

KLASTRY ENERGETYCZNE – ANALIZA MODELU FUNKCJONOWANIA ENERGETYKI W REGIONACH WIEJSKICH

L. Kordas, D. Chwieduk

Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska

STRESZCZENIE

Coraz powszechniejsze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii wymusza stopniową przebudowę dotychczasowego modelu funkcjonowania energetyki. Jednym z proponowanych rozwiązań jest tworzenie lokalnych inicjatyw dążących do samowystarczalności energetycznej. Taką koncepcją są rozważane w Polsce Klustry Energetyczne. Jako młody i wciąż formujący się byt, nie zostały one dotąd opisane i zamodelowane w sposób umożliwiający im prawidłowe i samodzielne funkcjonowanie.

Niniejszy artykuł prezentuje jedną z propozycji opisu Klastrow Energetycznych, wraz z bilansem energii i paliw analizowanej gminy oraz modelem funkcjonowania mikrosystemu elektroenergetycznego w tej gminie.

WSTĘP

Od blisko roku w Polsce prowadzone są intensywne prace poświęcone koncepcji Klastrow Energetycznych. Są to lokalne inicjatywy dążące do samodzielnego zaspokajania własnych potrzeb energetycznych z lokalnych źródeł energii – z naciskiem na energię odnawialną. Jednakże istniejące uwarunkowania prawne i ekonomiczne, jak dotąd uniemożliwiają tym inicjatywom wypełnianie celów, dla których są one powoływane.

Klaster Energetyczny w swej istocie jest bytem ograniczonym, celem zachowania jego lokalnego charakteru. Jego zasięg terytorialny nie może przekroczyć granic jednego powiatu lub pięciu (sąsiadujących) gmin. Jednocześnie pozostawiono Klastrom pełnię swobody dotyczącą możliwości ich funkcjonowania na wszystkich rynkach energetycznych: energii elektrycznej, ciepła i paliw (także transportowych). Domyślnie przyjmuje się, iż Klustry Energetyczne tworzone będą na obszarach wiejskich (gminy wiejskie i wiejsko-miejskie), ponieważ miasta i obszary przemysłowe charakteryzują się zbyt wysokim zapotrzebowaniem na energię, aby móc samodzielnie zaspokoić swoje potrzeby z wykorzystaniem technologii OZE.

Definicja Klustra Energetycznego zawarta w polskim prawodawstwie wprowadza ograniczenia także w kontekście sieci elektroenergetycznych – ich napięcie w obrębie Klustra musi być niższe niż 110 kV, co w praktyce oznacza wyłącznie sieci średniego i niskiego napięcia (infrastruktura o wyraźnie lokalnym charakterze). Jednocześnie nie wprowadzono ograniczeń w zakresie sieci gazowych (tu odpowiednikiem napięcia są poziomy

ciśnienie gazu), zatem prawdopodobnie twórcy nie brali pod uwagę bilansowania potrzeb energetycznych z wykorzystaniem sieci gazowych (np. poprzez produkcję biometanu i wtłaczanie go do sieci gazowej). Tymczasem z perspektywy bilansu energetycznego regionów wiejskich jest to również atrakcyjne rozwiązanie, m.in. ze względu na analogiczny do elektroenergetyki model lokalnej produkcji i konsumpcji energii, a także uniwersalność zastosowań gazu ziemnego/biometanu i możliwości jego magazynowania.

Otoczenie prawne

Klustry Energetyczne to stosunkowo nowe pojęcie, wprowadzone w polskim ustawodawstwie wraz z nowelizacją *Ustawy o odnawialnych źródłach energii* z 22 czerwca 2016 roku. Jednakże definicja Klustra w żadnym stopniu nie określa sposobu funkcjonowania tej koncepcji.

W celu określenia modelu działalności Klastrow, powstał dokument pt.: *Koncepcja funkcjonowania klastrow energii w Polsce*, sporządzony w 2016 roku na zamówienie Ministerstwa Energii. Stworzono go z myślą o przewidzeniu kierunków rozwoju Klastrow Energetycznych oraz wskazaniu niezbędnych zmian i regulacji prawnych, ułatwiających funkcjonowanie tego typu inicjatywom. W ekspertyzie tej znaleźć można m.in. opis celów, zadań i efektów funkcjonowania Klastrow, analizę ekonomiczną, analizę prawną wraz ze wskazaniem potencjalnej formy prawnej Klustra oraz potencjalne źródła finansowania przedsięwzięć w ramach inicjatyw klastrowych. Mimo to ekspertyza nie udziela odpowiedzi na pytanie o model funkcjonowania lokalnych inicjatyw energetycznych w Polsce.

