

ANALIZA SYMULACYJNA MOŻLIWOŚCI PRACY SAMOWYSTARCZALNEGO KLASTRA ENERGETYCZNEGO

Krzysztof Bodzek¹

Raport recenzowany²

Wprowadzenie

W ustawie OZE [1] wprowadzono klastry energetyczne KE, czyli jednostki działające na podstawie porozumień cywilno-prawnych zdolne do produkcji, bilansowania oraz obrotu energią elektryczną. Ustawa wprowadza więc możliwość sukcesywnego tworzenia zamkniętych, wydzielonych obszarów, które mogą w przyszłości być samowystarczalne.

Raport ten jest pierwszą próbą analizy symulacyjnej tez postawionych przez prof. J. Popczyka w raporcie [2] o istnieniu potencjału samowystarczalności pracy powiatowego klastra KE na obszarach wiejskich w horyzoncie 2040. Opisany w [2] bilans energetyczny nie uwzględnia chwilowego zapotrzebowania na moc, a jedynie roczny bilans energii. Zaproponowany w niniejszym raporcie bilans wykorzystujący rzeczywiste profile godzinowe zapotrzebowania klastra KE oraz produkcji źródeł OZE (z produkcją wymuszoną i regulacyjno-bilansującą) ma znamiona nowej metody doboru źródeł. Pełna metoda, powinna uwzględniać dodatkowo: zagadnienia bilansująco-regulacyjne w przedziale czasowym do jednej godziny, strukturę sieci elektroenergetycznej klastra (sieć SN/nN), a także mechanizmy DSM/DSR (w przedziale doby).

1. Symulator klastra energetycznego

Analiza prowadzona w ramach niniejszego raportu wykorzystuje napisany w LabVIEW symulator klastra KE (rys. 1). Symulator pozwala na przeprowadzenie badań związanych z zapotrzebowaniem, produkcją oraz bilansowaniem energii elektrycznej. Przedstawione w dalszej części raportu badania należy traktować jako wstępną weryfikację możliwości samowystarczalnej pracy klastra KE. Jest to realizacja etapu drugiego (z czterech) w koncepcji prof. J. Popczyka obejmującej bilanse energii na miedzianej płycie, pierwszy roczny, drugi grafikowany godzinowy, a dalej uwzględnienie rozptyłów sieciowych w sieci SN/nN, wreszcie uwzględnienie procesów regulacyjno-bilansujących w źródłach łącznie z zarządzaniem pracą odbiorników.

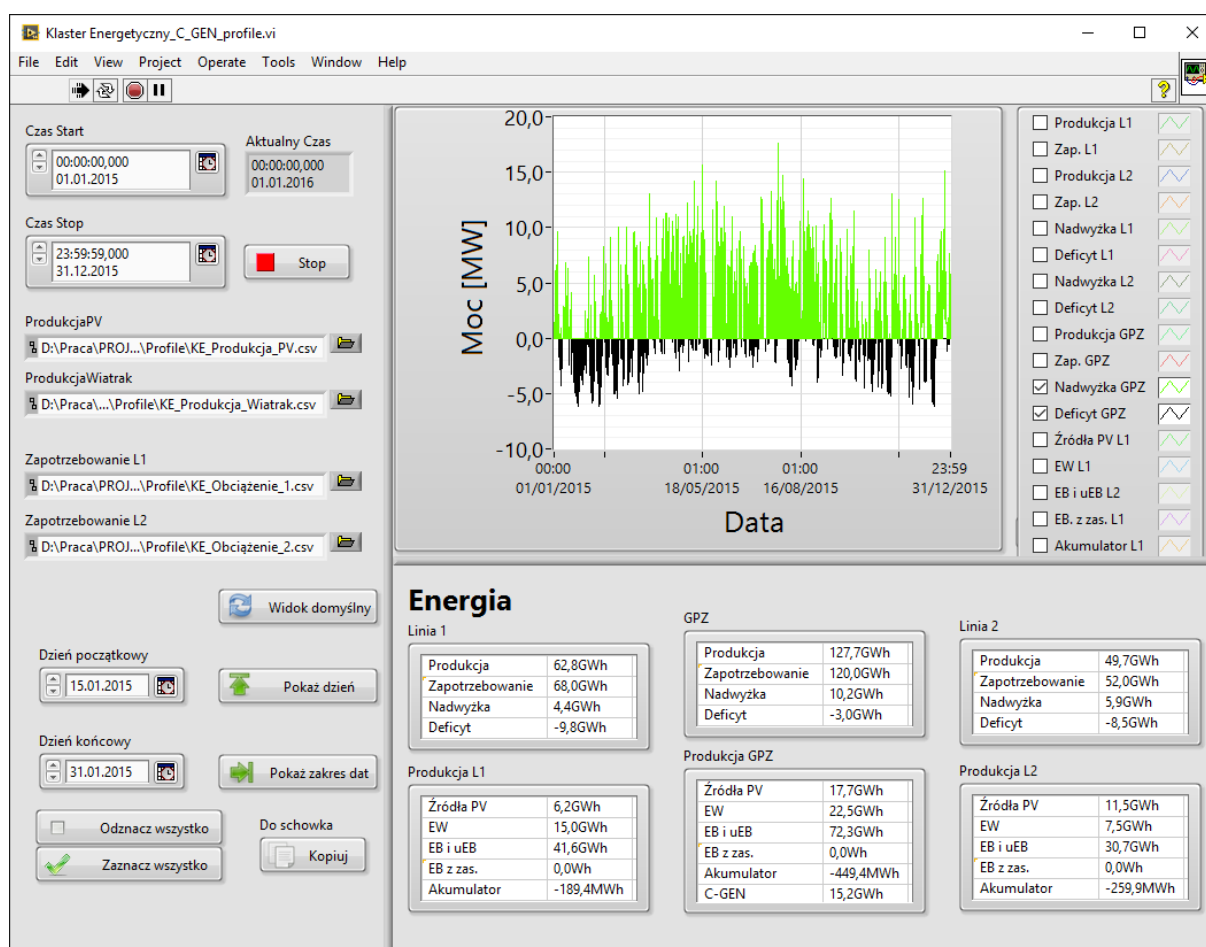
Danymi wejściowymi symulatora są rzeczywiste profile zapotrzebowania oraz produkcja w źródłach OZE w 2015 roku. W etapie trzecim, nad którym obecnie trwają badania w Centrum Energetyki Prosumenckiej (CEP), zostaną uwzględnione zagadnienia bilansowania i regulacji w czasie do jednej godziny oraz mechanizmy DSM/DSR w okresie

¹ dr inż. Krzysztof Bodzek – Katedra Energetyki Napędu Elektrycznego i Robotyki, Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska.

² Recenzent wewnętrzny (Politechnika Śląska – Centrum Energetyki Prosumenckiej): profesor Jan Popczyk (recenzja z dnia 2 września 2016).

dooby, a w etapie czwartym infrastruktura sieciowa. Metoda badań polega na bilansowaniu energii uwzględniającym produkcję w źródłach, zapotrzebowanie oraz gromadzenie energii w akumulatorach. Badania prowadzone są dla profili godzinowych, jednak ze względu na konieczność sterowania akumulatorami, symulator wykonuje dodatkowe „lokalne” bilanse w okresach pięciominutowych. (Bilansowanie godzinowe powodowało przekroczenie poziomu maksymalnego i minimalnego naładowania akumulatorów. Dane pięciominutowych lokalnych bilansów są interpolowane liniowo z profili godzinowych).

Wprowadzenie metody badań uwzględniającej profile, pozwala na przebadanie klastra KE w okresie całego roku, z uwzględnieniem dni z dużą produkcją wymuszoną w źródłach, oraz takich, w których jest ona (produkcja) bardzo mała.



