

ŹRÓDŁA GENERACJI ROZPROSZONEJ W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Mirosław WŁAS¹,

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk
tel: +48 58 347 23 37 fax: +48 58 341 08 80 e-mail: m.wlas@ely.pg.gda.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono podstawy elementów systemu rozproszonej generacji. Wskazano na budowę systemu elektroenergetycznego wyposażonego w sterowane odbiory, źródła rozproszone, magazyny energii i układy kontroli napięcia FACTS. Renesans tych źródeł „pozasystemowych” (ang. non-utility generation – NUG) jest wynikiem głębokich przemian w sferach technologii, organizacji i finansowania, zarządzania i nowego spojrzenia na ochronę środowiska. Obecnie generacja rozproszona wychodzi naprzeciw procesom decentralizacji i prywatyzacji sektora energetycznego, ponadto postrzegana jest jako ważny składnik lokalnych rynków energii.

Słowa kluczowe: generacja rozproszona, mikrosieci, OZE.

1. WSTĘP

1.1. Rozwój energetyki niekonwencjonalnej

22 września 2010 r. Prezes Urzędu Regulacji Energetyki wydał pierwsze świadectwo pochodzenia energii z jednostki opalanej metanem, zwane fioletowym certyfikatem [1]. Nowy rodzaj świadectwa pochodzenia z kogeneracji wprowadzony został tegoroczną, styczniową nowelizacją ustawy Prawo energetyczne [2]. Z tego rodzaju wsparcia energii elektrycznej skorzystać mogą przedsiębiorcy wytwarzający energię elektryczną w wysokosprawnej kogeneracji w jednostce kogeneracji opalanej metanem uwalnianym i ujmowanym przy dołowych robotach górniczych lub gazem uzyskiwanym z przetwarzania biomasy. Oznacza to początek realizacji przez Rząd Polski podpisanego w marcu 2007 roku Pakietu Klimatycznego, który wprowadził obowiązek otrzymywania 15% energii ze źródeł odnawialnych do 2020 roku. Dodatkowo zobowiązani jesteśmy dyrektywami unijnymi (Dyrektywa 2009/28/KE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie wykorzystania energii z zasobów odnawialnych) do opracowania i akceptacji przez Komisję Europejską Krajowych Planów Działania OZE. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku [3] i Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010 – 2020 [4] to kolejne dokumenty przyjmowane przez Radę Ministrów, które mają wzmocnić bezpieczeństwo energetyczne

kraju. Duży nacisk w tych dokumentach kładzie się na rozwój generacji rozproszonej. Postęp technologiczny, który nastąpił w ciągu ostatnich lat, spowodował pojawienie się na rynku nowej gamy jednostek wytwórczych średniej i małej mocy, dostępnych najczęściej w wykonaniach modułowych. Źródła te są łatwe w montażu i charakteryzują się krótkimi cyklami inwestycyjnymi, ponadto pracują w sposób bezobsługowy. Zalety te sprawiają, że urządzenia te w wielu krajach postrzegane są jako atrakcyjna alternatywa dla dużych źródeł energii elektrycznej i ciepła. Dla źródeł energii posiadających zdolności współpracy z istniejącymi systemami elektroenergetycznymi stosuje się termin „generacja rozproszona” (ang. *distributed generation*), natomiast dla źródeł autonomicznych pracujących poza systemem czasami stosowane jest pojęcie – „generacja rozsiana” (ang. *dispersed generation*). Głównym problemem rozwoju nie jest technologia, a brak stabilności rozwiązań prawnych. System świadectw pochodzenia jest zagwarantowany do roku 2019, a to za krótko by uzyskać kredyty bankowe na inwestycje.



