

KOMENTARZ IPE nr 1/2017

Klastry energii z perspektywy wdrożenia nowego modelu rynku opartego na funkcjonowaniu mikrosieci

*Ewa Mataczyńska**

Od pewnego czasu obserwuje się niesłabnące zainteresowanie układami generacyjnymi zaliczanymi do kategorii rozproszonych źródeł energii, szczególnie tymi, które bazują na odnawialnych źródłach energii elektrycznej. Rośnie również zainteresowanie mechanizmami magazynowania tej energii, a także systemami zarządzania popytem, w których to odbiorcy końcowi zarówno przemysłowi jak i indywidualni są aktywnie włączani w procesy bilansowania. Stąd coraz częściej spotykamy się 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 i na niższym poziomie np. przedsiębiorców czy chociażby deweloperów budowlanych. Zachodzi 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 mogłyby ulec straty 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

* dr Ewa Mataczyńska – tytuł doktora nauk ekonomicznych nadany przez Instytut Nauk Ekonomicznych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Rozprawa: „Zastosowanie metody DEA do analizy zmian efektywności technicznej regulowanych przedsiębiorstw sieciowych. Na przykładzie krajowych spółek dystrybucji energii elektrycznej”, e-mail: emataczynska@gmail.com

zasobami energetycznymi może dodatkowo przyczynić się do obniżenia kosztów energii dla uczestników lokalnego obszaru (choćby poprzez efekt synergii).

Obecna struktura scentralizowanych i zliberalizowanych dostaw energii funkcjonująca pod presją rosnącego globalnego zapotrzebowania na energię elektryczną, problemy związane ze zmianą klimatu oraz dążenie do pełnej konkurencji na rynku energii odbiorców końcowych w połączeniu ze wzrostem świadomości w zakresie efektywności energetycznej oraz emisji gazów cieplarnianych prowadzi do pojawiania się wielowymiarowych wymagań uczestników rynku, które odnoszą się między innymi do szeroko rozumianego pojęcia bezpieczeństwa energetycznego. Zwiększenie zaangażowania i świadomości uczestników rynku tworzą możliwość do zmiany filozofii w zakresie przyszłej struktury rynku energii elektrycznej. Idea lokalizacji energii wytwarzanej w pobliżu jej miejsc dostarczania zdaje się słusznie wskazywać jak zaspokoić część tych wymagań. Wydaje się, że przekonanie powyższe znalazło odzwierciedlenie we wprowadzonej w Polsce nowelizacji ustawy o odnawialnych źródłach energii pod pojęciem klastrów energii. Inaczej mówiąc luźno zdefiniowanych obszarów, bilansujących zapotrzebowanie z produkcją w ramach lokalnie posiadanych zasobów energetycznych, zarządzanych i rozwijanych przez koordynatora klastra.¹

Mikrosieć podstawową jednostką struktury sieciowej klastra energii

Samo pojęcie klastra należy rozumieć raczej jako określenie rodzaju formalno-prawnej współpracy między uczestnikami tworzonej struktury. W istocie jednak klastery należy widzieć z perspektywy możliwości wdrożenia nowego modelu rynku energii elektrycznej opartego na funkcjonowaniu tzw. mikrosieci. Możemy sobie bowiem wyobrazić mikrosieć, w której znajduje się kilku wytwórców energii elektrycznej oraz kilku jej odbiorców. W tym przykładzie stabilne źródło wytwórcze mogłoby pełnić funkcje regulacyjne w mikrosieci, czyli funkcje gwarantujące ciągłość i stabilność dostaw. Jako uzupełnienie energii szczytowej powyższego modelu można zaproponować kilka instalacji paneli fotowoltaicznych. Taka struktura mikrosieci byłaby wyodrębniona funkcjonalnie i terytorialnie (obszar w obrębie gminy lub powiatu). Miałaby również fizyczne połączenie z siecią elektroenergetyczną operatora dystrybucyjnego. Zasadniczo do prawidłowego działania takiej mikrosieci, szczególnie w przypadku efektywnego bilansowania, wydzielona struktura powinna posiadać

inteligentne opomiarowanie wszystkich jej elementów, połączone z systemem wspierający procesy zarządzania zarówno popytem odbiorców, jak i poziomem wytwarzania tak, aby równoważyć popyt i produkcję energii elektrycznej. Jednocześnie poprzez fakt przyłączenia do „nadrzędnej” sieci dystrybucyjnej nadwyżki lub niedobory energii elektrycznej w mikrosieci byłyby bilansowane z operatorem systemu dystrybucyjnego. Przy czym, należy również wskazać na możliwość funkcjonowania takiej struktury bez konieczności utrzymywania połączenia z siecią systemu elektroenergetycznego.²

