

Rozwój zasobów rozproszonych energii - desygnat pojęcia i problematyka krajowa

Streszczenie. Artykuł porusza aktualną problematykę rozproszonych zasobów energetycznych, traktując ją jako współdziałanie czterech obszarów, mianowicie użytkowania energii, jej magazynowania, reakcji strony popytowej oraz efektywności energetycznej. Przedstawiono oraz uporządkowano kwestie związane z definiowaniem pojęcia, rozszerzając jego desygnat. Opisano też korzyści i zagrożenia związane z rozwojem generacji rozproszonej. Poruszono również problematykę rozwoju energetyki rozproszonej w Polsce.

Abstract. The paper presents current issues related to distributed energy resources which, according to the authors, should be seen as four interacting elements, and these are: use of energy, storage of energy, demand side response and energy efficiency. One sheds so more light on the very concept "distributed energy resources" by explaining its definition and pointing out its designations. The reader gets also familiarized with advantages and as well as threats attributed to the advancement of distributed generation. Finally, the authors discuss issues of distributed energy resources in the Polish power system. (**Development of distributed energy resources – designation of the concept and domestic issues**)

Słowa kluczowe: generacja rozproszona, rozproszone zasoby energii, efektywność energetyczna, wytwarzanie energii elektrycznej

Keywords: distributed generation, distributed energy resources, energy efficiency, electric power generation

Wstęp

Globalne zmiany na rynku surowców, nowe założenia międzynarodowej polityki klimatycznej i energetycznej wpływają na sektor energetyczny krajów rozwiniętych. Poszukiwania kształtu przyszłych systemów energetycznych zarówno na poziomie Unii Europejskiej (UE), jak i na poziomie narodowym, np. Energiewende w Niemczech [1], skłaniają do podejmowania tematów, mogących przyczynić się lepszemu rozwojowi systemów energetycznych w Polsce. Stwierdzenie to jest uzasadnione z jednej strony pracami nad „Polityką energetyczną Polski do 2050 roku” a z drugiej rozbudzonymi nadziejami, związanymi z możliwością powstania grupy prosumentów.

Innowacje w energetyce pojawiają się na każdym etapie łańcucha wartości i rozsądnym wydaje się integracja różnych technologii energetycznych. Na uwagę zasługuje postęp w technologiach źródeł rozproszonych (większe sprawności, nowe paliwa, techniki czystego spalania węgla, jednostki kogeneracyjne średniej, małej oraz mikroskali o parametrach techniczno-ekonomicznych do zastosowania komercyjnego).

Celem artykułu jest zdefiniowanie pojęcia „rozproszone zasoby energetyczne” w sposób rozszerzający jego dotychczasowe użycie i zwrócenie uwagi na problematykę planowanego rozwoju generacji rozproszonej w Polsce.

Systematyka pojęć wokół źródeł rozproszonych

Dynamiczny rozwój segmentu energetyki związany z małymi źródłami, wywołany zmianami w kwestiach politycznych, społecznych, gospodarczych, ekologicznych oraz technicznych, wprowadził pewien bałagan pojęciowy.

Definicje powiązanych pojęć

Za źródło rozproszone uznawano:

- źródło nie planowane i nie dysponowane centralnie, przyłączone do sieci rozdzielczej, o ograniczonej mocy do wartości 100-150 MW – Cigre (1998) [2];
- jednostkę wytwórczą wykorzystywaną przez użytkownika na miejscu zainstalowania lub dostarczającą energię do sieci rozdzielczej niskiego napięcia – IEA [3],
- jednostkę wytwórczą przyłączoną do sieci rozdzielczej niskiego napięcia -EU Directive 96-92 [4],
- źródło energii elektrycznej przyłączone bezpośrednio do sieci rozdzielczej lub zlokalizowane w sieci odbiorcy.

Generacja rozproszona może być również definiowana wg US Department of Energy, jako zintegrowane z systemem

lub autonomiczne użycie małych, modułowych generatorów energii elektrycznej, usytuowanych w pobliżu odbiorców, co może pozwolić przedsiębiorstwom energetycznym na uniknięcie kosztownych inwestycji w sieć przesyłową i dystrybucyjną, zwiększyć możliwości systemu i przyczynić się do dostarczenia odbiorcom energii elektrycznej o wyższej jakości, poprawić niezawodność dostaw i przyczynić się do zachowania czystości środowiska.

Dyrektywa [5] wprowadza pojęcie „wytwarzanie rozproszone”, oznaczające elektrownie podłączone do systemu dystrybucyjnego. Przyjęcie takiej definicji w Polsce oznaczałoby ograniczenie mocy źródeł rozproszonych do 150...200 MW. Dyrektywa [5] wprowadza również definicję:

- „mały system wydzielony” - oznacza każdy system, który w 1996 r. osiągnął zużycie mniejsze niż 3 000 GWh i w którym mniej niż 5% rocznego zużycia uzyskuje się przez wzajemne połączenie z innymi systemami,
- „mikrosystem wydzielony” - oznacza każdy system, który w 1996 r. osiągnął zużycie mniejsze niż 500 GWh i który nie ma połączenia z innymi systemami.

Definicje te wykorzystują pojęcie zużycia energii i kryterium wymiany z innymi systemami, a nie powszechnie stosowane pojęcie zainstalowanej mocy.

