

Klustry energii – korzyści i szanse realizacji

*Ewa Mataczyńska**

Obecna struktura scentralizowanych i zliberalizowanych dostaw energii funkcjonuje pod presją rosnącego globalnego zapotrzebowania na energię elektryczną oraz problemów związanych ze zmianą klimatu. Dodatkowo dążenie do pełnej konkurencji na rynku energii odbiorców końcowych w połączeniu ze wzrostem zainteresowania rozproszonymi źródłami energii elektrycznej, sposobami jej magazynowania, a także systemami zarządzania popytem powoduje, że odbiorcy końcowi chcą aktywnie uczestniczyć (poprzez rozwój lokalnych inicjatyw) w różnych procesach na rynku energii. Pojawiają się zatem pytania, **czy idea tworzenia wydzielonych obszarów zarządzających lokalnie niewielkim zakresem infrastruktury sieciowej wskazuje właściwą drogę do spełnienia tych oczekiwań? Jeżeli tak, to jakich korzyści w wymiarze lokalnym oraz globalnym można się spodziewać? Czy sama świadomość wielopłaszczyznowych korzyści wynikających z nowego modelu rynku energii opartego na mikrosieciach wystarczy, aby wyeliminować bariery, które są nieodłącznym elementem wejścia na rynek nowych podmiotów?**

Coraz częściej spotykamy się również z pojęciem bilansowania lokalnego, inaczej mówiąc równoważenia zapotrzebowania z produkcją na wydzielonym obszarze w oparciu o jego lokalne zasoby. Zasoby te, teoretycznie mogą być wydzielone zarówno na poziomie operatorów systemów dystrybucyjnych, jak również na poziomie niższym np. przedsiębiorców czy chociażby deweloperów budowlanych. Rodzi się jednak pytanie: **czy stworzona w taki sposób nowa hierarchia funkcjonowania systemu elektroenergetycznego będzie utożsamiana z potencjalnymi korzyściami uzyskanymi w wyniku skutecznego, efektywnego oraz zapewniającego bezpieczeństwo energetyczne zarządzania niewielkim zakresem infrastruktury sieciowej?** Z technicznego punktu widzenia, przy zachowaniu na wysokim poziomie dbałości o tę infrastrukturę, zmniejszeniu

* dr Ewa Mataczyńska – ekspert Instytutu Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza

mogłyby ulec stracie zarówno bilansowe, jak i techniczne. Ten lokalny skutek efektywnego zarządzania wybranego obszaru w sposób bezpośredni znalazłby odzwierciedlenie w zmianach obciążenia całego systemu elektroenergetycznego. Ekonomiczny aspekt związany z nową hierarchią funkcjonowania systemu wskazuje, że lokalne zarządzanie zasobami energetycznymi może dodatkowo przyczynić się do obniżenia kosztów energii dla uczestników wydzielonego obszaru (np. dodatkowe taryfy na poziomie tańszym o 20%)¹.

Zwiększenie zaangażowania i świadomości uczestników rynku energii elektrycznej tworzą możliwość do zmiany filozofii w zakresie jego przyszłej struktury. Idea lokalizacji energii wytwarzanej w pobliżu miejsc jej dostarczania zdaje się słusznie wskazywać, jak zaspokoić część tych wymagań. Wydaje się, że przekonanie powyższe znalazło odzwierciedlenie we wprowadzonej w lipcu 2016 roku w Polsce nowelizacji do ustawy o odnawialnych źródłach energii. Inaczej mówiąc luźno zdefiniowanych obszarów, bilansujących zapotrzebowanie z produkcją w ramach lokalnie posiadanych zasobów energetycznych, zarządzanych i rozwijanych przez koordynatora klastra[†].²

Struktura sieciowa klastra energii

Klastr energii, w części związanej z energią elektryczną, należy widzieć z perspektywy możliwości wdrożenia nowego modelu rynku energii elektrycznej opartego na funkcjonowaniu mikrosieci. Mikrosieć³ to jakiegokolwiek skupisko obiektów posiadających zdolności wytwórcze, odbiorcze, technologie magazynowania, jak również możliwość podjęcia synchronicznej współpracy z systemem elektroenergetycznym bądź pracy wyspowej, ze zdolnością bilansowania zapotrzebowania na energię elektryczną z jej wytwarzaniem w skali lokalnej.⁴ Natomiast samo pojęcie klastra należy rozumieć raczej jako określenie rodzaju formalno-prawnej współpracy między uczestnikami tworzonej struktury.

Łącząc zatem pojęcie klastra energii z definicją mikrosieci (w swojej istocie opisującą obszar działania klastra) wyodrębnia się struktura lokalnej wspólnoty energetycznej. Inaczej mówiąc skupisko wytwórców energii elektrycznej oraz jej odbiorców, dążące do zapewnienia jak najwyższego poziomu stabilizacji, objęte systemem wspierającym zarządzanie popytem

[†] Powołana w tym celu spółdzielnia, stowarzyszenie, fundacja lub wskazany w porozumieniu cywilnoprawnym dowolny członek klastra energii

i wytwarzaniem oraz, co istotne, posiadające elastyczną taryfę umożliwiającą pełne korzystanie z ekonomicznych aspektów współpracy.⁵ Mikrosieć posiada również możliwość podjęcia synchronicznej współpracy z systemem elektroenergetycznym bądź pracy wyspowej, ze zdolnością bilansowania zapotrzebowania na energię elektryczną z jej wytwarzaniem w skali lokalnej.⁶ Konstrukcja klastra energii nie została znormalizowana, dostosowuje się jednak do określonych miejsc i lokalnych wymagań. Jest również optymalizowana pod ich kątem, tak aby efektywnie zarządzać przyłączonymi uczestnikami przy zachowaniu bezpieczeństwa energetycznego obsługiwanego obszaru.

Wielowymiarowa współpraca różnych podmiotów zarówno tych, które dysponują własnymi sieciami dystrybucyjnymi na lokalnym obszarze, jak i tych, które korzystają z sieci należących do państwowych przedsiębiorstw dystrybucyjnych jest niezbędna do realizacji nadrzędnych celów klastra energii. Do celów tych należy zaliczyć: zwiększenie efektywności energetycznej, minimalizację całkowitego zużycia energii, zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko, poprawę niezawodności dostaw. Ponadto wyróżnić należy umożliwienie osiągnięcia korzyści operacyjnych, takich jak zmniejszenie strat czy kontrola napięcia, bezpieczeństwo zasilania oraz poprawa efektywności kosztowej odtwarzania infrastruktury elektroenergetycznej.⁷ Cele te, choć zidentyfikowane w kontekście klastrów energii, odzwierciedlają obowiązki przypisane operatorom systemów dystrybucyjnych energii elektrycznej.

Klaster energii a bezpieczeństwo systemu energetycznego

Stworzona w taki sposób nowa hierarchia funkcjonowania systemu elektroenergetycznego będzie utożsamiana z potencjalnymi korzyściami uzyskanymi w wyniku skutecznego, efektywnego oraz zapewniającego bezpieczeństwo energetyczne zarządzania niewielkim zakresem infrastruktury sieciowej.