Rys. 1. Procentowe rozmieszczenie technologii OZE stan na 31.12.2009, źródło: PSEW na podstawie danych URE

1.2. Generacja rozproszona (GR)

Wytwarzanie rozproszone albo generacja rozproszona nie ma jeszcze powszechnie akceptowanej terminologii. Tak więc: według Grupy Roboczej 37.23 CIGRE (Working Group 37.23 CIGRE, Paris 1999) generacja rozproszona oznacza źródła o mocach nie przekraczających 50-100 MW według EPRI (Electric Power Research Institute), w USA górna granica źródeł zaliczanych do generacji rozproszonej wynosi 50 MW; w Wielkiej Brytanii – 100 MW; w Szwecji – 1,5 MW; w Nowej Zelandii – 5 MW. W warunkach polskich moc źródeł rozproszonych wynosi 50-100 MW, co wynika z pracy na sieć rozdzielczą do 110 kV.

Czasami w terminologii polskiej pojawiają się również określenia „zdecentralizowana”, „modułowa”, „lokalna”, czy „mała” generacja. Nazwy te charakteryzują podstawowe cechy tych źródeł, jakimi jest produkcja: energii w małej ilości w porównaniu z konwencjonalnymi elektrowniami, w pobliżu odbiorców (w sensie systemowym), w małych jak i izolowanych układach sieciowych, ponadto podłączonych do lokalnej sieci dystrybucyjnej.

1.3. Mikrosieci

Przykładem odbioru sterowalnego widzianego od strony dystrybutora jest tzw. mikrosieć. Mikrosiecią określa się zbiór odbiorników, źródeł GR, przekształtników energoelektronicznych do sterowania mocą bierną i napięciem (FACTS) oraz urządzeń magazynujących energię (baterie chemiczne, koła zamachowe oraz superkondensatory) przyłączonych do sieci niskiego lub średniego napięcia. Praca tych urządzeń jest ściśle kontrolowana za pomocą odpowiedniej platformy sterującej (najczęściej opartej o środowisko wieloagentowe). Mikrosieci mogą pracować zarówno na sieć energetyki zawodowej, jak również autonomicznie. Jej główne zadania można wymienić jako:

- minimalizacja kosztów mocy i energii - odpowiednie strategie sterujące pracą źródeł i odbiorników uwzględniające m. in. sprzedaż mocy i energii po maksymalnych cenach, kupno mocy i energii po minimalnych cenach, ultra krótkoterminową prognozę zapotrzebowania na moc i energię odbiorników,
- utrzymanie parametrów pracy - układy sterowania odpowiedzialne za bilans mocy mikrosieci, utrzymanie napięcia i częstotliwości, zapewnienie niezawodności zasilania oraz zabezpieczenie mikrosieci przed stanami pracy zakłóconej (zwarcia, przeciążenia, itp.);
- minimalizacja emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

2. ZALETY GENERACJI ROZPROSZONEJ

2.1. Typy technologii

Zdarza się, że generacja rozproszona jest łączona z pojęciem „odnawialnych źródeł” w systemie. Choć wykorzystanie odnawialnych źródeł energii jest w większości zaliczane do generacji rozproszonej, to nie należy pojęcia generacji rozproszonej wiązać tylko z energetyką odnawialną, ale ważne jest tutaj podkreślenie, iż generacja rozproszona to także generacja wykorzystująca paliwa konwencjonalne. Zatem do typowych technologii generacji rozproszonej zaliczyć należy:

- układy skojarzone oparte na turbinach gazowych (TG) i silnikach tłokowych (SST), silnikach Stirlinga,
- małe elektrownie wodne (MEW),
- elektrownie wiatrowe (EW),
- systemy z ogniwami fotowoltaicznymi (OF),
- elektrownie geotermiczne,
- układy heliologiczne,

- układy wykorzystujące: biomasę i odpady,
- układy wykorzystujące pływy, prądy, falowanie mórz oraz ciepło oceaniczne
- małe elektrownie atomowe
- układy z ogniwami paliwowymi (OP).

Rozwój źródeł rozproszonych wynika z szeregu zalet w obszarach: technicznym, ekonomicznym, eksploatacyjnym i ekologicznym.

