

Radosław SZCZERBOWSKI\*, Bartosz CERAN\*\*

## Możliwości rozwoju i problemy techniczne małej generacji rozproszonej opartej na odnawialnych źródłach energii

**STRESZCZENIE.** W referacie przedstawiono perspektywy wykorzystania generacji rozproszonej, w tym odnawialnych źródeł energii, do produkcji energii elektrycznej. Przedstawiono problemy wynikające z pojawienia się dużej ilości generacji rozproszonej w systemie elektroenergetycznym. Duża ilość źródeł rozproszonych, która może pojawić się na niewielkim obszarze, może w najbliższych latach stanowić duże wyzwanie dla systemu elektroenergetycznego. Stąd konieczne jest już teraz określenie możliwości przyłączania małych źródeł do sieci. Ponadto Polska, chcąc wypełnić zapisy Dyrektywy Unii Europejskiej (Dyrektywa... 2009), która wymaga, aby do roku 2020 15% naszej energii pochodziło z odnawialnych źródeł, musi zaproponować nowe rozwiązania legislacyjne, które pozwolą na osiągnięcie tego progu. Proponowane nowe rozwiązania prawne powinny zapewnić łatwiejszy dostęp małych wytwórców do sieci elektroenergetycznej, a dodatkowo będą wspierać energetykę rozproszoną likwidując bariery dla inwestorów. Ważnym czynnikiem dla zachowania zrównoważonego rozwoju jest optymalizacja współpracy generacji rozproszonej opartej na odnawialnych źródłach energii pierwotnej z systemem elektroenergetycznym. Wiąże się to również z koniecznością rezerwowania źródeł rozproszonych (przez konwencjonalne jednostki wytwórcze), często o stochastycznym systemie wytwarzania, a tym samym ograniczaniem ryzyka zakłóceń dostaw energii elektrycznej. Spełnienie tego warunku wymaga znacznej przebudowy systemu elektroenergetycznego.

**SŁOWA KLUCZOWE:** generacja rozproszona, odnawialne źródła energii, system elektroenergetyczny

---

\* Dr inż., \*\* Mgr inż. – Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, Poznań,  
e-mail: [radoslaw.szczerbowski@put.poznan.pl](mailto:radoslaw.szczerbowski@put.poznan.pl)

## Wprowadzenie

Polska zobowiązana jest do zwiększenia do 2020 r. udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie energetycznym do 15%. Osiągnięcie tego celu wymaga zwiększenia liczby przedsięwzięć w tym sektorze energetyki. W tym kontekście rozwój inwestycji w dziedzinie technologii odnawialnych wydaje się być celowym. Aby ten cel był możliwy do zrealizowania, konieczne są sprzyjające rozwiązania prawne. Alternatywą dla energii produkowanej w źródłach konwencjonalnych, a w przyszłości coraz ważniejszym źródłem energii, są niewątpliwie – w warunkach polskich – technologie związane są z wykorzystaniem biomasy, energii wiatru i fotowoltaiką.

Ustawa o odnawialnych źródłach energii (Projekt... 2012), której założenia zostały po raz pierwszy zaprezentowane przez Ministerstwo Gospodarki w 2012 r., rozbudziła ogromne nadzieje wśród wytwórców energii opartej na odnawialnych źródłach. W jednej z wersji ustawy zaproponowano po raz pierwszy w Polsce wprowadzenie taryf typu *Feed-In Tariff* (FiT) na energię elektryczną. Ten system wsparcia został skierowany do inwestujących w mikro- i małe instalacje OZE. Wprowadzenie takiego systemu wsparcia oznacza ustalenie na określony czas ceny urzędowej na energię elektryczną odbieraną od producenta energii z OZE. System wsparcia typu FiT jest rozpowszechniony na świecie, stosuje go ponad 50 krajów i jest to dominujący systemem wsparcia w krajach Unii Europejskiej. Dotychczas istniejący system świadectw pochodzenia nie wpłynął znacząco na rozwój rynku mikroinstalacji OZE (Krawiec 2010; Wiśniewski, red. 2012).

Biomasa, która może być użyta do wytwarzania energii, to odpady z rolnictwa i sadownictwa, przemysłu drzewnego, odpady przemysłowe, odpady komunalne, odpady pochodzenia organicznego oraz rośliny energetyczne. Ilość tych różnorodnych surowców energetycznych wskazuje na ważne ich cechy, takie jak dostępność na rynkach lokalnych, niska cena i przydatność do zastosowania w energetyce rozproszonej. Szacuje się, że ich potencjał energetyczny jest znaczny, ale wykorzystywany jest w bardzo małym stopniu.