Istotny z punktu widzenia Klastrow zbiór dokumentów na szczeblu europejskim stanowi pakiet *Clean energy for all Europeans*, znany także pod nieformalną nazwą *Pakiet Zimowy*. Jest to zbiór projektów dyrektyw i regulacji prawnych zaproponowany w listopadzie 2016 roku przez Komisję Europejską na drodze do dalszej przebudowy wewnętrznego rynku energii elektrycznej w Unii Europejskiej (UE). Znaczny nacisk w Pakiecie położono na rolę konsumentów i odbiorców końcowych. Znajdują się w nim zapisy poświęcone tzw. lokalnym wspólnotom energetycznym (ang. *local energy communities*), według których państwa członkowskie powinny zagwarantować takim inicjatywom możliwość samodzielnego zarządzania sieciami energetycznymi

(posiadanymi lub dzierżawionymi) oraz pełnoprawnego i niedyskryminacyjnego uczestnictwa w rynku hurtowym energii elektrycznej. Ponadto, członkostwo w lokalnej wspólnocie energetycznej powinno być dobrowolne i nie skutkować utratą praw posiadanych uprzednio jako podmiot niezrzeszony w inicjatywie, podobnie jak odbiorcy nienależący do wspólnoty a znajdujący się w jej obrębie (i w jakiś sposób przez nią obsługiwani) powinni dysponować pełnią praw konsumenckich. Należy podkreślić, że koncepcja Kłastrów Energetycznych jest wysoce zbieżna z kierunkami kształtowania polityki energetycznej Unii Europejskiej, dążącej do decentralizacji elektroenergetyki i promującej lokalne wytwarzanie i konsumpcję energii.

LOKALNA GOSPODARKA ENERGETYCZNA

Analizowany z perspektywy kraju, potencjał Kłastrów Energetycznych w zakresie samowystarczalności energetycznej, a wręcz generowania nadwyżek energii, jest bardzo duży. Jednakże równie istotny jest potencjał tworzenia przez nie wartości dodanej w postaci rozwoju kompetencji i technologii w ramach tzw. gospodarki obiegu zamkniętego. Klaster Energetyczny może przekształcić się w swoisty inkubator technologiczny, w którym konkretne rozwiązania będą od razu weryfikowane w praktyce.

Wśród obiecujących innowacji wymienić należy m.in. rozwój gminnych mikrosieci ciepłowniczych, optymalizację transportu (np. *car-sharing*, *car pooling*), zastosowanie technologii zagospodarowania odpadów organicznych, stworzenie warunków do integracji niestabilnych technologii OZE, postęp w zakresie systemów zarządzania (w elektroenergetyce ciepłownictwie) i wiele innych.

Przełomowy charakter koncepcji klastrowej polega na jej przewidywanej zdolności do przebudowy rynku energii elektrycznej (Popczyk 2016). Obok rynku krajowego powstanie bowiem także quasi-rynek lokalny (wewnątrz-klastrowy), umożliwiający handel energią również pomiędzy sąsiadującymi Kłastrami. Efektem tego będzie zwiększenie możliwości wykorzystania rozproszonych źródeł energii w systemie elektroenergetycznym i postępująca decentralizacja.

Opisując potencjał innowacyjności Kłastrów, nie sposób pominąć ich wkładu w redukcję emisji gazów cieplarnianych. Zagadnienie to dotyczy przede wszystkim gazów pochodzenia energetycznego – ograniczenie ich emisji wynika z częściowej eliminacji wykorzystania paliw kopalnych. Znaczące jest także ograniczenie powstawania gazów wytwarzanych podczas działalności rolniczo-gospodarczej – kontrola procesu rozkładu materii organicznej eliminuje powstawanie metanu, a wykorzystanie masy pofermentacyjnej jako nawozu minimalizuje powstawanie tlenków azotu z nawozów sztucznych.

Bilans energetyczny przykładowego Klastra

Bilans energetyczny wykonany w pracy magisterskiej (Kordas 2017), oparto na wybranej, istniejącej gminie wiejskiej w Polsce, wzorując się na bilansie w publikacji (Popczyk 2015). Wybrane dane liczbowe, istotne z perspektywy analizy potrzeb energetycznych gminy, zawarto w Tabeli 1.