2.2. Aspekty techniczne

Rozwój źródeł generacji rozproszonej o małej mocy przebiega w trzech kierunkach. Pierwszą grupę stanowią jednostki wykorzystujące paliwa kopalne (gaz ziemny) do produkcji w skojarzeniu energii elektrycznej i ciepła (chłodu). Drugą grupę stanowią jednostki wykorzystujące odnawialne źródła energii (energię wodną, słoneczną, wiatrową, geotermalną i biomasy). Trzecią generację jednostek stanowią jednostki z ogniwami paliwowymi (na wodór, metanol lub etanol) oraz małe elektrownie atomowe. Jednak realnym terminem wprowadzenia trzeciej generacji GR są lata 2020-2030. Trzeba podkreślić, że te małe jednostki skojarzone (ang. CHP – Combined Heat and Power) cechują się nowoczesnymi rozwiązaniami technicznymi, dzięki czemu posiadają: wysoką sprawność (80 – 90%) wykorzystania energii chemicznej pierwotnego nośnika energii, niezawodność, niewielkie gabaryty, niskie koszty inwestycyjne, bo wynoszące 200-400 USD/kW, modułową konstrukcję, która umożliwia szybki montaż.

2.3. Aspekty kosztowe

Jednym z podstawowych czynników konkurencyjności generacji rozproszonej na rynku energetycznym jest konkurencyjność kosztowa. Obliczenia wskazują, że koszty dostarczania energii ze źródeł generacji rozproszonej są znacznie niższe od kosztów energii ze źródeł scentralizowanych. Najważniejszą cechą źródeł rozproszonej jest ich ekwiwalent energetyczny odpowiadający jako równoważna moc zainstalowana w źródle konwencjonalnym, która zastępuje moc wprowadzoną przez źródła rozproszone, przy utrzymaniu zbliżonego poziomu niezawodności dostaw energii. W takim przypadku w warunkach zliberalizowanego rynku energii, źródła rozproszone okażą się prawdopodobnie mniej konkurencyjne. Z drugiej strony, źródła rozproszone mogą oferować większą elastyczność, także inwestycyjną. Koszty paliwa stanowią podstawowy składnik kosztu wytwarzania skojarzonego, stąd też podstawowym czynnikiem opłacalności inwestycji jest relacja ceny paliwa do cen sprzedaży energii. W tych warunkach małe źródła generacji rozproszonej mogą okazać się atrakcyjnym rozwiązaniem minimalizującym ryzyko inwestora. W ramach rozproszonej generacji oferuje się rozwiązania modułowe o niskich nakładach inwestycyjnych i elastyczne pod względem przyszłej lokalizacji.

2.4. Aspekty eksploatacyjne

Generacja rozproszona dzięki zbliżeniu się do odbiorcy cechuje się wyższą sprawnością ogólną oraz dostosowaniem parametrów do wymagań odbiorców. Istotną cechą jest elastyczność źródła, która dzięki modułowej konstrukcji jest łatwa do rozbudowy w wyniku wzrostu zapotrzebowania na energię. Jednostki generacji rozproszonej charakteryzują się sprawdzonymi technicznie rozwiązaniami o niskiej awaryjności. Trzeba mieć na uwadze, że generacja rozproszona z punktu widzenia bezpieczeństwa energetycznego całego systemu powoduje pewne problemy, które przy obecnych możliwościach sprzętowych i programowych systemów operatorskich i sieci informatycznych można łatwo rozwiązać.

2.5. Aspekty środowiskowe

W generacji rozproszonej małe układy skojarzone (CHP) oraz odnawialne źródła energii (OZE), ze względów ekologicznych – a przede wszystkim poziomu emisji do środowiska – wykazują zalety. Technologie wykorzystujące OZE są bądź nieemisyjne, bądź charakteryzują się krótkimi cyklami czasowymi procesów emisja – pochłanianie (neutralizacja). Wytwarzanie skojarzone (kogeneracja) może znacznie przyczynić się do redukcji emisji gazów cieplarnianych, np. emisja CO₂ na jednostkę energii wytwarzanej w skojarzeniu może być ograniczona o 90% w stosunku do elektrowni konwencjonalnej.