Rys. 1. Symulator klastra KE

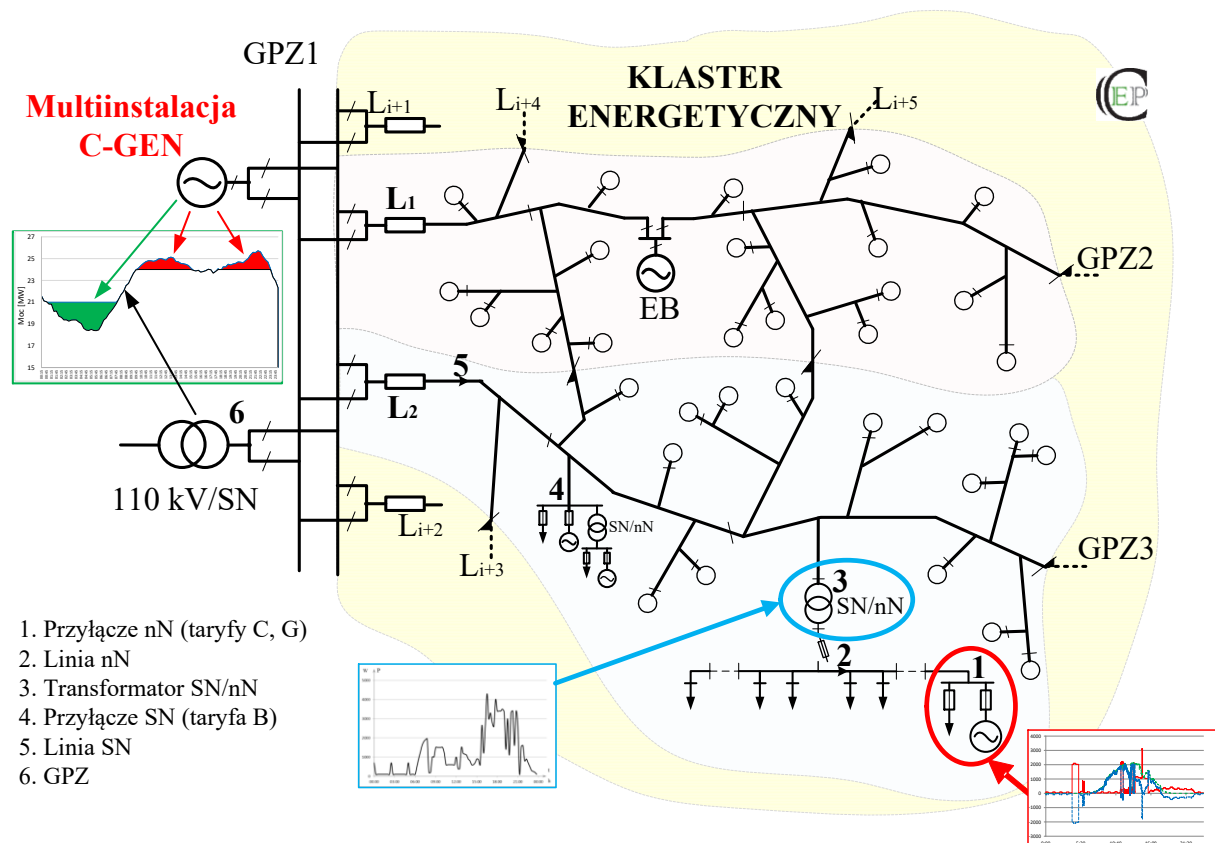
2. Referencyjny klaster energetyczny

Wprowadzenie referencyjnego klastra KE pozwala na przeprowadzenie analizy, która ma na celu pokazanie przede wszystkim możliwości wykorzystanych narzędzi badawczych. Symulator klastra może być z łatwością dostosowany do rzeczywistych warunków, uwzględniających inną strukturę klastra, czy inny wariant doboru źródeł wytwórczych.

2.1. Struktura referencyjnego klastra energetycznego

Referencyjny klaster KE składa się z 14,3 tys. domów jednorodzinnych, w tym 4,1 tys. gospodarstw rolnych o powierzchni do 20 ha, oraz 350 średnio-towarowych gospodarstw rolno-hodowlanych o powierzchni od 20 do 100 ha. Wycinek infrastruktury sieciowej referencyjnego klastra KE został przedstawiony na rysunku 2.

Klaster zasilany jest z trzech GPZ-ów, ale na rys. 2 przedstawia się tylko (wyróżnia się) GPZ1, z multiinstalacją bilansującą C-GEN; ze względu na symulacje na miedzianej płycie nie rozważa się natomiast sposobu pracy sieci SN/nN. Analiza prowadzona jest w taki sposób, aby zminimalizować ewentualne niezbilansowanie w punkcie przyłączenia klastra do sieci 110 kV (GPZ1), a docelowo uczynić klaster KE samowystarczalnym. W takim przypadku bilans w GPZ1 będzie zerowy w całym badanym okresie. W klastrze wyróżnione są dwa segmenty, którym przypisuje się dwie rozgałęzione linie SN: L1 oraz L2, ekwiwalentne całej sieci SN klastra. Zakłada się, że linie te są różnej wielkości i odpowiada im inne zapotrzebowanie (i inna produkcja) energii elektrycznej. Do linii L1 przyłączonych jest (za pośrednictwem sieci nN) 8,1 tys. gospodarstw domowych, natomiast do linii L2 6,2 tys. takich gospodarstw. W dalszej analizie (etap trzeci i czwarty) takie podejście (podziału klastra na podobszary zasilane z poszczególnych linii) pozwoli na „płynne” przejście do rzeczywistych rozptyłów sieciowych oraz ułatwi wybór miejsc przyłączenia źródeł.