Tab. 1. Podstawowe dane analizowanej gminy

Parametr	Wartość
Liczba mieszkańców (tys.)	11,7
Liczba domów/mieszkań	3000
Liczba samochodów	3500
Powierzchnia lasów, [ha]	380
Powierzchnia gruntów ornych, [ha]	2100

Dane dot. energetyki gminny pozyskano przede wszystkim z publikacji (Bargiel 2016). Roczne zużycie energii elektrycznej w gminie wynosi 23 GWh – jej wytworzenie (przy obecnym miksie energetycznym Polski) wiąże się ze zużyciem energii pierwotnej na poziomie 59,8GWh. Zapotrzebowania gminy na energię końcową na cele grzewcze wynosi 88,5 GWh, co odpowiada 126,4 GWh energii pierwotnej. W sektorze transportu oszacowano zapotrzebowanie na energię do napędu samochodów osobowych oraz na cele rolnictwa na poziomie 55,8GWh. Energia napędowa końcowa i pierwotna są sobie równe, ponieważ paliwo napędowe stanowi zarówno produkt końcowy na rynku transportowym, jak i wsad do procesu konwersji na energię mechaniczną w silniku cieplnym. Powyższy bilans ujęto zbiorczo w Tabeli 2.

Tab. 2. Bilans energetyczny gminy (2016)

	Energia elektryczna	Ciepło	Energia napędowa
Energia końcowa	23,0	88,48	55,8
Energia pierwotna	59,8	126,4	55,8

W oparciu o powyższe dane określono potencjalny (techniczny) poziom pełnej samowystarczalności energetycznej gminy w horyzoncie 2050 roku. W obliczeniach przyjęto wykorzystanie najlepszych dostępnych obecnie technologii, m.in. technologii domu pasywnego, kogeneracji, pomp ciepła, pełnej konwersji transportu na elektryczny oraz odnawialnych źródeł energii (słońce, wiatr, biogaz/biomasa). W 2050 roku, na skutek wykorzystania w/w rozwiązań, zapotrzebowanie na ciepło maleje do 17,7 GWh, z czego 11,6 GWh pokrywa biogazownia (kogeneracyjna), 1,1 GWh spalanie biomasy leśnej, a pozostałe 5 GWh zaspokajają pompy ciepła.

Elektryfikacja transportu i ciepłownictwa (poprzez pompy ciepła) w gminie wiąże się ze znacznym wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną – niemal dwukrotnym w 2050 roku względem obecnego, co ilustruje Tabela 3. Gmina dysponuje bilansową zdolnością do pokrycia tych potrzeb przy wykorzystaniu energii wiatru, słońca i biogazu.

Tab. 3. Zapotrzebowanie gminy na energię elektryczną w 2050 roku

	Tradycyjne zastosowania	Napęd pomp ciepła	Pojazdy elektryczne
Energia elektryczna	23,0	1,7	19,7

Łączne roczne zapotrzebowanie gminy na energię elektryczną kształtuje się na poziomie 44,4 GWh.

ELEKTROENERGETYKA W KLASTRZE

Najtrudniejszym w opisie elementem inicjatyw klastrowych jest rynek elektroenergetyczny. Wynika to m.in. z faktu, że energia elektryczna jest bardzo specyficzną formą energii. Możliwość przekształcenia w dowolną inną formę energii (jak również wykorzystania w nowoczesnych systemach komunikacyjnych), wynikająca stąd postępująca elektryfikacja rynku ciepła i transportowego, a także łatwość jej pozyskania z wykorzystaniem nowoczesnych technologii OZE decydują o jej dominującej roli w przyszłości.

Jednocześnie, jak dotąd nie opanowano rozwiązania technicznego umożliwiającego magazynowanie znacznych ilości energii elektrycznej. Jej produkcja musi zatem w każdej chwili być równa zużyciu, aby zagwarantować stabilność każdego systemu elektroenergetycznego. Dotyczy to zwłaszcza mikrosieci – struktury o wiele bardziej wrażliwej na wahania produkcji odnawialnych źródeł energii oraz zmiany poboru energii przez odbiorców. Dlatego też autonomizacja Klastrow w obszarze elektroenergetyki wymaga zdobycia nowych kompetencji przez podmioty nimi zarządzające, przebudowy obecnego modelu funkcjonowania elektroenergetyki (zorientowanego pionowo), wyposażenia mikrosieci w odpowiednie rozwiązania techniczne i poniesienia kosztów wynikających z powyższych działań.