Krajowa Ustawa o odnawialnych źródłach energii [6] wprowadza nowe kategorie wytwórców:

- mała instalacja – instalacja odnawialnego źródła energii o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej większej niż 40 kW i nie większej niż 200 kW, przyłączona do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub o mocy osiągalnej cieplnej w skojarzeniu większej niż 120 kW i nie większej niż 600 kW,
- mikroinstalacja - instalacja odnawialnego źródła energii o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 40 kW, przyłączona do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub o mocy osiągalnej cieplnej w skojarzeniu poniżej 120 kW.

Kolejne, pochodne pojęcia „źródła rozproszone” są związane z ich stosowaniem w systemach energetycznych. W pracach [3], [7] podano następujący podział generacji niescentralizowanej [7]:

- **generacja rozproszona (distributed generation)** oznacza źródła wytwórcze pracujące na potrzeby własne klienta lub dostarczające energię do sieci dystrybucyjnej (nie obejmuje zazwyczaj energetyki wiatrowej, utożsamianej raczej z dużymi farmami wiatrowymi, niż z pojedynczymi elektrowniami wiatrowymi),

- **generacja rozsziana** (*dispersed generation*) obejmuje oprócz generacji rozproszonej również energetykę wiatrową, jednostki są przyłączone do sieci dystrybucyjnej lub nie współpracują z siecią,
- **moce rozproszone** (*distributed power*) obejmują oprócz generacji rozproszonej również technologie magazynowania energii, np. koła zamachowe, sprężone powietrze, cewki magnetyczne, duże ogniwa paliwowe,
- **moce zdecentralizowane** (*decentralised power*) oznaczają system zasobów energetycznych rozproszonych, przyłączony do sieci dystrybucyjnej,
- **zasoby energetyczne rozproszone** (*distributed energy resources*) obejmują generację rozproszoną działania po stronie popytu (DSM), w tym również wzrost końcowego użytkownika energii.

Pojęcie „energetyczne zasoby rozproszone” jest zazwyczaj używane w dwóch głównych znaczeniach:

- rozproszone (lokalne), nie eksploatowane na dużą skalę, zasoby surowców i nośników energetycznych, zarówno konwencjonalnych jak i odnawialnych,
- połączenie rozproszonych źródeł energii, systemów magazynowania energii i reakcji strony popytowej.

W pracy [8] używa się pojęcia „rozproszone zasoby energii” określone jako „lokalne i zróżnicowane zasoby energii (energetyczne), obejmujące zasoby odnawialne i nieodnawialne.” Z kolei w pracy [9] „rozproszone zasoby” definiowane są „jako zasoby znajdujące się po stronie popytowej i podażowej energii elektrycznej, które można wykorzystać w sieci dystrybucyjnej (w odróżnieniu do sieci przesyłowej), aby zaspokoić zapotrzebowanie na energię i przyczynić się do wzmocnienia niezawodności dostaw energii w danym systemie elektroenergetycznym. Rozproszone zasoby energii mogą być instalowane zarówno od strony odbiorcy, jak i dostawcy energii.”

Celowym wydaje się uzupełnienie pojęcia zasobów rozproszonych o możliwości wynikające ze wzrostu efektywności energetycznej. Pełna definicja „rozproszonych zasobów energetycznych” będzie wówczas brzmieć: *połączenie rozproszonych źródeł energii, systemów magazynowania energii, reakcji strony popytowej i środków wzrostu efektywności energetycznej, w celu osiągnięcia celów funkcjonowania systemu energetycznego przy lepszym spełnieniu wymagań, wynikających ze zrównoważonego rozwoju i niższym koszcie społecznym.*

Powyższa definicja „rozproszonych zasobów energetycznych” nasuwa jednak kilka uwag:

- dotyczy systemów energetycznych zintegrowanych, wykorzystujących różne nośniki energii pierwotnej i różne technologie, w szczególnym przypadku może dotyczyć systemów elektroenergetycznych;
- obejmuje oprócz środków technicznych, też polityczne, prawne, ekonomiczne, organizacyjne i edukacyjne;
- rozwój systemów energetycznych, w tym rozproszonych, powinien odbywać się zarówno z użyciem kryteriów dotychczas stosowanych do oceny systemów energetycznych, jak i kryteriów dodatkowych, oceniających zrównoważenie i koszty społeczne;
- stosowane środki mogą dotyczyć zarówno strony podażowej jak i popytowej;
- intuicyjnie można oczekiwać spełnienia wymienionych celów przy pewnym „optymalnym” połączeniu środków ze wszystkich czterech wymienionych obszarów;
- w tle definicji można dostrzec obecność konwencjonalnego systemu energetycznego, dopiero odpowiednio harmonijne uzupełnienie tego systemu o możliwości wynikające z generacji rozproszonej da pełną optymalizację systemu.

Przeгляд metod stosowanych do oceny zrównoważenia systemów energetycznych można znaleźć w pracach [10], [11], [12].

Podział źródeł rozproszonych

Źródła rozproszone, w zastosowaniach praktycznych, można z grubsza podzielić na dwie kategorie:

- wykorzystujące tradycyjne pierwotne nośniki energii;
- oparte na odnawialnych zasobach energetycznych.

