

*system elektroenergetyczny, generacja rozproszona,  
sieci inteligentne*

Anna KOWALSKA-PYZALSKA\*

## **KONCEPCJA SMART GRID SZANSĄ DLA ROZWOJU GENERACJI ROZPROSZONEJ**

Współczesna energetyka zmaga się różnymi problemami i wyzwaniem, takimi jak m.in. kurczące się zapasy paliw kopalnych, przestarzałe duże konwencjonalne elektrownie, nieefektywne i często zawodne sieci przesyłowe, a z drugiej strony rosnące zapotrzebowanie na energię i wymagania dotyczące jakości usług odbiorców końcowych oraz zaostrzone normy dotyczące emisji spalin. Jednocześnie w systemie elektroenergetycznym na coraz większą skalę pojawiają się rozproszone źródła energii, które jednak poza oczywistymi zaletami, niosą też duże utrudnienia i zagrożenia dla tradycyjnych sieci elektroenergetycznych. Na przeciw tym problemom wychodzi koncepcja inteligentnych sieci elektroenergetycznych, która może stać się szansą dla małych, rozproszonych źródeł energii. W artykule zostaną omówione główne cechy i zalety sieci inteligentnych w kontekście rozwoju generacji rozproszonej.

### **1. WYZWANIA WSPÓŁCZESNEJ ENERGETYKI**

W ostatnich dekadach w sektorze energetyki zachodzą fundamentalne zmiany związane z m.in. liberalizacją i deregulacją sektora energetyki, wprowadzaniem mechanizmów rynkowych, stopniowym wyczerpywaniem się konwencjonalnych paliw, rozwojem nowych technologii, zwiększaniem się zapotrzebowania na energię oraz międzynarodowymi regulacjami prawnymi nakazującymi drastyczne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz zwiększenie efektywności energetycznej, niezawodności zasilania i bezpieczeństwa energetycznego. Na tle tych strategicznych zmian w energetyce na coraz szerszą skalę rozwijają się źródła energii o średniej i małej mocy, zlokalizowane blisko odbiorców. Zarówno niezależni wytwórcy energii, jak i małe poza systemowe źródła tworzą nowy trend w energetyce, zwany generacją rozproszoną (ang. *DG – distributed generation*). Stopniowo następuje więc przejście od

---

\* Politechnika Wroclawska, Wydział Informatyki i Zarządzania, Instytut Organizacji i Zarządzania, ul. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, e-mail: anna.kowalska@pwr.wroc.pl

tradycyjnych systemów energetycznych, gdzie energia jest wytwarzana centralnie w ogromnych elektrowniach zawodowych i dostarczana do odbiorców za pomocą sieci przesyłowych wysokiego napięcia i sieci rozdzielczych średniego i niskiego napięcia do systemów zdecentralizowanych, gdzie dominuje dwukierunkowy przepływ energii i informacji i gdzie znaczącą rolę odgrywają rozproszone źródła energii [8, 10, 21, 23]. Współpraca z wieloma rozproszonymi źródłami energii o różnych parametrach technicznych, niepewnych wielkościach produkcji energii, często zależnych od warunków zewnętrznych (np. od siły wiatru, nasłonecznienia) utrudnia jednak sterowanie i monitorowanie pracy całego systemu elektroenergetycznego i stanowi ogromne wyzwanie dla energetyków [8].

Nowe uwarunkowania strategiczne w energetyce oraz obserwowany w ostatnich latach bardzo szybki rozwój w dziedzinach energoelektroniki, automatyki, technik informatycznych i komunikacyjnych dały impuls do powstania koncepcji inteligentnych sieci elektroenergetycznych, tzw. sieci Smart Grid.

W kolejnych rozdziałach zostaną omówione pokrótce wyzwania, wiążące się z rozwojem generacji rozproszonej oraz zostaną wskazane rozwiązania, jakie oferuje koncepcja inteligentnych sieci w odpowiedzi na te zagrożenia.

## 2. ROZWÓJ GENERACJI ROZPROSZONEJ

Trwający od lat bardzo szybki rozwój technologii przyczynił się do burzliwego rozwoju rozproszonych źródeł energii, w tym małych jednostek wytwórczych o mocy do kilku kW oraz większych obiektów wytwórczych o mocy nawet do kilkudziesięciu MW, przyłączonych na ogół do sieci rozdzielczej. Generację rozproszoną stanowią najczęściej źródła produkujące energię elektryczną ze źródeł odnawialnych lub niekonwencjonalnych, jak również w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła oraz zasobniki energii [8]. Istotą generacji rozproszonej, jak pisze [7] jest nie bezwzględna wartość generowanej mocy, ale usytuowanie generacji w stosunku do sieci elektroenergetycznej i pozostałych odbiorców, czyli w lokalizacjach blisko miejsca końcowego odbioru energii. Źródła te, dzięki lokalizacji blisko miejsca poboru mocy, mogą korzystnie oddziaływać na pracę sieci elektroenergetycznej m.in. poprawiać poziom napięcia, zmniejszać straty mocy czy redukować potrzebę kosztownych inwestycji w rozbudowę sieci przesyłowych. Z drugiej strony rozproszone źródła energii, szczególnie te zależne od warunków atmosferycznych, jak np. elektrownie wiatrowe, mogą poważnie zakłócić pracę sieci elektroenergetycznej, poprzez do końca nieprzewidywalną wielkość energii oddawanej przez te urządzenia w funkcji czasu, a tym samym wpływać negatywnie na lokalny poziom i jakość napięcia (wyższe harmoniczne, migotanie napięcia) oraz na warunki zwarciovowe. Zwiększenie wytwarzania w małych elektrowniach to także zwiększenie komplikacji struktury sieci, co jednocześnie komplikuje automatykę zabezpieczeniową i procedury eksploatacji systemów dystrybucyjnych.