Na ustawowo zdefiniowane bezpieczeństwo energetyczne składają się trzy filary: techniczny, ekonomiczny oraz ekologiczny.⁸ Zarówno niezawodność dostaw energii elektrycznej, jak i zachowanie standardowych parametrów tych dostaw można osiągnąć w klastrze poprzez zastosowanie magazynów energii elektrycznej. Magazyny te powinny być nieoderwalnym elementem każdej infrastruktury sieciowej zarządzanej lokalnie, która

ukierunkowana jest na bilansowanie obszaru. Oczywiście mówiąc o gwarancji ciągłości dostaw należy mieć na uwadze wpływ warunków pogodowych, które mogą doprowadzić do rozległych uszkodzeń sieci, uniemożliwiających dostawę energii z magazynów do wszystkich odbiorców z lokalnego obszaru. Innym niezwykle istotnym elementem klastrów gwarantującym ciągłość dostaw są stabilne źródła wytwarzania energii elektrycznej, bez których utrzymanie produkcji na poziomie gwarantującym godzinowe, ciągłe pokrycie zapotrzebowania obszaru byłoby trudne, zwłaszcza w sytuacji, kiedy wyobrazimy sobie klastr, który został stworzony przy wykorzystaniu założeń jego pracy w sieci *off-grid*.

Filar ekonomiczny bezpieczeństwa systemu, to ekonomicznie uzasadnione ceny, gwarantujące pokrycie niezbędnych kosztów w celu wyprodukowania oraz dostarczenia energii elektrycznej. Należy zwrócić uwagę na fakt, że polska koncepcja rozwoju klastrów energii uwzględnia po pierwsze możliwość pozyskania dodatkowych funduszy na rozpoczęcie takiej działalności, po drugie ustawa o odnawialnych źródłach energii wskazuje specjalne koszyki aukcji dla klastrów. Dodatkowo możliwość agregacji wytwarzania energii elektrycznej w obrębie jednego klastra może przynieść efekt synergii, który zgodnie z założeniami tworzenia klastrów powinien przynieść wymierne korzyści, poprzez obniżenie kosztów energii dla wszystkich uczestników klastra. Istotna jest również zdolność koordynatora klastra do pozyskiwania dodatkowych funduszy wspierających działalność klastra, chociażby poprzez angażowanie instytucji wspierających rozwój innowacyjnych rozwiązań.⁹

Filar ekologiczny bezpieczeństwa systemu energetycznego, w odniesieniu do energii elektrycznej będzie osiągnięty w klastrze poprzez inwestycje w budowę instalacji odnawialnych źródeł energii w celu późniejszego ich wykorzystywania do pokrycia zapotrzebowania na obszarze swojej działalności. Można zatem postawić tezę, że przy odpowiedniej konstrukcji klastra energii, niezależnie od zastosowanych parametrów identyfikujących jego funkcjonowanie, bezpieczeństwo systemu będzie zagwarantowane. Parametry te można rozpatrywać w trzech wymiarach będących sumą podstawowych założeń, które powinny być zidentyfikowane przy tworzeniu klastra.¹⁰

Wymiary parametrów identyfikujących funkcjonowanie klastra energii

Pierwszy wymiar można zidentyfikować w odniesieniu do tego, kto jest właścicielem sieci elektroenergetycznych, na których klaster zostanie stworzony. Wyodrębnić można tu dwa podstawowe modele, a mianowicie własność państwową oraz prywatną. Przy własności państwowej sieci należą do operatora systemu dystrybucyjnego. Oznacza to tym samym, że dostarczanie energii odbiorcom z klastra powinno się odbywać na podstawie umowy handlowej z tymże operatorem, niezależnie od tego czyją własnością są przyłączone do tej sieci poszczególne elementy struktury tegoż klastra. Dodatkowo taka własność sieci w istotny sposób przekłada się na sposób zarządzania nią, który będzie leżał w gestii właściciela. Mówiąc jednak o modelu rynku opartym o mikrosieci, należy pamiętać, że jej elementy to również źródła wytwórcze, odbiorcze, magazyny czy infrastruktura ładowania samochodów elektrycznych, którymi zarządzanie będzie realizowane przez klaster. Dobrym przykładem może być tu projekt mikrosieci, który realizowany jest przez Niemcy w Mannheim Wallstadt. Tamtejsza mikrosieć jest połączona z centralnym systemem elektroenergetycznym, posiada jednak możliwość pracy wyspowej. Skupia ona na swoim terenie instalacje fotowoltaiczne, kogenerację oraz magazyn energii. Elementy te są własnością prywatną, natomiast sieciami, do których są one podłączone zarządza lokalny operator systemu dystrybucyjnego.¹¹

Na uwagę zasługuje również inny projekt zrealizowany w Kalifornii na terenie wspólnoty mieszkaniowej Borrego Springs (145 km na północny wschód od San Diego) liczącej około 2 800 klientów. Obszar wspólnoty posiada jedno połączenie z siecią przesyłową. Właścicielem mikrosieci jest San Diego Gas & Electric (SDG&E). Jest to regulowane przedsiębiorstwo sieciowe dostarczające energię i gaz do 3,6 mln odbiorców w San Diego i hrabstwie Orange. Oczywiście taki model mikrosieci w sposób naturalny wskazywałby, że to spółka dystrybucyjna powinna być właścicielem składników wytwórczych na terenie mikrosieci, co zresztą jest zgodne z praktyką występującą w innych stanach. Jednakże w Massachusetts istnieje zakaz posiadania na własność przez spółki dystrybucyjne aktywów składników wytwórczych. Wyjątkiem jest tutaj generacja z paneli fotowoltaicznych o mocy do 50 MW. Jasne jednak było, że taki poziom generacji nie pozwoliłby na efektywne działanie mikrosieci, stąd należało zlikwidować ten zakaz do celów przeprowadzenia projektu pilotażowego, bądź rozważyć alternatywę dla zaspokojenia potrzeb w zakresie produkowanej energii przez wykorzystanie magazynów w rozumieniu środka

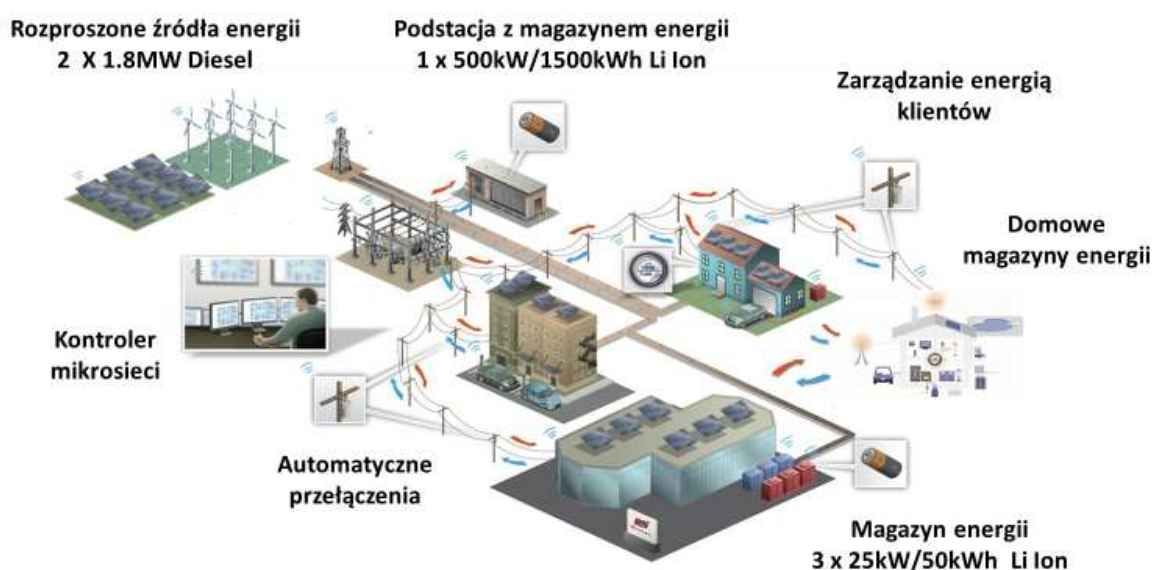
dostarczania energii. Wartość dodana tego, że lokalne przedsiębiorstwo dystrybucji jest właścicielem sieci elektroenergetycznej na terenie obszaru objętego projektem wynika z możliwości koordynacji i kontroli mikrosieci jako jednostki wchodzącej w skład dużego systemu elektroenergetycznego. Zaproponowany w tym projekcie model współpracy stanowił wyzwanie dla regulacji sektora elektroenergetyki w Massachusetts, ponieważ spółki dystrybucyjne zgodnie z prawem stanowym nie mogą być właścicielami źródeł wytwarzania. Ostatecznie jednak zaakceptowano stanowe prawo przyjmując, że sieć energetyczna jest własnością lokalnej spółki dystrybucyjnej natomiast urządzenia takie jak generatory czy magazyny są własnością prywatną.¹²