Zazwyczaj, przyjmuje się następujący podział źródeł rozproszonych według mocy źródła:

- mikrogeneracja rozproszona (1 kW do 5 kW);
- mała generacja rozproszona (5 kW do 5 MW);
- średnia generacja rozproszona (5 MW do 50 MW);
- duża generacja rozproszona (50 MW do 150 MW).

W zależności od kraju, różnie przyjmuje się wartość graniczną mocy źródła zaliczanego do źródeł rozproszonych, np. Wielka Brytania: 100 MW, USA: 50 MW, Polska: 5 MW (moc źródła energii elektrycznej, które nie wymaga koncesjonowania), Szwecja: 1,5 MW. Inny podział może grupować źródła rozproszone wykorzystujące technologie konwersji energii:

- statyczne, np. ogniwa paliwowe, fotowoltaiczne,
- ruchowe (obrotowe), np. turbiny wodne, wiatrowe.

W praktyce, najliczniejszą grupę źródeł małej i średniej mocy stanowią jednostki kogeneracyjne (lub trójgeneracyjne) i odnawialne źródła energii (OZE). Stanowią one grupę cieszącą się specjalnym wsparciem w polityce Komisji Europejskiej (KE). Rola, jaką mogą spełniać małe źródła, jest zróżnicowana i zależy od typu źródła oraz miejsca jego zainstalowania:

- **u odbiorców końcowych:** podstawowe źródło energii, rezerwowe, awaryjne, praca w szczycie, magazyn, podwyższające standardy zasilania (ponad możliwości zasilania sieciowego), jednostka kogeneracyjna;
 - **w przedsiębiorstwach dystrybucyjnych:** usługi systemowe, wspomaganie lokalnego wytwarzania w szczytach, mikro-sieci, poprawa niezawodności, eliminowanie ograniczeń przesyłowych, uniknięcie rozbudowy sieci, zmniejszenie kar za niedotrzymywanie warunków niezawodności i jakości energii;
 - **wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła:** w miastach i terenach odległych, pokrycie rosnącego zapotrzebowania na rozwijających się obszarach, wykorzystanie OZE.
- Źródła zwiększające niezawodność dzielą się na grupy [13]:
- źródła zasilania awaryjnego: niezależne systemy, zapewniające automatycznie zasilanie w określonym zakresie czasowym w przypadku wypadnięcia źródła zasilania podstawowego; stosowane są do zasilania odbiorów krytycznych (brak zasilania prowadzi do zagrożenia zdrowia, bezpieczeństwa lub mienia);
 - źródła rezerwowe: niezależne systemy, zapewniające zasilanie w przypadku niesprawności zasilania podstawowego i umożliwiający kontynuację normalnej pracy całości urządzeń;
 - źródła podwyższające standardy zasilania: systemy przeznaczone dla klientów wymagających wysokiej jakości zasilania, której nie może zapewnić zasilanie z sieci; systemy te wymagają zarówno wyposażenia w układy kondycjonowania energii, jak i zasilania awaryjnego bądź rezerwowego.

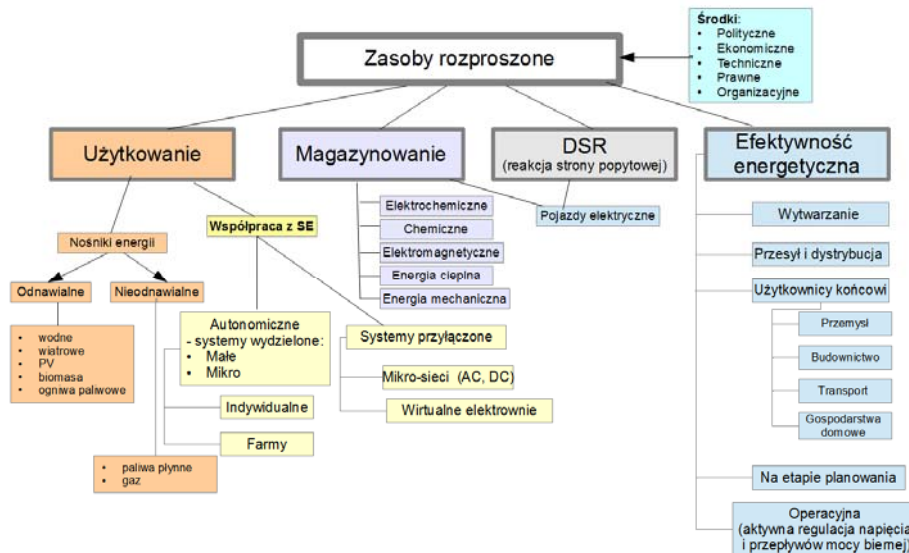
Obszary związane z energetyką rozproszoną

W pracy [14] do podstawowych elementów składających się na problematykę zasobów rozproszonych zaliczono generację rozproszoną, systemy magazynowania oraz reakcję strony popytowej (DSR). Pełniejszy zbiór kwestii, związanych z wykorzystaniem zasobów rozproszonych w

energetyce powinien dodatkowo obejmować zakres zagadnień dotyczących efektywności energetycznej technologii i instalacji rozproszonych. Potencjał źródeł rozproszonych powinien być tak wykorzystywany, aby możliwe było uzyskanie wysokiej efektywności energetycznej na wszystkich poziomach użytkownika energii. Przydatne tu będą narzędzia, służące regulacji napięć i przepływów mocy biernej w sieci w ramach struktury Smart Grid. Inteligentna sieć może wykorzystywać

również rozwiązania sprzyjające optymalizacji i odpowiedniemu planowaniu wykorzystania zasobów.