W tabeli 1 zebrano korzyści i koszty, jakie rozproszone źródła energii mogą powodować w systemie elektroenergetycznym (SE).

Tabela 1. Korzyści i koszty generacji rozproszonej dla systemu elektroenergetycznego [19]  
Table 1. Benefits and cost of distributed generation for the power system [19]

	Korzyści dla SE	Koszty dla SE
Związane z systemem elektroenergetycznym	Zmniejszenie konieczności rozbudowy lub wzmocnienia sieci (dzięki umiejscowienia DG blisko odbiorców) Zmniejszenie kosztów operacyjnych i utrzymania sieci dystrybucyjnych Zmniejszenie ograniczeń przesyłowych Zwiększenie niezawodności (zmniejszenie obciążenia sieci)	Koszty przyłączenia DG do systemu Koszty opomiarowania (część kosztów ponosi właściciel DG, część operator SE) Koszty wzmocnienia i rozbudowy systemu wywołane instalacją nowych jednostek DG Dodatkowe koszty planowania Koszty transakcyjne np. administracyjne
Związane z energią elektryczną	Udział w pokrywaniu zapotrzebowania w szczycie, rezerwa mocy, udział w pokryciu mocy bilansowania Elastyczne warunki pracy (m.in. krótki okres uruchamiania, możliwość pracy tylko w szczycie) Wzrost bezpieczeństwa dostaw (m.in. poprzez bilansowanie przy wykorzystaniu narzędzi ICT) Uniknięcie nadwyżek mocy lub/i zmniejszenie rezerwy mocy w stosunku do systemów scentralizowanych Mniejszy wymagany jednostkowy koszt inwestycji	Koszt rezerwowania mocy (szczególnie przy źródłach stochastycznych) Koszt bilansowania w zależności od charakteru źródła Koszty dodatkowych usług systemowych Koszt dysponowania jednostką w przypadku źródła sterowalnego

Wpływ generacji rozproszonej na pracę sieci elektroenergetycznej w dużej mierze zależy od jego parametrów technicznych i od lokalizacji źródła w sieci. Obecność tych źródeł w systemie, szczególnie na szeroką skalę, może być ogromną szansą dla poprawy bezpieczeństwa energetycznego, ale także zagrożeniem związanym z niedostosowaniem współczesnych systemów elektroenergetycznych do sterowania licznymi, zróżnicowanymi źródłami energii. W tabeli 2 zebrano wyzwania, jakie wiążą się z masowym zwiększaniem udziału DG w systemie elektroenergetycznym.

Udział generacji rozproszonej w tzw. energy-mix będzie na pewno wykazywał tendencję rosnącą. Świadczą o tym m.in. oszacowania Międzynarodowej Agencji Energetycznej (ang. IEA – *International Energy Agency*), według której konsumpcja energii elektrycznej w Europie będzie wzrastać rocznie średnio o 1,4% do 2030 roku. Natomiast udział OZE w wytwarzaniu energii elektrycznej w Europie podwoi się z 13% obecnie do 26% w 2030 roku [3]. Według badań Komisji Europejskiej, dzięki politycznym bodźcom i regulacjom prawnym oraz ogromnemu postępowi technologicznemu w latach 2000–2030 w krajach UE nastąpi wzrost wykorzystania OZE aż o 74%, a już przed 2020 roku OZE będą drugim najważniejszym po energetyce ja-

drowej źródłem energii wykorzystywanym w Unii Europejskiej [5]. Dlatego niezbędne staje się przystosowanie sieci elektroenergetycznych do obecności generacji rozproszonej na tak dużą skalę.

Tabela 2. Wyzwania związane z wpływem generacji rozproszonej na różne obszary pracy systemu elektroenergetycznego [13]  
Table 2. Challenges of the impact of DG on the various aspects of the power system [13]