3. NOWE ROZWIĄZANIA GENERACJI ROZPROSZONEJ

3.1. Magazyny energii

Stosunkowo nowe rozwiązanie w technologii magazynowania energii stanowią tzw. akumulatory wanadowe (VRB). Składa się on z dwóch komór oddzielonych od siebie membraną. Komory te stanowią elektrody: dodatnią i ujemną. Do obydwu tłoczony jest wodny roztwór jonów wanadu w kwasie siarkowym, tyle tylko, że do każdej innej, zawierający wanad o innym stopniu utlenienia. W wyniku procesów elektrochemicznych, które zachodzą w roztworach, na elektrodzie dodatniej pojawiają się jony dodatnie, a na ujemnej – ujemne. Roztwory tłoczone są do baterii w obiegu zamkniętym z dwóch osobnych zbiorników. Po rozładowaniu akumulatora można go ponownie naładować. Przykładem magazynu energii opartego na akumulatorze wanadowym jest system 6MWh VRB-ESS firmy VRB Prudent Energy [7]. Podstawowe parametry tego systemu to:

- znamionowa moc wyjściowa: 4 MVA,
- czas generacji mocy znamionowej: 1,5 h,
- sprawność baterii: 75%,
- znamionowa liczba cykli ładowania/rozładowania: 10000.

Magazyny energii mogą stabilizować pracę źródeł niespokojnych takich jak elektrownie wiatrowe i słoneczne.

3.2. Małe reaktory jądrowe

Coraz częściej mówi się, o rychłym nadejściu ery małych osiedlowych elektrowni atomowych. Byłyby one przywożone na miejsce w kilku zaledwie modułach i montowane jak z klocków w bardzo krótkim czasie. To powoduje, że prąd z małych elektrowni jądrowych jest tańszy od tego z dużych. Mniejsze są także koszty jego przesyłania, a straty z

tego wynikające zminimalizowane. Przy tym mniejszy, wcale nie znaczy mniej bezpieczny. Energetyka jądrowa jest jedną z najbezpieczniejszych technologii stworzonych przez człowieka. Tzw. pasywne systemy zabezpieczeń - w które wyposażane są zarówno konstrukcje małe, jak i duże - zadziałają nawet wtedy, gdy w czasie awarii elektrownia nie będzie dysponowała zapasową energią elektryczną. Dodatkową redukcję kosztów prądu produkowanego przez małe elektrownie można uzyskać, wybierając projekt elektrowni bezobsługowej. Najczęściej zakopany w ziemi reaktor pracuje przez kilka dziesiątek lat bez konieczności wymiany wypalonego paliwa na nowe. Po tym czasie moduł z reaktorem (i wypalonym paliwem) wraca do producenta, a w miejscu, w którym pracował, można zainstalować nowy - z paliwem na następne kilkadziesiąt lat. Po reaktorze atomowym, składowisku radioaktywnych odpadów i całej infrastrukturze nie ma wtedy śladu. Takie rozwiązania są już realizowane. Na przełomie 2004 i 2005 roku rada miasta Galena na Alasce w USA zgodziła się na budowę reaktora atomowego Toshiba 4S (Super Safe, Small and Simple). Reaktor o wadze około 60 ton i wysokości nieco ponad 20 m ma być w zasadzie cały wkopany w ziemię. Razem z nim pod powierzchnią gruntu będą znajdowały się wymiennik ciepła, generator pary, pompy i mechanizm kontrolny. Ponad gruntem będą zainstalowane jedynie turbiny. Reaktor będzie miał moc około 10 MW, co całkowicie zaspokoi potrzeby mieszkańców Galeny, i po wypełnieniu paliwem będzie mógł pracować 30 lat. Jedna kilowatogodzina wyprodukowana w japońskiej elektrowni Toshiba 4S może kosztować zaledwie 5 centów.

4. GENERACJA ROZPROSZONA W KRAJOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

4.1. Przyłączenie źródeł

Układy elektryczne wyprowadzenia mocy i zasilania odbiorników potrzeb własnych dla źródeł GR zależą od wielu czynników, przede wszystkim od: systemu pracy źródła, wielkości mocy generatorów i całego zespołu wytwórczego, rodzaju generatorów oraz dostępnej aparatury i urządzeń. Przy czym, pod pojęciem systemu pracy źródła należy rozumieć:

- pracę źródła na sieć wydzieloną (wydzielone odbiory zewnętrzne i potrzeby własne zespołu wytwórczego),
- współpracę źródła z siecią rozdzielczą.