Jednym z filarów Smart Grid jest mechanizm kształtowania reakcji strony popytowej (DSR), który w systemie z rozproszonymi zasobami energii, zyskuje na znaczeniu. Opcja magazynowania energii w układach rozproszonych, pomimo braku efektywnej technologii rynkowej, nabiera coraz większego znaczenia m.in. z uwagi na rozwój e-mobility i na nowe możliwości integracji z OZE.



Rys.1. Zasoby rozproszone jako układ powiązań w ramach czterech obszarów.

Kwestie generacji rozproszonej warto rozszerzyć na ogólniejszą problematykę użytkownika energii, z wyróżnieniem rodzajów nośników i trybu współpracy instalacji z systemem energetycznym (SE). Środki oddziaływania na rozwój zasobów rozproszonych w energetyce można podzielić na polityczne, ekonomiczne, techniczne, prawne i organizacyjne (promocyjne).

Problematykę generacji rozproszonej, jako czterech kompromujących się obszarów tematycznych przedstawiono na rysunku 1.

Kwestia efektywności energetycznej

Włączenie explicite efektywności energetycznej wydaje się naturalne (oszczędność energii jest pewną alternatywą w stosunku do inwestycji w moce wytwórcze). Taka opcja istnieje w Prawie energetycznym, gdzie w art. 16 a pkt 1 zapisano, że Prezes URE ogłasza, organizuje i przeprowadza przetarg na budowę nowych mocy wytwórczych energii elektrycznej lub realizację przedsięwzięć zmniejszających jej zapotrzebowanie.

Rozwiązanie zadania optymalizacji systemu energetycznego, trudne od strony matematycznej, sprowadzające się do optymalizacji wielokryterialnej z ograniczeniami [15], [16], w praktyce okazuje się bardziej skomplikowane. Dodatkowo czynniki, jakie trudno ująć w procesie optymalizacji, wynikają z kolejnych uwarunkowań, istotnych szczególnie na poziomie lokalnym i regionalnym:

- trudności z określeniem zapotrzebowania na energię w okresie średnio- i długoterminowym, minimalizującym ryzyko biznesowe, szczególnie dla małych wytwórców,
- umiejętności sformułowania i zastosowania innych klasycznych kryteriów zrównoważonego rozwoju (np. miejsca pracy, innowacyjność i przedsiębiorczość),
- wymagania wynikające ze współpracy ze istniejącymi systemami, m.in. w zakresie niezawodności, jakości energii, rezerwowania mocy, usług systemowych,

- dostępności i kosztów wykorzystania lokalnych zasobów energetycznych, w tym zasobów odnawialnych i potencjału efektywności energetycznej,
- określone efekty ekologiczne przy założonym koszcie,
- wyboru technologii, sposobu lub środka w ramach czterech obszarów rozproszonych zasobów (rys.1),
- dojrzałości i dostępności technologii oraz perspektyw ich rozwoju, m.in. z uwagi na zmieniające się uwarunkowania polityczne, środowiskowe i społeczne, (np. węglowe),
- koszty zastosowanych środków powinny uwzględniać koszty inwestycyjne, eksploatacyjne (stałe i zmienne) oraz związane z tzw. *decommishing* (wygaszanie itp.), w tym celu stosuje się różne metody LCA – dla OZE koszty te powinny uwzględniać zakup energii z systemu w przypadku braku produkcji.

Wady i zalety generacji rozproszonej

Generacja rozproszona ma silne wsparcie polityczne na poziomie KE. Przejawia się to w krajowych systemach wsparcia, wykorzystujących środki publiczne, preferujących OZE i wysokosprawną generację.

W ocenie generacji rozproszonej, wymienia się poniższe zalety, wykraczające poza kryteria czysto techniczne:

- wysoka sprawność, czyli (zwłaszcza dla jednostek kogeneracyjnych) mniejsze zużycie paliwa pierwotnego, obniżenie emisji CO₂ oraz innych zanieczyszczeń, co jest zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju;
- mała szkodliwość dla środowiska;
- technologie, mechanizmy rynkowe (np. sprzedaż/zakup energii w szczycie/dolinie) i możliwości zróżnicowania struktury własnościowej umożliwiają łatwiejsze wejście na rynek wytwórców, co sprzyja rozwojowi konkurencji;
- ograniczenie strat przesyłu i dystrybucji (bliskie wytwarzanie bez rozległej infrastruktury sieciowej);
- cena energii zbliżona do kosztów wytworzenia - pomijalne koszty przesyłu (30...40% ceny energii);

