadania związane z regulacją mocy i napięć. Podobnie jak elektrownie systemowe powinna brać udział w planowaniu zapotrzebowania energii. Stąd system informatyczny, łączący ze sobą wszystkie źródła wytwórcze w elektrowni wirtualnej, powinien umożliwiać zbieranie pomiarów ze wszystkich źródeł i zasobników tworzących wirtualną elektrownię, a następnie zdalnie sterować produkcją energii w poszczególnych źródłach, by osiągnąć zaplanowaną wartość. Ważną rolę w tworzeniu wirtualnych elektrowni powinny spełniać zasobniki energii pozwalające dostosować wytwarzanie energii elektrycznej do dobowych zmian zapotrzebowania odbiorców. Zwykle zasobniki takie to baterie akumulatorów lub superkondensatory; podobną rolę spełniać mogą także elektrownie szczytowo-pompowe.

Zbilansowany energetycznie obszar tworzący wirtualną elektrownię może być wydzielony z systemu elektroenergetycznego za pomocą nowoczesnych wyłączników. Wyłącznik taki może realizować także funkcje zabezpieczeniowe, pomiarowe i synchronizację z siecią elektroenergetyczną. Dla KSE elektrownia wirtualna musi być monitorowana w sposób szczególny. Wymaga to zintegrowania systemów IT (*Information Technology*), obsługujących układ elektrowni wirtualnej z systemem IT operatora KSE.

Moce jednostkowe urządzeń wytwórczych w elektrowniach wirtualnych wykorzystujących rozproszone źródła energii pierwotnej nie są porównywalne z mocami dużych elektrowni systemowych. Ponadto rodzaj źródła energii pierwotnej tych urządzeń, której dostępność wyznaczają najczęściej warunki meteorologiczne, stawia te elektrownie w grupie źródeł, które muszą być rezerwowane. Pracują one wtedy, kiedy istnieją odpowiednie warunki. Sterowanie zespołem elektrowni tworzących elektrownię wirtualną stwarza wiele problemów:

- ✧ dla celów lokalnej optymalizacji obciążeń źródeł i automatycznego sterowania pracą rozproszonych źródeł energii elektrycznej są potrzebne charakterystyki odpowiednie dla mieszanego typu źródeł,
- ✧ obciążenie sieci rynku lokalnego jest w dużym stopniu niesymetryczne, na skutek istnienia jednofazowych odbiorników i źródeł energii rozproszonych,
- ✧ układy magazynujące energię ES (*Energy Storage*) dla celów utrzymania równowagi dynamicznej oraz magazyny energii (w tym superkondensatory) odgrywają istotną rolę w sterowaniu i eksploatacji źródeł na rynku lokalnym,
- ✧ część energii elektrycznej wprowadzana do wirtualnej elektrowni pochodzi z niesterowalnych źródeł (np. elektrowni wiatrowych czy słonecznych),
- ✧ poziom jakości i pewności dostaw na obszarze wirtualnej elektrowni zależy w głównej mierze od sztywności połączenia sieci lokalnej z KSE oraz zastosowanych urządzeń FACTS (*Flexible AC Transmission System*) [23].

Podsumowanie

Wydaje się, że sektor energetyczny wciąż traktuje inteligentne sieci jako marketing i modę; ciągle brak jest mechanizmów, które pozwoliłyby na obniżkę kosztów eksploatacji i rozwoju sieci energetycznych oraz poprawę niezawodności i jakości dostaw. Branża energetyczna na chwilę obecną nie widzi potrzeby szerszego stosowania coraz nowocześniejszych narzędzi informatycznych. Priorytetem Krajowej energetyki jest zapewnienie bezpieczeństwa pracy sieci i prowadzenie prac eksploatacyjnych przez personel, a także dążenie do skracania czasów wyłączeń planowych i awaryjnych. Dobrze rozbudowany system IT byłby idealnym wsparciem dla energetyki.

Rozwój rynku OZE zależy od wielu czynników, takich jak np. dostępność rozwiązań technicznych oraz polityki regulacyjnej i finansowej państwa. Polityka państwa polegająca na wprowadzeniu ułatwień (np. odpisów od podatków, preferencyjnych kredytów, systemów wsparcia) dla osób zdecydowanych wytwarzać energię elektryczną z pewnością przyczyni się do rozwoju tego typu źródeł. Koszty inwestycji w urządzenia generacji rozproszonej są dość duże. Wszystkie źródła generacji rozproszonej traktowane globalnie mogą być traktowane jako części składowe rozproszonej elektrowni. Instalacje wyposażane są w system zdalnego odczytu, dzięki któremu możliwe jest określanie w czasie rzeczywistym realnego zapotrzebowania na energię, a co się z tym wiąże efektywniejsze gospodarowanie prądem. W efekcie możliwe staje się utworzenie sieci współpracujących ze sobą małych źródeł energii, a zdalne zarządzanie nimi pozwoli na spłaszczenie globalnej krzywej poboru energii. Zmienność obciążenia sieci przy obecności wielu rozproszonych źródeł OZE sprawia, że zapewnienie pełnej niezawodności pracy przy względnie wysokich poziomach generacji energii odnawialnej stanowi wielkie wyzwanie.

Przylączenie rozproszonych źródeł energii do sieci rozdzielczych jest procesem bardzo skomplikowanym, dlatego w przypadku wprowadzania Smart Grid polski sektor energetyczny musi przejść stopniowe udoskonalanie istniejącej infrastruktury i zacząć wprowadzać nowoczesne systemy zarządzania. Przylączenie źródeł energii do sieci wymaga również dodawania automatyki czy infrastruktury telekomunikacyjnej. Nowe rozwiązania w zakresie funkcjonowania sieci elektroenergetycznej umożliwiają zoptymalizowane i efektywniejsze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii oraz zintegrowanie mocno rozproszonej produkcji energii elektrycznej.