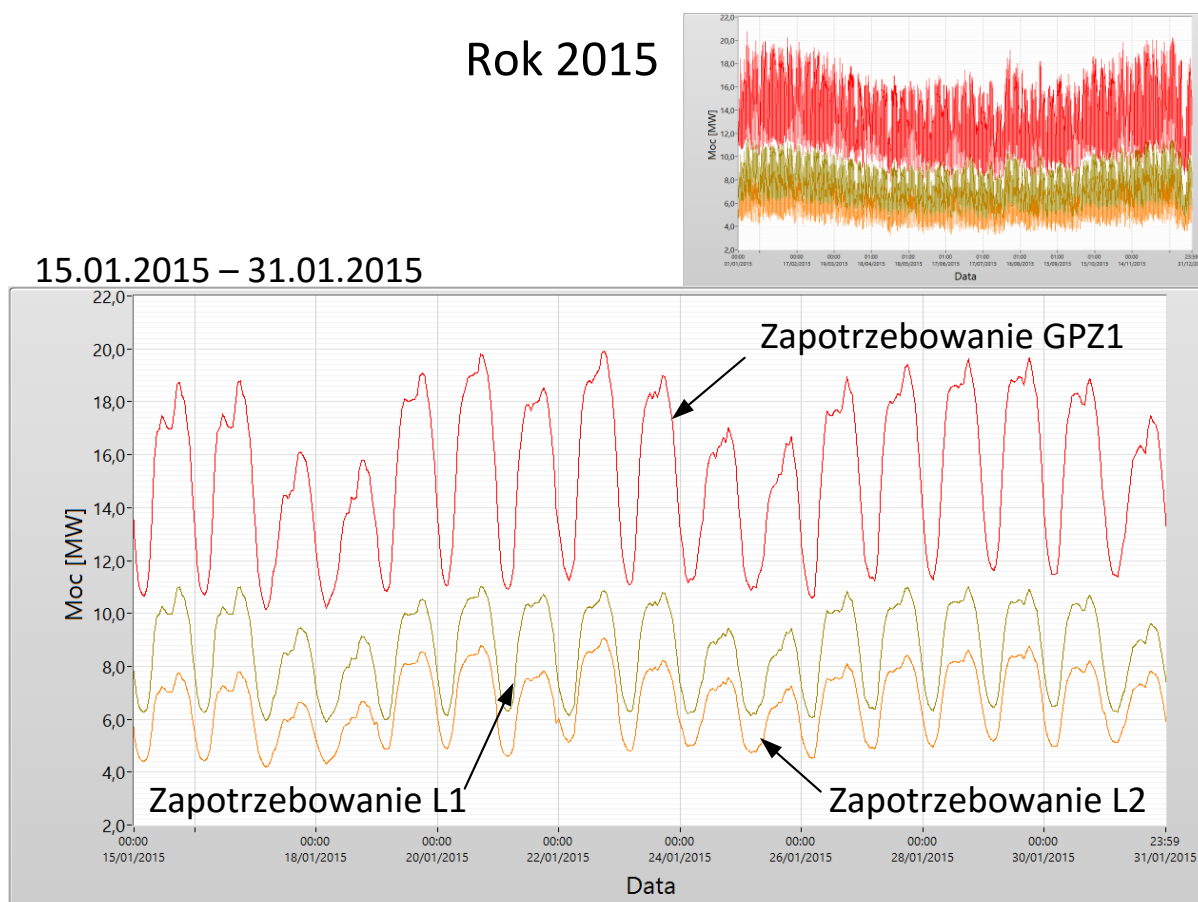


Rys. 2. Referencyjny klaster energetyczny

Dla każdej linii został wyznaczony godzinowy profil zapotrzebowania w 2015 roku. Jako dane wejściowe posłużył rzeczywisty profil GPZ-tu. Oczywiście każdy klaster KE będzie charakteryzował się innym profilem zapotrzebowania. Wykorzystanie innych profili zapotrzebowania jest możliwe i taka funkcja została zaimplementowana w symulatorze.

W etapie trzecim i czwartym badań dla każdego transformatora SN/nN zostaną wykorzystane rzeczywiste profile z obszarów wiejskich.

Na rysunku 3 zamieszczono profil obciążenia klastra dla całego roku 2015 oraz odrębnie dla wydzielonego okresu od 15 do 31 stycznia 2015 roku. Profile zapotrzebowania przeskalowano tak, aby roczne zapotrzebowanie dla linii L1 odpowiadało 8,1 tys. gospodarstw (łącznie zapotrzebowanie, nie tylko gospodarstw domowych: 68 GWh), a linii L2 6,2 tys. gospodarstw (52 GWh).



Rys. 3. Profil zapotrzebowania dla linii L1, L2 oraz GPZ1

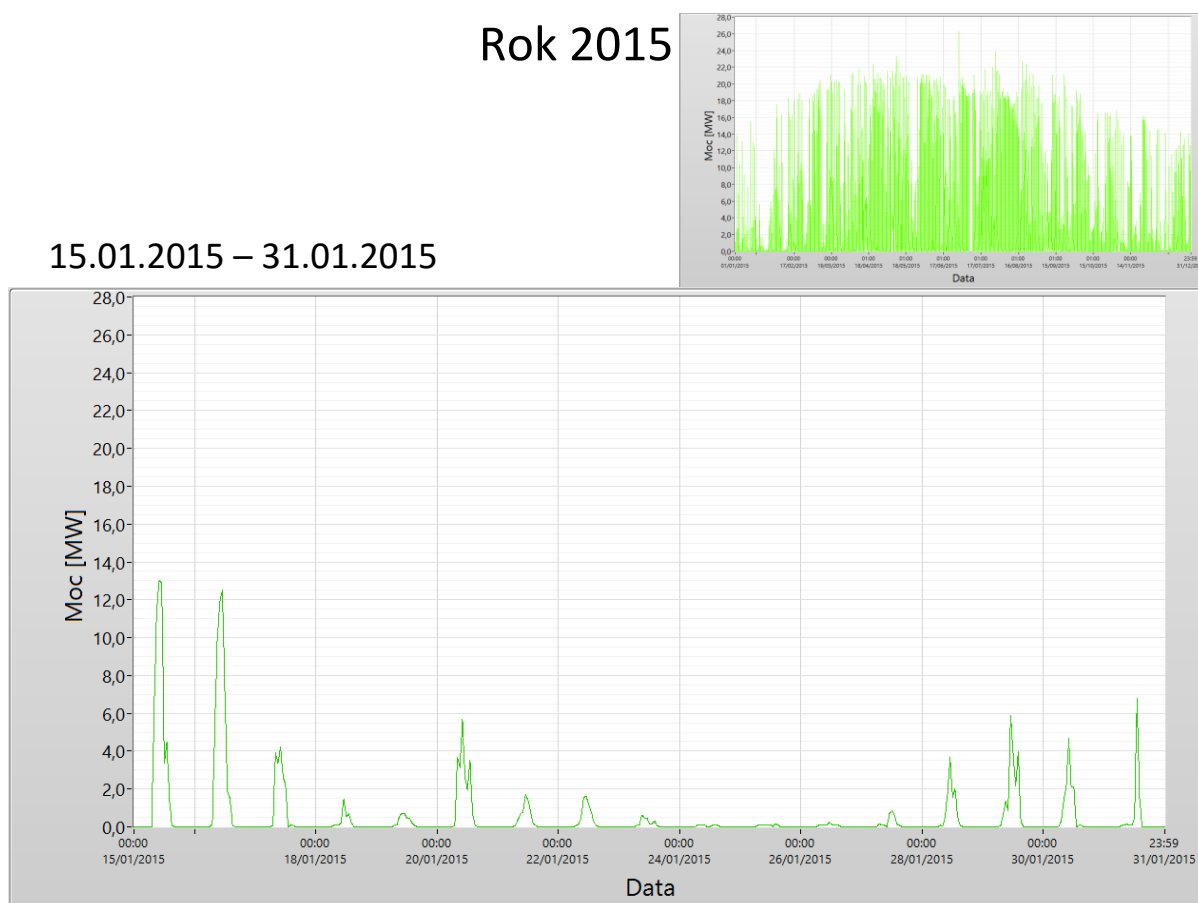
2.2. Technologie produkcji energii elektrycznej

Klaster KE może stać się samowystarczalny jedynie w sytuacji, gdy energia elektryczna będzie produkowana za pomocą różnych technologii. W klastrze referencyjnym uwzględniono produkcję w źródłach PV, elektrowniach wiatrowych (EW), elektrowniach biogazowych (EB) i mikroźródłach biogazowych (μ EB), multiinstalacji C-GEN oraz wykorzystano akumulatory. Dodatkowo konieczne staje się wykorzystanie mechanizmów pozwalających nie tylko na zredukowanie zużycia energii elektrycznej, ale jej racjonalne wykorzystanie w czasie, uwzględniające wymuszoną produkcję w źródłach OZE (mechanizmy DSM/DSR). Mechanizmy te nie będą analizowane w niniejszym raporcie, jednak zostały wspomniane ze względu na wykorzystanie ich w dalszych badaniach nad klastrem KE. Punktem wyjścia przeprowadzonej analizy jest racjonalny wariant doboru źródeł zaproponowany w [2], dla którego przedstawiono konfigurację źródeł w opisie użytych technologii.