Kolejnym ważnym źródłem energii odnawialnej jest energia wiatru. Na świecie łączna moc elektrowni wiatrowych przekroczyła już 200 GW. Szczególnie duża dynamika cechuje inwestycje w farmy wiatrowe na morzu, a w ostatnich latach coraz większe powodzenie mają turbiny wiatrowe o mocy poniżej 100 kW. W Polsce moc elektrowni wiatrowych wynosi około 2800 MW i szybko rośnie – w 2020 r. powinna osiągnąć 5000–7000 MW (Polityka... 2009). Według danych Urzędu Regulacji Energetyki z końca maja 2013 r., operatorzy sieci dystrybucyjnych wydali warunki przyłączenia farmom wiatrowym o łącznej mocy ponad 21500 MW. Stąd można wyciągnąć wniosek, że założenia Polityki energetycznej do 2030 r. zostaną znacznie przekroczone.

W najbliższych latach wzrośnie znaczenie systemów fotowoltaicznych. W 2012 r. światowa moc tych systemów przekroczyła 90 GW, ale przewiduje się, że w 2020 r. moc ta osiągnie 260–300 GW (PVPS... 2013). Fotowoltaika stanie się ważnym źródłem energii dla świata. W Niemczech moc zainstalowanych systemów fotowoltaicznych przekroczyła 32 GW. Podobnego rozwoju można spodziewać się także w Polsce, choć obecnie

zainstalowane w naszym kraju systemy fotowoltaiczne mają moc zaledwie 3,6 MW (z czego tylko 1,4 MW przyłączone do sieci elektroenergetycznej).

Po wejściu w życie ustawy o odnawialnych źródłach energii, nad którą wciąż trwają prace rządu, energetyka rozproszona może stać się jednym z filarów systemu elektroenergetycznego. Choć energetyka rozproszona nie zastąpi konwencjonalnej, może jednak być jej doskonałym uzupełnieniem, pod warunkiem określenia optymalnego modelu polskiej energetyki.

Głównym problemem hamującym obecnie wykorzystanie energii wiatru i słońca na szeroką skalę jest brak możliwości efektywnego magazynowania wytworzonej energii. Jest jednak nadzieja, że w najbliższej dekadzie problem ten zostanie rozwiązany.

## 1. Technologie generacji rozproszonej małej skali

W klasycznych systemach energetycznych energia elektryczna jest wytwarzana w przeważającej mierze w elektrowniach zawodowych i dostarczana do użytkowników za pomocą linii przesyłowych wysokiego napięcia oraz sieci rozdzielczych średniego i niskiego napięcia. Znaczne korzyści w postaci tańszej energii, wzrostu 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. Zaletą generacji rozproszonej są niskie koszty rozbudowy sieci i związane z ich eksploatacją niskie straty energii. Inwestycje w energetyce rozproszonej wymagają stosunkowo niskich nakładów finansowych na pojedyncze projekty i krótszy jest czas inwestycji. Rozproszenie źródeł energii zwiększa też bezpieczeństwo energetyczne na obszarze jej stosowania. Wśród wad należy wymienić problemy techniczne przy integrowaniu systemów. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry technologii generacji rozproszonej, w tym jednostkowe nakłady inwestycyjne. Według nowych danych jednostkowe nakłady inwestycyjne na technologie fotowoltaiczne zmniejszyły się znacząco, a te w ostatnim czasie bardzo mocno wchodzi również na polski rynek.

Według mocy zainstalowanej klasyfikuje się źródła generacji rozproszonej w następujący sposób:

- ❖ mikrogeneracja 1 W–5 kW,
- ❖ mała generacja 5 kW–5 MW,
- ❖ średnia generacja 5–50 MW,
- ❖ duża generacja 50–150 MW (Paska 2010).

Energetyka wiatrowa jest obecnie bardzo intensywnie rozwijającą się dziedziną energetyki odnawialnej. Energetyka wiatrowa to nie tylko ogromne farmy wiatrowe, to również małe turbiny wiatrowe, które produkują energię dla jednego budynku lub kilku gospodarstw domowych. Z informacji podanych przez Instytut Energetyki Odnawialnej wynika, że do 2012 roku w Polsce zainstalowano 3 tys. małych elektrowni wiatrowych o średniej mocy 3 kW. Plany rozwoju małej energetyki wiatrowej zakładają, że liczba instalacji tego typu

źródeł w najbliższych latach będzie znacznie rosła, do około 385–600 MW w roku 2020 (rys. 1) (Wiśniewski red. 2012; Wiśniewski red. 2013).