Głównym założeniem powyższego projektu było udowodnienie, że możliwe jest osiągnięcie 15% redukcji zapotrzebowania szczytowego poprzez integrację wielu rozproszonych źródeł generacji i magazynów oraz przy zastosowaniu modelu rozliczeń, w którym ceny uzależnionej od poziomu zapotrzebowania. Dodatkowo projekt miał umożliwić przygotowanie strategii współpracy inteligentnych urządzeń sieciowych oraz opracowanie najbardziej efektywnych algorytmów zarządzania mikrosiecią.¹³ Jednocześnie, celem projektu było zaprezentowanie jak technologie informacyjne, rozproszone źródła wytwarzania energii elektrycznej (w szczególności panele fotowoltaiczne) oraz magazyny tej energii mogą poprawić użyteczność wykorzystania posiadanych na obszarze zasobów oraz zwiększyć niezawodność dostaw. W projekt zaangażowane są takie firmy jak IBM, Lockheed Martin, Advanced Energy Storage Horizon Energy, Oracle, Motorola, Pacific Northwest National Laboratories oraz Uniwersytet Kalifornijski w San Diego. Koszt projektu wyniósł 15,2 mln dolarów, z czego 2,8 mln sfinansował amerykański departament energii, 7,5 mln zainwestowała spółka SDG&E oraz 4,9 mln pochodziło ze środków prywatnych.¹⁴

Całkowita zainstalowana moc wytwórcza analizowanej mikrosieci wynosi około 4,3 MW, przy czym główna technologia wykorzystana w tej strukturze to dwa generatory wysokoprężne o mocy 1,8 MW każdy oraz panele fotowoltaiczne o mocy 700 kW. Taka struktura wytwarzania jest wspierana przez magazyny energii. Są to baterie w stacji 500 kW/1500 kWh, których przeznaczeniem jest zapewnienie redukcji obciążenia szczytowego. Dodatkowo w skład mikrosieci wchodzi trzy mniejsze baterie o pojemności 50 kWh. Poza

tym obszar posiada sześć sztuk baterii 4kW/8kWh do przydomowego magazynowania energii. Całość struktury uzupełnia instalacja do ładowania samochodów elektrycznych. Istotnym elementem mikro sieci (zarówno tej jak i innych) są inteligentne liczniki oraz inne urządzenia sieciowe pozwalające na stałe kontrolowanie zarówno produkcji, jak i zużycia energii elektrycznej.¹⁵ Opisaną powyżej strukturę przedstawia rysunek 1.

Rysunek 1 Mikro sieć Borrego Springs w Kalifornii.



Źródło: Topical Report on DOE Smart Grid ARRA Microgrid Projects¹⁶

Niezwykle istotnym celem projektu było również pokazanie zdolności do automatycznego przełączania się mikro sieci do pracy wyspowej w odpowiedzi na zagrożenia systemu. Testy przeprowadzone przy zastosowaniu różnych parametrów ustawień dla mikro sieci, zarówno technicznych, jak i związanych z systemem zarządzania jej elementami pokazały, że postawione dla projektu cele zostały zrealizowane. Dobitnym przykładem zasadności tworzenia małych obszarów dysponujących lokalną generacją były wydarzenia z września 2013 roku, kiedy to podczas burzy piorun uderzył w słup linii przesyłowej dostarczającej energię elektryczną do miasta. W wyniku tego uszkodzeniu uległy 3 słupy linii przesyłowej. SDG&E oszacowała, że naprawa potrwa 10 godzin, jednak jak tylko burza minęła mikro sieć

w ciągu godziny przywróciła zasilanie do 1 060 odbiorców.¹⁷ Oznacza to, że mikrościeć nie tylko jest w stanie poprawić niezawodność dostaw oraz jakość energii, ale również może pomóc w przywróceniu zasilania w szybki sposób wtedy, gdy główna sieć jest uszkodzona.¹⁸

Drugi wymiar, określający funkcjonowanie klastra, określa sposób połączenia z siecią dystrybucyjną operatora. Wyróżnić tutaj można trzy przypadki. Pierwszy to taki, kiedy klastr posiada zdolność funkcjonowania w konfiguracji *off-grid* czyli wyspy. Brak połączenia z siecią dystrybucyjną lokalnego operatora oznacza, że po pierwsze sieć jest własnością klastra, po drugie klastr potrafi zagwarantować zasilanie z posiadanych źródeł wytwórczych swoim odbiorcom oraz po trzecie klastr posiada zdolność bilansowania obszaru. Wydzielona sieć nieposiadająca połączenia z centralną siecią elektroenergetyczną z punktu widzenia systemu elektroenergetycznego jest neutralna i zarazem niewidoczna dla całego systemu.

Takie połączenia wyspowe wydzielonego, samodzielnie bilansującego się obszaru utworzono na wyspie Kythnos w Grecji.¹⁹ Zainstalowano tam panele fotowoltaiczne o mocy 10 kW. Dodatkowo przy źródle postawiono magazyn energii o pojemności 53 kWh. Jako zapewnienie dostaw energii na poziomie zabezpieczającym pokrycie zapotrzebowania obszaru, jak również gwarantującym ciągłość dostaw, zainstalowano generator wysokoprężny o mocy 5 kW. Całość zarządzana jest poprzez scentralizowany system umożliwiający bieżącą komunikację poszczególnych elementów mikrościeci. Do zapewnienia warunków funkcjonowania systemu zarządzania zainstalowano dodatkowo panele fotowoltaiczne o mocy 2 kW oraz magazyn o pojemności 32 kWh. Tak skonfigurowana mikrościeć zaspokaja potrzeby 12 rezydencji letniskowych, przede wszystkim w sezonie letnim. Jest to przykład projektu mikrościeci realizowanego w ramach programu Unii Europejskiej pod nazwą „Więcej mikrościeci”.²⁰ Inna konfiguracja sieci w tym wymiarze to klastr posiadający aktywne połączenia z siecią dystrybucyjną operatora. Połączenie to umożliwia wymianę energii elektrycznej pomiędzy lokalnym obszarem a systemem elektroenergetycznym w chwilach występowania na obszarze klastra problemów ze zbilansowaniem. Niemniej jednak połączenie z systemem traktowane jest tu jako dodatkowy element zapewnienia bezpieczeństwa dostaw. Analiza realizowanych na świecie projektów w zakresie mikrościeci pokazuje, że większość z nich posiada możliwość pracy wyspowej. Stąd też jako kolejną

