



AKTUALNE MOŻLIWOŚCI ROZWOJU GENERACJI ROZPROSZONEJ W KRAJOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

dr hab. inż., prof. nadzw. PW Sylwester Robak / Politechnika Warszawska
dr hab. inż., prof. nadzw. PW Désiré Dauphin Rasolomampionona / Politechnika Warszawska
mgr inż. Grzegorz Tomasik / Centrum Zastosowań Zaawansowanych Technologii sp. z o.o. (CATA)
mgr inż. Paweł Chmurski / Centrum Zastosowań Zaawansowanych Technologii sp. z o.o. (CATA)

Praca naukowa współfinansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010–2012 jako projekt badawczy

1. WSTĘP

Wypracowanie dla generacji rozproszonej jednej definicji, która byłaby do zaakceptowania przez naukowców oraz sektor przemysłowy w różnych krajach na całym świecie, napotyka duże trudności. Stąd literatura zagadnienia podaje wiele definicji tego pojęcia. Również w literaturze krajowej można spotkać odmienne definicje źródeł wytwórczych, zaliczanych do generacji rozproszonej. Jako typowe wyróżniki generacji rozproszonej, pozwalające umiejscowić ten sposób wytwarzania na tle innych źródeł, przyjmuje się [1], [2]:

1. Przeznaczenie (cel)
2. Lokalizację w systemie (sieci elektroenergetycznej)
3. Moc znamionową
4. Obszar dostaw (dystrybucji) mocy
5. Technologię wytwarzania
6. Oddziaływanie na środowisko
7. Tryb pracy
8. Rodzaj prawa własności źródeł
9. Udział w ogólnym wytwarzaniu energii.

Z analizy materiału literaturowego, dotyczącego generacji rozproszonej, wynika, że zasadniczą cechą generacji rozproszonej jest jej lokalizacja blisko odbioru. Stąd definiuje się ją jako instalację i eksploatację mocy wytworzonej przez obiekt wytwórczy, przyłączony bezpośrednio do sieci dystrybucyjnej lub przyłączony po stronie odbiorcy.

Kolejną ważną cechą generacji rozproszonej jest moc osiągalna jednostek wytwórczych generacji rozproszonej oraz technologia wytwarzania – generację rozproszoną stanowią najczęściej źródła produkujące energię elektryczną ze źródeł odnawialnych lub niekonwencjonalnych, jak również w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła, oraz zasobniki energii, przy czym:

- Odnawialnymi źródłami energii są źródła wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesie odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych;
- Kogeneracją (produkcją energii w skojarzeniu) jest proces, w którym równolegle wytwarzana jest energia elektryczna i ciepła. Kogeneracja opiera się na konwersji energii chemicznej paliwa (np. gazu ziemnego) na energię elektryczną i ciepło. Układy skojarzone są stosowane wszędzie tam, gdzie istnieje równocześnie zapotrzebowanie na ciepło (chłód) i na energię elektryczną. Układy skojarzone do produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu określane są jako trigeneracja lub układy podwójnie skojarzone.

Streszczenie

W artykule przedstawiono krótką dyskusję dotyczącą definicji generacji rozproszonej. Nakreślono stan obecny oraz perspektywy rozwoju generacji rozproszonej w Polsce.

Opisano możliwości pozyskania jednostek generacji rozproszonej do celów sterowania pracą systemu elektroenergetycznego, poprzez świadczenie usług systemowych.



Uwzględniając powyższe czynniki, w przypadku uwarunkowań obowiązujących w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym przyjąć można następującą definicję generacji rozproszonej:

Generacją rozproszoną (źródłami rozproszonymi) są obiekty o mocy osiągalnej zazwyczaj nieprzekraczającej 50 MW, niepodlegające centralnej dyspozycji mocy, współpracujące z siecią dystrybucyjną (110 kV, SN i nn) lub bezpośrednio zasilające odbiorcę i których rozwój nie jest planowany centralnie. Generację rozproszoną stanowią najczęściej jednostki produkujące energię elektryczną ze źródeł odnawialnych lub niekonwencjonalnych, jak również w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła, oraz zasobniki energii.