Fotowoltaika to kolejna dziedzina energetyki, która w ostatnich latach rozwijana jest na szeroką skalę. Moduły fotowoltaiczne dostępne na rynku mają powierzchnię od 0,3 do 5 m<sup>2</sup>, a ich moc zwykle kształtuje się pomiędzy 30–400 W. Produkcja energii elektrycznej przy pomocy ogniw słonecznych odbywa się z relatywnie dużą sprawnością, wynoszącą 10–25%. Ta stosunkowo duża sprawność wynika z faktu, że energia promieniowania słonecznego

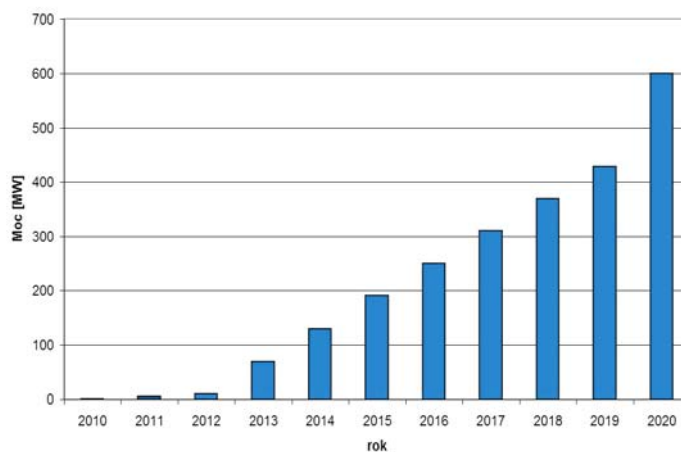
TABELA 1. Charakterystyka wybranych technologii generacji rozproszonej i odnawialnych źródeł energii

TABLE 1. Characteristics of selected technology of distributed generation and renewable energy sources

Technologia	Moc jednostek [kW]	Sprawność [%]	Jednostkowe nakłady inwestycyjne [Euro/kW]	Czas budowy [lata]
Ogniwa paliwowe	0,2–1 000	35–54	2 000–8 000	1
Systemy fotowoltaiczne	0,1–100	5–20	4 100–6 900 1 500–2 000*	0
Elektrownie wiatrowe	0,1–2 000	40–45	1 000–1 400	1
Elektrownie na biomasę	> 5 MW	22–26	2 900–5 080	2

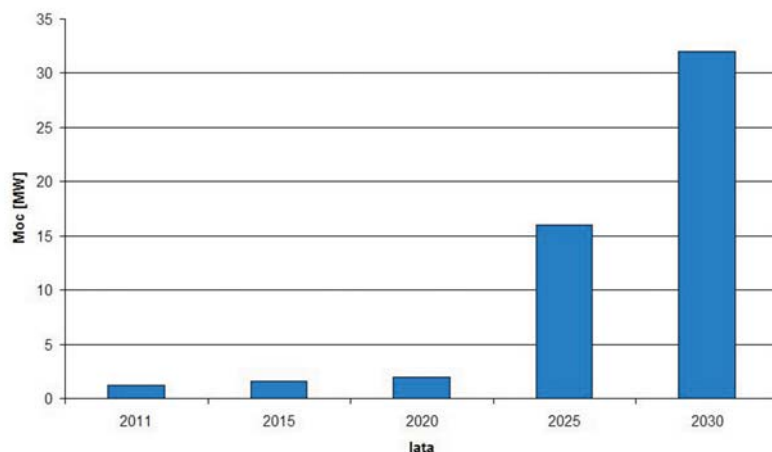
\* Źródło: Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview – International Renewable Energy Agency 2013

Źródło: Paska 2010; Malko 2012



Rys. 1. Prognoza rozwoju małej energetyki wiatrowej w Polsce (Wiśniewski, red. 2012)

Fig. 1. Forecast of development of small wind energy in Poland



Rys. 2. Prognoza rozwoju fotowoltaiki w Polsce (Wiśniewski red. 2012)

Fig. 2. Forecast of development of PV in Poland

zamienia się w energię elektryczną bez udziału ciepła. Wadą systemów fotowoltaicznych jest najwyższa spośród wszystkich źródeł niestabilność mocy produkowanej oraz najbardziej dynamiczne zmiany jej produkcji. Obecnie zainstalowana w Polsce moc wytwórcza PV jest szacowana na około 3,6 MW, jednakże są to w większości instalacje nie podłączone do sieci energetycznej (głównie zasilanie znaków drogowych). Szacuje się, że rozwój fotowoltaiki w Polsce (rys. 2) do roku 2030 osiągnie poziom 32 MW (Pietruszko 2012). Według danych z Instytutu Energetyki Odnawialnej, do 2012 r. w Polsce było 139 systemów fotowoltaicznych o średniej mocy 3 kW, tylko w minionym roku sprzedano na polskim rynku 22,9 MW paneli PV (Wiśniewski, red. 2013).