- umożliwiają bezpośredni kontakt producenta z odbiorcą;
- pojawiają się nisze biznesowe zwłaszcza dla mniejszych spółek oraz nowe formy współpracy (pakiety udziałów przemysłowych, energetycznych, technologicznych itp.);
- możliwość dokładnego dopasowania mocy jednostek wytwórczych do zapotrzebowania;
- możliwości powstawania więzi między mieszkańcami a danym terytorium, głównie w odniesieniu do zaniedbanych, izolowanych lub peryferyjnych obszarów;
- zwiększenie pewności zasilania odbiorców, możliwość elastycznego użycia w stanach zagrożenia awariami (element wzrostu niezawodności systemów);
- możliwość uniknięcia kosztów rozbudowy sieci elektroenergetycznej i ciepłej (lub co najmniej przesunięcia w czasie inwestycji sieciowej);
- mniejsze nakłady inwestycyjne na zaspokojenie potrzeb mniejszych odbiorców, krótsze czasy inwestycyjne, elastyczność prowadzenia inwestycji i finansowania;
- duża elastyczność pracy, dostosowywana do potrzeb odbiorców i warunków cenowych na rynkach energii;
- budowa modułowa umożliwiająca łatwość rozbudowy;
- bezobsługowość i możliwość zdalnego sterowania, mała liczba wymaganego personelu;
- decentralizacja wytwarzania, usługi systemowe (np. rezerwowanie mocy, regulacja mocy biernej i napięcia).

Kogeneracja średniej i małej skali, wytwarzająca w skojarzeniu ciepło i energię elektryczną, cechuje się wysoką sprawnością wykorzystania energii chemicznej paliwa, prowadząc do oszczędności ok. 30% energii pierwotnej w porównaniu z wytwarzaniem rozdzielonym. Skutkuje to również ograniczeniem emisji do środowiska (np. wytwarzanie CO₂ zmniejsza się o 0,3...0,5 kg na kWh produkowanej energii w stosunku do tradycyjnych technologii węglowych). Należy jednak pamiętać, że limity emisji gazów i pyłów ze źródeł spalania maleją wraz ze wzrostem całkowitej mocy dostarczona w paliwie (MW) [17].

Źródła rozproszone posiadają również wady:

- sprawność wytwarzania energii elektrycznej jest często niższa niż w dużych jednostkach centralnych, stosujących kombinowane cykle gazowe,
- stosunkowo nowe technologie rozproszone wymagają wykazania swoich zalet w trakcie dłuższej eksploatacji,
- jednostki mogą nie podlegać centralnemu planowaniu ani dysponowaniu – ich rozmieszczenie jest przeważnie determinowane dostępem zasobów energetycznych, a nie potrzebami systemu energetycznego i profil produkcji nie musi odpowiadać zapotrzebowaniu na energię,
- wyższe nakłady inwestycyjne i koszty zmienne,
- konkurencyjność ekonomiczna wymaga zazwyczaj pracy w układach skojarzonych,
- niedogodności na osiedlach (zanieczyszczenia, hałas),
- możliwość lokalnego zanieczyszczenia i hałasu,
- obawa przed negatywnym oddziaływaniem na system elektroenergetyczny, zwłaszcza źródeł stochastycznych i przy wysokim poziomie ich udziału w mocy całkowitej, niedopasowaniu lub niewłaściwym wykorzystaniu źródła,
- problemy techniczne we współpracy z systemem, np. nieprzewidywalne przepływy mocy, zmiany napięć i charakterystyk systemu z przepływami mocy biernej,
- przy stosowaniu paliw niekonwencjonalnych, np. biomasy, wymagają zorganizowania stabilnych dostaw,
- wymagają poznania nowych technologii i reguł rynkowych (różnych od technologii scentralizowanych),
- nieokreślona odpowiedzialność za utrzymanie bezpieczeństwa pracy systemu,
- złożone i niejednoznaczne procedury sieciowe, np. koszty przyłączania, świadczenie usług systemowych (bilansowanie, regulacja pierwotna i wtórna, koszty

rezerwowania mocy, operacyjna rezerwa mocy, automatyczna regulacja napięcia i mocy biernej, generacja wymuszona względami sieciowymi),

- możliwość poniesienia strat w przypadku konfliktu z miejscowym operatorem sieci dystrybucyjnej.

Problemy z nieprzewidywalnością generacji rozproszonej, udziałem prosumentów i trudności we współpracy z operatorem sieci może złagodzić pośrednik – zarządca tzw. wirtualnej elektrowni. W tym kontekście pojawiają się również pojęcia jak *nonutility generator*, NUG i niezależny producent energii *independent power producer*, IPP.

Proces integracji generacji rozproszonej z istniejącymi systemami elektroenergetycznymi (dystrybucyjnymi), projektowanymi dla jednokierunkowego przepływu energii, wymaga adaptacji. Jako przykład zagrożenia można podać pracę na wyspę (islanding) źródeł rozproszonych, powodując np. wzrost napięć, zakłócone działanie automatyki zabezpieczeniowej lub obniżenie jakości energii [18]. Problemy rozmieszczenia źródeł rozproszonych sprowadzają się do dwóch podstawowych zadań – lokalizacji źródła o określonej mocy lub określenie mocy źródła dla ustalonego punktu sieci. Wymagania techniczne, dotyczące przyłączania źródeł rozproszonych do KSE można znaleźć np. w pracach [9], [19].