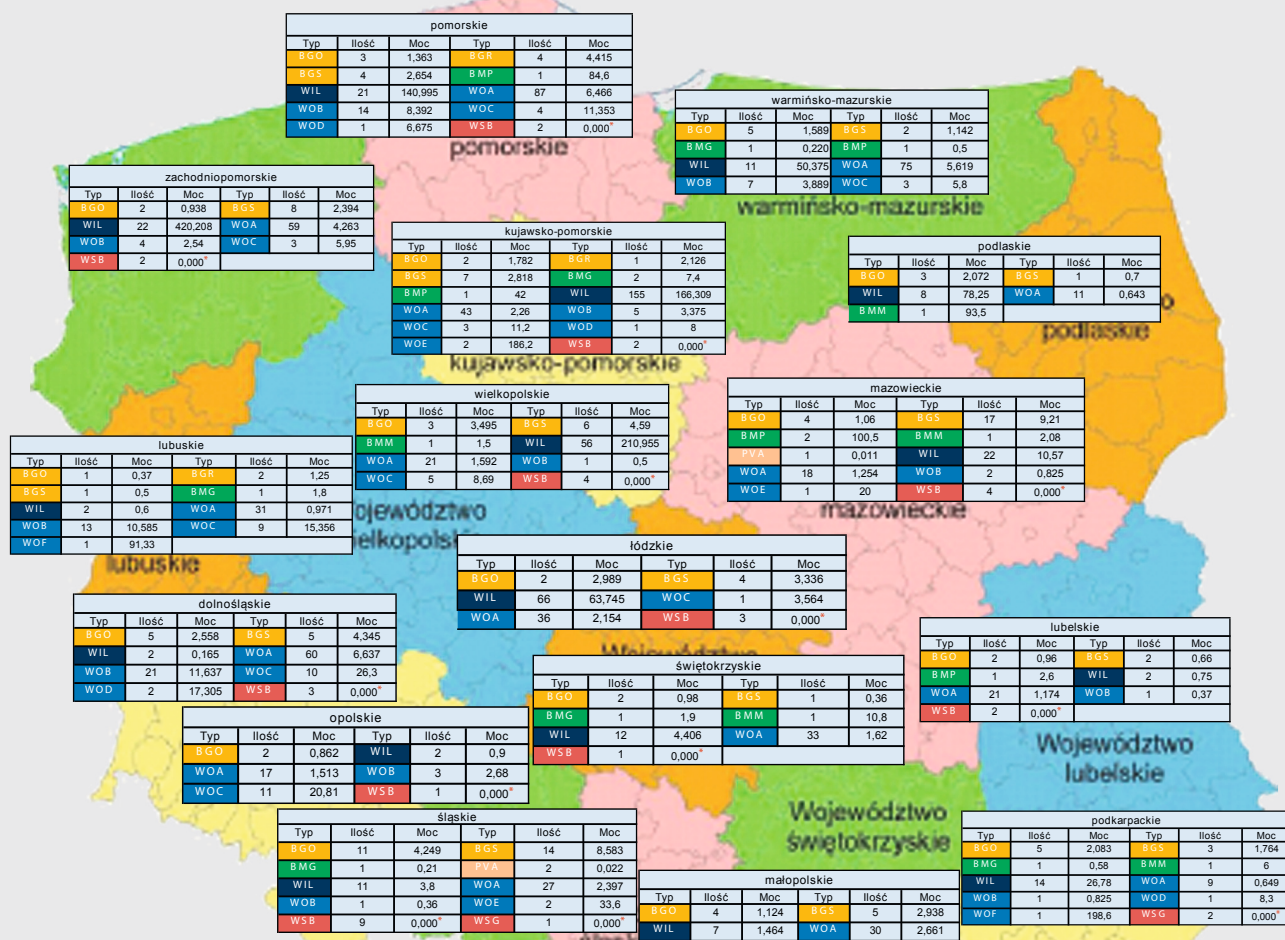
2. ŹRÓDŁA GENERACJI ROZPROSZONEJ ZAINSTALOWANE W KSE

Z bazy danych Stowarzyszenia Niezależnych Wytwórców Energii Skojarzonej wynika, że aktualnie w kraju zainstalowanych jest już prawie 250 źródeł GR na gaz ziemny, biogaz (wysypiskowy, z oczyszczalni ścieków i rolniczy, z biogazowni) oraz biometan z odmetanowania kopalń. Są to bardzo zróżnicowane źródła: turbinowe, silnikowe, w większości kogeneracyjne, ale także produkujące tylko energię elektryczną, o mocach elektrycznych od 5 kW do ok. 7,5 MW (baza nie uwzględnia większych źródeł).