Wdrożenie Smart Grid powinno przynieść korzyści w postaci: zwiększenia efektywności energetycznej, zwiększenia efektywności ekonomicznej, zwiększenia satysfakcji odbiorców energii elektrycznej, zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko.

Źródła generacji rozproszonej w systemie elektroenergetycznym: podnoszą niezawodność systemów elektroenergetycznych, ograniczają straty przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej, mogą być wykorzystane jako źródła zasilania awaryjnego, umożliwiają dopasowanie mocy jednostek wytwórczych do zapotrzebowania w miejscu wytwarzania, nie wymagają rozległej infrastruktury sieciowej, nie są szkodliwe dla środowiska.

Generacja rozproszona posiada również wady. Do najistotniejszych można zaliczyć: negatywne oddziaływanie na system elektroenergetyczny, niższa sprawność wywarzania energii, wyższe koszty inwestycyjne [15, 16].

Literatura

- [1] HANUS B., STEMPEL U.E., 2007 – Alternative Energie im Haus nutzen, Franzis Verlag GmbH.
- [2] KICIŃSKI J., LAMPART P. – Mini- i mikrośilownie CHP ORC jako perspektywiczna forma wdrażania technologii OZE w Polsce. (<http://www.imp.gda.pl/bioenergy/>).
- [3] KOTOWSKI W., KONOPKA E., 2009 – Mikrogeneracja w domu jednorodzinnym. Energia nr 4.
- [4] KOWALAK T., 2010 – Smart Grid – wyzwanie XXI wieku. Rynek energii nr 1.
- [5] Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii. Poradnik. Praca zbiorowa. Tarbonus 2008.
- [6] Ogniwa paliwowe jako współczesne źródła energii. Urządzenia dla energetyki, nr 1/2008.
- [7] OLSZOWIEC P., 2009 – Autonomiczne systemy elektroenergetyczne małej mocy. Mikrosieci, Energia Gigawat nr 7–8.
- [8] SZPRYNGIEL M., 2003 – Zintegrowane źródła energii odnawialnej w gospodarstwie rolnym. Czysta Energia nr 10.
- [9] WACH E., 2006 – Czy małe wiatraki mogą wspomagać system elektroenergetyczny? Czysta Energia nr 12.
- [10] WOJCIECHOWSKI H., 2010 – Efektywność techniczna i ekonomiczna rozproszonych i rozsianych układów wytwarzania energii. Instal nr 6.
- [11] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- [12] <http://www.smarteco.pl/energetyczny-dom/pakiet/dom>
- [13] KOPERSKI W. – Smart Grid – sieć przyszłości. (www.par.pl).
- [14] SZCZEŚNIAK P. – Mikrogeneracja i Smart Grid. (www.greenstream.info.pl).
- [15] PASKA J., 2010 – Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [16] SROKA K., SZCZERBOWSKI R. – Warunki techniczno-ekonomiczne rozwoju generacji rozproszonej w Polsce. Seminarium PAN KNE w Poznaniu przy PP.
- [17] MALKO J., 2010 – Sieci inteligentne jako czynnik kształtowania sektora energii elektrycznej. Rynek Energii nr 4.
- [18] MALKO J. – O doskonaleniu infrastruktury sieciowej – sieci inteligentne (Smart Grid). www.elektro-innowacje.pl
- [19] SZCZERBOWSKI R., 2010 – Mikrogeneracja ciepła i energii elektrycznej w lokalnych systemach zasilania. XIII Sympozjum Oddziału Poznańskiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich „Współczesne urządzenia oraz usługi elektroenergetyczne, telekomunikacyjne i informatyczne – sieci i instalacje elektryczne – klasyczne i inteligentne”, Poznań.
- [20] LOMBARDI P., 2011 – Multi criteria optimization of an autonomous virtual power plant. MAFO Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- [21] The State Of Renewable Energies In Europe 10th EurObserv'ER Report.
- [22] Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku, wykonana na zamówienie Ministerstwa Gospodarki przez Agencję Rynku Energii S.A.
- [23] SROZAN E., 2010 – Zastosowania automatycznego odczytu liczników AMR i AMM w systemach z rozproszoną generacją energii. Wiadomości Elektrotechniczne 7.
- [24] JENKINS N., EKANAYAKE J.B., STRBAC G., 2010 – Distributed Generation, Institution of Engineering and Technology, London.

- [25] MALKO J., 2009 – Uwarunkowania polskiej polityki energetycznej, *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków.
- [26] POPLAWSKI T., DAŚAL K., ŁYP J., 2009 – Problematyka prognozowania mocy i energii pozyskiwanych z wiatru. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków.

Radosław SZCZERBOWSKI

Decentralized Energy Generation and Smart Grid – Virtual Power Plant

Abstract

In the paper there are presented the possibilities of the use of renewable energy sources and distributed generation for electric energy production. There is also presented the modern architecture of power system using Smart Grid network.

Appropriately large amount of sources dispersed in the little area of the electrical power system and the potential, which they give to the Smart Grid network, enables to join these sources into one system creating „virtual power plant”, managed by the operator. The virtual power plant is aimed at concentrating of dispersed generation in one, logically connected system, increasing the technical and economic effectiveness of generation of electric energy.

KEY WORDS: Decentralized Energy Generation, Smart Grid, Renewable Energy Sources, Virtual Power Plant