2.2.1. Źródła PV

Jednym z podstawowych źródeł energii elektrycznej dostępnych obecnie dla prosumenta są źródła PV. Zakłada się, że w źródła PV o średniej mocy 4 kW zostanie wyposażonych 7150 gospodarstw (4050 – linia L1, 3100 – linia L2), czyli 50%. Przeprowadzając analizę, istotna jest sumaryczna moc źródeł PV czyli $7150 \times 4 \text{ kW} = 28,6 \text{ MW}$. Uwzględniając roczny profil produkcji w źródłach PV na podstawie strony PVMonitor [3] (rys. 4) i skalując go do 28,6 MW otrzymano roczną produkcję 26,5 GWh. Warto podkreślić, że w klastrze KE, źródła PV znajdują się stosunkowo blisko siebie, w sensie geograficznym (powiat), dlatego produkcja w poszczególnych gospodarstwach będzie podobna, a wykorzystany profil odpowiada rzeczywistej produkcji źródeł PV.

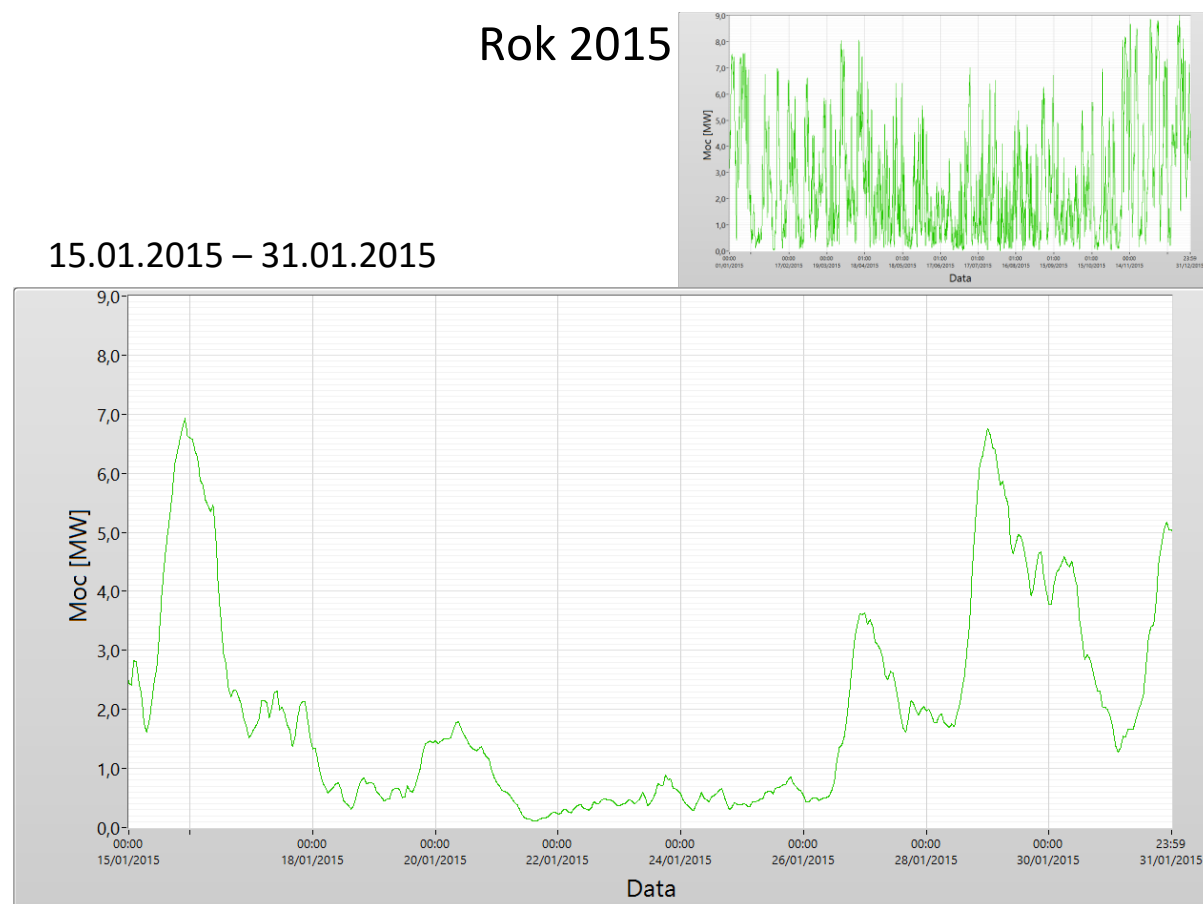
Dodatkowo okres od 15 do 31 stycznia został wybrany ze względu na znikomą produkcję. Godzinowy bilans energii w tym okresie jest jednym z wyznaczników zdolności klastra KE do samowystarczalności. W dalszej części raportu nazywany jest skrótowo okresem testowym. Należy podkreślić, że jest to okres charakterystyczny dla 2015 roku. Jednak w każdym roku mogą pojawić się dni w których produkcja w źródłach PV jak i elektrowniach wiatrowych jest niska. Okres testowy pozwala na uwzględnienie takiej sytuacji w doborze źródeł wytwórczych klastra.



Rys. 4. Rzeczywisty profil produkcji źródeł PV

2.2.2. Elektrownie wiatrowe

Drugim rodzajem źródeł o wymuszonej produkcji są elektrownie wiatrowe. Przyjmuje się, że są to elektrownie o mocy 3 MW. Dane o rzeczywistej produkcji zostały pobrane ze strony GPI [4] i przeskalowane dla produkcji trzech wiatraków o mocy 3 MW (rys. 5). Roczna produkcja energii w elektrowniach wiatrowych wynosi 22,5 GWh, przy czym w linii L1 – 15 GWh (2 elektrownie) a w linii L2 – 7,5 GWh (1 elektrownia). W wybranym okresie testowym, podobnie jak dla źródeł PV, produkcja jest mała.



Rys. 5. Profil (rzeczywisty) produkcji elektrowni wiatrowych

2.2.3. Elektrownie biogazowe

Kolejną technologią wykorzystaną w klastrze KE są elektrownie biogazowe (EB) klasy 1 MW (2 agregaty kogeneracyjne po 0,5 MW) oraz mikroźródła biogazowe (μ EB) klasy 10 kW pracujące w średnio-towarowych gospodarstwach rolno-hodowlanych. Dla analizy prowadzonej na miedzianej płycie elektrownie EB i mikroźródła μ EB modelowane są identycznie, przez co rozpatrywane są jako jeden rodzaj źródła wytwórczego. Moc elektrowni EB wraz z mikroźródłami μ EB w klastrze KE wynosi 5,75 MW (4 EB klasy 1 MW oraz 175 μ EB klasy 10 kW). Całkowita roczna produkcja wynosi 50,4 GWh. Przy czym produkcja w źródłach przyłączonych do linii L1 wynosi 24,1 GWh (2x1 MW + 75x 10 kW), a w źródłach przyłączonych do linii L2 – 26,3 GWh (2x1 MW + 100x10 kW).

Elektrownie EB (również mikroźródła μ EB) mogą zostać wyposażone w zasobniki biogazu, jednak ze względu na zastosowanie multiinstalacji C-GEN jako instalacji bilansująco-regulacyjnej, zdecydowano się zasobników nie wykorzystywać.

2.2.4. Multiinstalacja C-GEN

Technologia C-GEN, jest zupełnie nową technologią wykorzystującą niskotemperaturowe zgazowanie biomasy/odpadów. Może pełnić rolę źródła, magazynu (w postaci energii chemicznej) oraz odbioru (w przypadku nadwyżki produkcji w klastrze). Multiinstalacja C-GEN klasy 5 MW przyłączona jest do GPZ1 i pełni rolę instalacji bilansująco-regulacyjnej klastra KE. W multiinstalacji C-GEN wytwarzana jest energia elektryczna w sytuacji, kiedy występuje deficyt jej produkcji w innych źródłach. Ograniczeniem jest moc multiinstalacji wynosząca 5 MW. Na tym etapie nie bada się multiinstalacji pracującej jako odbiornik (fabryka chemiczna). Możliwość takiej pracy zostanie wykorzystana w przypadku uwzględnienia mechanizmów DSM/DSR.