Źródła turbinowe (14 źródeł) mają łączną moc elektryczną około 60 MW. Źródła silnikowe na gaz ziemny (36 źródeł o jednostkowej mocy elektrycznej poniżej 0,5 MW, 15 źródeł o jednostkowej mocy elektrycznej powyżej 0,5 MW) mają łączną moc elektryczną ok. 20 MW. Źródła silnikowe biogazowe na biogaz wysypiskowy i z oczyszczalni ścieków (ok. 150 źródeł) mają łączną moc elektryczną ok. 60 MW. Źródła silnikowe na biogaz rolniczy (12) mają łączną moc elektryczną około 15 MW. Źródła na biometan (13) mają łączną moc elektryczną ok. 30 MW.

Łączna moc elektryczna źródeł uwzględnionych w bazie wynosi 185 MW.

Z danych Urzędu Regulacji Energetyki na 31 grudnia 2010 roku wynika, że łączna moc źródeł odnawialnych, wytwarzających energię elektryczną w Polsce, wynosi 2556 MW. Struktura źródeł odnawialnych, wytwarzających energię elektryczną w Polsce, została przedstawiona na rys. 1. i w tab. 1.



LEGENDA

Elektrownie biogazowe

- BGO** wytwarzające z biogazu z oczyszczalni ścieków
- BGR** wytwarzające z biogazu rolniczego
- BGS** wytwarzające z biogazu składowiskowego

Elektrownie biomasowe

- BME** wytwarzające z biomasy z roślin energetycznych
- BMG** wytwarzające z biomasy z odpadów leśnych, rolniczych, ogrodniczych
- BMK** wytwarzające z biomasy ze stałych odpadów komunalnych m.in. z oczyszczalni ścieków
- BMP** wytwarzające z biomasy z odpadów przemysłowych drewnopochodnych i celulozowo-pap.
- BMM** wytwarzające z biomasy mieszanej

Elektrownia geotermalna

- GEA** elektrownia geotermalna

Elektrownia wytwarzająca z promieniowania słonecznego

- PVA** elektrownia wytwarzająca z promieniowania słonecznego

Elektrownie wiatrowe

- WIL** elektrownie wiatrowe na lądzie
- WIM** elektrownie wiatrowe na morzu

Elektrownie wodne

- WOA** elektrownia wodna do 0,3 MW
- WOB** elektrownia wodna do 1,0 MW
- WOC** elektrownia wodna do 5,0 MW
- WOD** elektrownia wodna do 10,0 MW
- WOE** elektrownia wodna powyżej 10,0 MW
- WOF** elektrownia wodna szczytowo-pompowa lub przepływowa z członem pompowym

Elektrownie morskie

- WMA** wytwarzające z pływów morskich
- WMB** wytwarzające z falowania powierzchni wody

Elektrownie realizujące technologię współpalania

- WSB** realizujące technologię współpalania (paliwa kopalne i biomas)
- WSG** realizujące technologię współpalania (paliwa kopalne i biogaz)

* Ze względu na różne przedziały procentowego udziału biomasy (w całkowitym strumieniu paliwa), w odniesieniu do instalacji współspalania, nie podano całkowitej mocy zainstalowanej

Rys. 1. Struktura źródeł odnawialnych, wytwarzających energię elektryczną (stan na 31.12.2010) [3]