Mikrosieci elektroenergetyczne funkcjonujące w różnych regionach świata, powstały zazwyczaj wyłącznie ze względu na uwarunkowania geograficzne lub techniczne, uniemożliwiające przyłączenie odbiorców do dużych systemów elektroenergetycznych. Ze względu na stosunkowo wysoki stopień zelektryfikowania i nieliczne regiony bez możliwości przyłączenia do Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), w Polsce mikrosieci praktycznie nie występują, a ich funkcjonowanie ograniczone jest najczęściej do kompleksu budynków wyposażonych w awaryjny układ zasilania (szpitale, obiekty służb

ratunkowych, centra danych, infrastruktura krytyczna i przeznaczona do funkcjonowania także w sytuacjach kryzysowych).

Ze względu na upowszechnianie się energetyki rozproszonej, w znacznej mierze opartej na OZE, stopniowe przekształcanie dużych systemów elektroenergetycznych w znaczną liczbę wzajemnie połączonych mikrosieci staje się uzasadnione technicznie i ekonomicznie. Dotyczy to zwłaszcza regionów wiejskich, o stosunkowo rozproszonej zabudowie i lokalizacji odbiorów energii, a także dysponujących przestrzenią do jej pozyskiwania z wiatru, słońca i biomasy.

Obecnie obszary wiejskie są w pełni oparte na energii pochodzącej z KSE. W miarę rozwoju samowystarczalności Klastrow zależność ta będzie stopniowo maleć, aż do osiągnięcia pełnej autonomii – pracy w odizolowaniu. Jednakże poza zdolnością do pracy samodzielnej (tryb *off-grid*), mikrosieć będzie mogła również współpracować z KSE poprzez zwiększanie lub redukcję obciążenia, sprzedaż nadwyżek energii, a także poprawę jakości zasilania odbiorców. Duża liczba dojrzałych Klastrow, aktywnie współpracujących z KSE, istotnie wpłynęłyby na poprawę stabilności systemu krajowego.

Istotne dla prawidłowego funkcjonowania mikrosieci opartych o OZE jest zwłaszcza prawidłowe prognozowanie profilu produkcji energii ze źródeł niestabilnych, jak również przewidywanie i ewentualnie kształtowanie profilu poboru energii przez odbiorców. Powyższe działania, w połączeniu z wykorzystaniem odpowiednio dobranych magazynów energii (w postaci baterii akumulatorów, zbiorników biogazu itp.) i źródeł o znacznych możliwościach regulacyjnych (głównie agregaty gazowe lub biogazowe) pozwala na zbilansowanie potrzeb elektroenergetycznych Klastra i zapewnienie stabilności dostaw energii.

Dogmatem elektroenergetyki XX wieku był jednokierunkowy przepływ mocy – od wytwórcy, przez poszczególne poziomy napięć sieci, aż do odbiorcy. Istotną zmianą w trybie pracy klastrowych sieci energetycznych jest konieczność przystosowania ich do wstecznego (wielokierunkowego) przepływu mocy, ponieważ punkty chwilowego poboru i wytwarzania energii będą ulegać dynamicznej zmianie. Dotyczy to zarówno prosumentów, jak i źródeł samodzielnych przyłączonych do sieci średniego i niskiego napięcia. Dodatkowo rolę magazynu energii, czyli jej źródła lub poboru w zależności od potrzeb, stanowić mogą samochody elektryczne dostosowane do możliwości współpracy z siecią w ten sposób.

NOWE ZADANIA I NOWE PODMIOTY

Powołanie Klastrow Energetycznych wymaga stworzenia nowych zadań i wyznaczenia podmiotów odpowiedzialnych za ich wypełnianie. Jednakże zakres

obowiązków i odpowiedzialności zaangażowanych w Klastry specjalistów nie został jak dotąd precyzyjnie zdefiniowany.

Koordinator Klastra Energetycznego

Pojęcie koordynatora Klastra Energii po raz pierwszy pojawiło się w znowelizowanej Ustawie o OZE. Pod względem dopasowania zadań i kompetencji koordynatora do funkcjonujących już na rynku energii elektrycznej podmiotów, za najbardziej odpowiedni podmiot należy uznać Operatora Handlowo-Technicznego (OHT), wraz z funkcjami Podmiotu Odpowiedzialnego za Bilansowanie. Podstawową rolą koordynatora jest bowiem równoważenie wytwarzania i zużycia energii elektrycznej, i paliw w ramach Klastra, do czego konieczne jest grafikowanie planowanej produkcji i konsumpcji energii oraz ich bilansowanie.