Obszar	Wyzwanie
Niezawodność systemu	Zależnie od udziału generacji rozproszonej, rodzaju jednostek i ich charakterystyk niezawodnościowych oraz przyszłych rezerw mocy w systemie jego niezawodność może zmaleć lub wzrosnąć.
Regulacja częstotliwości	Może zaistnieć potrzeba stosowania lokalnych urządzeń do regulacji częstotliwości, a także mogą być potrzebne nowe techniki utrzymywania częstotliwości w połączonych systemach elektroenergetycznych.
Sterowanie systemu	Przy stosowaniu rozproszonych systemów sterowania mogą wystąpić konflikty z nadrzędnymi systemami sterowania.
Modelowanie systemu	Obecnie stosowane metody analizy systemu wykorzystują założenia, które mogą nie być aktualne przy znaczącym udziale generacji rozproszonej – może okazać się konieczne opracowanie nowych metod i narzędzi do analiz (np. stabilności).
Planowanie rozwoju	Przy dużym udziale generacji rozproszonej mogą być potrzebne nowe metody i narzędzia do planowania rozwoju systemu (np. planowanie w ujęciu regionalnym).
Prognozowanie obciążenia	Stosowane metody powinny umożliwiać uwzględnienie zwiększonego udziału generacji rozproszonej – należy oczekiwać szerszego wykorzystywania metod sztucznej inteligencji.
Planowanie remontów, dobór składu jednostek i rozdział obciążenia	Obecnie stosowane metody należy zweryfikować i ewentualnie zmodyfikować, tak aby uwzględnić wprowadzanie źródeł rozproszonych do systemu.
Bezpieczeństwo pracy systemu	Należy odpowiednio zmodyfikować narzędzia do oceny bezpieczeństwa pracy systemu (np. uzupełnić listę potencjalnych zakłóceń o awarie źródeł rozproszonych).
Jakość energii elektrycznej	Należy uwzględnić występowanie po stronie źródeł systemu napędów o zmiennej prędkości oraz urządzeń energoelektronicznych (np. falowniki). Potrzebne będą nowe narzędzia do analizy i sterowania jakością energii elektrycznej w systemie.
Automatyka zabezpieczeniowa	Występowanie źródeł rozproszonych w sieciach rozdzielczych (np. na końcach linii promieniowych) skomplikuje zagadnienia doboru i koordynacji zabezpieczeń.

Ponieważ prognozy przewidują, że DG będą stanowiły główne źródła energii, pojawia się więc naturalne pytanie, jak wykorzystać atuty rozproszonych źródeł energii, jednocześnie minimalizując zagrożenia, jakie wiążą się z tymi generatorami? Odpowiedzią na to pytanie są rozwiązania oparte na inteligentnych sieciach elektroenergetycznych czyli tzw.

Smart Grid (SG). Zdaniem Komisji Europejskiej [3] Smart Grid jest konieczną odpowiedzią na wyzwania ekologiczne, społeczne i polityczne związane z dostawą energii. Innymi słowy, aby uczynić sieć bardziej nowoczesną i niezawodną oraz umożliwić jej współpracę z wieloma rozproszonymi zasobami energii, obejmującymi źródła, zasobniki energii i odbiory regulowane, konieczne jest by sieć była inteligenta (ang. *smart*).

### 3. KONCEPCJA SMART GRID

Smart Grid to koncepcja opisująca integrację systemu elektroenergetycznego w obszarze generacji, przesyłu i dystrybucji energii poprzez wykorzystanie zaawansowanych narzędzi informatycznych i komunikacyjnych ICT (ang. *Information and Communication Technology*) w celu wymiany danych, usług i transakcji między wszystkimi podmiotami na rynku energii [17]. Jak pisze [21], koncepcja SG polega na współdziałaniu odbiorców, dystrybutorów i wytwórców energii elektrycznej oraz producentów urządzeń domowych, dostawców technologii i naukowców dla osiągnięcia wspólnego celu, jakim jest poprawa efektywności energetycznej, a w tym obniżenie kosztów oraz zintegrowanie rozproszonych źródeł energii.

SG nie ma międzynarodowo akceptowanej definicji tego pojęcia. W USA poprzez SG rozumie się transformację energetyki od zcentralizowanej, opartej na wytwórcach systemowych, do systemu zdecentralizowanego, gdzie dużą rolę odgrywa aktywny odbiorca, dzięki wykorzystaniu na szeroką skalę technologii ICT [2, 22]. Z kolei w Europie SG odnosi się głównie do rozwijania i efektywnego włączania do systemu elektroenergetycznego generacji rozproszonej, na niespotykaną dotąd skalę [2, 3]. Na obu kontynentach potwierdza się jednak konieczność rozwijania i wdrażania idei SG w celu sprostania współczesnym wymogom stawianym energetyce.

Kluczowym aspektem SG jest zapewnienie zróżnicowania i zindywidualizowania poziomów jakości dostarczanej energii, zgodnie z potrzebami klienta między innymi poprzez zastosowanie zaawansowanych układów energoelektronicznych, np. FACTS [11]. Dodatkowym rdzeniem idei SG jest rozszerzenie funkcjonalności usług świadczonych przez dostawcę energii na rzecz odbiorcy poprzez inteligentne opomiarowanie i fakturowanie (np. liczniki dwukierunkowe – AMI, zmienność ceny konsumowanej energii w czasie), zarządzanie energią (EMS) oraz monitorowanie warunków jej dostawy [11]. Jak podkreślają [1, 11], takie „inteligentne” wyposażenie daje odbiorcom możliwość uczestnictwa w grze rynkowej oraz możliwość kontrolowanej indywidualnej generacji i magazynowania energii. Zdolność interakcji z siecią zasilającą umożliwia bardziej precyzyjne zawierania kontraktów na dostawę energii lepiej dostosowanych do wymagań i potrzeb wszystkich stron. Jednym z etapów w tym procesie jest budowa, na bazie zainstalowanych mierników, rozproszonych systemów monitorowania stanu sieci elektroenergetyki zawodowej i/lub sieci przemysłowych. Należy więc wykorzystać wszystkie osiągnięcia technologiczne do: wprowadzenia kontroli na po-

ziomie pojedynczych źródeł, obciążeń, zasobników, przewidywania zapotrzebowania i generacji energii w czasie rzeczywistym na poziomie sieci dystrybucyjnej oraz zarządzania popytem DSM (ang. *Demand Side Management*) [23].