Krajowa problematyka rozproszonych zasobów energii

W opracowaniu Komitetu Elektrotechniki PAN [20] zidentyfikowano szereg obszarów i problemów związanych z energetyką rozproszoną. Zwrócono uwagę m.in. na następujące zagadnienia:

- integracja rozproszonych źródeł energii z siecią zasilającą, w tym metody zwiększenia zdolności przyłączeniowej sieci i sposób przyłączenia źródeł;
- rozwój technologii zasobnikowych, wykorzystywanych do integracji źródeł rozproszonych z siecią zasilającą;
- współpraca lokalnych źródeł z zasobnikami energii;
- wykorzystanie rozproszonych źródeł i zasobników energii do świadczenia usług pomocniczych na rzecz systemu (*ancillary services*) oraz do poprawy jakości zasilania;
- wzrost kogeneracji i odnawialnej generacji rozproszonej przyłączanej do sieci dystrybucyjnych (SN i 110 kV);
- autonomiczne systemy elektroenergetyczne – wyodrębnianie się i zdalne sterowanie przez operatora systemu wytwarzaniem w rozproszonych źródłach;
- potrzeba ciągłego udoskonalania zasad sterowania i zarządzania sieciami dystrybucyjnymi, z wysokim nasyceniem jednostkami rozproszonymi (regulacja napięcia, straty mocy, praca źródeł w warunkach zakłóceń) oraz opracowania standardów automatyzacji sieci z elementami energoelektroniki;
- rosnąca liczba źródeł generacji rozproszonej przyłączanych do sieci dystrybucyjnych wymaga opracowania przejrzystych podstaw prawnych sterowania ich pracą (regulacja napięcia, sterowanie mocą, praca wyspowa w warunkach zakłóceń);
- magazynowanie energii elektrycznej dla pokrycia potrzeb KSE z wykorzystaniem generacji rozproszonej, samochodów elektrycznych i hybrydowych oraz wykorzystaniem sieci gazowniczej;
- skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w blokach gazowych małej mocy (kogeneracyjnych źródłach rozproszonych) z silnikami gazowymi, w tym zintegrowanych ze zgazowaniem biomasy.

W Polsce podjęto liczne prace badawcze i demonstracyjne, związane z generacją rozproszoną. Dotyczą one w znacznej większości samych źródeł, w mniejszym stopniu zagadnień pracy systemów elektroenergetycznych.

Wartość potencjału dla energetyki rozproszonej nie została nigdy rzetelnie oszacowana. Podając różne wartości przeważnie ogranicza się je do potencjału OZE, pomijając inne, np. wynikające z lokalnej kogeneracji.

Zdefiniowanie zasobów rozproszonych jako wzajemnie powiązanych czterech obszarów (rys. 1) umożliwi wybranie najszybszego rozwiązania, ale w sferze implementacji wymusza współpracę i koordynację działań pomiędzy różnymi organami administracji rządowej,

gminnej i podmiotami prywatnymi. Instrumenty realizacji tych zadań pokazano w tabeli 1.

Wspomniane na początku artykułu relacje pomiędzy sieciami inteligentnymi i generacją rozproszoną zostały przedstawione w tabeli 2. Pokazano w niej cele, jakie Prezes URE [21] postawił przed sieciami inteligentnymi i możliwościami udziału generacji rozproszonej, a także ryzyka z tym związane.

Tabela 1. Zasoby energetyczne rozproszone, cele ilościowe i instrumenty ich realizacji w Polsce

Zasób rozproszony	Cel ilościowy	Instrument realizacji		
		Prawny	Finansowy	
			Projekty badawcze	Przedsięwzięcia
Generacja rozproszona	15% z OZE w 2020 r. (UE) 18% kogeneracja (PL)	Ustawa Prawo energetyczne Ustawa o OZE	Horyzont'2020 NCN, NCBR Programy inwestycyjne OSP, OSDs	Zielone certyfikaty Aukcje energii z OZE Czerwone certyfikaty Fundusze strukturalne Środki OSP, OSDs, NFOŚiGW
Magazynowanie energii	Brak	Ustawa Prawo energetyczne	Horyzont'2020 NCN, NCBR	–
Reakcja strony popytowej	Cele ustalane przez OSP	Ustawa Prawo energetyczne	Horyzont'2020 NCN, NCBR	Programy redukcji mocy OSP
Efektywność energetyczna	9% w 2016 r. 20% zmniejszenie zużycia energii w 2020 r. (UE, nieobowiązkowy)	Ustawa Prawo energetyczne Ustawa o efektywności energetycznej Ustawa o termomodernizacji remontach	Horyzont'2020 NCN, NCBR	Białe certyfikaty Fundusze strukturalne NFOŚiGW

Zródło: opracowanie własne

Tabela 2. Możliwość udziału generacji rozproszonej w realizacji celów sieci inteligentnych w Polsce oraz związane z tym ryzyka