Do prawidłowego funkcjonowania mikrosieci energetycznej konieczne jest analizowanie przez klastrowego Operatora Handlowo-Technicznego danych o rzeczywistym zużyciu odbiorców i stworzenie precyzyjnych narzędzi prognostycznych, umożliwiających prawidłowe szacowanie zapotrzebowania w dobie następnej. Z drugiej strony koordynator narażony będzie na trudności związane z wykorzystaniem niestabilnych źródeł energii, o zmienności wymagającej kompensowana przez źródła sterowalne, odbiorców oraz magazyny energii w Klastrze. Ponadto, będzie on w pewnym stopniu odpowiedzialny za konstruowanie taryf, a więc również i za funkcjonowanie quasi-ryнку energii elektrycznej w obrębie mikrosieci.

Do obowiązków koordynatora należeć będzie także współpraca z lokalnym Operatorem Systemu Dystrybucyjnego lub częściowe przejęcie jego zadań w zakresie zarządzania siecią klastrową, a prawdopodobnie także w kwestii utrzymania odpowiednich parametrów energii w mikrosieci klastrowej (moc czynna i bierna, częstotliwość, napięcie, harmoniczne).

Na chwilę obecną praktycznie nie funkcjonuje w Polsce podmiot dysponujący pełnią kompetencji do przyjęcia roli koordynatora w tworzących się Klastrach. Możliwe jest, że jego zadania zostaną podzielone pomiędzy właściwego danemu regionowi Operatora Systemu Dystrybucyjnego (w zakresie jej obecnych kompetencji jako OHT) oraz Gminnego Energetyka.

Gminny (Klastrowy) Energetyk

Gmina, jako podstawowa jednostka samorządu terytorialnego, jest odpowiedzialna za zapewnienie stabilności dostaw energii i paliw na swoim obszarze, zgodnie z Art. 18 *Ustawy - Prawo Energetyczne*. Jej zadania w tym zakresie mogłyby zostać objęte przez osobę Gminnego Energetyka (ewentualnie zespół osób). Obecnie niewiele gmin wiejskich i wiejsko-miejskich dysponuje takim ekspertem. Podstawowe zadanie Gminnego Energetyka stanowiłaby możliwie najpełniejsza znajomość sytuacji

energetycznej w regionie i podejmowanie działań w kierunku jej utrzymania, optymalizacji i poprawy. Jego uczestnictwo w działaniach na rzecz planowania i rozwoju energetycznych projektów infrastrukturalnych istotnie zmniejszałoby ryzyko podjęcia błędnych decyzji w tym zakresie.

Gminny Energetyk współpracowałby z koordynatorem Klastra Energetycznego, co nie wyklucza możliwości przejęcia części zadań i kompetencji tego ostatniego. Ponadto w strukturze inicjatywy klastrowej, w obrębie której stronami będą m.in. lokalne przedsiębiorstwa, niezależni inwestorzy oraz spółki energetyczne, Gminny Energetyk stanowiłby reprezentanta interesów gminy i jej mieszkańców. Do jego obowiązków należałoby także skoordynowanie kierunku rozwoju Klastra z planem zarządzania kryzysowego, planem gospodarki odpadami oraz programami ochrony powietrza i środowiska w regionie.

Choć ogrom zadań i wymogi dot. kompetencji osób obejmujących obowiązki Gminnego (Klastrowego) Energetyka jest znaczny, jego rola w trosce o prawidłowe kształtowanie gminnej, autonomizującej się gospodarki energetycznej powinna być mocno podkreślana. Bez jego uczestnictwa w rozwoju Klastrowych Energetycznych istnieje bowiem ryzyko podjęcia wielu błędnych decyzji, których weryfikacja wygeneruje niepotrzebne koszty i utrudnienia.

SYMULATOR MIKROSYSTEMU KLASTROWEGO

Celem prawidłowego zaprojektowania modelu funkcjonowania Klastra Energetycznego, konieczne jest opracowanie modelu jego funkcjonowania w warunkach zmiennej produkcji energii ze źródeł niestabilnych oraz zmiennego zapotrzebowania na energię w obrębie mikrosieci. W tym celu opracowany został autorski symulator gminy energetycznej. Narzędzie wyposażono w możliwość analizy pełnego roku kalendarzowego, a także rozszerzony model ekonomiki Klastra i system wskaźników kontrolnych, ułatwiających modelowanie miksu energetycznego. Symulator sporządzono w arkuszu Excel, przy wykorzystaniu zestawów danych z interwałem 15-minutowym, a jego zadaniem jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie o maksymalną techniczną autonomię Klastra Energetycznego.. Opiera się ono na zastosowaniu trzech najpowszechniej dostępnych odnawialnych źródeł energii: wiatru, słońca (fotowoltaika) i biogazu. Źródła te osobno nie umożliwiają gminie osiągnięcia samowystarczalności energetycznej, lecz łącznie, dzięki efektowi synergii, doskonale się uzupełniają.