Tablica 1. Charakterystyka wybranych technologii [5]

Technologia	Moc jednostek [kW]	Sprawność elektryczna [%]	Jednostkowe nakłady inwestycyjne [Euro/kW]	Emisja CO ₂ [kg/(MWh) ^b]	Czas budowy [miesiące]
Silniki diesla	5 ÷ 10 000	25 ÷ 45	550 ÷ 1350	670 ÷ 690	12
Silniki gazowe	9 ÷ 5 000	28 ÷ 42	250 ÷ 600	500 ÷ 620	12
Turbiny gazowe	500 ÷ 10 000	30 ÷ 40	200 ÷ 400	520 ÷ 600	12
Mikroturbiny	25 ÷ 400	30 ÷ 35	500 ÷ 7500	520 ÷ 600	12
Ogniwa paliwowe	1 ÷ 1 000	35 ÷ 54	2000 ÷ 8000	430 ÷ 490	12
Małe elektrownie wodne	5 ÷ 5 000	80 ÷ 90	2500 ÷ 6600	3,5 ÷ 32	36
Systemy fotowoltaiczne	1 ÷ 100	10 ÷ 18	4100 ÷ 6900	40 ÷ 110	1
Systemy heliometryczne	~10 000	40 ÷ 45	4000 ÷ 6000	135	24
Farmy wiatrowe na lądzie	2MW ÷ 100 MW	35 ÷ 45	1000 ÷ 2000	7 ÷ 30	12
Farmy wiatrowe na morzu	50MW ÷ 300MW	40 ÷ 50	1750 ÷ 2750	9 ÷ 22	24
Elektrownie na biomasę	1000 ÷ 5 000	22 ÷ 26	2900 ÷ 5100	42	24
Elektrownie biogazowe	50 ÷ 5 000	29 ÷ 33	2900 ÷ 5800	245	12
Elektrownie na biogaz wysypiskowy	500 ÷ 5 000	32 ÷ 36	1400 ÷ 2000	6	12
Małe reaktory atomowe	~10 000	36 ÷ 42	2000	42	12

a) – ceny z roku 2005

b) – emisja określona z uwzględnieniem całego cyklu życia obiektu

Względy konstrukcyjne generatorów synchronicznych i asynchronicznych ograniczają ich moc na napięciu 0,4 kV do kilku megawatów, jednak moc ta jest zdecydowanie ograniczona przez urządzenia rozdzielcze, aparaty łączeniowe oraz linie przesyłowe 0,4 kV (ze względu na obciążalność długotrwałą i dopuszczalne spadki napięcia). Przyjmuje się, że górna granica sumarycznej mocy generatorów pracujących na szyny rozdzielnic 0,4 kV wynosi ok. 1000 kVA (ze względu na dopuszczalne warunki wytrzymałości zwarciowej rozdzielnic nn) oraz 1600 kVA w przypadku gdy generator pracuje w bloku z transformatorem (bez stosowania rozdzielnic po stronie nn gdzie ograniczeniem jest największą mocą typowego transformatora SN/nn). W przypadku źródeł GR wytwarzających prąd stały lub na wyjściu (OP oraz OF) lub zmienny z prędkością (EW), moc oddawana jest zdeterminowana przez moce stosowanych przekształtników energoelektronicznych (falowników generujących napięcie 400/230V AC). Sposób powiązania określonego typu źródła z siecią należy uzgodnić z właściwą spółką dystrybucyjną i uzyskać warunki przyłączenia tegoż źródła do sieci [8]. Główną istotą dokonywanych przez spółkę dystrybucyjną uzgodnień jest zachowanie odpowiednich parametrów pracy sieci, tzn. wartości napięć, mocy zwarciowych oraz wskaźników jakości energii. Źródła GR, wytwarzające moc przy napięciu stałym lub przy zmiennej częstotliwości napięcia, przyłącza się poprzez odpowiedni przekształtnik do sieci nn, a także do sieci SN dodatkowo poprzez transformator. Warto przy tym powiedzieć, że przekształtniki w elektrowniach wiatrowych i ogniowach fotowoltaicznych mogą pełnić rolę filtrów aktywnych i statycznych układów kompensacji mocy biernej STATCOM. Przy odpowiednich umowach z energetyką zawodową źródła GR mogą pełnić rolę regulacji napięcia i mocy biernej w systemie elektroenergetycznym.