Łącząc zatem pojęcie klastra energii z pojęciem mikrosieci (w swojej istocie definiujących obszar działania klastra), wyodrębnia się struktura lokalnej wspólnoty energetycznej, czyli wytwórców energii elektrycznej oraz jej odbiorców, ukierunkowana na zapewnienie jak najwyższego poziomu stabilizacji, objęta systemem wspierającym zarządzanie popytem i wytwarzaniem oraz co istotne posiadającą elastyczną taryfę umożliwiającą pełne korzystanie z ekonomicznych aspektów współpracy.³

W dostępnej literaturze jest wiele definicji mikrosieci⁴, wszystkie jednak sprowadzają się do stwierdzenia, że mikrosieć 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.⁵ 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.

Klaster energii a bezpieczeństwo systemu energetycznego

Na ustawowo zdefiniowane bezpieczeństwo energetyczne składają się trzy filary: techniczny, ekonomiczny oraz ekologiczny.⁶ 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 lokalne bilansowanie obszaru. Oczywiście mówiąc o gwarancji ciągłości dostaw należy mieć na uwadze wpływ warunków pogodowych, które mogą

doprowadzić do rozległych uszkodzeń sieci, uniemożliwiających dostawy 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 byłyby trudne, zwłaszcza w sytuacji, kiedy wyobrazimy sobie klastery, 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.⁷ Filar ekologiczny bezpieczeństwa systemu energetycznego, w odniesieniu do energii elektrycznej będzie osiągnięty w klastrze poprzez inwestycje w budowę odnawialnych źródeł energii w celu późniejszego jej 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.⁸

Wymiary parametrów identyfikujących funkcjonowanie klastra energii

Pierwszy wymiar można sformułować w odniesieniu do własności sieci elektroenergetycznych, na których klastery zostaną stworzone. Wyodrębnić można tu 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 jaką własność posiadają poszczególne elementy struktury klastra przyłączone do tej sieci. Dodatkowo taka własności sieci w istotny sposób przekłada się na jej sposób zarządzania, 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, których zarządzanie będzie realizowane przez klaster. Dobrym przykładem może być tu projekt mikrosieci realizowany przez Niemcy w Mannheim Wallstadt. Mikrościeć jest połączona z centralnym systemem elektroenergetycznym, posiada jednak możliwości pracy wyspowej. Na swoim terenie skupia instalacje fotowoltaiczne, kogenerację oraz magazyn energii. Elementy te są własnością prywatną, natomiast sieci, do których są podłączone jest zarządzane przez lokalnego operatora dystrybucyjnego.⁹

Warto przywołać również przykład projektu zrealizowanego w Kalifornii na terenie wspólnoty mieszkaniowej Borrego Springs (145km na północny wschód od San Diego) liczącej około 2 800 klientów. Obszar wspólnoty posiada jedno połączenie z siecią przesyłową. Projekt ten jest przykładem uwolnienia użytkowego mikrosieci. Oznacza to, że majątek dystrybucyjny jest własnością jej użytkowników, a rozproszone zasoby wytwórcze w posiadaniu klientów. Celem projektu jest udowodnienie jak technologie informacyjne, rozproszone źródła wytwarzania energii elektrycznej (w szczególności panele fotowoltaiczne) oraz magazyny tej energii mogą zwiększyć 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. Całkowita, zainstalowana moc wytwórcza tej 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 do mikrosieci należą 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 mikrosieci (zarówno tej jak i innych) są liczniki inteligentne oraz inne urządzenia sieciowe pozwalające na stałe kontrolowanie zarówno produkcji, jak i zużycia.¹⁰

Drugi wymiar określający funkcjonowanie klastra można sformułować jako sposób połączenia z siecią dystrybucyjną operatora. Wyróżnić tutaj można trzy przypadki. Po pierwsze, klastr może funkcjonować 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, niewidoczna dla całego systemu.