Założenia i dane wejściowe symulatora

Do celów analizy przyjęto profil zapotrzebowania na energię elektryczną istniejącej gminy wiejsko-miejskiej, której bilans energetyczny zaprezentowano w poprzednim rozdziale. Wartości produkcji energii

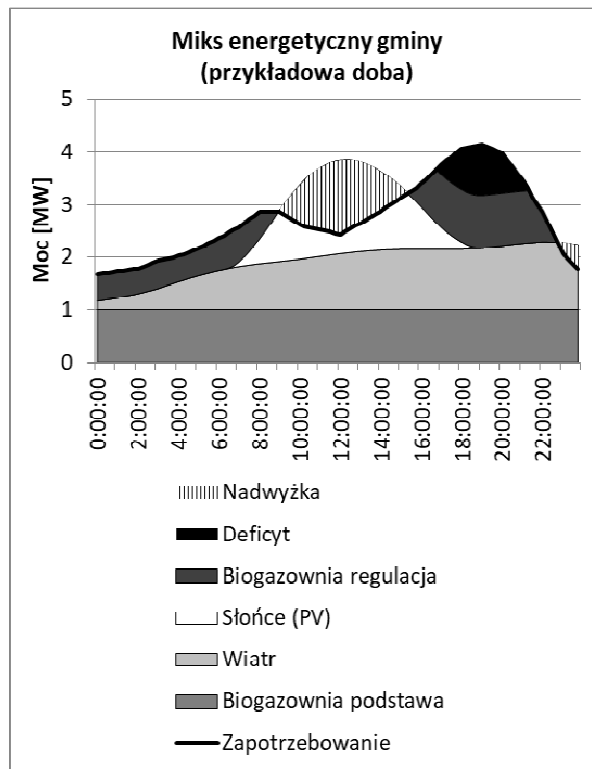
z wiatru i słońca uzyskano ze strony belgijskiego Operatora Sieci Przesyłowej Elia, uprzednio pomyślnie weryfikując możliwość ich wykorzystania do opisu polskich uwarunkowań. W symulatorze wprowadzono również uproszczony model biogazowni pracującej w trybie bilansowania (pokrywającej różnicę między zapotrzebowaniem gminy i produkcją energii z wiatru i słońca).

Model umożliwia manipulowanie mocą zainstalowaną źródeł (turbiny wiatrowe, fotowoltaika – łącznie z instalacjami prosumenckimi, biogazownie w podstawie i bilansujące), celem maksymalizacji wykorzystania energii elektrycznej wytworzonej lokalnie. W ramach analiz założono pełne zagospodarowanie energii z wiatru i słońca do poziomu chwilowego zapotrzebowania (i sprzedaż ewentualnych nadwyżek do KSE). Deficyt pomiędzy chwilowym zapotrzebowaniem a generacją ze źródeł niestabilnych (i ewentualnej biogazowni podstawowej) pokrywany jest następnie przez biogazownię bilansującą – do poziomu jej mocy maksymalnej. Pozostałe zapotrzebowanie pokrywane jest w modelu poborem energii z KSE. W perspektywie planowane jest rozbudowanie symulatora o model magazynu energii, pozwalający na dalszą autonomizację mikrosieci.

Do narzędzia wprowadzono także dane ekonomiczne, umożliwiające wyznaczenie średniej ceny energii dla odbiorców końcowych. Koszt wytworzenia energii z poszczególnych technologii OZE przyjęto na podstawie zwycięskich ofert w aukcjach na energię ze źródeł odnawialnych (ogłoszonych w 2016 roku). Pozostałe koszty dostarczenia energii elektrycznej odbiorcom końcowym określono na podstawie taryf z oferty polskich koncernów energetycznych. Ze względu na dążenie do długoterminowej samowystarczalności ekonomicznej Klastrow Energetycznych (wykraczającej znacznie poza horyzont wsparcia dla odnawialnych źródeł energii), zrezygnowano z wprowadzenia elementów dofinansowania wytwarzania energii z OZE. Wyższe koszty jej produkcji, równoważone przez niższy koszt dystrybucji, są w całości ponoszone przez odbiorców zrzeszonych w Klastrze. Warto na marginesie zaznaczyć, że modelu wprowadzono mechanizm dynamicznego taryfowania energii względem chwilowej (rozliczanej w interwale 15-minutowym) relacji popytu i podaży w Klastrze. Tym samym energia staje się tańsza, gdy wytwarzana jest z wiatru i słońca, a droższe, gdy produkowana jest z biogazu lub pobierana z sieci krajowej.