Cele SG w Polsce	Możliwość udziału prosumentów	Ryzyko
Poprawa bezpieczeństwa pracy KSE – aspekt techniczny	<ul style="list-style-type: none"> • Optymalne umiejscowienie źródeł generacji w systemie • Ograniczenia zapotrzebowania szczytowego • Dostarczanie zdolności magazynowania energii, np. EV • Regulacja przepływów mocy biernej • Usługa redukcji harmonicznych • Redukcja asymetrii • Regulacja napięcia w węzłach • Pośrednie zwiększenie zdolności generacji źródeł konwencjonalnych • Ograniczenie strat sieciowych (przesył i dystrybucja) 	<ul style="list-style-type: none"> • Brak kontroli na lokalizacją źródeł przez OSD • Problemy z bilansowaniem energii w sieciach dystrybucyjnych • Pogorszenie parametrów jakościowych energii • Wzrost automatycznych wyłączeń dostaw energii do odbiorców spowodowanych przeciążeniami w sieciach niskich napięć • Nieoczekiwane zmiany napięcia np. w wyniku przekompensowania • Brak metod obliczania zysków w wyniku zmniejszenia asymetrii • Ograniczenia w szybkości komunikacji z rozproszonymi prosumentami • Ograniczona zdolność zarządzania ogromną liczbą odbiorów w b. Krótkim czasie (rezerwa wirująca)
Poprawa konkurencyjności rynku energii – aspekt ekonomiczny	<ul style="list-style-type: none"> • Szersza współpraca spółek obrotu z odbiorcami zainteresowanymi wytwarzaniem energii elektrycznej w mikroinstalacji • Obszar <i>demand response</i> oraz powiązana z nim możliwość pełnienia przez przedsiębiorstwa obrotu funkcji koncentratora • Możliwość wyboru położenia wytwórcy w sieci, optymalizująca efekty ekonomiczne 	<ul style="list-style-type: none"> • Dyktowanie cen za magazynowanie • Podnoszenie cen redukcji zapotrzebowania przez odbiorców aktywnych (prosumentów) • Przypadki przewymiarowania mikroinstalacji • Próby sprzedaży znacznych wolumenów energii elektrycznej do sprzedawcy z urzędu przy wykorzystywaniu sieci dystrybucyjnej OSD
Stworzenie warunków dla efektywnego wzrostu udziału energii odnawialnej w krajowym bilansie zużycia energii – aspekt ekologiczny	<ul style="list-style-type: none"> • Stworzenie warunków do wykorzystania pełnego potencjału OZE (w całym zakresie mocy) i ograniczenia generacji scentralizowanej na węglu 	<ul style="list-style-type: none"> • Możliwość lokalnego wzrostu zanieczyszczeń z uwagi na dużą liczbę źródeł rozproszonych
Upodmiotowienie odbiorcy i stworzenie możliwości poprawy efektywności energetycznej – aspekt ekonomiczny i klimatyczny	<ul style="list-style-type: none"> • Możliwość rozliczeń za użytą energię elektryczną i świadczoną usługę dystrybucji na podstawie dokonanych rzeczywistych pomiarów, a nie prognoz • Możliwość skrócenia czasu od momentu odczytu licznika do momentu wystawienia faktury 	<ul style="list-style-type: none"> • Nadmierny, ekonomicznie nieuzasadniony wzrost liczby prosumentów, szczególnie w przypadku nieprawidłowego systemu wsparcia

Zródło: opracowanie własne

Wnioski i uwagi

Obserwując stan i rozwój zasobów rozproszonych można sformułować następujące wnioski i uwagi.

- Rozwój generacji rozproszonej jest wynikiem złożonych procesów, zachodzących na rynkach światowych i zależy m. in. od aktywnej polityki energetycznej oraz regulacyjnej.
- Lokalne rynki energii stają się rynkami podmiotów aktywnych (samorządy, przedsiębiorstwa energetyczne,

odbiorcy), współpracujących lub konkurujących ze sobą, zgodnie z zasadami rynków konkurencyjnych przy coraz bardziej precyzyjnej polityce regulacyjnej, opartej na rozwijanych systemach benchmarkingu.

- Rozwój generacji rozproszonej podyktowany będzie, przynajmniej do czasu zakończenia wstępnej fazy rozwoju tej technologii, potrzebami i rozwojem rynku energii elektrycznej oraz chęcią zagospodarowania lokalnych surowców energetycznych, a jedynie w przypadku dużych odbiorców, głównie ze sfery sektora publicznego i usług, zapotrzebowaniem na ciepło.

- Warunkiem rozwoju generacji rozproszonej, w tym wykorzystującej technologie kogeneracyjne i OZE, będzie stworzenie warunków rynkowych dla konkurencyjnej technologii scentralizowanych i rozproszonych. Wymagać to będzie przede wszystkim stworzenia odpowiedniego systemu regulacyjnego. W warunkach polskich powinno to nastąpić w horyzoncie czasowym lat 2020-2025. Proces ten najprawdopodobniej zostanie przyspieszony przez zmiany zachodzące na rynku gazu ziemnego.

- Rozwój generacji rozproszonej będzie w przeważającej mierze domeną lokalnych operatorów sieci dystrybucyjnych elektroenergetycznych, co będzie konsekwencją ich pozycji na lokalnych rynkach energii, znajomości reguł rynku energii, doświadczenia w prowadzeniu gry rynkowej i znacznych możliwości finansowych, pozwalających na inwestowanie w źródła rozproszone. Istotne jest jednak uwzględnienie rosnącej roli prosumentów.

- Kogeneracja rozproszona będzie stanowić dla przedsiębiorstw ciepłowniczych konkurencję, szczególnie w przypadku dużych odbiorców nieprzemysłowych o stabilnym zapotrzebowaniu na ciepło i wymaganiach, co do niezawodności i jakości dostarczanej energii elektrycznej.

- Wzrastające zapotrzebowanie na ciepło w sektorze usług, przy malejącym zapotrzebowaniu w przemyśle i w sektorze mieszkaniowym, będzie stanowiło istotny bodziec rozwoju kogeneracji rozproszonej.