## 2. Ogniwa paliwowe jako technologia przyszłościowa dla generacji rozproszonej

Ogniwa paliwowe są uznawane za jedną z najbardziej obiecujących i perspektywicznych technologii wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Przewiduje się ich zastosowanie zarówno dla elektrowni dużych mocy jak i małych źródeł rozproszonych. Ogniwa paliwowe mogą być eksploatowane w szerokim zakresie zmienności obciążeń elektrycznych, przy zachowaniu wysokiej sprawności przetwarzania energii pierwotnej na użyteczną.

Technologia ogniwiw paliwowych cieszy się obecnie bardzo dużym zainteresowaniem. Jednym z głównych celów 7. Programu Ramowego Unii Europejskiej jest rozwój technologii wodorowych i ogniwiw paliwowych. Istnieje szereg zastosowań tego źródła energii. W tabeli 2 przedstawiono podział ogniwiw paliwowych ze względu na ich przeznaczenie.

TABELA 2. Zastosowanie ogniw paliwowych

TABLE 2. The use of fuel cells

Rodzaj zastosowania	Przenośne	Stacjonarne	Transport
Definicja	źródła energii dla urządzeń przenośnych	jednostki produkujące energię elektryczną (i czasem ciepło) nie przeznaczone do przemieszczania	układy napędowe, przemysł motoryzacyjny
Typowe zakresy mocy	5 W–20 kW	0,5–400 kW	1–100 kW
Typowe technologie*	PEM, DMFC	PEM, PAFC, SOFC, MCFC	PEM, DMFC
Przykłady	telefony komórkowe, laptopy itp., przenośne urządzenia wojskowe	kogeneracyjne systemy stacjonarne (CHP), małe systemy kogeneracyjne (micro-CHP), systemy UPS	pojazdy elektryczne (FCEV), samochody ciężarowe i autobusy

\* PEM (Proton Exchange Membrane lub Polimer Electrolyte Membrane) – ogniwo paliwowe z membraną polimerową, DMFC (Direct Metanol Fuel Cell) – bezpośrednio metanolowe ogniwo paliwowe, PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) – ogniwo paliwowe z kwasem fosforowym, SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) – ogniwo paliwowe z zestalonym elektrolitem tlenkowym, MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) – ogniwo paliwowe ze stopionymi węglanami, FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle) – pojazd elektryczny z ogniwem paliwowym

Źródło: <http://www.fuelcelltoday.com/analysis/industry-review/2012/the-industry-review-2012>

Organizacja *Fuel Cell Today*, która zajmuje się przeprowadzaniem wywiadu rynkowego dla przemysłu ogniw paliwowych, podaje w swoim raporcie za rok 2012, że roczne dostawy systemów ogniw paliwowych do stacjonarnych urządzeń energetycznych wzrosły od 2010 do 2011 o 45 MW (od 35 do 80 MW). W raporcie uwzględniono duże systemy stacjonarne (100 kW) oraz jednostki mniejszej mocy dla układów mikro-CHP, oraz systemów UPS.

W Japonii prawdziwy sukces odniósł system kogeneracyjny *Ene Farm* produkt firmy Panasonic. Jest to mała przydomowa elektrociepłownia (układ mikro-CHP) zbudowana na bazie ogniw paliwowych typu PEM (*Proton Exchange Membrane* lub *Polimer Electrolyte Membrane*). W roku 2011 sprzedaż *Ene Farm* wzrosła dwukrotnie. Szybki wzrost sprzedaży związany jest z trzęsieniem Ziemi, które nawiedziło Japonię w marcu 2011 roku i spowodowało katastrofę elektrowni jądrowej Fukushima. Obecnie w Japonii zainstalowanych jest ponad 20 tysięcy jednostek. Domowa elektrociepłownia *Ene Farm* kosztuje w Japonii równowartość około 100 tys. zł.

Kolejne cele zawarte w piątym temacie 7PR dotyczącym energii to m.in. wytwarzanie energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych i wytwarzanie paliw odnawialnych oraz przekształcenie obecnego scentralizowanego systemu elektroenergetycznego, w którym pracują konwencjonalne elektrownie parowe w system bardziej zróżnicowany, oparty na źródłach nie zanieczyszczających środowiska, w szczególności na źródłach odnawialnych.

## 2.1. Hybrydowy układ wytwórczy

Podstawową wadą źródeł odnawialnych jest silna zależność ilości wytwarzanej energii od aktualnych wartości nasłonecznienia i prędkości wiatru. Dlatego też trudno jest oszacować jaka będzie ilość wyprodukowanej energii. Aby zwiększyć możliwości wykorzystania tych źródeł zaczęto stosować hybrydowe układy wytwórcze, które łączą kilka technologii. Hybrydowe układy wytwórcze zawierają dwa lub więcej źródeł, które pracując razem wzajemnie kompensują swoje wady. Najczęściej są to małe zespoły jednostek wytwórczych energii elektrycznej i ciepła, zawierające układ do magazynowania energii (Paska 2012).