4.2. Zmiana wymagań wobec systemów IT

W celu stworzenia mikro-sieci typu smartgrid konieczna jest modernizacja używanych narzędzi informatycznych oraz stworzenie i wdrożenie nowych narzędzi planowania i prowadzenia ruchu systemów przesyłowych i dystrybucyjnych. Potrzeba gromadzenia, przetwarzania i analizowania w czasie rzeczywistym bardzo dużych ilości danych powoduje, że narzędzia informatyczne w sieci dystrybucyjnej muszą być w pełni skalowane i autonomiczne, w minimalnym stopniu wymagające ingerencji człowieka. Scentralizowane hierarchiczne systemy muszą być stopniowo zastępowane w obszarze technicznym przez rozproszone, niezależnie działające lokalne systemy IT oparte na systemach czasu rzeczywistego [6].

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Ustawodawca polski musi zwrócić specjalną uwagę na systemy generacji rozproszonej w celu identyfikacji i usunięcia barier rozwojowych. Dla rozwiązania problemu sugeruje się następujące działania:

- wspieranie rozwoju standardów przyłączy do sieci dla rozproszonych źródeł,
- podział źródeł GR na niespokojne i stabilne,
- wspieranie wysiłków dla przezwyciężenia problemów regulacyjnych, blokujących zintegrowane rozwiązania łączące efekty zarządzania popytem i podażą,
- zbadanie możliwości wykorzystania źródeł do regulacji napięcia i mocy biernej oraz zasilania rezerwowego w celu obniżenia zapotrzebowania systemu w warunkach zagrożenia stanami awaryjnymi.

Rozproszona generacja może być postrzegana jako zagrożenie dla spółek dystrybucyjnych i wytwórców. Niesie ze sobą jednak daleko więcej możliwości rozwoju dla branży energetycznej (i jej klientów) niż zagrożeń. Operatorzy i właściciele sieci rozdzielczej mogą skorzystać z lokowania rozproszonych źródeł generacji w miejscach największych ograniczeń przesyłowych, unikając w ten sposób kosztownych modernizacji sieci. Producenci polscy urządzeń energetycznych poprzez inwestycje w nowe technologie mogą zwiększyć swój udział w rynku. A my, odbiorcy energii elektrycznej, mamy szansę na zmniejszenie rachunku..

6. BIBLIOGRAFIA

1. http://www.ure.gov.pl/portal/pl/424/3714/Pierwszy_fioletowy_certyfikat_wydany.html
2. Nowelizacja Prawa Energetycznego – Ustawa z dnia 10 stycznia 2010 Dz. U. Nr 21 Poz. 104
3. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku – Załącznik 3 – Program Działań Wykonawczych na lata 2009-2012 (Rada Ministrów 10.11.2009)
4. Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010 – 2020 (Rada Ministrów 13.07.2010)
5. Paska J.: Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, warszawa 2010, ISBN 978-83-7207-863-6
6. IEC 61850-7-420 Communication systems for distributed energy resources
7. <http://www.pdenery.com/> - strona producenta akumulatorów wanadowych Prudent Energy
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz.U. Nr 93 z dn. 29.05.2007r., poz. 623)

DISTRIBUTED GENERATION IN POWER SUPPLY SYSTEM

Key-words: distributed generation, microgrid, RES

This paper explores some aspects of use distributed generation in power systems. Application of individual distributed generators can cause as many problems as it may solve. A better way to realize the emerging potential of distributed generation is to take a system approach which views generation and associated loads as a subsystem or a "microgrid." The sources can operate in parallel to the grid or can operate in island, providing utility power station services. The interconnection of large amounts of non-traditional generation however causes problems in a network designed for 'conventional' operation. The use of power electronics interfaces and the 'bundling' of micro-generation and loads into so-called microgrids, offers a potential solution.