Współczesne systemy, takie jak SCADA (ang. *Supervisory Control And Data Acquisition*), nie gwarantują pracy i reakcji systemu na zakłócenia w czasie rzeczywistym. Aby sprostać wymaganiom konieczne jest, by system zarządzania energią (EMS) ewoluował w kierunku inteligentnego, w pełni zautomatyzowanego systemu kontroli, który będzie w stanie analizować, przewidywać i oceniać stan systemu na podstawie realnych danych [10]. W Smart Grid kluczowym elementem jest to, że dwukierunkowy przepływ danych i energii, komunikacja między podmiotami rynkowymi, monitorowanie sieci i infrastruktury odbywa się w czasie rzeczywistym [1, 6, 23]. Sieć ma być więc na tyle inteligentna, by dzięki zastosowanym narzędziom i wykorzystywanym algorytmom przewidywać konsekwencje zaistniałych sytuacji i podejmować decyzje, które będą maksymalizować korzyści lub minimalizować straty.

Dzięki wprowadzeniu idei SG do systemu elektroenergetycznego dokonuje się optymalizacja istniejących zasobów, planowanych inwestycji. W szczególności można wskazać następujące korzyści [10]:

- lepsze, bardziej efektywne wykorzystanie istniejącej infrastruktury a także uniknięcie inwestycji w nowe mocy wytwórcze oraz sieci przesyłowe i dystrybucyjne,
- redukcja całkowitych kosztów dostawy energii do końcowych odbiorców,
- poprawa jakości usług i bezpieczeństwa energetycznego,
- redukcja emisji CO<sub>2</sub> i innych zanieczyszczeń.

### 3.1. ATRYBUTY INTELIGENTNEJ SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

Słowem kluczowym w przypadku wdrażania idei SG jest **efektywność** w znaczeniu fizycznym jak i ekonomicznym. W przypadku systemu elektroenergetycznego poprzez jego efektywność rozumiemy przede wszystkim ograniczenie strat przy wytwarzaniu i przesyłaniu energii od źródła do odbiorcy, bezpieczeństwo energetyczne, pewność i jakość zasilania odbiorców oraz ochronę środowiska. Natomiast w sensie ekonomicznym chodzi głównie o rentowność wdrażanych rozwiązań i inwestycji, czy to poprzez ograniczenie ponoszonych nakładów (kosztów) czy też poprzez generowanie większych przychodów i zapewnienie dzięki temu zysków (lub oszczędności) dla podmiotów na rynku energii.

Według Komisji Europejskiej [3] Smart Grid to sieć, która:

- jest **elastyczna** przy spełnieniu potrzeb konsumenta w odpowiedzi na zmiany i oczekujące wyzwania,
- **dostępna** przy zapewnieniu współpracy z użytkownikami sieci, szczególnie OZE i wysokosprawną generacją lokalną o zerowej lub nieznacznej emisji CO<sub>2</sub>,

- **niezawodna** w zapewnieniu zwiększonego bezpieczeństwa i jakości zasilania zgodnie z wymaganiami ery cyfrowej,
- **ekonomiczna** w zapewnieniu najlepszych parametrów na drodze rozwiązań innowacyjnych, efektywności zarządzania energią oraz konkurencyjności i spełnieniu reguł regulacji w warunkach niedyskryminowania stron.

Ponadto, jak podaje [22], inteligentna sieć elektroenergetyczna powinna spełniać kilka poniższych kryteriów:

- przede wszystkim umożliwiać aktywny udział odbiorców energii,
- uwzględniać wszystkie rodzaje wytwarzania i magazynowania energii,
- umożliwiać udział nowych produktów, usług i rynków (np. energia z OZE, elektryczne samochody)
- zapewniać jakość dostaw energii oraz efektywność energetyczną,
- optymalizować wykorzystanie infrastruktury i działać jak najbardziej efektywnie przy jednoczesnej minimalizacji kosztów,
- przewidywać i odpowiadać na zakłócenia w systemie, mieć zdolność rekonfiguracji i samonaprawialności (tzw. *self-healing system*),
- być odporną na ataki (np. terrorystyczne) i naturalne katastrofy.

### 3.2. EWOLUCJA I ETAPY WDRAŻANIA SG

Poprzez obecność rozproszonych źródeł energii rozdzielcze sieci elektroenergetyczne: średniego i niskiego napięcia przestają być bierne i muszą sobie radzić z dwukierunkowym przepływem energii. Zmianie ulega cała dotychczasowa filozofia funkcjonowania ściśle zhierarchizowanych sieci elektroenergetycznych, gdzie energia płynęła sieciami wysokiego napięcia od elektrowni systemowych poprzez sieci średniego i niskiego napięcia do końcowych odbiorców. W tradycyjnym systemie energetycznym duzi wytwórcy energii nie mają dostępu do danych dotyczących zmieniającego się zapotrzebowania odbiorców na energię. Stąd sieć musi być technicznie przewymiarowana, by dostarczyć wystarczającą ilość energii zgodnie z przewidywaną wartością zagregowanego zapotrzebowania na nią. Taki system nie jest efektywny ekonomicznie ani technicznie. Dotychczas do celów sterowania i kontroli używa się systemu SCADA, który jednak nie zdaje egzaminu przy nowych uwarunkowaniach pracy systemu (obecność DG, wzrost wymagań odbiorców, przestarzała infrastruktura, etc.). Szczególnego wzmocnienia wymaga sieć rozdzielcza, gdzie najczęściej dochodzi do poważnych problemów technicznych w zakresie bezpieczeństwa i niezawodności pracy systemu (w tym do blackout'ów) [1, 6, 10].