konfigurację w wymiarze dotyczącym sposobu połączenia klastra z siecią operatora systemu dystrybucyjnego należy widzieć zarówno w kontekście współpracy z tą siecią, jak i możliwości pracy wyspowej. Jest to jednocześnie najbardziej popularne rozwiązanie zapewniające efektywne funkcjonowanie mikrosieci. Tego rodzaju mikrosieć funkcjonuje od 2011 roku na nowojorskim uniwersytecie (New York University NYU). Podstawą sieci jest kogeneracja o łącznej pojemności 13,4 MW. Są to dwie turbiny gazowe o pojemności 5,5 MW do produkcji energii elektrycznej w połączeniu z odzyskiem ciepła oraz turbina parowa o mocy 2,4 MW. Taka konfiguracja sieci dostarcza energię elektryczną do 22 budynków oraz ciepło do 32 budynków zlokalizowanych na terenie kampusu. Sieć posiada możliwość pracy wyspowej, co zostało z sukcesem przetestowane podczas huraganu Sandy, który przeszedł wzdłuż wschodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych 29 października 2012 roku, powodując zerwanie połączenia mikrosieci z siecią centralnego systemu elektroenergetycznego.²¹

Trzeci wymiar w jakim można rozpatrywać funkcjonowanie klastrów jest oparty na samej strukturze mikrosieci. Oznacza to, że może to być struktura, która będzie funkcjonować jako pojedynczy element systemu elektroenergetycznego, bądź też może ona się składać się z kilku współpracujących ze sobą mikrosieci. Połączenie takie nosi nazwę multi-mikrosieć. Nie jest wykluczone, że współpraca pomiędzy klastrami mogłaby zastąpić połączenie z centralnym systemem elektroenergetycznym.²² Na uwagę zasługuje fakt, że już przy obecnym stanie prawnym została przewidziana możliwość zarządzania przez jednego koordynatora kilkoma klastrami. Najlepszym przykładem takiej multi-mikrosieci jest przedsięwzięcie zrealizowane w ramach projektu Unii Europejskiej „Więcej mikrosieci”²³ na wyspie Bornholm w Danii, którego celem było udowodnienie, że możliwe jest zapewnienie stabilnej pracy wyspowej bez konieczności odłączania turbin wiatrowych. Operatorem systemu dystrybucyjnego, który posiada swoje sieci na wyspie jest OSTKRAFT. Sieć dystrybucyjna jest podzielona na sieć 60 kV oraz 10 kV. Na wyspie znajduje się ponad 28 000 odbiorców, których udział w zapotrzebowaniu Danii na energię elektryczną wynosi około 0,5%. Ponadto na obszarze pilotażowym utworzono kilkanaście mikrosieci, do których podłączono parki wiatrowe. Generacja z turbin wiatrowych pokrywa ponad 30% zapotrzebowania na energię elektryczną na wyspie i stanowi główne źródło energii

odnawialnej na tym obszarze. Energia pochodzi z 35 turbin wiatrowych o łącznej mocy 29 MW. Ponadto zainstalowano 14 generatorów wysokoprężnych o łącznej mocy 34 MW, turbiny parowe - jedna o mocy 25 MW, druga 37 MW, a także dwie biogazownie o mocy 2 MW. Dodatkowo strukturę wytwarzania uzupełniają instalacje paneli fotowoltaicznych. Wyspa posiada jedno połączenie z nordyckim systemem mocy oraz rynkiem mocy.²⁴ Na uwagę zasługuje również testowany w ramach projektu „Więcej mikrosieci” system zarządzania samochodami elektrycznymi. Jego założeniem jest grupowe użytkowanie samochodów, co oznacza możliwość wypożyczania ich w miejscach, w których zostały pozostawione przez poprzedniego kierowcę. Samochody są lokalizowane przez dedykowane temu rozwiązaniu aplikacje na smartfony. Płatności dokonuje się poprzez telefony komórkowe lub popularne w Danii karty podróżne. System zakłada docelowo, że samochody będą ładowane głównie nocą, gdy energia jest najtańsza oraz gdy wiatraki produkują najwięcej energii, a zapotrzebowanie na nią jest najniższe. Dodatkowo prywatni właściciele samochodów elektrycznych biorą udział w testach polegających na oddawaniu energii z akumulatorów do sieci elektrycznej. Analizy prowadzone w tym zakresie mają na celu wykazanie, że takie samochody w przyszłości mogą stanowić wielki magazyn energii elektrycznej i poprzez inteligentne sieci wspomagać bilansowanie systemu.²⁵

Korzyści w wymiarze lokalnym i globalnym

Wielowymiarowa współpraca różnych podmiotów, niezależnie od posiadanego statusu własności, przynosi korzyści zarówno w wymiarze lokalnym, jak i globalnym. Z podanych przykładów wynika, że istnieje możliwość współpracy podmiotów dysponujących własnymi sieciami dystrybucyjnymi na lokalnym obszarze, z tymi tych, którzy korzystają z sieci należących do państwowych przedsiębiorstw dystrybucyjnych. Nadrzędnymi celami takiej współpracy jest oferowanie korzyści dla klientów, czyli zwiększenie efektywności energetycznej, minimalizacja całkowitego zużycia energii, zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko, poprawa niezawodności dostaw, umożliwienie osiągnięcia korzyści operacyjnych, takich jak zmniejszenie strat, kontrola napięcia, lub bezpieczeństwa zasilania, a także poprawa efektywności kosztowej odtworzenia infrastruktury elektroenergetycznej.²⁶

Pomijając aspekty techniczno-ekonomiczne, które warunkują tworzenie klastrów energii, należy też zwrócić uwagę na filozoficzny wymiar przedsięwzięcia, a mianowicie zakorzenione w społeczeństwie przekonanie, że podejmowane lokalnie decyzje dokonywane są z uwzględnieniem zrównoważonych wyborów, takich jak chociażby między inwestycjami w zakresie wydajności, dostaw technologii, a ekonomicznym ich uzasadnieniem dla lokalnej społeczności. Klaster może koordynować wszystkie te aktywa i przedstawiać je w sposób i na skalę, która jest zgodna z bieżącą działalnością całego systemu elektroenergetycznego. Pozwoli to na identyfikację i przeprowadzenie poważnych, nowych inwestycji, które są niezbędne do zintegrowania pojawiających się zdecentralizowanych potrzeb. Warto również zwrócić uwagę, że mikrosieci stanowią elementarną jednostkę nowej architektury elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej w ramach koncepcji SmartGrids, zdolnej do zapewnienia pełnych korzyści z integracji dużej liczby rozproszonych źródeł energii w systemach dystrybucji energii elektrycznej na niskim napięciu.