2.2.5. Akumulatory

W klastrze KE uwzględnia się akumulatory montowane wraz ze źródłami PV u prosumentów. Zainstalowana moc akumulatorów wynika z założenia, że u każdego prosumenta zainstalowany jest akumulator o pojemności 3 kWh (użytecznej 1,5 kWh). Analiza na miedzianej płycie pozwala traktować wiele akumulatorów w linii jak jeden akumulator o pojemności będącej sumą pojemności składowych akumulatorów. W klastrze KE uwzględnia się więc dwa ekwiwalentne akumulatory, po jednym dla każdej linii, o pojemności 6,1 (4050x1,5 kWh) oraz 4,6 MWh (3100x1,5 kWh), odpowiednio dla linii L1 oraz L2. Zastosowany w symulatorze model akumulatora uwzględnia sprawność ładowania i rozładowywania. Zamodelowane straty są uwzględnione w bilansie energetycznym klastra (tabela 4).

3. Analiza symulacyjna pracy klastra energetycznego

Wynikami analizy symulacyjnej pracy klastra KE są godzinowe bilanse energii, wyznaczone dla 2015 roku, w ekwiwalentnym węźle przyłączenia klastra KE do sieci elektroenergetycznej 110 kV, czyli w GPZ1. W bilansach uwzględniono wszystkie opisane powyżej technologie, a wykorzystanie rzeczywistych grafikonowanych profili zapotrzebowania oraz produkcji pozwala na weryfikację wcześniejszego doboru źródeł wykonanego na podstawie rocznego bilansu energii (biorąc pod uwagę okresy prawie zerowej produkcji w źródłach z produkcją wymuszoną). Analiza z wykorzystaniem grafikonowanych/godzinowych profili produkcji została prowadzona dla trzech wariantów doboru źródeł:

Wariant 1. Źródła dobrane na podstawie rocznego bilansu energii [2]. W tym przypadku źródła wytwórcze dobrane są racjonalnie, w takim sensie, że roczna produkcja przekracza o 15 % roczne zapotrzebowanie.

Wariant 2. Potencjalna produkcja klastra KE [2]. Potencjał produkcji klastra KE. Przypadek w którym wykorzystany są całe zasoby klastra.

Wariant 3. Źródła dobrane z wykorzystaniem doświadczeń wynikających z bilansów grafikonowanych godzinowo (źródła wytwórcze zostały „lepiej” dobrane).

3.1. Bilans grafikowany godzinowy dla wariantu 1

W wariantcie pierwszym źródła zostały dobrane na podstawie rocznego zapotrzebowania oraz produkcji energii elektrycznej w poszczególnych źródłach według [2].

Tab. 1. Konfiguracja źródeł dla wariantu 1

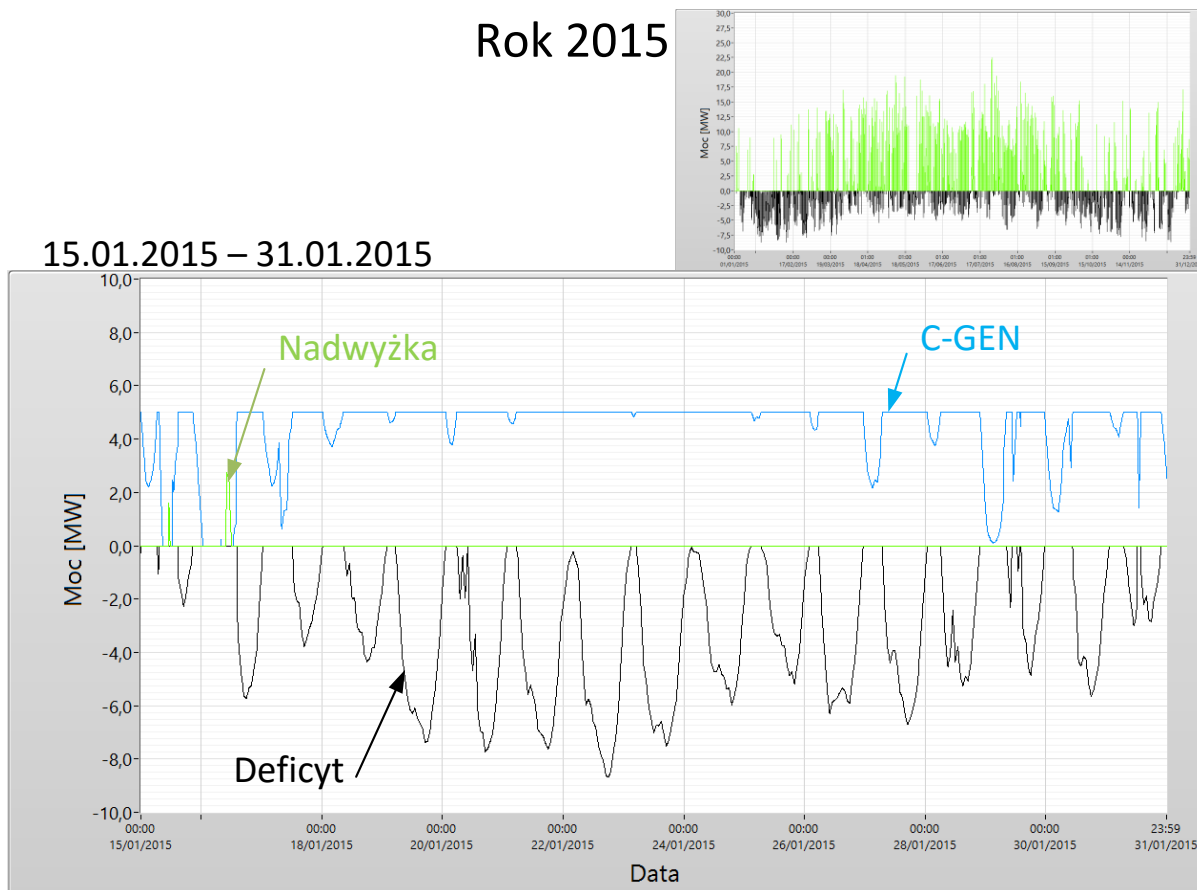
Technologia	Moc [MW]	Produkcja [GWh]
Ogniwa PV	28,6	26,5
EW	9	22,5
EB i μ EB	5,75	50,4
C-GEN	5	22,5
Suma	48,35	121,9

Uwzględniając konfigurację źródeł z tab. 1, zasymulowano godzinowy bilans energii w skali roku (rys. 6). Z bilansu wynika, że dla rocznego zapotrzebowania energii w klastrze KE wynoszącym 120 GWh oraz produkcji wynoszącej 121,9 GWh, występują przedziały czasu, w których istnieje deficyt mocy oraz takie, w których występuje nadwyżka. Można zauważyć dodatkowo, że mimo zainstalowanej mocy źródeł (48,35 MW) ponad dwa razy przekraczającej maksymalną moc (22,5 MW), taka konfiguracja źródeł nie pozwala na samowystarczalność klastra KE. Maksymalna moc źródeł wynika przede wszystkim z dużej mocy zainstalowanych źródeł PV, w których produkcja energii w naszym klimacie jest znacznie mniejsza od produkcji w pozostałych źródłach OZE. Widać to szczególnie w okresie testowym od 15 do 31 stycznia.