Zdaniem [1, 10–12, 20] jednym z filarów wdrażania filozofii SG jest powszechne wprowadzenie nowoczesnej **infrastruktury pomiarowej** (ang. *Smart Metering*) po stronie odbiorców energii. Nie wystarczają już zautomatyzowane odczyty mierników jednokierunkowych AMR (ang. *Automated Meter Reading*). Obecnie uwaga jest zwrócona na wykorzystanie systemów AMI (ang. *Advanced Metering Infrastructure*)

zawierających m.in. systemy telekomunikacyjne, inteligentne algorytmy informacyjne, prognostyczne i decyzyjne. Dzięki nim można przekazywać dane pomiarowe dotyczące zużycia energii przez poszczególne urządzenia w funkcji czasu. Obecnie, jak podkreśla [10, 11], idea SG wychodzi ponad systemy indywidualnego opomiarowania i obejmuje ona sieci w wymiarze pojedynczych budynków – HAN (ang. *Home Area Networks*). Nareszcie możliwe stają się zastosowania zwiększające efektywność po stronie popytowej (na przykład sterowanie mocą czynną i bierną, automatyzacja) oraz funkcjonowanie umożliwiające przyszłościowe rozwiązania (na przykład możliwość integracji z siecią ogniw fotowoltaicznych oraz samochodów elektrycznych) [11]. Wspomniane technologie umożliwiają lepszą integrację źródeł wiatrowych, fotowoltaicznych, kogeneracyjnych oraz pojazdów elektrycznych (EVs, zarówno w wersji poboru energii, jak i jej oddawania do sieci) oraz niezbędnych technologii magazynowania energii, jak również efektywne zarządzania energią. Kolejnym etapem ewolucji na bazie systemów AMI, jak stwierdza [11], jest implementacja strategii rozproszonego sterowania i kontroli.

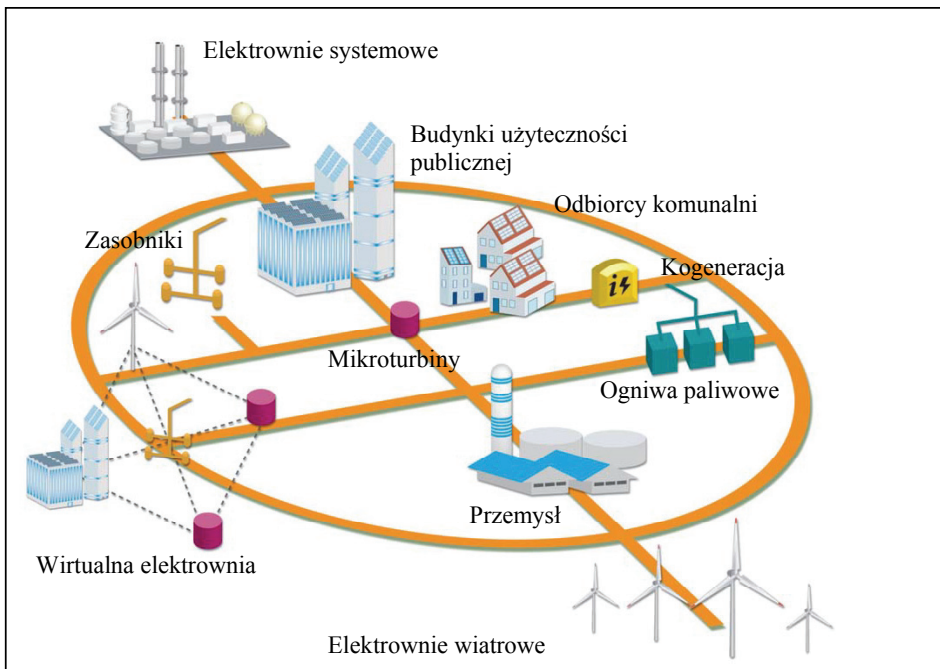
Według prognoz Komisji Europejskiej [3] sterowanie systemem elektroenergetycznym będzie łączyło centralne i rozproszone źródła energii. Kontrola nad rozproszonymi źródłami będzie miała formę tzw. **wirtualnych elektrowni** (ang. *Virtual Utility*), zwanych też **wirtualnymi przedsiębiorstwami** (ang. *VPP – Virtual Power Plant*) oraz **mikrosieci**, aby podolać integracji wszystkich rodzajów źródeł w sensie fizycznym i rynkowym [3, 10, 18, 21].

Mikrosieci są definiowane jako sieci niskiego napięcia z wieloma rozproszonymi źródłami energii, zasobnikami energii oraz obciążeniami podlegającymi kontroli (np. podgrzewacze wody czy klimatyzacja). Ich łączna zainstalowana moc waha się między kilkoma setkami kW do kilku MW. Mikrosieci na ogół pracują w połączeniu z siecią rozdzielczą, ale istnieje możliwość ich wydzielenia i pracy w trybie wyspowym, np. w przypadku zwarć w sieci rozdzielczej (system „plug & play”) [1, 23]. Z punktu widzenia sieci rozdzielczej mikrosieć jest traktowana jako zagregowane obciążenie lub generator i wykorzystywane jako źródło mocy lub usług systemowych. Poszczególne mikrosieci składałyby się więc z grupy odbiorców, urządzeń wytwarzających energię, nowoczesnego systemu zabezpieczeń, kontroli i monitoringu.