Potencjalne korzyści zarówno w wymiarze lokalnym, jak i globalnym można usystematyzować jako pewne strumienie wartości, które dotyczą aspektów ekonomicznych, niezawodności zasilania i jakości dostaw oraz ochrony środowiska.²⁷

Wartości związane z aspektami ekonomicznymi to przede wszystkim obniżenie kosztów energii dla lokalnej społeczności. W zależności od technologii wytwarzania znajdujących się na terenie mikrosieci, zmniejszeniu ulegną koszty zakupu usług przesyłowych czy dystrybucyjnych poprzez wykorzystywanie rozproszonych źródeł energii znajdujących się na lokalnym obszarze. W początkowej fazie efekt ten nie będzie widoczny, ze względu na konieczność poniesienia dużych nakładów finansowych związanych z instalacjami wytwórczymi. Jednakże koszty takich instalacji, szczególnie w zakresie technologii związanej z panelami fotowoltaicznymi, z roku na rok maleją, tworząc tym samym większą ich dostępność dla społeczeństwa.²⁸ Należy również pamiętać, że dla rozwoju inicjatyw lokalnych istotne są programy wsparcia, które dodatkowo stymulują ich rozwój. W polskich warunkach są to np. finansowane ze środków Unii Europejskiej programy funkcjonujące w latach 2014–2020, w ramach których 60 mld zł powinno dotyczyć

programów zwiększających efektywność energetyczną oraz produkcję energii z odnawialnych źródeł energii. Można tu wymienić chociażby:²⁹

- program „Prosument”, wspierający rozwój energetyki prosumenckiej. Prowadzony jest on przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). W jego ramach oferowane są dotacje i niskooprocentowane kredyty dla małych instalacji i mikroinstalacji;
- dodatkowo NFOŚiGW w roku 2016 zawarł kolejnych dziewięć umów o dofinansowanie projektów polegających na termomodernizacji budynków użyteczności publicznej. Koszt wszystkich przedsięwzięć to ponad 103 mln zł, z czego unijne dotacje przekroczą kwotę 76 mln zł. W sumie zostanie poddanych termomodernizacji aż 58 obiektów o łącznej powierzchni 120 922,59 m²;
- w ramach wydatkowania funduszy unijnych Zarząd Województwa Śląskiego rozstrzygnął konkursy o dofinansowanie projektów składanych w pierwszej turze wsparcia efektywności energetycznej i odnawialnych źródeł energii w infrastrukturze publicznej i mieszkaniowej. Do dofinansowania wybrano 98 inicjatyw, które otrzymają dotację ze środków UE w łącznej wysokości 309 mln zł. W chwili obecnej trwa kolejny nabór projektów, w którym do pozyskania będzie łącznie ponad 200 mln zł unijnego wsparcia. W ramach konkursu kwalifikowano inwestycje polegające na modernizacji energetycznej budynków użyteczności publicznej, likwidacji tzw. niskiej emisji (poprzez wymianę lub modernizację indywidualnych źródeł ciepła lub podłączanie budynków do sieciowych nośników ciepła w budynkach użyteczności publicznej) oraz inwestycje związane z budową instalacji odnawialnych źródeł energii w modernizowanych energetycznie budynkach.³⁰

Jest to zaledwie kilka programów wspierających lokalne i obywatelskie inicjatywy, które jednak wskazują na duże możliwości rozwoju i powodzenia realizowanych projektów.

W przypadku mikrosieci posiadającej połączenie z lokalnym systemem dystrybucyjnym obniżenie kosztów energii dla lokalnej społeczności będzie wynikało również z odprowadzania nadmiaru wyprodukowanej energii oraz możliwości sprzedania jej do wybranego sprzedawcy, osiągając przy tym dodatkowy zysk, którego beneficjentem

będzie lokalna społeczność. Można również założyć, że przy odpowiednio skonstruowanych regulacjach w zakresie świadczenia przez klaster usług systemowych lokalne społeczności będą partycypować w korzyściach wynikających z programów zarządzania popytem. Należy bowiem pamiętać, że mikrosieci posiadają zdolności do precyzyjnego sterowania zarówno źródłami wytwórczymi, jak i odbiorczymi. W Nowym Yorku NYISO, niezależny operator systemu elektroenergetycznego odpowiedzialny za funkcjonowanie sieci, posiada programy zarządzania stroną popytową, na podstawie których klienci bądź mikrosieci otrzymują wynagrodzenie za ograniczenie zużycia na żądanie, bądź na zasadach licytacji zmniejszenia zapotrzebowania w jednodniowym wyprzedzeniu.³¹ W warunkach polskich takie mechanizmy nie są dostępne dla klientów indywidualnych, natomiast system usług zarządzania reakcją strony popytowej (DSR) jest dopiero na początkowym etapie wdrożenia.

Mikrosieci poprzez redukcję kosztów związanych z energią przyczyniają się do stworzenia konkurencyjnych obszarów do rozwoju przemysłu oraz nowych miejsc pracy. Stąd jako kolejny, istotny strumień wartości związany z ekonomicznymi aspektami należy wskazać korzyści wynikające z lokalnej inicjatywy współpracy z różnymi podmiotami będącymi uczestnikami klastra. Energia jest głównym kosztem stanowiącym element w cenach większości towarów i usług. Obecność i bliskość mikrosieci może pomóc przyciągnąć do lokalnego obszaru nowe branże, które są wrażliwe na przerwy w dostawie prądu (centra danych, ośrodków badawczych, producentów farmaceutycznych i innych przemysłów wysokiej technologii). Branże te poszukują tego co jest znane jako energia elektryczna na pięć "dziewiątek", co oznacza, że moc jest dostępna na 99,999 procent. Miasta i miejscowości, które oferują taki poziom niezawodności są bardziej atrakcyjne dla firmy poszukującej nowych lokalizacji na rozpoczęcie działalności. Prowadzi to z jednej strony do rozwoju lokalnych obszarów np. gmin czy powiatów, a z drugiej stwarza warunki do ich samowystarczalności, które są zgodne z założeniami przyjętymi zarówno przez Polskę, jak i przez UE.

Klaster energii jako niewielka jednostka ograniczona terytorialnie byłby w stanie, po spełnieniu odpowiednich warunków konfiguracyjnych, zagwarantować zarówno ciągłość dostaw w obrębie obsługiwanego obszaru, jak również parametry tych

dostaw na poziomie spełniającym oczekiwania uczestników lokalnego obszaru.

Co istotne, zgodnie ze strumieniem wartości wynikającym z aspektów ekonomicznych, oczekiwania te byłyby spełnione po niższych kosztach. Strumień wartości związany z niezawodnością zasilania i jakością dostaw odnosi się do redukcji przerw w dostarczaniu energii oraz zapewnienia oczekiwanych parametrów jakości energii elektrycznej. Jest on niezwykle istotny - dotyczy bowiem wszystkich uczestników rynku energii. Coraz większą rolę w biznesie, ale także i w życiu codziennym, odgrywają zaawansowane technologicznie urządzenia elektryczne i elektroniczne. Są one jednak wrażliwe na jakość energii, tj. na wahania napięcia lub na zmianę parametrów częstotliwości. Wymagają one zatem wiarygodnych źródeł zasilania. Zagwarantowanie ciągłości zaopatrzenia w energię bardziej wymagającym odbiorcom, w chwili obecnej jest możliwe, wiąże się jednak z dodatkowymi opłatami. Za wyższą ponad standardowo zagwarantowaną jakość dostaw klienci są zobowiązani zapłacić. Większość odbiorców jednak, nie korzysta z tej możliwości.