Na rysunku 6 zamieszczono dodatkowo przebieg mocy w bilansująco-regulującej multiinstalacji C-GEN. Śledząc jej produkcję w tym okresie, można zauważyć, że właściwie przez cały czas, multiinstalacja pracuje z maksymalną mocą 5 MW. W klastrze KE nie ma więc okresów z nadwyżką produkcji, dzięki którym mogłyby zadziałać mechanizmy DSM/DSR. Mechanizmy te są wydajne jeżeli w ciągu doby pojawiają się okresy deficytu, ale są również okresy w którym istnieje nadwyżka produkcji. W analizowanym przypadku okres deficytu trwa prawie dziesięć dni. Można więc postawić wniosek, że dobranie konfiguracji źródeł jedynie na podstawie rocznej produkcji, nie jest wystarczające. Dla klastra KE z dużym udziałem produkcji w źródłach z produkcją wymuszoną, konieczne staje się rozpatrzenie rzeczywistych, grafikowanych profili zapotrzebowania oraz produkcji. Umożliwia to zaproponowana w raporcie metoda doboru źródeł.

Rok 2015

15.01.2015 – 31.01.2015



Rys. 6. Godzinowy bilans mocy dla wariantu 1

3.2. Bilans grafikowany godzinowy dla wariantu 2

W drugim wariantcie do produkcji energii elektrycznej został wykorzystany cały potencjał klastra KE. Zgodnie z założeniami prof. J. Popczyka [2] w referencyjnym klastrze energetycznym, potencjalnie można wykorzystać źródła PV wraz z akumulatorami, zainstalowane w każdym gospodarstwie, 7 elektrowni EW, 7 elektrowni EB, 350 μ EB oraz multiinstalację C-GEN. Potencjał produkcji został zebrany w tabeli 2.

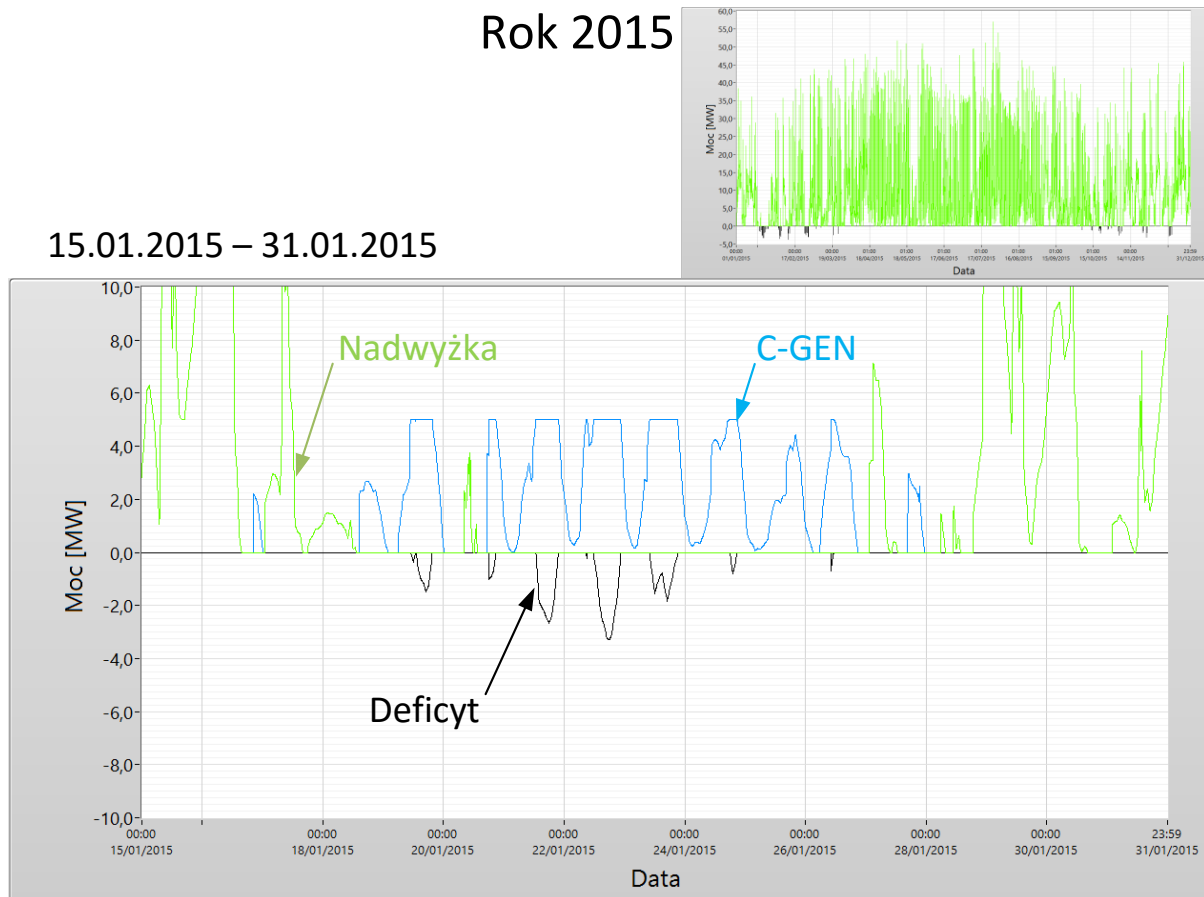
Tab. 2. Konfiguracja źródeł dla wariantu 2

Technologia	Moc [MW]	Produkcja [GWh]
Ogniwa PV	57,2	53
EW	21	52,6
EB i μ EB	10,5	92
C-GEN	5	2,1
Suma	93,7	199,6

Uwzględniając potencjał produkcji w klastrze KE (tab. 2) można zauważyć, że deficyt produkcji został znacząco ograniczony (rys. 7). W testowym okresie małej produkcji, deficyt występuje tylko kilka razy i trwa parę godzin, z taką sytuacją, zastosowanie nawet najprostszych mechanizmów DSM/DSR pozwala na samowystarczalność klastra KE .

Niestety, przy takiej konfiguracji źródeł, występuje duża nadwyżka produkcji. Nie jest ona problemem, można ją ograniczyć, ale są z nią związane koszty wybudowania źródeł. Dodatkowo, można zauważyć, że multiinstalacja C-GEN wyprodukowała jedynie 2,1 GWh

co w porównaniu z maksymalną produkcją (ponad 40 GWh) stanowi o jej wykorzystaniu w zaledwie 5 %. Znaczna nadwyżka (prawie dwukrotna), znikome wykorzystanie multiinstalacji C-GEN oraz zainstalowana moc ponad czterokrotnie większa od maksymalnego mocy odbiorów, świadczy o znacznym przeinwestowaniu i jest nieopłacalne ekonomicznie mimo, że pozwala na samowystarczalność KE.