Wirtualne przedsiębiorstwo, wykorzystując współczesne łącza teleinformatyczne, kupuje lub dostarcza energię pochodzącą z różnych źródeł. Współpracowałoby także z innymi mikrosieciami sprzedając im np. nadmiar wytworzonej energii [18]. Dlatego podstawą takiego systemu jest prognoza zapotrzebowania, jak i wytwarzania energii. Bardzo istotną rolę odgrywa komunikacja pomiędzy różnymi elementami systemu: wytwórcami, odbiorcami i operatorami sieci poprzez nowoczesne systemy łączności. Celem takiego zdecentralizowanego systemu zaopatrzenia w energię jest wytwarzanie energii możliwie tam, gdzie jest ona potrzebna, lub wykorzystanie jej tam, gdzie jest wytwarzana [14, 18]. Przykładowy kształt, jaki może przyjąć system elektroenergetyczny, jest zaprezentowany na rysunku 1 [3].



W ostatnich latach popularyzowana jest także tzw. **samowystarczalność energetyczna** budynków komunalnych czy publicznych, właśnie m.in. poprzez zainstalowanie i wykorzystywanie w nich odnawialnych lub skojarzonych źródeł energii, połączonych z siecią na zasadzie plug&play. Tak zwane **inteligentne domy**, autonomiczne energetycznie, mają nie tylko zużywać jak najmniej energii, dzięki zastosowaniu odpowiednich, nowoczesnych technologii, ale także posiadają własne, niezależne źródła energii (np. mikroturbiny, ogniwa paliwowe czy ogniwa lub/i kolektory słoneczne) i traktują sieć jako rezerwowe źródło energii [1]. Dzięki inteligentnemu opomiarowaniu możliwym staje się samoczynne ograniczanie poboru mocy (i energii) w okresach szczytowego obciążenia bez naruszenia jakości życia mieszkańców. Po zaspokojeniu potrzeb energetycznych odbiorców, ewentualne nadwyżki energii mogą być sprzedawane przedsiębiorstwu energetycznemu i wprowadzane do sieci elektroenergetycznej. Tym samym odbiorca – konsument zyskuje nową rolę producenta energii, stając się tzw. **prosumentem** [16].



Rys. 1. System elektroenergetyczny według koncepcji Smart Grid [3]

Fig. 1. Power system according to the conception of Smart Grid [3]

Cyfrowy charakter SG pozwala na dużą elastyczność w zarządzaniu siecią [21]. Operator może zmienić ceny energii w zależności od popytu w danym czasie. W ten

sposób może wymuszać na odbiorcach oszczędność energii w czasie szczytowego zapotrzebowania na nią (obniżać tym samym szczyty zapotrzebowania). Realnym staje się więc zarządzanie popytem – DSM oraz zarządzanie energią – EMS (ang. *Energy Management System*). Z drugiej strony inteligentne urządzenia domowe mogą być tak zaprogramowane, by działały tylko wtedy, kiedy energia jest tania. Jest to bardzo korzystne dla odbiorców energii, ale także generuje oszczędności dla całego systemu energetycznego. SG nie może i nie powinna zastępować istniejącej sieci elektroenergetycznej [10], ale powinna pełnić względem niej funkcje komplementarne.

W tym celu istotne jest, by topologia sieci umożliwiała jej rozwój organiczny, wprowadzania innowacyjnych rozwiązań technicznych i pełną kompatybilność z istniejącymi systemami w zakresie transferu energii, technologii komunikacyjnych oraz ICT.

### 3.3. MIEJSCE I ROLA ROZPROSZONYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W INTELIGENTNEJ SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

W Polsce, według [15], udział zużycia energii brutto ze źródeł odnawialnych (ze wszystkich sektorów) w finalnym zużyciu energii końcowej brutto osiągnął w roku 2010 poziom ok. 8%. Na udział ten składa się zużycie energii ze źródeł odnawialnych na poziomie ok. 60 TWh przy całkowitym finalnym zużyciu energii brutto na poziomie ok. 750 TWh. Jak podaje [15], prawie 90% zużytej w 2010 r. energii ze źródeł odnawialnych to zielone ciepło. Składa się na nie, przede wszystkim, energia wytwarzana z biomasy stałej w źródłach nieprzyłączonych do sieci (ok. 95% wolumenu zielonego ciepła). Pozostała zielona energia cieplna generowana jest w sieciowych źródłach w oparciu o biomasę stałą oraz przez znajdujące coraz więcej nabywców pompy ciepła i kolektory słoneczne.

Według Dyrektywy UE 2009/28/WE z 2009 r. [4] udział OZE powinien wzrosnąć do 2020 roku do poziomu 20%, stąd należy wnioskować, że rozproszone źródła energii będą miały bardzo znaczącą rolę w systemie energetycznym. Koncepcja SG pozwoli natomiast na sprawne zarządzanie tymi źródłami, na ich pełniejszą, optymalną i efektywną technicznie i ekonomicznie integrację z systemem. Narzędzia, jakie wprowadza inteligentna sieć elektroenergetyczna (nowoczesne układy diagnostyki, sterowania, sieci teleinformatyczne, etc.) pozwolą na rozwiązanie problemów związanych z obecnością rozproszonych źródeł energii, a w tym: z dwukierunkowym przepływem energii i informacji, z nieprzewidywalną wielkością produkcji energii w czasie, z wysokimi kosztami utrzymania rezerw mocy w konwencjonalnych elektrowniach czy wreszcie z wpływem tych źródeł na niezawodność i bezpieczeństwo energetyczne (awarie, blackouty). Według powszechnej opinii sieci inteligentne są szansą opanowania kaskadowego rozwoju zdarzeń awaryjnych [3, 6, 22], czyli z jedną z największych bolączek współczesnych sieci.