Niezawodność zasilania jest kluczowym zagadnieniem dla wielu odbiorców energii elektrycznej, stanowi ona podstawę efektywnego prowadzenia biznesu, zapewnienia bezpieczeństwa, eliminację ryzyka związanego z utratą zdrowia czy życia. Dla wielu klientów ryzyko utraty zasilania w krytycznych momentach, nawet jeśli tylko na chwilę, zmusza ich do instalowania systemów pozwalających na podtrzymywanie zasilania do istotnych urządzeń w chwili braku zasilania z głównej sieci. Sytuacje takie występują chociażby w szpitalach. Dobrze zaprojektowane mikrosieci wyposażone są w technologie umożliwiające zdolność do izolowania się od zakłóceń zewnętrznych, zmniejszając ryzyko wystąpienia przerw w zasilaniu.³²

Jakość energii zwyczajowo wiąże się z charakterystyką zaburzeń w postaci odkształceń, tzn. odchyłeń od wartości oczekiwanych (zakłócenia harmonicznymi i składowymi wysokiej częstotliwości, wahania częstotliwości, zakłócenia impulsowe) oraz zdarzeń (skoki napięcia, przepięcia, przerwy, wyłączenia), odnoszących się do nagłych zmian parametrów dostarczanej energii. Pogorszenie jakości energii elektrycznej ma istotny wpływ na urządzenia strony odbiorczej, lecz także na dostawców energii, zarówno w zwiększonej awaryjności systemu zasilającego i urządzeń, jak również w stratach z tytułu niedostarczonej

energii. Konsekwencją powyższego są straty finansowe. Jednak dzięki zastosowaniu nowoczesnej elektroniki (tj. statyczne przetwornice mocy i prostowniki), mikrosieci mogą gwarantować zasilanie o różnych poziomach jakości energii elektrycznej, w tym starannie kontrolowanego napięcia i poziomu częstotliwości.³³

Mikrosieci mają potencjał do zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko poprzez integrację niskoemisyjnych lub bezemisyjnych technologii wytwarzania energii elektrycznej, przez co pomagają wypełnić cele klimatyczne. Powyższe identyfikuje dwa kolejne strumienie wartości, tym razem związane z wpływem mikrosieci na środowisko. Są to zwiększenie udziału energii odnawialnej w miksie energetycznym oraz zapobieganie zmianom klimatycznym. Wiele miast w Stanach Zjednoczonych określa konkretne cele w zakresie udziału poszczególnych źródeł energii w strukturze produkowanej energii. Na przykład Phoenix zamierza osiągnąć poziom 15% zużycia energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych do roku 2025.³⁴ Z kolei Greensburg w Kansas zasilany jest energią ze źródeł odnawialnych w 100%.³⁵ Boston zaś za cel postawiło sobie zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 25 % do 2020 roku, a 80% do 2050 roku, odzwierciedlając tym samym cele wyznaczone dla całego stanu Massachusetts.³⁶ Realizując ten plan, miasto to wspiera rozwój mikrosieci w ramach District Energy*, który swoim zasięgiem obejmuje około 250 budynków komercyjnych i rządowych, szpitale, uniwersytety i inne instytucje. Dla wymienionych powyżej przykładów mikrosieci stanowią narzędzie pomagające osiągnąć postawione cele, chociażby ze względu na wykorzystywanie paneli fotowoltaicznych do produkcji energii elektrycznej. Oczywiście, przy takiej technologii produkcji dużym jej minusem jest jej niestabilność, ponieważ słońce nie zawsze świeci. Jednak mikrosieci posiadające więcej niż jedno źródło generacji, współpracujące z zaawansowanymi układami kontrolerów, mogą poradzić sobie z tą niestabilnością wybierając najlepsze połączenie dostępnych zasobów w lokalnej sieci bez interwencji człowieka. Pamiętać jednak należy, że tego rodzaju mechanizmy działają właściwie tylko w sytuacji, kiedy dysponują szeregiem informacji

* District Energy to system energetyczny o zasięgu rejonowym zajmujący się produkcją pary, ciepłej wody oraz wody lodowej w centralnym punkcie. Para oraz woda jest dostarczana systemem podziemnych rur do indywidualnych budynków do ogrzewania powierzchni, zapewnienia ciepłej wody oraz klimatyzacji. W rezultacie, poszczególne budynki obsługiwane przez ten system energetyczny nie potrzebują własnych kotłów, pieców, agregatów czy klimatyzacji.

(choćby prognozy pogody), które będą wykorzystywane przez zaawansowane algorytmy do stworzenia optymalnych warunków funkcjonowania sieci. Lokalne, efektywne zarządzanie obszarem odgrywa również istotną rolę w globalnym procesie stabilizacji całego systemu elektroenergetycznego. Jak wykazały badania prowadzone nad projektem mikrosieci Princeton University, mikrosieć może działać jako źródło mocy zapasowej, kiedy farmy wiatrowe i słoneczne nie wytwarzają energii. Analizowany przypadek pokazał, że generator turbiny na gaz ziemny szybko zareagował na nieprzewidziane spadki napięcia spowodowanego przez gęstą chmurę przechodzącą ponad 4,5 MW farmą słoneczną, stabilizując pracę lokalnej sieci.

Główne bariery rozwoju klastrów energii

Bez zapewnienia mechanizmu bodźców oraz wprowadzenia przejrzystych regulacji dla realizacji inicjatyw lokalnych, zmiana dotychczasowego modelu rynku energii na nowy, który oparty będzie na mikrosieciach - nie będzie możliwa. Główne bariery na jakie napotkają nowe inicjatywy będą związane z utrudnieniami między innymi o charakterze technicznym, ekonomicznym, społecznym i legislacyjnym.³⁷ Techniczny charakter barier ściśle związany jest z przyszłą konfiguracją klastra (kto jest właścicielem sieci, ilość oraz rodzaj potencjału wytwórczego, obszar działalności). Własna infrastruktura elektroenergetyczna wydaje się być optymalnym rozwiązaniem w działalności klastra. Jednak jej budowa z ekonomicznego punktu widzenia wydaje się nieuzasadniona. Wyjściem z tej sytuacji jest zatem korzystanie z istniejącej, należącej do lokalnego dystrybutora energii elektrycznej na podstawie właściwej umowy. W tym jednak przypadku, w zależności od planowanego przez klaster potencjału wytwórczego, może się okazać, ma ona ograniczone możliwości techniczne w zakresie podłączenia dodatkowych źródeł wytwórczych. Konieczności przeprowadzenia niezbędnej rozbudowy oraz modernizacji sieci w celu jej dostosowania do zmieniających się potrzeb lokalnego rynku generuje duże koszty, do których pokrycia zobowiązany będzie podmiot ubiegający się o przyłączenie do sieci. Zatem w swojej istocie bariery techniczne związane są ściśle z barierami o charakterze ekonomicznym. Oznacza to, że na etapie definiowania parametrów konfiguracji klastra, konieczne jest zestawienie kosztów z oczekiwanymi korzyściami. Takie porównanie powinno

określić, czy występuje uzasadnienie ekonomiczne do tworzenia nowej struktury, a jeżeli tak to czy będzie ona w stanie w przyszłości zaspokoić oczekiwania lokalnej społeczności wynikające chociażby z korzyści związanych z efektem synergii.