Takie połączenia wyspowe wydzielonego obszaru samodzielnie bilansującego się utworzono na wyspie Kythnos w Grecji. Na wyspie zainstalowano panele fotowoltaiczne o mocy 10 kW. Dodatkowo przy źródle postawiono magazyn energii o pojemności 53 kWh. Jako gwarancję zapewnienia dostaw na poziomie zabezpieczającym pokrycie zapotrzebowania obszaru jak również gwarantującym ciągłość dostaw zainstalowano generator wysokoprężny o mocy 5 kW. Całość zarządzana jest poprzez scentralizowany systemem umożliwiającym bieżącą komunikację poszczególnych elementów mikrosieci. Do zapewnienia warunków funkcjonowania systemu zarządzania zainstalowano dodatkowo panele fotowoltaiczne o mocy 2 kW oraz magazyn o pojemności 32 kWh. Tak skonfigurowana mikrosieć zaspokaja potrzeby 12 rezydencji letniskowych, przede wszystkim w sezonie letnim. Jest to przykład projektu mikrosieci realizowanego w ramach dużego projektu Unii Europejskiej pod nazwą „Więcej mikrosieci”.^{11, 12} Inna konfiguracja sieci w tym wymiarze, to klastr posiadający aktywne połączenia z siecią dystrybucyjną operatora. Połączenie to umożliwia wymianę energii elektrycznej pomiędzy obszarem klastra a systemem elektroenergetycznym w chwilach, kiedy następują w obszarze klastra problemy ze zbilansowaniem. Niemniej jednak połączenie z systemem traktowane jest tu jako dodatkowy element zapewnienia bezpieczeństwa dostaw. Analiza realizowanych na świecie projektów w zakresie mikrosieci 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. 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, która została z sukcesem przetestowana podczas huraganu Sandy, który przeszedł wzdłuż wschodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych 29 października 2012 roku, powodując zerwanie połączenia mikrosieci z siecią centralnego systemu elektroenergetycznego.¹³

Trzeci wymiar w jakim można rozpatrywać funkcjonowanie klastrów jest oparty na samej strukturze mikrosieci. Oznacza to, że może to być mikrosieć, która będzie funkcjonować jako pojedynczy element systemu elektroenergetycznego, bądź może to być struktura składająca się z kilku połączonych ze sobą oraz współpracujących mikrosieci. Połączenie takich kilku mikrosieci nosi nazwę multi-mikrosieć. Nie jest wykluczone, że taka współpraca pomiędzy klastrami mogłaby zastąpić połączenie z centralnym systemem elektroenergetycznym.¹⁴ Bowiem zapewnienie bilansowania na poszczególnych obszarach mogłoby być realizowane poprzez współpracę pomiędzy klastrami (na uwagę również zasługuje fakt, że już w obecnym kształcie polskiego prawa została przewidziana możliwość, że koordynator może zarządzać więcej niż jednym klastrem). Najlepszym przykładem takiej multi-mikrosieci jest przedsięwzięcie zrealizowane w ramach projektu Unii Europejskiej „Więcej mikrosieci”¹⁵ 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 wyspie znajduje się kilkanaście mikrosieci, do

których podłączone są generacje wiatrowe (parki wiatrowe). Generacja z turbin wiatrowych pokrywa ponad 30% zapotrzebowania na energię elektryczną na wyspie i stanowi główne źródło energii odnawialnej na obszarze. Energia pochodzi z 35 turbin wiatrowych o łącznej mocy 29 MW. Na wyspie zainstalowano również 14 generatorów wysokoprężnych o łącznej mocy 34 MW, turbiny parowe jedna o mocy 25 MW, druga o mocy 37 MW oraz dwie biogazownie o mocy 2 MW. Dodatkowo na wyspie znajdują się instalacje paneli fotowoltaicznych. Wyspa posiada jedno połączenie z nordyckim systemem mocy oraz rynkiem mocy.¹⁶ Na uwagę zasługuje również testowany, w ramach projektu „Więcej mikrosieci”, system zarządzania samochodami elektrycznymi. Założono w nim grupowe użytkowanie samochodów. Samochody można wypożyczać w tych miejscach, w których pozostawi je poprzedni kierowca. Są one lokalizowane przez smartfony. Płatności realizowane są 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 udowodnienie, że samochody elektryczne w przyszłości mogą być wielkim magazynem energii elektrycznej i poprzez inteligentne sieci wspomagać bilansowanie systemu.¹⁷

Nadrzędne cele w działalności klastra energii

Z powyższych przykładów wynika, że istnieją możliwości wielowymiarowej współpracy różnych podmiotów, niezależnie od posiadanego statusu własności. Współpracy podmiotów zarówno tych, które dysponują własnymi sieciami dystrybucyjnymi na lokalnym obszarze, jak i tych, które korzystają z sieci należących do państwowych przedsiębiorstw dystrybucyjnych. Cele nadrzędne takiej współpracy to oferowanie korzyści dla klientów, czyli zwiększenie efektywności energetycznej, minimalizacja całkowitego zużycia energii, zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko, poprawę niezawodności dostaw, umożliwienie osiągnięcia korzyści operacyjnych, takich jak zmniejszenie strat, kontrola

napięcia, lub bezpieczeństwa zasilania i poprawa efektywności kosztowej odtworzenia infrastruktury elektroenergetycznej.