Tab. 1. Struktura źródeł odnawialnych, wytwarzających energię elektryczną

Lp.	Typ instalacji	Liczba instalacji	Moc [MW]
1	elektrownie biogazowe	144	82,884
	a) wytwarzające z biogazu z oczyszczalni ścieków	56	28,474
	b) wytwarzające z biogazu składowiskowego	80	45,994
	c) wytwarzające z biogazu rolniczego	8	8,416
2	elektrownie wiatrowe	413	1 180,272
	a) elektrownia wiatrowa na lądzie	413	1 180,272
3	elektrownie wodne	727	937,044
	a) elektrownia wodna przepływowa do 0,3 MW	578	41,873
	b) elektrownia wodna przepływowa do 1 MW	78	48,248
	c) elektrownia wodna przepływowa do 5 MW	56	126,163
	d) elektrownia wodna przepływowa do 10 MW	6	48,280
	e) elektrownia wodna przepływowa powyżej 10 MW	6	289,800
	f) elektrownia wodna szczytowo-pompowa lub przepływowa z członem pompowym	3	382,680
4	elektrownie realizujące technologię współspalania	41	0,000*
	a) realizujące technologię współspalania (paliwa kopalne i biomasa)	40	0,000*
	b) realizujące technologię współspalania (paliwa kopalne i biogaz)	1	0,000*
5	elektrownie biomasowe	18	356,190
	a) wytwarzające z biomasy z odpadów leśnych, rolniczych, ogrodowych	7	12,110
	b) wytwarzające z biomasy z odpadów przemysłowych drewnopochodnych i celulozowo-papierniczych	6	230,200
	c) wytwarzające z biomasy mieszanej	5	113,880
6	wytwarzające z promieniowania słonecznego	3	0,033
	a) wytwarzające z promieniowania słonecznego	3	0,033
Razem:		1 346	2 556,423

* Ze względu na różne przedziały procentowego udziału biomasy (w całkowitym strumieniu paliwa), w odniesieniu do instalacji współspalania, nie podano całkowitej mocy zainstalowanej

3. ROZWÓJ ŹRÓDEŁ GENERACJI ROZPROSZONEJ W POLSCE

W dokumencie Ministerstwa Gospodarki „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” [4], przyjętym przez Radę Ministrów w 2010 roku, o generacji rozproszonej można przeczytać: „Istotnym elementem poprawy bezpieczeństwa energetycznego jest rozwój energetyki rozproszonej, wykorzystującej lokalne źródła energii, jak metan czy OZE. Rozwój tego typu energetyki pozwala również na ograniczenie inwestycji sieciowych, w szczególności w system przesyłowy. System zachęt dla energetyki rozproszonej w postaci systemów wsparcia dla OZE i kogeneracji będzie skutkował znacznymi inwestycjami w energetykę rozproszoną”.

Cele polityki energetycznej Polski dotyczące energetyki rozproszonej obejmują:

a) w zakresie poprawy efektywności energetycznej

zmniejszenie strat sieciowych w przesyśle i dystrybucji, poprzez modernizację obecnych i budowę nowych sieci, wymianę transformatorów o niskiej sprawności oraz rozwój generacji rozproszonej

b) w zakresie wytwarzania i przesyłania energii elektrycznej oraz ciepła

rozbudowę sieci dystrybucyjnych, pozwalającą na rozwój energetyki rozproszonej wykorzystującej lokalne źródła energii

c) w zakresie ograniczenia oddziaływania energetyki na środowisko

zmianę struktury wytwarzania energii w kierunku technologii niskoemisyjnych oraz zwiększenie znaczenia źródeł skojarzonych i rozproszonych.

Według „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku” w warunkach polskich decydujące znaczenie, w kontekście osiągnięcia postawionego celu 15-proc. udziału energii ze źródeł odnawialnych w strukturze energii finalnej brutto w 2020 roku, będą miały postępy poczynione w energetyce wiatrowej, produkcji

biogazu i biomasy stałej oraz w biopaliwach transportowych. Te cztery obszary w 2020 roku stanowią będą łącznie ok. 94% zużycia energii ze wszystkich źródeł odnawialnych. Tab. 2 przedstawia opracowaną w ramach „Polityki energetycznej” prognozę zainstalowanych mocy wytwórczych energii elektrycznej brutto w podziale na 17 rodzajów paliwa i zastosowanych technologii produkcyjnych. Do 2020 roku technologie odnawialne łącznie stanowią będą 25,4% całkowitej mocy wytwórczej (22,6% w 2030 roku). Spadek tego odsetka w latach 2020–2030 wynika głównie z faktu uwzględnienia w zestawieniu energetyki jądrowej, która ma zaistnieć w Polsce po 2020 roku.