Do barier technicznych należy również zaliczyć brak standardów przyłączenia do sieci dystrybucyjnej mikrosieci oraz standardów i warunków współpracy w przypadku, kiedy sieć którą wykorzystuje klaster energii należy do lokalnego dystrybutora.

Pomijając bariery techniczno-ekonomiczne występujące przy tworzeniu klastrów energii należy też zwrócić uwagę na aspekt społeczny przedsięwzięcia, a mianowicie pomimo zakorzenionego w społeczeństwie przekonania, że systemy lokalnie kontrolowane są bardziej skłonne do podejmowania uzasadnionych ekonomicznie decyzji ciągle obserwujemy niechęć do angażowania się w nowe inicjatywy. Przyczyny takiej niechęci zależą od indywidualnego postrzegania otoczenia oraz identyfikacji czy interpretacji oczekiwań związanych z jego rozwojem. Mogą wynikać z braku wystarczającej wiedzy w zakresie proponowanych rozwiązań, co przekłada się na strach przed nowymi rozwiązaniami. Dodatkowo perspektywa zmian uruchamia całą gamę fundamentalnych potrzeb związanych chociażby z chęcią zachowania posiadanego poczucia bezpieczeństwa. Natomiast dla podmiotów już funkcjonujących na rynku energii elektrycznej stan obecny, który miałby podlegać zmianie, postrzegany jest jako wynik obiektywnego dostosowywania się do panujących warunków wewnętrznych i zewnętrznych przez ostatnie lata i jako taki uznawany jest za optymalny.

Mała świadomość społeczna oraz brak edukacji w zakresie korzyści wynikających z mikrosieci wynika bezpośrednio z braku rozwoju projektów, które dostarczyłyby odpowiedni zasób informacji, na podstawie których można by postawić wnioski o zasadności prowadzenia tego rodzaju rozwiązań. Dodatkowo zbyt mała świadomość społeczna w zakresie potrzeby promowania działań ekologicznych oraz podnoszących efektywność energetyczną wpływa na brak zainteresowania indywidualnymi instalacjami oraz możliwością partycypowania w korzyściach z realizowanych projektów.

Jednak najważniejszą barierą, która uniemożliwia efektywny rozwój nowych inicjatyw jest zbyt małe zainteresowanie ze strony organów stanowiących regulacje. Stąd pojawiają się

wątpliwości związane z ryzykiem zniechęcającym do inwestycji w uruchamianie nowych, pilotażowych projektów.

Ile i jakie regulacje – propozycje rozwiązań

Sama świadomość wielopłaszczyznowych korzyści wynikających z nowego modelu rynku energii opartego na mikrosieciach nie wystarczy, aby wyeliminować bariery, które są nieodłącznym elementem wejścia na rynek nowych podmiotów.

Obecnie obowiązujące w Polsce przepisy definiują jedynie podstawowe pojęcie klastra energii. Brak jest legislacyjnego wskazania zasad, które określiłyby jego miejsce na rynku energii, a także prawa i obowiązki. Na dzień dzisiejszy stanowi to zasadniczy czynnik, który hamuje pełną realizację lokalnych inicjatyw związanych z klastrami energii.

Proces implementacji nowej struktury na funkcjonującym rynku energii nie będzie łatwy ani szybki. Jak wskazują doświadczenia Stanów Zjednoczonych w obszarze mikrosieci, nie ma jednolitych przepisów prawnych i regulacyjnych we wszystkich stanach. Dodatkowo istniejące wymogi regulacyjne są niepewne, co stanowi przeszkodę dla rozwoju lokalnych inicjatyw. Opisywany powyżej przykład mikrosieci Borrego Springs jest w chwili obecnej jednym z największych projektów w kraju, działającym przeszło 10 lat. I choć doświadczenia nabyte w ramach projektu potwierdziły wartość tego rodzaju rozwiązań, to jednak nie przełożyło się to na gwałtowny rozwój nowych lokalnych inicjatyw. Realizowane projekty pomogły zidentyfikować obszary, dla których wymagane są dodatkowe regulacje. Obszary te dotyczą przede wszystkim własności sieci energetycznej na terenie mikrosieci, urządzeń wytwórczych czy magazynów oraz reguł wzajemnych powiązań pomiędzy poszczególnymi elementami wchodzącymi w skład lokalnie zarządzanego obszaru. Rodzaj i jakość lobbowanych przez zwolenników mikrosieci regulacji jest uzależniona od istniejących stanowych rozwiązań.

Powyższe wskazuje, że istotnym elementem na drodze dalszego rozwoju klastrów energii w Polsce będzie wypracowanie, przy współudziale wszystkich użytkowników systemu elektroenergetycznego, jasnych zasad funkcjonowania klastrów w istniejącej strukturze rynku, bądź opracowanie mapy drogowej dojścia do nowej struktury rynku, przy jednoczesnym poszanowaniu praw wszystkich jego uczestników. Przy określaniu zasad, które

będą gwarantowały bezpieczeństwo lokalnym społecznościom oraz całemu systemowi elektroenergetycznemu, nowe regulacje powinny:

- umożliwić lokalnym inicjatywom posiadanie sieci na własność oraz automatyczne zarządzanie tymi sieciami bądź zawieranie umów o współpracy z lokalnymi spółkami dystrybucji;
- zagwarantować możliwość uczestnictwa na rynku energii w niedyskryminowany sposób poprzez sprzedawców bądź agregatory;
- gwarantować uczciwe i przejrzyste procedury w zakresie opłat odzwierciedlających poniesione koszty;
- zapewniać uczestnictwo w klastrze energii na warunkach dobrowolnych, z możliwością ewentualnej rezygnacji;
- dążyć do opracowania jednolitego, przejrzystego mechanizmu rozliczeń;
- wspierać rozwiązania w zakresie inteligentnych sieci, które są niezbędnym elementem efektywnie funkcjonujących mikrosieci oraz stworzenie im możliwości działania w jak największym zakresie również poprzez łączenie ich w inteligentne sieci multi-mikrosieci;
- określić programy pilotażowe oraz stworzyć bodźce zachęty do uczestnictwa w takich programach.

Dzięki programom pilotażowym możliwa będzie właściwa ocena potrzebnych zmian w ramach prawnych. Bardzo ważne jest, aby w przyszłych regulacjach, przy współudziale społeczeństwa, wnioski wyciągane ze realizowanych projektów znalazły realne odzwierciedlenie.³⁸ Początkowy etap na jakim znajduje się w Polsce koncepcja klastrów, uniemożliwia identyfikację wszystkich problemów związanych zarówno z ich tworzeniem, jak i funkcjonowaniem. Trudno jest również przewidzieć i zdefiniować szczegółowe potrzeby lokalnych społeczności tworzących wyodrębnioną strukturę sieci elektroenergetycznej. Dodatkowo, określenie zamkniętego katalogu zasad czy warunków współpracy mikrosieci z centralnym systemem dystrybucyjnym w rozbudowanych aktach prawnych czy regulacyjnych wydaje się być nieracjonalne bez wdrożenia programu pilotażowego.