Nadwyżki energii sprzedawane są do KSE po cenie znacznie niższej od kosztu wytworzenia (co wynika z cen na polskim rynku hurtowym). Straty ze sprzedaży tych nadwyżek uwzględniane są w taryfie dla klastrowych odbiorców w taki sposób, aby uzasadnione było zwiększenie zużycia energii w okresach nadprodukcji. Mechanizm ten stanowi

narzędzie do kształtowania popytu i dopasowania go do podaży energii poprzez bodźce ekonomiczne. Działając na zasadzie sprzężenia zwrotnego ujemnego, powoduje naturalne samodopasowanie się popytu do podaży w Klastrze. Zmienny udział poszczególnych źródeł w chwilowym zapotrzebowaniu gminy ilustruje Rys. 1.



Rys.1 Ilustracja miksu energetycznego gminy

Wyniki symulacji

Wyjściową ceną za energię dla odbiorcy końcowego jest wartość 0,65 zł/kWh (średnia cen dla gospodarstw domowych oraz niewielkich przedsiębiorstw).

Moc źródeł dobrano w taki sposób, aby bilansowo całość (100%) zapotrzebowania gminy na energię elektryczną została zaspokojona, a jednocześnie aby ilość energii oddawanej do KSE nie przekroczyła 10% zapotrzebowania w skali roku. Istotą Klastra jest bowiem przede wszystkim zaspokajanie własnych potrzeb energetycznych, a oddawanie do KSE jedynie nadwyżek produkcji nad konsumpcją. Ograniczenie oddawania energii do sieci krajowej skutkuje koniecznością ograniczenia mocy zainstalowanej źródeł słonecznych i wiatrowych, ponieważ to one w praktyce odpowiedzialne są za nieskoordynowanie zapotrzebowania i produkcji energii.

Opisane powyżej założenia spełnia miksu energetyczny:

- 3 MW – fotowoltaika (prosumenci),
- 5 MW – elektrownie wiatrowe,
- 0,5 MW – biogazownia pracująca w trybie ciągłym,

- 1,5 MW – biogazownia bilansująca.

Źródła fotowoltaiczne o łącznej mocy 3 MWp odpowiadają w analizowanej gminie instalacjom o mocy 4 kWp zainstalowanym na co czwartym gospodarstwie domowym. Głównym źródłem energii elektrycznej w modelowanym Kłastrze są elektrownie wiatrowe – pokrywają one 54% potrzeb mikrosieci.

Przy zaproponowanym miksie cena energii elektrycznej dla odbiorców końcowych kształtuje się na poziomie 0,81 zł/kWh, co oznacza wzrost o 25% względem obecnej oferty dla odbiorcy końcowego. W zależności od chwilowego miksu energetycznego w gminie i związanych z tym kosztów funkcjonowania źródeł, cena energii może spaść do 0,21 zł/kWh lub wzrosnąć nawet do 1,59 zł/kWh. Tak duża dynamika taryfy energetycznej (wyznaczanej w 15-minutowych przedziałach czasowych) niewątpliwie wywołuje reakcję strony popytowej – zmniejszenie poboru przy wysokich cenach i zwiększenie przy niskich. Jednocześnie energia z wiatru i słońca w Kłastrze jest tańsza niż energia wytwarzana w biogazowni i pobierana z KSE (określono na podstawie zwycięskich ofert w aukcjach na energię z OZE w 2016 roku). Oddawanie energii do krajowego systemu wiąże się natomiast z koniecznością jej sprzedaży na giełdzie po cenach niższych od kosztów wytworzenia. Dlatego też algorytm wyznaczania cen dla odbiorców klastrowych, uwzględniający powyższe mechanizmy, promuje wykorzystanie energii wytworzonej lokalnie z wiatru i słońca. Działa on na zasadzie sprzężenia zwrotnego ujemnego, samodzielnie stabilizującego sytuację klastrowego mikrorynku energetycznego. Oznacza to, że wahania cen będą zbliżać się do wartości średniej w miarę wzrostu elastyczności poboru energii w mikrosieci.