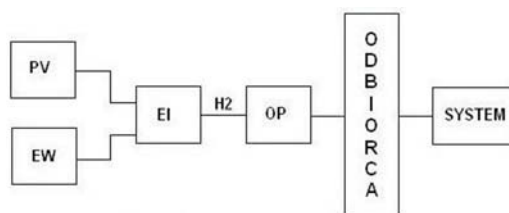
Elektrownie wiatrowe i słoneczne pracujące w systemie nie są w pełni dyspozycyjne, wymagają uruchamiania źródeł rezerwowych, które mogłyby pokryć zapotrzebowanie na energię przy braku dobrych warunków atmosferycznych (dobre nasłonecznienie, odpowiednia prędkość wiatru). Elektrownie ciepłe, ze względów technologicznych, nie nadają się do szybkich zmian mocy generowanej, w krótkich odstępach czasu. Rolę takiego źródła może spełnić ogniwo paliwowe typu PEM zlokalizowane blisko źródeł odnawialnych, ponieważ szybko dostosowuje się do zmiany obciążenia. Poniżej przedstawiono możliwości zastosowania ogniwa paliwowego PEM w generacji rozproszonej.

❖ Źródła odnawialne pracujące na elektrolizer.

Energia ze źródeł odnawialnych wykorzystywana jest do procesu elektrolizy (rozkładu wody na wodór i tlen). Wodór jest wykorzystywany w ogniwie paliwowym do wytwarzania energii elektrycznej, w okresie, gdy jest ona potrzebna odbiorcy.

Cechy układu:

- ❖ posiada możliwość magazynowania energii w postaci wodoru,
- ❖ wykorzystanie do procesu elektrolizy energii powstałej ze źródeł odnawialnych (technologia bezemisyjna),
- ❖ niska sprawność układu.



Rys. 3. Źródła odnawialne pracujące na elektrolizer – schemat blokowy  
OP – ogniwo paliwowe, PV – ogniwo fotowoltaiczne, EW – elektrownia wiatrowa EI – elektrolizer

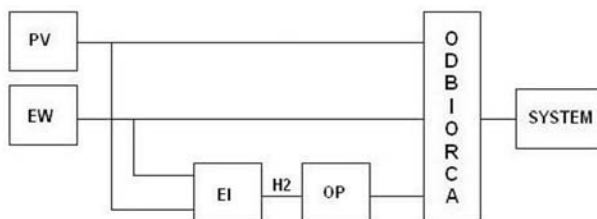
Fig. 3. RES operating on the electrolyzer – flowchart  
OP – fuel cell, PV – photovoltaic cell, EW – wind turbine EI – electrolyzer

❖ Źródła odnawialne pracujące na elektrolizer z możliwością bezpośredniego zasilania odbiorcy.

Cechy układu:

- ❖ możliwość zasilania odbiorcy energią elektryczną wytworzoną w odnawialnych źródłach (efektywniejsze wykorzystanie energii),

- ❖ nadmiar energii wykorzystywany do zasilania elektrolizera i magazynowany w postaci wodoru.



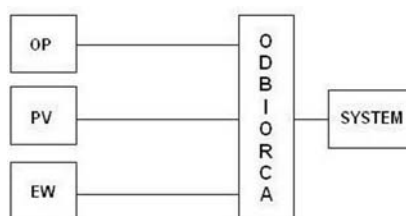
Rys. 4. Źródła odnawialne pracujące na elektrolizer z możliwością bezpośredniego zasilania odbiorcy  
 OP – ogniwo paliwowe, PV – ogniwo fotowoltaiczne, EW – elektrownia wiatrowa EI – elektrolizer

Fig. 4. RES operating on the electrolyzer with possibility of direct supply customers  
 OP – fuel cell, PV – photovoltaic cell, EW – wind turbine EI – electrolyzer

- ❖ Ogniwo paliwowe pracujące równolegle ze źródłami odnawialnymi.

Cechy układu:

- ❖ możliwość zasilania odbiorcy energią elektryczną wytworzoną w odnawialnych źródłach (efektywniejsze wykorzystanie energii),
- ❖ przy braku sprzyjających warunków atmosferycznych niedobór wytworzonej energii kompensowany jest pracą ogniwa paliwowego,
- ❖ konieczność dostarczania wodoru do ogniwa paliwowego.