Rys. 7. Godzinowy bilans mocy dla wariantu 2

3.3. Bilans grafikowany godzinowy dla wariantu 3

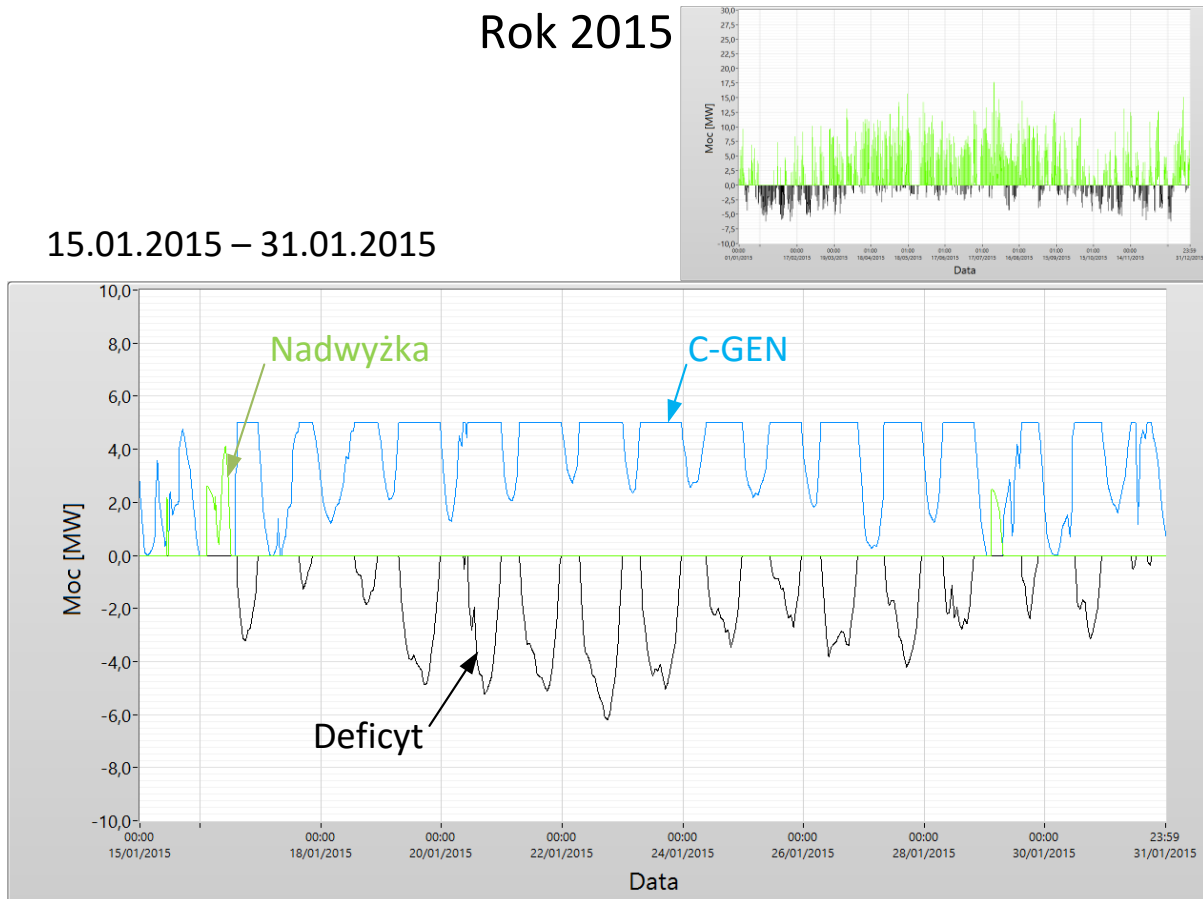
W tym przypadku źródła wytwórcze w KE zostały dobrane na podstawie rzeczywistych profili zapotrzebowania oraz produkcji źródeł. Konfiguracja ta jest rozwinięciem pierwszego analizowanego przypadku (punkt 3.1). Dla tego przypadku w klastrze KE pracują dwie elektrownie EB więcej, ponadto kolejne 50 gospodarstw wyposażono w μ EB. Dodatkowo ograniczono o 1/3 produkcję w ogniwach PV.

Tab. 3. Konfiguracja źródeł dla wariantu 3

Technologia	Moc [MW]	Produkcja [GWh]
Ogniwa PV	19,1	17,7
EW	9	22,5
EB i μ EB	8,25	72,3
C-GEN	5	15,2
Suma	41,35	127,7

Rok 2015

15.01.2015 – 31.01.2015



Rys. 8. Godzinowy bilans mocy dla wariantu 3

Dodatkowe elektrownie EB, pracujące ze stałą mocą, czyli w podstawie produkcji, spowodowały, że nawet w niesprzyjającym okresie testowym w każdej dobie pojawiają się okresy w których, uwzględniając multiinstalację C-GEN istnieje nadwyżka produkcji. Wykorzystując mechanizmy DSM/DSR można przenieść część odbiorników dużej mocy z okresu w których występuje deficyt mocy do okresu w którym możliwe jest zwiększenie produkcji. Zaproponowane ograniczenie źródeł PV w klastrze nie wpływa znacząco na okres testowy (produkcja w tym okresie jest znikoma) ale zmniejsza koszty inwestycyjne.

4. Porównanie trzech konfiguracji źródeł wytwórczych

W rozdziale tym zostaną porównane trzy warianty doboru źródeł wytwórczych w klastrze KE, pod względem bilansu energii ale również zainstalowanej mocy i czasu występowania deficytów. W tabeli 4 przedstawiono dane dotyczące zainstalowanych mocy źródeł wytwórczych oraz ich rocznej produkcji. W zapotrzebowaniu, uwzględniono straty w akumulatorach występujące podczas ładowania i rozładowywania. Dla każdego wariantu zamieszczono również roczną nadwyżkę i deficyt energii. Dodatkowo, wyznaczono uporządkowany roczny bilans mocy (rys. 9), który umożliwia odczytanie przez jaki czas występowały i ile wynosiły deficyt i nadwyżka mocy. Uporządkowany bilans mocy można wykorzystać jako wskaźnik przy doborze źródeł wytwórczych. Należy jednak pamiętać, że z punktu widzenia samowystarczalności klastra KE istotniejsze jest, czy dla okresu występowania deficytów mocy pojawiają się również, w skali doby, okresy z możliwą nadwyżką produkcji. Jeżeli do doboru zostałby wykorzystany jedynie uporządkowany bilans,

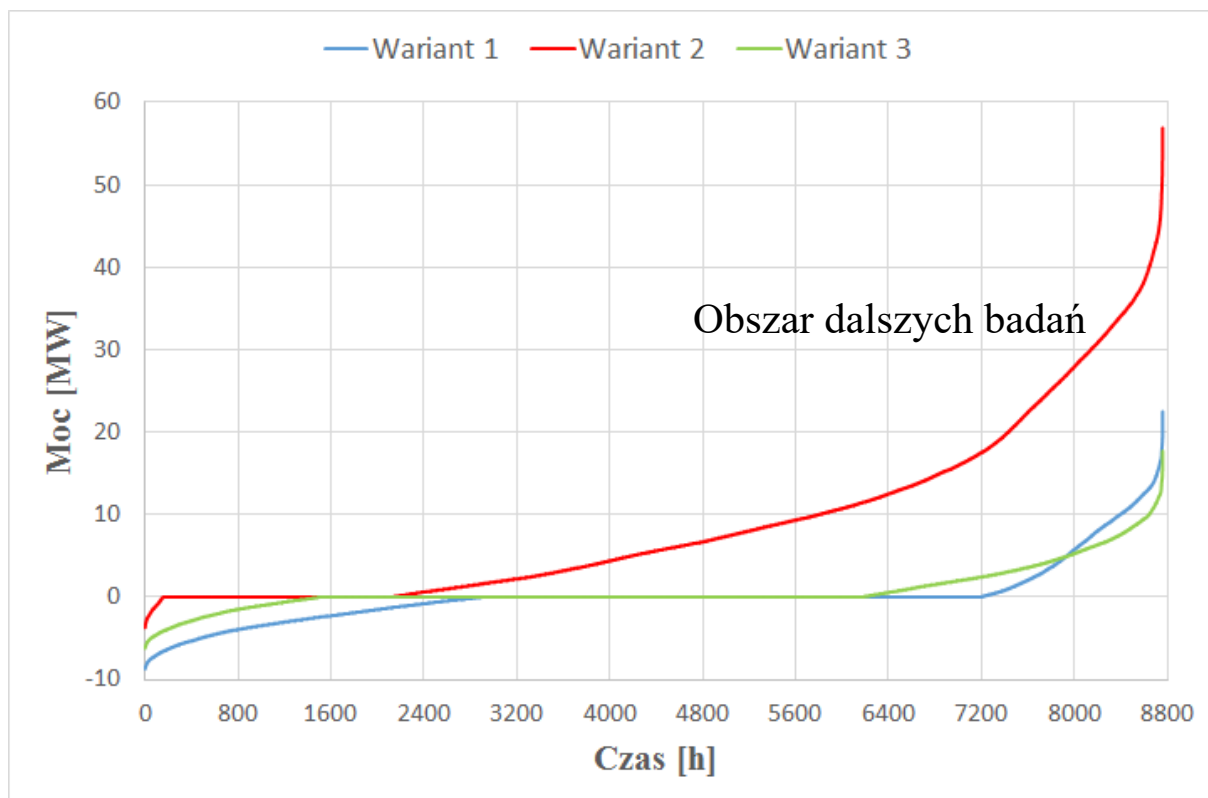
bardzo szybko przeszlibyśmy od mechanizmów DSM/DSR do rynku mocy, który nie jest opłacalny, gdyż wymaga dużego przewymiarowania zainstalowanych źródeł (wariant 3).