#### 4. POCZĄTKI WDRAŻANIA IDEI SMART GRID W POLSCE

W Polsce także trwają dyskusje związane z wprowadzaniem rozwiązań typu SG do krajowej energetyki. Na początek, zgodnie z Dyrektywą 2009/72/WE dotycząca wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej, każde państwo należące do UE ma obowiązek wdrożenia inteligentnych systemów pomiarowych, które pozwolą na aktywne uczestnictwo konsumentów w rynku dostaw energii elektrycznej. Dyrektywa uzależnia obowiązek wdrożenia inteligentnych systemów pomiaru od przeprowadzania ekonomicznej oceny wszystkich długoterminowych kosztów i korzyści dla rynku oraz indywidualnego konsumenta lub od oceny, która forma inteligentnego pomiaru jest uzasadniona z ekonomicznego punktu widzenia i najbardziej opłacalna oraz w jakim czasie wdrożenie jest wykonalne. Ocena ma zostać przeprowadzona do 3 września 2012. Obowiązek przygotowania analizy spoczywa w przypadku Polski na Ministerstwie Gospodarki. W przypadku pozytywnej oceny – do 2020 r. w inteligentne systemy pomiarowe ma być wyposażonych, co najmniej 80% odbiorców. Jak podkreśla prezes URE [20] konieczne jest jak najszybsze dostosowanie i wprowadzenie odpowiednich regulacji prawnych [4, 20], a w szczególności określenie na kim spoczywają obowiązki, koszty i korzyści z instalacji inteligentnych urządzeń pomiarowych, zdefiniowanie „inteligentnego urządzenia pomiarowego”, jego funkcjonalności i parametrów technicznych. Pierwszym dokumentem o znaczeniu strategicznym, odpowiadającym na część powyższych pytań jest Stanowisko Prezesa URE [20]. W Stanowisku Prezes URE podkreśla także wielokrotnie znaczenie i rolę generacji rozproszonej oraz to jaką szansą dla rozwoju DG jest wprowadzenie powszechnego opomiarowania. Z drugiej strony podkreśla także zalety DG dla systemu elektroenergetycznego. Pisze m.in.: (...) rozwój generacji rozproszonej przyczynić się może do poprawy bezpieczeństwa odbiorców w wymiarze technicznym (ograniczenie ryzyka braku zasilania), ekonomicznym (uniknięcie inwestycji) oraz ekologicznym (ze względu na udział OZE w DG) [20]. Tym samym jest to najbardziej efektywna droga do spełnienia wymagań Pakietu 3x20 w każdym z jego aspektów (wzrostu udziału OZE w generacji energii, wzrost efektywności energetycznej, ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>).

#### 5. PODSUMOWANIE

W ostatnich latach poszukiwane są rozwiązania pozwalające na implementację idei SG po jak najmniejszym koszcie, przy jak największej stopie zwrotu i bez zakłóceń w dostarczaniu usług [9, 12, 23]. Jak pisze [10, 20] radykalna zmiana parametrów niezawodności i bezpieczeństwa sieci, której należy oczekiwać w wyniku wdrażania idei Smart Grid, winna okazać się szczególnie efektywna w kategorii kosztów-korzyści (ang. *cost-benefit analysis*). Aby to było możliwe, konieczne jest wybranie właściwego modelu wdrażania SG, tak by wykorzystać potencjał istniejącej sieci, oraz

by sukcesywnie wdrażać najbardziej efektywnie ekonomicznie, innowacyjne rozwiązania techniczne.

W USA wyliczono, że modernizacja sieci elektroenergetycznych wdrażająca systemy SG pozwoliłaby zaoszczędzić w ciągu następnych 20 lat od 46 do 117 miliardów dolarów [21]. Stąd nie dziwią prognozy, że systemy SG oraz technologie generacji rozproszonej mogą być w następujących latach jednym z najszybciej rozwijających się sektorów przemysłowych.

Poprzez realizację idei Smart Grid możliwy jest dwukierunkowy przepływ energii i informacji, co pozwoli efektywnie wykorzystywać lokalne, rozproszone źródła energii (w tym energii odnawialnej i skojarzonej), obniżyć szczyty obciążenia, aktywizować odbiorców poprzez dostarczenie im narzędzi do optymalizacji zarządzania poborem energii oraz unikać niepotrzebnych kosztowych inwestycji w rozbudowę energetyki konwencjonalnej i sieci przesyłowej [9, 11]. Tym samym dzięki wprowadzaniu idei Smart Grid system elektroenergetyczny będzie bardziej efektywny technicznie (optymalne, dziejące się w czasie rzeczywistym, oparte na realnych danych zarządzanie pracą sieci elektroenergetycznej) ekonomicznie (uniknięcie niepotrzebnych inwestycji, mniejsze straty energii, energooszczędne rozwiązania po stronie wytwórcy i odbiorcy) i ekologicznie (mniejsze zanieczyszczenie środowiska).