Rys.5. Ogniwo paliwowe pracujące równolegle ze źródłami odnawialnymi  
 OP – ogniwo paliwowe, PV – ogniwo fotowoltaiczne, EW – elektrownia wiatrowa

Fig. 5. The fuel cell operating in parallel with renewable energy sources  
 OP – fuel cell, PV – photovoltaic cell, EW – wind turbine EI – electrolyzer

Wodór można wyprodukować różnymi metodami. Oprócz elektrolizy można stosować proces gazyfikacji paliw stałych. Istnieją także komercyjne systemy ogniwo paliwowych typu PEM wyposażone w wewnętrzny reforming paliwa, które są zasilane czystym metanem. Rozwiązuje to problem z magazynowaniem wodoru, jednak sprawność układu jest mniejsza, a instalacja powoduje emisje CO<sub>2</sub>.



### 3. System energetyczny a źródła rozproszone

Krajowy system energetyczny nie jest jeszcze gotowy do przyjęcia na większą skalę energii ze źródeł rozproszonych. Kiedy go projektowano i budowano nikt nie zakładał, że pojawią się lokalnie małe źródła energii. W chwili obecnej mamy sytuację, w której do tych nowych pojawiających się coraz częściej małych źródeł trzeba będzie dopasować całą sieć. Argumentem przemawiającym za rozwojem tych źródeł jest unijna polityka promowania energetyki odnawialnej i rozproszonej. Do tych źródeł należy energetyczna przyszłość i w przyszłości wzrośnie udział wykorzystana energetyki opartej na OZE.

Stan polskich sieci elektroenergetycznych wymaga generalnej modernizacji. Sieć musi nie tylko dostarczać energię z dużych elektrowni do odbiorcy, ale też odbierać ją z powstających coraz liczniej źródeł rozproszonych. Niezbędnym działaniem jest, obok modernizacji sieci dystrybucyjnej, wzrost liczby połączeń z siecią PSE, aby zwiększyć możliwość oddawania nadwyżek mocy do krajowego systemu. Konieczna jest również rozbudowa sieci przesyłowej, tak aby coraz większa generacja rozproszona przyłączana do sieci dystrybucyjnych nie powodowała zaburzeń w funkcjonowaniu całego systemu. Wiele wyzwań występuje także na niższych poziomach napięć, tam gdzie instalowane będą źródła generacji rozproszonej. Sieci niskiego napięcia są bardzo zróżnicowane, jeżeli chodzi o ich przygotowanie do przyłączenia większej liczby małych źródeł. Z prowadzonych przez wielu ekspertów analiz wynika, że przyłączenie kilku małych mikroźródeł na poziomie jednego obwodu, bez odpowiednich rozwiązań technicznych, może negatywnie wpłynąć na parametry energii (Maciejewski 2012).

Do ograniczenia tego problemu z pewnością przyczynią się stosowane rozwiązania z obszaru inteligentnych sieci elektroenergetycznych, dzięki którym można będzie lepiej zarządzać nie tylko odbiorem energii, ale też rozproszonym wytwarzaniem. Istotnym elementem tych sieci są liczniki inteligentne, które pozwalają nie tylko na zdalne monitorowanie poziomu zużycia energii elektrycznej, ale również na bieżące informowanie o poziomie produkcji w mikroźródłach. Konieczne są także rozwiązania techniczne, pozwalające na integrację źródeł rozproszonych z siecią elektroenergetyczną, które minimalizują negatywny wpływ tych źródeł na pracę sieci.

#### 3.1. Wpływ generacji rozproszonej na system elektroenergetyczny

Energetyka odnawialna, z uwagi na ciągły wzrost jej mocy zainstalowanej, zaczyna oddziaływać w zauważalny sposób na funkcjonowanie krajowego systemu elektroenergetycznego. Moc zainstalowana w KSE w końcu III kwartału roku 2012, według danych ARE była równa 38 116 MW, z tego 2 387 MW w siłowniach wiatrowych oraz 1,4 MW w fotowoltaice. Udział mocy zainstalowanej w siłowniach wiatrowych i fotowoltaice był równy w tym momencie już około 6,3% całej mocy zainstalowanej w KSE. Praca równoległa wielu turbin wiatrowych zasilających równocześnie KSE, a w przyszłości sporej ilości farm fotowoltaicznych, charakteryzuje się wysoką dynamiką ze względu na zróżnicowanie warunków wietrzności i nasłonecznienia (Kaproń, Badyda 2013).

Spodziewany gwałtowny rozwój energetyki wiatrowej oraz fotowoltaiki wymusza konieczność przeprowadzenia weryfikacji podejścia operatora systemu przesyłowego w zakresie bilansowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), zarówno w kontekście prowadzenia ruchu, jak i sporządzania planów bilansowych. Możliwość określenia wielkości generacji wiatrowej dzięki modelom prognoz pogody jest coraz większa. Podobnie źródła PV są przewidywalne w zakresie możliwości określenia krzywej generacji dla dni słonecznych na podstawie krzywych promieniowania słonecznego. Integracja dużej liczby źródeł wiatrowych oraz PV z KSE powodować będzie także inne problemy. Podstawowym będzie konieczność zwiększenia zakresu dostępnych rezerw mocy utrzymywanych w źródłach konwencjonalnych (Majchrzak 2013).