Średnia cena energii elektrycznej dla odbiorców końcowych na poziomie 0,81 zł/kWh oznacza, że przy obecnych uwarunkowaniach ekonomicznych uczestnictwo w Kłastrze nie jest atrakcyjne dla konsumentów energii. Jednakże postępujący spadek kosztów inwestycyjnych źródeł OZE, w połączeniu ze wzrostem kosztów funkcjonowania energetyki konwencjonalnej (głównie ze względu na koszty modernizacji i dostosowania do zaostrzonych wymogów środowiskowych) sprawia, że oferta Klastrowych stanie się konkurencyjna w niedługiej perspektywie czasowej. Prognozowany do 2030 roku spadek cen zakupu źródeł wiatrowych i słonecznych o 30% (Wiser et al. 2016; Chiantore et al. 2015), w połączeniu z obniżeniem o 50% kosztów zakupu substratu do biogazowni (zagospodarowanie odpadów ulegających fermentacji) umożliwiają obniżenie cen energii w badanym Kłastrze poniżej 0,65 zł/kWh, co czyni jego ofertę konkurencyjną względem dotychczasowych dostawców.

WNIOSKI

Idea Klastrowych Energetycznych jest pozornie dość prosta i zrozumiała, jednak jej implementacja

w praktyce natrafia na szereg trudności i ograniczeń. Wiele z nich wynika z nieadekwatności tej koncepcji do obecnego modelu funkcjonowania energetyki.

Rynki paliw i ciepła nie hamują w żaden sposób rozwoju inicjatyw klastrowych. Uwarunkowania prawne nie stanowią barier, a wdrożenie modelu lokalnej gospodarki na tych rynkach jest niemal wyłącznie kwestią organizacyjną. Najwięcej wyzwań i niewiadomych dla Klastrowych zidentyfikowano natomiast w elektroenergetyce.

Regiony wiejskie dysponują pełnią narzędzi technicznych, pozwalających im na osiągnięcie autonomii energetycznej. Fotowoltaika, energetyka wiatrowa i biogazownie stanowią doskonale uzupełniające się rozwiązania i umożliwiają utrzymanie stabilności dostaw energii elektrycznej pomimo wykorzystania niesterowalnych jej źródeł.

Obserwowany na świecie postęp w wykorzystaniu technologii OZE sprawi, że w horyzoncie przyszłej dekady Klastry i samowystarczalne wspólnoty energetyczne będą uzasadnionymi technicznie i ekonomicznie inicjatywami. Obecnie bowiem podstawowe zapory w praktycznej realizacji zamodelowanego zestawu rozwiązań stanowią koszty początkowe uruchomienia inicjatywy oraz wysokie ryzyko z nią związane. Ryzyko to ma swoje korzenie w niestabilnej sytuacji prawnej i rynkowej branży OZE w Polsce. Mimo to powszechne poparcie dla idei Klastrowych w środowiskach nauki, biznesu, wśród decydentów i w społecznościach lokalnych pozwala sądzić, iż zidentyfikowane trudności i wyzwania będą stopniowo przezwyciężane.

LITERATURA

- Bargiel J., 2016, *Gmina jako prosument instytucjonalny. Mapa drogowa wejścia gminy wiejskiej na nową trajektorię rozwojową energetyki na przykładzie Gminy Gieraltowice*, Gliwice
- Chiantore P. V. et al., 2015, *Future renewable energy costs: solar photovoltaics*
- Gustaffson T. i Johansson A., 2015, *Comparison between Battery Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles fueled by Electrofuels from an energy efficiency and cost perspective*.
- Konsorcjum: KAPE S.A., WiseEuropa, Atmoterm S.A., 2016, *Koncepcja funkcjonowania Klastrowych Energii w Polsce*, Warszawa
- Kordas Ł., 2017, *Klastry Energetyczne – analiza modelu funkcjonowania energetyki w regionach wiejskich*, praca magisterska, Warszawa.
- Popczyk J., 2015, *Model referencyjny gospodarki energetyczno-środowiskowej gminy wiejskiej*, Gliwice.
- Popczyk J., 2016, *Koncepcja (polskiego) rynku transformacyjnego energii elektrycznej*, Gliwice.
- Wiser R. et al., 2016, *Expert elicitation survey on future wind energy costs*