#### LITERATURA

- [1] CIEŚLA A., *Inteligentne sieci elektroenergetyczne (Smart Grid)*, Spotkanie konwentu AGH, 8.04.2010.
- [2] COLL-MAYOR D., PAGET M., LIGHTNER E., *Future intelligent power grids: Analysis of the vision in the European Union and the United States*, Energy Policy, 35 (2007), 2453–2465.
- [3] Directorate-General for Research – Sustainable Energy Systems, *European Smartgrids Technology Platform: Vision and strategy for Europe's electricity networks of the future*, 2006, <http://www.smartgrids.eu>
- [4] Dyrektywa 2009/72/UE o obowiązku wdrażania inteligentnych systemów pomiarowych, 13.07.2009
- [5] EU-25 Energy and Transport Outlook to 2030, part IV, [http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/figures/trends\\_2030/5\\_chap4\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030/5_chap4_en.pdf)
- [6] GIRI J., SUN D., AVILA-ROSALES R., *Wanted: a More Intelligent Grid*, IEEE Power & Energy Magazine, March/April 2009, 34–40.
- [7] KACEJKO P., *Generacja rozproszona w systemie elektroenergetycznym*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2004.
- [8] KOWALSKA-PYZALSKA A., WILCZYŃSKI A., *Źródła rozproszone w systemie elektroenergetycznym*, Wydawnictwo KAPRINT, Lublin 2007.
- [9] LISERRE M., SAUTER T., HUNG J.Y., *Future energy systems: Integrating renewable energy sources into the smart power grid through industrial electronics*, IEEE Ind. Electron. Mag., Vol. 4, No. 1, 2010, 18–37.
- [10] MALKO J., „Smart” w energetyce – moda czy konieczność, 2010 <http://www.smartgrid.agh.edu.pl/documents/smart.pdf>
- [11] MALKO J., *Sieci inteligentne jako czynnik kształtowania sektora energii elektrycznej*, PTPiREE, *Zaawansowane systemy pomiarowe – smart metering w elektroenergetyce i gazownictwie*, Warszawa, 23–24.03.2010.

- [12] OŻADOWICZ A., *Smart Grid – jak to wdrożyć?* Cz. I. *Technologie i pierwsze wdrożenia*, Energetyka Ciepła i Zawodowa, nr 3/2011.
- [13] PASKA J., *Wprowadzenie do wytwarzania rozproszonego energii elektrycznej i ciepła*, [http://www.ien.pw.edu.pl/EIG/instrukcje/RZE\\_w\\_1.pdf](http://www.ien.pw.edu.pl/EIG/instrukcje/RZE_w_1.pdf)
- [14] PATRIE J., *Spreading the net-distributed power generation and creating a virtual utility to manage it*, ABB Review, 3/2000, Zurich 2000.
- [15] Polska Izba Gospodarcza Energii Odnawialnej, <http://www.pigeo.org.pl>
- [16] POPCZYK J., *Energetyka rozproszona - od dominacji energetyki w gospodarce do zrównoważonego rozwoju, od paliw kopalnych do energii odnawialnej i efektywności energetycznej*, Polski Klub Ekologiczny Okręg Mazowiecki we współpracy z Instytutem na Rzecz Ekorozwoju, 2011.
- [17] SAUER T., LOBASHOV M., *End-to-end communication architecture for smart grids*, IEEE Trans. Ind. Electron., April 2011, Vol. 58, No. 4, 1218–1228.
- [18] SANTJER F., REICHMAN K., STEINERT W., *Grundlagen und Konzepte eines Virtual-Powerplant in Deutschland*, DEWI Magazine, Februar 2002, Nr. 20, 37–42.
- [19] SKOCZKOWSKI T., *Rozwój polskich regulacji prawnych w aspekcie rozproszonych źródeł energii*, Seminarium „Integracja generacji rozproszonej z polskim systemem elektroenergetycznym”, Warszawa, 19.04.2007.
- [20] Stanowisko Prezesa URE w sprawie niezbędnych wymagań wobec wdrażanych przez OSD E inteligentnych systemów pomiarowo-rozliczeniowych z uwzględnieniem funkcji celu oraz proponowanych mechanizmów wsparcia przy postulowanym modelu rynku (Warszawa, 31.05.2011, [www.ure.gov.pl](http://www.ure.gov.pl)).
- [21] SZCZEŚNIAK P., *Mikrogeneracja i Smart Grid*, [www.greenstream.info.pl](http://www.greenstream.info.pl)
- [22] U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, *Understanding the benefits of the Smart Grid*, 18 June 2010.
- [23] YU X., CECATI C., DILLON T., SIMOES M.G., *The new frontier of Smart Grids, An industrial Electronics Perspective*, IEEE Industrial Electronics Magazine, September 2011, 49–63.

#### SMART GRID AS A CHANCE FOR DISTRIBUTED GENERATION

Nowadays power system faces up to various problems and challenges, like e.g. decreasing resources of fossil fuels, ineffective large power plants and transmission lines, as well as increasing demand on energy and quality of energy services and protection of environment. At the same time the number of distributed energy resources in the distribution network increase rapidly. Distributed generation have a lot of advantages but also disadvantages, which may seriously hinder and threaten functioning of the traditional power system. The conception of Smart Grid may bring the solutions of integration of the distributed generation into the distribution network. In this paper it will be described how Smart Grid may be a key for further development and better integration of increasing number of distributed energy resources.