Projekt ustawy o OZE przewiduje, że jeśli moc zainstalowana mikroinstalacji, o przyłączenie której ubiega się podmiot, nie jest większa niż określona w już wydanych warunkach przyłączenia, to przyłączenie do sieci odbywa się na podstawie zgłoszenia. Jest to rozwiązanie dość kontrowersyjne, ponieważ sieci niskiego napięcia oraz zasilające je stacje SN/nn nie były projektowane ani budowane pod kątem możliwości odbioru energii z sieci niskich napięć, zwłaszcza jeśli pojawiają się tam lokalnie spore moce. Istnieje obawa, że w przypadku niekontrolowanego przyłączania mikroinstalacji będą występowały przeciążenia sieci, stanowiące zagrożenie dla urządzeń do niej przyłączonych.

Szereg barier – głównie natury technicznej i organizacyjno-prawnej – w znaczny sposób hamuje rozwój generacji rozproszonej. Do istotnych problemów można zaliczyć również: obawę przed destabilizacją systemu elektroenergetycznego przy dużym udziale w bilansie energetycznym niestabilnych źródeł OZE; brak szczegółowych wytycznych dotyczących przyłączania małych jednostek wytwórczych do sieci niskiego napięcia; brak regulacji prawnych umożliwiających powstawanie lokalnych rynków energii, w tym brak dynamicznego systemu taryf (Kłós 2012).

## Podsumowanie

Rozwój rynku generacji rozproszonej małej skali zależy od wielu czynników, takich jak np. dostępność rozwiązań technicznych oraz polityka regulacyjna i finansowa państwa. Polityka państwa polegająca na wprowadzeniu ułatwień dla osób zdecydowanych wytwarzać energię elektryczną przyczyni się do rozwoju tego typu źródeł. W tabeli 3 przedstawiono podstawowe dane analizy ekonomicznej dla elektrowni wiatrowej oraz fotowoltaicznej o mocy 100 kW. Z przedstawionych wyliczeń wynika, że bez silnego wsparcia w postaci stałych taryf, przy wysokim nakładzie finansowym oraz stosunkowo niskim czasie pracy tych jednostek czas zwrotu nakładów jest bardzo długi.

W lipcu 2013 r. Senat przyjął nowelizację Prawa energetycznego (tzw. „mały trójpak”) razem ze zgłoszoną przez resort gospodarki poprawką dotyczącą zwolnienia z obowiązku prowadzenia działalności gospodarczej prosumentów, czyli właścicieli mikroinstalacji odnawialnych źródeł energii produkujących energię elektryczną. Z pewnością będzie to duże

TABELA 3. Porównanie czasu zwrotu inwestycji dla małych instalacji wiatrowych i fotowoltaicznych

TABLE 3. Comparison payback time for small wind and photovoltaic installations

	Elektrownia wiatrowa o mocy 100 kW	Elektrownia fotowoltaiczna o mocy 100 kW
Całkowity nakład inwestycyjny	1 200 000 zł	800 000 zł
Lata budowy	1 rok	1 rok
Przewidywany okres eksploatacji	25 lat	25 lat
Czas pracy (rocznie)	1000 h	900 h
Koszty eksploatacyjne	2%	1%
Stawka FiT	0,7 zł/kWh	1,1 zł/kWh
Okres wsparcia FiT	15 lat	15 lat
Zwrot inwestycji	powyżej 25 lat	20 lat

ułatwienie dla inwestorów, którzy zainstalują małe systemy wytwórcze i będą mogli sprzedawać nadwyżki energii elektrycznej do sieci. Senat zgodził się także z drugą częścią tej poprawki, która ustala warunki sprzedaży przez prosumentów energii do sieci. Do jej zakupu obowiązany jest tzw. sprzedawca z urzędu, a cena tego zakupu ma być równa 80% średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej w poprzednim roku kalendarzowym. Mikroinstalacje znajdują się poza systemem wsparcia zielonymi certyfikatami, chyba że ich właściciele zechcą prowadzić działalność gospodarczą i uzyskają koncesję na wytwarzanie energii elektrycznej z OZE. Przy tak niskim poziomie wsparcia rozwój mikrogeneracji stoi pod dużym znakiem zapytania. Z drugiej strony przykłady państw europejskich, które wycofują się z silnego wsparcia dla OZE być może spowoduje znaczący spadek cen samych instalacji i sprawi, że w nieodległej przyszłości staną się one faktycznie konkurencyjne na rynku.