Tab. 2. Prognoza mocy wytwórczych energii elektrycznej brutto do 2030 roku [4]

Paliwo/technologia	Moce wytwórcze energii elektrycznej brutto w MW				
	2010	2015	2020	2025	2030
Węgiel brunatny – PC/Fluidalne	9 177	9 024	8 184	10 344	10 884
Węgiel kamienny – PC/Fluidalne	15 796	15 673	15 012	11 360	10 703
Węgiel kamienny – CHP	4 950	5 394	5 658	5 835	5 807
Gaz ziemny – CHP	710	810	873	964	1 090
Gaz ziemny – GTCC	0	400	600	1 010	2 240
Duże wodne	853	853	853	853	853
Wodne pompowe	1 406	1 406	1 406	1 406	1 406
Jądrowe	0	0	1 600	3 200	4 800
Przemysłowe węgiel – CHP	1 411	1 416	1 447	1 514	1 555
Przemysłowe gaz – CHP	50	63	79	85	92
Przemysłowe inne – CHP	730	834	882	896	910
Lokalne gazowe	0	22	72	167	278
Małe wodne	107	192	282	298	298
Wiatrowe	976	3 396	6 089	7 564	7 867
Biomasa stała – CHP	40	196	623	958	1 218
Biogaz CHP	74	328	802	1 293	1 379
Systemy fotowoltaiczne	0	0	2	16	32
Razem	36 280	40 007	44 464	47 763	51 412

„Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” nie uwzględnia dynamicznego rozwoju GR oraz rozwoju budownictwa plus-energetycznego, zakładanych w dyrektywach UE. Stąd istnieją także inne, odmienne koncepcje rozwoju energetyki w Polsce, które zakładają:

1. Możliwość całkowitej rezygnacji z energetyki jądrowej
2. Znaczne ograniczenie wytwarzania energii z wykorzystaniem tradycyjnych technologii węglowych
3. Szybki rozwój CHP w przemyśle
4. Szybki rozwój układów CHP opartych na wykorzystaniu biogazu
5. Zmniejszenie mocy wytwórczej o około 6000 MW (w stosunku do założeń rządowych) z uwagi na planowaną decentralizację wytwarzania energii (mniejsze straty przesyłu i konwersacji, wyższe sprawności urządzeń odbiorczych)
6. Dynamiczny rozwój rynku prosumenta (budynki plus-energetyczne), gdzie ponad 20% energii krajowej będzie wytwarzana lokalnie w budynkach plus-energetycznych.

Za prognozowanym dynamicznym, długoterminowym rozwojem energetyki rozproszonej przemawiają następujące tezy [5]:

1. Wyczerpywanie się potencjału wynikającego z wdrożenia zasady TPA jako mechanizmu, ogólnie na świecie, zwiększania konkurencji na rynkach energii elektrycznej i gazu
2. Wzrost siły nowych technologii, zwiększających konkurencyjność na rynku energii elektrycznej i gazu poza zasadą TPA
3. Zapoczątkowanie handlu uprawnieniami do emisji CO₂
4. Niesymetryczny system podatkowy, w szczególności akcyzowy (np. wysoka akcyza na benzynę i olej napędowy, brak akcyzy na gaz ziemny)



5. Strategia Komisji Europejskiej (budowa jednolitej unijnej przestrzeni bezpieczeństwa energetycznego, a nie elektroenergetycznego)
6. Wzrost znaczenia trendu, w którego ramach rozwój energetyki rozproszonej staje się produktem „ubocznym” działań na rzecz ochrony środowiska
7. Wpływ energetyki rozproszonej na kształtowanie systemu osadniczego i na jego przekształcenia (polityka rozwoju regionalnego).

4. GENERACJA ROZPROSZONA JAKO ŹRÓDŁO REGULACYJNYCH USŁUG SYSTEMOWYCH

Obecne zasady zarządzania pracą źródeł generacji rozproszonej oraz warunki techniczne, jakie muszą spełniać te źródła, zależą głównie od mocy jednostkowej źródła (mocy pojedynczej jednostki wytwórczej), od poziomu napięcia znamionowego sieci, do której są przyłączone, oraz od miejsca przyłączenia (sieć zamknięta, sieć otwarta). W zależności od wymienionych uwarunkowań zasady te i warunki techniczne są określone w instrukcjach operatorów sieciowych: IRiESP oraz IRiESD.