- ¹ S. Scown, *Local Supply: Options for Selling your Energy Locally*, Regensw, czerwiec 2015, s. 10
- ² Ustawa z dnia 22 czerwca 2016 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. z 2016 r. poz. 925), Art.2. ust.15a, Art. 38a. (36) [Klaster energii]
- ³ E.Hayden, Introduction to microgrids, SECURISON, USA, Virginia, 2013,pp [2-3]
- ⁴ J. Romanowicz, M. Qu, C. Marnay, N. Zhou, M. Qu, International Microgrid Assessment: Governance, Incentives and Experience, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, March 2013, LBNL-6159E, pp [46-52]
- ⁵ European Commission, Smart grids: from innovation to deployment, COM (2011) 202 final, Brussels, 12 April 2011
- ⁶ J. Romanowicz, M. Qu, C. Marnay, N. Zhou, M. Qu, International Microgrid Assessment: Governance, Incentives and Experience, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, March 2013, LBNL-6159E;
- ⁷ G.B. C. Weyrich Young Morrispp, On the Benefits and Costs of Microgrids, McGill University, Montreal, Quebec, 10 December, 2012, pp [15-27]
- ⁸ Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997, z późniejszymi zmianami, tekst jednolity na dzień 01 października 2016, Rozdział 1, Art. 3, pkt 16
- ⁹ M.Fiore, The Danish wind Cluster: Strategies, Trajectories and Future Development, str 14-21 [Internet:] <http://tesi.eprints.luiss.it/6672/1/fiore-tesi-2011.pdf> [dostęp: 20.12.2016]
- ¹⁰ C.Wouters,K.Van Hende, ICER Distinguished Scholar Awards - Creating and managing regional energy markets The Role of Microgrids Within Future Regional Electricity Markets , School of Energy and Resources, University College London, Australia (UCL Australia) pp 19
- ¹¹ More Microgrids, Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids (2009), [Internet:] <http://www.microgrids.eu/documents/661.pdf> [dostęp: 20.12.2016]
- ¹² Microgrids: An Assesment of the Value, Opportunities and Barriers to Deployment to the New York State, Final Report, Myserda Energy, Innovation, Salutions, September 2010, pp[A2-A15]
- ¹³ J. Patterson, F. Pina, L. ten Hope, R.P. Oglesby, Borrego Springs Microgrid Demonstration Project, San Diego Gas & Electric, October 2013 , CEC-500-2014-067, pp 6
- ¹⁴ M. Titzer, Energy Efficient Infrastructure Development: A case study analysis of cities' best practices, American University, April 2015, pp 8
- ¹⁵ [Internet:] <https://building-microgrid.lbl.gov/borrego-springs> [dostęp: 20.12.2016]
- ¹⁶ S.Bossart, Government & Military Smart Grids & Microgrids Symposium, Topical Report on DOE Smart Grid ARRA Microgrid Projects, National Energy Technology Laboratory Arlington, April 9, 2014, [Internet:] <https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Research/Energy%20Efficiency/DOD-Microgrid-040814-short.pptx> [dostęp: 15.02.2017]
- ¹⁷ Microgrid Powers Borrego Springs to Avoid Major Outage, [Internet:] <http://www.sdge.com/newsroom/press-releases/2015-06-01/microgrid-powers-borrego-springs-avoid-major-outage#sthash.x9v2UXJK.dpuf>, [dostęp:12.02.2017]
- ¹⁸ Microgrids-Benefits, Models, Barriers and Suggested Policy Initiatives for the Commonwealth of Massachusetts, Kema, 2014, pp[6-1, 6-3]
- ¹⁹ SMA, Kythnos Island, [Internet:] http://der.lbl.gov/sites/der.lbl.gov/files/SMA_Kythnos.pdf [dostęp: 20.12.2016]
- ²⁰ N.Hatziargyriou, H. Asano, R IravaniI, C. Marnay, Microgrids: An Overview of Ongoing Research, Development, and Demonstration Projects, IEEE Power and Energy Magazine, vol., no., 2007, 78-94.
- ²¹ [Internet:] <https://building-microgrid.lbl.gov/new-york-university> [dostęp: 20.12.2016]
- ²² K.Koyanagi, Y.Hida, R.Yokoyama, S.Nagata, K.Nakao, T.Hirai, Electricity Cluster-Oriented Network: A Grid independent and Autonomous Aggregation of Micro-grids, Modern Electric Power Systems 2010, paper 07.5
- ²³ EcoGrid UE, A prototype for European Smart Grid. Gide o the large-scale project. [Internet:] <http://www.eucogrid.net/images/Documents/EcoGrid%20EU%20-%20Guide%20to%20the%20large-scale%20project.pdf> [dostęp: 20.12.2016]
- ²⁴ More Microgrids, DF7– Report on field test on MV island operating isolated (2009), [Internet:] <http://www.microgrids.eu/documents/663.pdf> [dostęp: 20.12.2016 r.]
- ²⁵ EcoGrid UE, From Design to Implementation, A large scale demonstration of a real-time marketplace for Distributed Energy Resources. [Internet:]

https://energiatalgud.ee/img_auth.php/e/e8/EcoGrid_EU._From_Design_to_Implementation._Aruanne.pdf
[dostęp: 20.12.2016]

²⁶ Analyzing the Costs and Benefits of Community Microgrids, Industrial Economics, Incorporated, New York State Energy Research and Development Authority, March 19, 2015.

²⁷ R.L.Dohn, The Business Case for Microgrids, The new face of Energy modernization, Siemens AG, 2011.

²⁸ T.Mirowski, K.Sornek, Potencjał energetyki prosumenckiej w Polsce na przykładzie mikroinstalacji fotowoltaicznych w budownictwie indywidualnym, Polityka Energetyczna – Energy Policy Jurnal, 2015, Tom 18, Zeszyt 2, pp [77].

²⁹ Strona internetowa NFOŚiGW <http://nfosigw.gov.pl>

³⁰ Strona internetowa Serwisu Regionalnego Programu Województwa Śląskiego, <http://www.rpo.slaskie.pl>.

³¹ <https://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid/demand-response>, [dostęp:18.02.2017]

³² C.Abbey, D.Cornford, Powering Through the Storm, IEE Power & Energy Magazine, may/june 2014, 67-76.

³³ M.S. Purser, A Technical and Economic Feasibility Study of Implementing a Microgrid at Georgia Southern University, Georgia Southern University, Spring 2014, pp [15-21].

³⁴ Strona internetowa <https://energy.gov/savings/city-phoenix-renewable-energy-goal>, [dostęp:18.02.2017]

³⁵ http://www.go100percent.org/cms/index.php?id=70&tx_ttnews%5Btt_news%5D=59, [dostęp:18.02.2017]

³⁶ C. Cerezo Davila, Ch. Reinhart, J. Bemis, Modeling Boston: A workflow for the generation of complete urban building energy demand models from existing urban geospatial datasets, Sustainable Design Lab, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA 02139, USA, 2014

³⁷ Deploying Clean Energy Microgrids in the Nation's Capital, Attachment AiB, DOEE Green Building Fund Grant #2 (2015-1501-OPS), September 2015

³⁸ Massachusetts Clean Energy Center, Microgrids – Benefits, Models, Barriers and Suggested Policy Initiatives for the Commonwealth of Massachusetts, KEMA, February 3, 2104, pp [10-6]