W chwili obecnej systemy wsparcia w postaci taryf gwarantowanych, ulg podatkowych, dopłat bezpośrednich i dotacji są źródłem rozwoju mikrogeneracji. Wsparcie finansowe jest konieczne dlatego, że w chwili obecnej energetyka rozproszona przegrywa z tradycyjną energetyką systemową. Oprócz bariery finansowej, generacja rozproszona napotyka na szereg innych przeszkód, związanych z integracją tego typu źródeł w systemie elektroenergetycznym, ukierunkowanym na współpracę z dużymi jednostkami wytwórczymi, jak też na bariery prawne i biurokratyczne. Taka sytuacja ma miejsce nie tylko ze względu na charakter naszego systemu przesyłowego i dystrybucyjnego, ale również ze względu na niedostosowanie przepisów prawa. Uproszczenie procedur jest potrzebne, aby w systemie pojawił się aktywny odbiorca nie tylko pobierający energię z sieci, ale również produkujący ją na własne potrzeby i oddający do sieci ewentualną nadwyżkę.

Z pewnością do rozwoju generacji rozproszonej konieczny jest także rozwój koncepcji inteligentnych sieci, wirtualnych elektrowni i technologii magazynowania energii. Przyszła polityka energetyczna powinna otworzyć się w większym stopniu na generację rozproszoną, działającą w ramach zdecentralizowanego systemu elektroenergetycznego.

## Literatura

- 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
- KAPROŃ H., BADYDA K., 2013 – Eksploatacja i rozwój energetyki wiatrowej w Polsce. Rynek Energii nr 3.
- KŁOS M., 2012 – Generacja rozproszona w krajowym systemie elektroenergetycznym – korzyści i problemy. Generacja rozproszona w nowoczesnej polityce energetycznej – wybrane problemy i wyzwania, red. J. Rączka, M. Swora, W. Stawiany. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Warszawa, s. 29–34.
- KRAWIEC F., 2010 – Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Difin, Warszawa.
- MACIEJEWSKI Z., 2011 – Stan krajowego systemu elektroenergetycznego. Polityka Energetyczna t. 14, z. 2, s. 249–259.
- MAJCHRZAK H., 2013 – Wpływ PV na bilansowanie KSE. Czysta Energia, nr 6.
- MALKO J., 2012 – Globalne wyzwania energetyki – energia dla wszystkich (SE 4 All). Polityka Energetyczna t. 15, z. 3, s. 7–22.
- PASKA J., 2010 – Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- PASKA J., 2012 – Hybrydowe układy wytwórcze i mikrosieci sposobem na rozwój generacji rozproszonej. Generacja rozproszona w nowoczesnej polityce energetycznej – wybrane problemy i wyzwania, red. J. Rączka, M. Swora, W. Stawiany – Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Warszawa, s. 69–80.
- PIETRUSZKO S., 2012 – Perspektywy i bariery rozwoju fotowoltaiki w Polsce. Czysta Energia nr 1.
- Polityka... 2009 – Polityka energetyczna Polski do roku 2030. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r.
- Projekt... 2012 – Projekt ustawy o Odnawialnych Źródłach Energii z dnia 27.07.2012 r.
- PVPS Report – A Snapshot of Global PV 1992-2012 Preliminary information from the IEA PVPS Programme – Report IEA-PVPS T1-22:2013
- WIŚNIEWSKI G., red., 2012 – Analiza możliwości wprowadzania systemu feed in tariff dla mikro i małych instalacji OZE. Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa.
- WIŚNIEWSKI G., red., 2012 – Krajowy Plan Rozwoju Mikroinstalacji Odnawialnych Źródeł Energii Do 2020 roku – Synteza – Instytut Energetyki Odnawialnej we współpracy z członkami i partnerami Związku Pracodawców Forum Energetyki Odnawialnej Warszawa.

Radosław SZCZERBOWSKI, Bartosz CERAN

## Small scale, distributed power generation based on renewable energy sources – possibilities for development, cost of electricity production, and technical problems

### Abstract

This paper presents the prospects for the use of distributed electric energy generation based on, among others, renewable energy sources. It presents the problems connected with a large number of small generating sources in power systems. It is necessary to determine the possibilities for the connection of small sources to the power system. Directive 2009 of the European Union requires that by 2020, 15% of energy in Poland must be produced from renewable sources. For this reason, Poland has to propose new legislative solutions which allow for the achievement of this value. Newly proposed legislative solutions should make for easier connection of smaller generating units to the power system, and also support distributed energy sources, removing the barriers for investors. Optimal integration of distributed generation based on renewable sources with the power system is an important factor in sustainable development. It is connected with the necessity of reservation of distributed generation sources (by conventional generation power plants), with a stochastic generation system, thus reducing the risk of disturbance to the energy supply. This, however, requires rebuilding of the power system.

KEY WORDS: Distributed Generation, Renewable Energy Sources, Power System