- Rozwój kogeneracji rozproszonej obciążony jest ryzykiem, związanym z dostępnością do rynku i relacjami cenowymi pomiędzy nośnikami energii (węgiel, gaz). Ryzyko to będzie miało charakter długotrwały z uwagi na brak stabilności na światowych rynkach nośników energii.

- Rozwiązaniem naturalnym przy realizacji nowych inwestycji wydaje się być współpraca lokalnych dystrybutorów energii elektrycznej i przedsiębiorstwa ciepłowniczego. Istnieje szereg rozwiązań modelowych, ułatwiających prowadzenie wspólnych inwestycji.

- Decyzja o inwestowaniu w źródło rozproszone nie powinna być podejmowana w oderwaniu od całości kształtu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego i planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe. Powinna być wynikiem lokalnego konsensusu społecznego i politycznego wokół planowanej inwestycji, z uwzględnieniem zasad zrównoważonej polityki energetycznej oraz ochrony środowiska, redukcji emisji CO₂, zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło (termomodernizacja), ograniczenie strat energii elektrycznej, systemu transportu publicznego.

- Wykorzystanie zasobów rozproszonych, w szczególności rozwój generacji rozproszonej, powinien być sterowany przez państwo w sposób umożliwiający realizację określonych celów społeczno-ekonomicznych na poziomie kraju, regionu i lokalnie, co częściowo pozostaje w sprzeczności z zasadami swobody gospodarczej i konkurencji na rynku energii. Kryteria pomocy powinny umożliwić ocenę projektu nie tylko pod względem zrównoważenia, ale również realizacji regionalnych czy lokalnych celów społeczno-gospodarczych i być

skorelowane z sygnałami rynkowymi (cenami energii, kosztami inwestycyjnymi i surowców energetycznych) [22].

Autorzy: prof. dr hab. inż. Tadeusz Skoczkowski
dr inż. Sławomir Bielecki
dr inż. Krzysztof Rafal

Institut Techniki Ciepłej im. B. Stefanowskiego, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska, 00-665 Warszawa, ul. Nowowiejska 21/25,
e-mail: tadeusz.skoczkowski@itc.pw.edu.pl
slawomir.bielecki@itc.pw.edu.pl
krzysztof.rafal@itc.pw.edu.pl

LITERATURA

- [1] An electricity market for Germany's energy transition An electricity market for Germany's energy transition. White Paper by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. <http://www.bmwi.de/EN/Service/publications.did=721538.html>
- [2] Study Committee 37 CIGRE. Influence enhanced distributed generation on power system. TF 37.23 Report, Paris 1998.
- [3] Distributed generation in liberalised electricity markets, IEA, Paris, 2002
- [4] Directive 96/92/EC of the European Parliament and of the Council of 19 December 1996 concerning common rules for the internal market in electricity Official Journal L 027 , 30/01/1997 P. 0020 – 0029.
- [5] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/72/WE z dnia 13 lipca 2009 r. dotycząca wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej i uchylająca dyrektywę 2003/54/WE
- [6] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, M.P. poz. 478
- [7] Sioshansi F.P. (red.): Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy, Academic Press, 2012.
- [8] Paska J.: Wytwarzanie rozproszonej energii elektrycznej i ciepła, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2010
- [9] Przygodzki M.: Generacja rozproszona jako aktywny uczestnik zarządzania pracą KSE, Elektroenergetyka, nr 3-4 (13-14) 2012
- [10] Rozproszone zasoby energii w systemie elektroenergetycznym, red. Mokrzycki E., Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, 2011
- [11] Santoyo-Castelazo E., Azapagic A.: Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects, Journal of Cleaner Production 80 (2014) 119-138.
- [12] Rubio Rodríguez M. et al.: An LCA based indicator for evaluation of alternative energy routes, Appl. Energy 88(2011) 630-635
- [13] Malko J.: Generacja rozproszona jako czynnik zwiększenia niezawodności dostaw /energii elektrycznej do odbiorców, Energetyka – grudzień 2004
- [14] Robak S., Rasolomampionona D.: Rozproszone zasoby energii – przegląd zagadnienia. Przegląd Elektrotechniczny 6/2011, s. 63-66
- [15] Abdullah M.A., Muttaqi K.M., Agalgaonkar A.P.: Sustainable Energy systems design with distributed renewable sources considering economic, environmental and uncertainty aspect, Renewable Energy, 78 (2015), 165-172
- [16] Moradi M.H., Khandani A.: Evaluation economic and reliability issues for an autonomous independent network of distributed Energy resources, Electrical Power and Energy Systems, 56 (2014), 75-82
- [17] Dyrektywa 2001/80/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23.10.2001 r. w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza z dużych instalacji spalania
- [18] T. A. Short: Power Distribution Handbook , Electric Power Research Institute, second edition, CRC Press, 2014.
- [19] Lubośny Z.: Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, WNT, Warszawa, 2009
- [20] Ekspertyza "Mapa rozwoju dyscypliny Elektrotechnika", Komitet Elektrotechniki PAN, Warszawa, 2015
- [21] Woszczyk M.: URE na rzecz wdrożenia inteligentnych sieci. Warszawa 18 września 2012 r.
- [22] Asensio M. i inni: Electric Price Signals, Economic Operation, and Risk Analysis w Smart and Sustainable Power Systems Operations, Planning, and Economics of Insular Electricity Grids (edited by João P. S. Catalão), CRC Press, 2015