Poszerzenie dotychczasowych możliwości zarządzania generacją rozproszoną obecnie upatruje się w pozyskaniu tego typu źródeł do realizacji regulacyjnych usług systemowych. Regulacyjne usługi systemowe są to usługi świadczone przez podmioty na rzecz operatora systemu przesyłowego, niezbędne do prawidłowego funkcjonowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, zapewniające zachowanie określonych wartości parametrów niezawodnościowych i jakościowych [6]. Pozyskanie generacji rozproszonej do celów sterowania pracą systemu elektroenergetycznego z poziomu operatora systemu przesyłowego należy wiązać z relatywnie dużymi (30 MW ÷ 50 MW) mocami znamionowymi pojedynczych jednostek generacji rozproszonej lub możliwością grupowania małych jednostek generacji rozproszonej. Pierwszy przypadek będzie występował stosunkowo rzadko i obecnie można go zaliczyć do grupy jednostek wytwórczych koordynowanych. W praktyce należy poszukiwać rozwiązań dotyczących dużej liczby małych jednostek wytwórczych.

Wyniki wstępnych analiz dotyczących wykorzystania źródeł generacji rozproszonej w zakresie usług systemowych wskazują, że w horyzoncie krótkookresowym, z punktu widzenia operatora sieci przesyłowej (OSP), można rozpatrywać udział generacji rozproszonej w następujących usługach [7], [8]:

1. Rezerwy sekundowej dla regulacji pierwotnej
2. Rezerwy operacyjnej (wirującej i interwencyjnej) dla regulacji wtórnej oraz trójnej, w tym udział generacji rozproszonej w programach DSR [9] oferowanych przez OSP (programy przeciwwawaryjne).

W dłuższym horyzoncie czasowym można rozpatrywać udział generacji rozproszonej w usługach:

1. Regulacji mocy biernej i napięć węzłowych
2. Samostartu
3. Pracy na wydzielony układ wyspowy.

Usługi samostartu i pracy wyspowej mogą być obecnie rozpatrywane jako rozwiązania perspektywiczne. Z technicznego punktu widzenia usługi w zakresie rezerw mocy mają największy potencjał aplikacyjny.

Usługa w zakresie regulacji pierwotnej będzie szczególnie atrakcyjna dla dużych jednostek generacji rozproszonej, opartych na nieodnawialnych źródłach energii. W celu wykorzystania potencjału generacji rozproszonej na rzecz regulacji pierwotnej muszą być zastosowane odpowiednie środki techniczne w zakresie systemu sterowania (zarządzania). Oznacza to między innymi, że musi być wprowadzona komunikacja z każdą jednostką wytwórczą generacji rozproszonej w celu sterowania i monitorowania, które generatory i w jakim zakresie w danej chwili uczestniczą w regulacji pierwotnej. Z kolei każda jednostka wytwórcza powinna posiadać proporcjonalny układ regulacji turbiny (regulacja zgodnie ze statyzmem turbiny).

Ponadto uczestnictwo źródła w regulacji pierwotnej powoduje konieczność pracy źródła z niepełnym wykorzystaniem zdolności wytwórczych (praca przy obciążeniu poniżej mocy maksymalnej). Stąd cena usługi musi uwzględniać koszt utraconych korzyści. Koszt ten może być szczególnie wysoki w przypadku odnawialnych źródeł energii, które korzystają z różnorodnych finansowych mechanizmów wsparcia (certyfikaty).

Można przyjąć, że wszystkie technologie źródeł generacji rozproszonej, charakteryzujące się krótkim czasem reakcji, są predestynowane do realizacji regulacji pierwotnej. Szczególnie układy wyposażone w przekształtniki energoelektroniczne, tj. turbiny wiatrowe, ogniwa paliwowe czy mikro-turbiny, są zdolne do świadczenia tej usługi.



W przypadku układów wykorzystujących elektrownie wiatrowe w celu uzyskania regulacji częstotliwości konieczne jest zastosowanie trybu regulacji mocy czynnej *delta mode*, w którym utrzymywany jest stały zapas mocy z możliwością wykorzystania do celów regulacyjnych.