Pomijając aspekty techniczno-ekonomiczne warunkujące tworzenie klastrów energii należy też zwrócić uwagę na aspekt filozoficzny przedsięwzięcia, a mianowicie zakorzenione w społeczeństwie przekonanie, że systemy lokalnie kontrolowane są bardziej skłonne do podejmowania mądrych, zrównoważonych wyborów takich jak chociażby wyboru 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.

Wybrane rekomendacje dla Polski:

1. Wspieranie rozwoju mikrosieci oraz stworzenie im możliwości działania w jak największym zakresie również poprzez łączenie ich w inteligentne sieci multi-mikrosieci przyczyni się do stworzenia efektywnie działającej struktury sieci SmartGrid. Oznacza to konieczność promowania rozwiązań identyfikujących inteligentne sieci.
2. Należy wypracować, przy współudziale wszystkich użytkowników systemu elektroenergetycznego, jasne zasady funkcjonowania klastrów w istniejącej strukturze rynku, bądź opracować mapę drogową dojścia do nowej struktury rynku, z poszanowaniem praw wszystkich jego uczestników.
3. Przy sieciach elektroenergetycznych będących własnością spółek dystrybucji energii elektrycznej należy określić przejrzyste zasady na jakich klastry będą korzystały z tych sieci. Zasady te powinny gwarantować bezpieczeństwo całego systemu elektroenergetycznego.

4. Na zliberalizowanym rynku energii elektrycznej ważne znaczenie mają powiązania pomiędzy jego uczestnikami, zatem konieczne jest określenie takich zasad również w odniesieniu do klastrów.
5. Z punktu widzenia bilansowania systemu elektroenergetycznego istotne wydaje się być wskazania jak klaster będzie identyfikowany na rynku bilansującym.

¹ Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, Nowelizacja z dnia 01.07.2016 Art.2. ust.15a, Art. 38a. (36) [Klaster energii]

² J. Romanowicz, M. Qu, C. Marnay, N. Zhou, M. Qu, Lessons from international experience for China's microgrid demonstration program, Energy Policy, vol. 67, 2014, 198-208.

³ European Commission, Smart grids: from innovation to deployment, COM (2011) 202 final, Brussels, 12 April 2011.

⁴ E.Hayden, Introduction to microgrids, SECURISON, USA, Virginia, 2013.

⁵ 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;

⁶ Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997, z późniejszymi zmianami, tekst jednolity na dzień 01 października 2016, Rozdział 1, Art. 3, pkt 16.

⁷ 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 r.]

⁸ 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) str 19

⁹ More Microgrids, Advanced Architectures and Control Concepts for More Microgrids (2009), [Internet:] <http://www.microgrids.eu/documents/661.pdf> [dostęp: 20.12.2016 r.]

¹⁰ [Internet:] <https://building-microgrid.lbl.gov/borrego-springs> [dostęp: 20.12.2016 r.]

¹¹ SMA, Kythnos Island, [Internet:] http://der.lbl.gov/sites/der.lbl.gov/files/SMA_Kythnos.pdf [dostęp: 20.12.2016 r.]

¹² N.Hatziaargyriou, H. Asano, R Iravani, C. Marnay, Microgrids: An Overview of Ongoing Research, Development, and Demonstration Projects, IEEE Power and Energy Magazine, vol., no., 2007, 78-94.

¹³ [Internet:] <https://building-microgrid.lbl.gov/new-york-university> [dostęp: 20.12.2016 r.]

¹⁴ 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

¹⁵ EcoGrid UE, A prototype for European Smart Grid. Guide o the large-scale project. [Internet:] <http://www.eu-ecogrid.net/images/Documents/EcoGrid%20EU%20-%20Guide%20to%20the%20large-scale%20project.pdf> [dostęp: 20.12.2016 r.]

¹⁶ 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.]

¹⁷ 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 r.]