Duże możliwości w zakresie regulacji pierwotnej częstotliwości posiadają elektrownie gazowo-parowe CCGT oraz układy CHP z silnikami gazowymi (elektrownie i elektrociepłownie na biogaz technologicznie niewiele różnią się od analogicznych układów gazowych, zasilanych gazem ziemnym, mają też podobne właściwości ruchowe). Efektywne wykorzystanie takich układów do pełnienia roli dostawców usług systemowych wymaga przede wszystkim umożliwienia produkcji energii elektrycznej w przypadku braku zapotrzebowania na ciepło. Niejednoczesność występowania zapotrzebowań na ciepło i energię elektryczną jest więc istotną przeszkodą. Uelastycznienie pracy bloków można uzyskać poprzez wykorzystanie akumulatorów ciepła lub rozbudowę układu o chłodziwo i wytracanie w niej nadmiaru ciepła. W przypadku tego typu układów przychody ze świadczenia usług systemowych musiałyby być na tyle istotne, aby zrekompensować dodatkowe koszty i utracone przychody.

Aby możliwe było włączenie generacji rozproszonej w proces sterowania KSE, wciąż konieczne jest rozwiązanie kilku kluczowych problemów, do których można zaliczyć:

1. Zasady tworzenia i funkcjonowania grup jednostek generacji rozproszonej
2. Tryb pozyskiwania usług
3. Sposób rozliczania usług
4. Zakres i sposób wymiany informacji pomiędzy operatorami sieci oraz wytwórcami
5. Zasady planowania pracy KSE z uwzględnieniem systemu zarządzania generacją rozproszoną.

5. PODSUMOWANIE

Obserwowany obecnie szeroki rozwój generacji rozproszonej w Polsce jest między innymi wynikiem promowania przez Unię Europejską energii elektrycznej pochodzącej z rozproszonych źródeł energii, a w szczególności ze źródeł odnawialnych. Pojawienie się generacji rozproszonej na dużą skalę w systemie elektroenergetycznym jest ciągle zjawiskiem nowym i powoduje wiele problemów o charakterze technicznym oraz ekonomicznym. Pozyskanie generacji rozproszonej do celów sterowania pracą systemu elektroenergetycznego wymaga wprowadzenia odpowiednich i spójnych mechanizmów zarządzania. Opracowanie mechanizmów zarządzania generacją rozproszoną jest zadaniem bardzo trudnym i dotychczas nie zostało praktycznie kompleksowo rozwiązane. Obecnie liczne ośrodki naukowo-badawcze, często we współpracy z operatorami sieci dystrybucyjnej oraz operatorami sieci przesyłowej, prowadzą liczne projekty zmierzające do opracowania spójnych mechanizmów zarządzania generacją rozproszoną, które umożliwiłyby pozyskanie tego typu generacji na rzecz usług systemowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Ackermann T., Andersson G., Söder L., Distributed generation: a definition, *Electric Power Systems Research*, 57, 2001, pp. 195–204.
2. Paska J., Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.
3. Urząd Regulacji Energetyki, <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html>.
4. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Ministerstwo Gospodarki, przyjęta przez Radę Ministrów 10.11.2009.
5. Stabilizacja bezpieczeństwa energetycznego Polski w okresie 2008–2020 (z uwzględnieniem perspektywy 2050) za pomocą mechanizmów rynkowych, własnych zasobów i innowacyjnych technologii, praca zbiorowa pod red. J. Popczyka, Gliwice, 2008.
6. Słownik pojęć, <http://sloownik.cire.pl/?id=235>.
7. Nyeng P., Pedersen K.O.H. and Østergaard J., Ancillary services from distributed energy resources – perspectives for the Danish power system, IYCE 2007 Conference.
8. Porter D., Strbac G., Mutale J., Ancillary service provision from distributed generation, CIRED2005 18th International Conference on Electricity Distribution.
9. Rasolomampionona D.D., Robak S., Chmurski P., Tomasiak G., Przegląd istniejących mechanizmów DSR stosowanych na rynkach energii elektrycznej, *Rynek Energii*, nr 2 (87), 2010, s. 138–143.