Tab. 4. Porównanie trzech przypadków

Wariant doboru źródeł						
	Wariant 1		Wariant 2		Wariant 3	
	Moc [MW]	Produkcja [GWh]	Moc [MW]	Produkcja [GWh]	Moc [MW]	Produkcja [GWh]
Źródła PV	28,6	26,5	57,2	53	19,1	17,7
EW	9	22,5	21	52,6	9	22,5
EB i μ EB	5,75	50,4	10,5	92	8,25	72,3
C-GEN	5	22,5	5	2,1	5	15,2
Suma	48,35	121,9	93,7	199,6	41,35	127,7
Zapotrzebowanie	22,5	120,6	22,5	120,4	22,5	120,4
Bilans						
	Moc szczytowa [MW]	Energia [GWh]	Moc szczytowa [MW]	Energia [GWh]	Moc szczytowa [MW]	Energia [GWh]
Nadwyżka	22,5	9,6	56,9	79,4	17,6	10,2
Deficyt	8,7	8,3	3,7	0,2	6,2	3,0

Dla przypadku, gdy źródła dobrane są jedynie ze względu na roczną produkcję, należy liczyć się z okresami, w których wymuszona produkcja w źródłach OZE jest niska i pojawiają się deficyty mocy w klastrach KE. Dodatkowo, jak wynika z rys. 6, w okresie tym nie mamy możliwości efektywnego wykorzystania mechanizmów DSM/DSR. Multiinstalacja C-GEN w całym okresie (kilka dni) pracuje z pełną mocą. Taki dobór źródeł nie pozwala na samowystarczalną pracę KE. Jest on natomiast dobrym punktem początkowym do doboru źródeł wytwórczych.

Z porównania wynika, że potencjał produkcyjny klastra KE (wariant 2) jest wystarczający do zapewnienia samowystarczalności klastra nawet, gdy mechanizmy DSM/DSR nie są wykorzystywane. Czas występowania deficytu w tym przypadku wynosi około 150 godzin w roku i można go łatwo wyeliminować stosując znane obecnie opłaty za ograniczenie mocy. Podkreślić należy jednak fakt, że zainstalowana moc przekracza czterokrotnie szczytową moc klastra KE, a nadwyżka produkcji występuje przez prawie 6700 godzin. Dodatkowo bilansująco-regulacyjna multiinstalacja C-GEN wykorzystana jest jedynie w 5 %. Taka konfiguracja źródeł wiąże się więc z bardzo dużymi kosztami inwestycyjnymi i może być uzasadniona jedynie w przypadku, gdy nadwyżkę produkcji można wykorzystać poza klastrem KE. Jedną z możliwości jest sprzedaż energii, niestety, nadwyżka występuje wtedy, gdy są dobre warunki dla pracy źródeł OZE, przez co cena energii jest niska. Drugą możliwością jest wykorzystanie nadwyżki produkcji w multiinstalacji C-GEN pracującej jako odbiornik (fabryka chemiczna). Konieczne jest jednak przeprowadzenie dalszych badań w tym obszarze.



Rys. 9. Porównanie uporządkowanych bilansów w punkcie GPZ1 dla trzech konfiguracji źródeł

Trzeci, ostatni przypadek, to konfiguracja uwzględniająca rzeczywiste profile produkcji energii w źródłach OZE (z produkcją wymuszoną). Analizując wariant 1 można zauważyć, że w konfiguracji istnieje konieczność zwiększenia produkcji w elektrowniach EB, czyli w źródłach podstawowych klastra KE. Zmniejszenie mocy zainstalowanej źródeł PV z poziomu 1/2 do poziomu 1/3 wszystkich gospodarstw, ogranicza zainstalowaną moc (zmniejsza koszty źródeł) nie wpływając znacząco na deficyt mocy. Dla konfiguracji dobranej z uwzględnieniem profili zapotrzebowania i produkcji, liczba dni z deficytem produkcji zmniejsza się o połowę w stosunku do przypadku pierwszego (rys. 9) oraz powoduje, że w okresie testowym w każdej dobie występują okresy w których istnieje nadwyżka mocy (rys. 8). Stosując mechanizmy DSM/DSR w połączeniu z ewentualnym ograniczeniem zużycia, klastr KE może być samowystarczalny.

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona w raporcie analiza jest rozwinięciem zagadnienia opisywanego przez prof. J. Popczyka w [2]. Jednak do pełnej analizy klastra KE potrzebne jest uwzględnienie: regulacji i bilansowania, struktury sieci oraz mechanizmów DSM/DSR. Przedstawione wyniki są bazą dla dalszych, już trwających, jeszcze bardziej zaawansowanych badań nad doborem źródeł w klastrach KE.

Zastosowana metoda badawcza obarczona jest niebezpieczeństwem, że w innych latach profile produkcji, ale i zapotrzebowania mogą wyglądać inaczej. Należy jednak podkreślić, że doprowadzenie klastra KE do samowystarczalności nie jest procesem natychmiastowym, ale trwającą wiele lat inwestycją. Zastosowana metoda badań pozwala na to, aby rzeczywista konfiguracja źródeł była adaptowana do zmieniających się warunków produkcji

i zapotrzebowania. Dodatkowo, dane użyte w symulacjach pozwolą na systematyczne poprawianie ich jakości.

Już uzyskane wyniki badań pozwalają stwierdzić, że klastry KE mogą być samowystarczalne. Jest to najważniejszy wniosek niniejszego raportu. Na podstawie przeprowadzonych badań można również stwierdzić:

1. Samowystarczalność klastra KE nastąpi wtedy, gdy bilans w każdej godzinie w skali roku w ekwiwalentnym punkcie przyłączenia (GPZ1) będzie wynosił zero. Przy czym występującą nadwyżkę produkcji można łatwo wyeliminować, ograniczając produkcję w źródłach. Należy jednak pamiętać, że przewymiarowanie źródeł wiąże się z kosztami inwestycyjnymi. Problemem są występujące deficyty energii, które mogą być eliminowane poprzez odpowiedni dobór źródeł oraz mechanizmy DSM/DSR.
2. Dobór źródeł na podstawie rocznego bilansu energii (wariant 1) nie jest wystarczający dla klastrów, w których istnieje duży udział produkcji w źródłach z produkcją wymuszoną. Dla takiego przypadku konieczny staje się dobór na podstawie grafikonowego godzinowego bilansu.
3. W samowystarczalnym klastrze KE potrzebne są źródła podstawowe zapewniające, stałą produkcję (około 50% mocy szczytowej zapotrzebowania, rys. 3) bez względu na panujące warunki. Dobrym wyborem w tym kontekście są elektrownie EB oraz mikroźródła μ EB.
4. Samowystarczalność klastra można zapewnić poprzez zainstalowanie dużej liczby źródeł (wariant 2) tak, aby wyeliminować mechanizmy DSM/DSR, czyli wprowadzić rynek mocy. Wiąże się to jednak ze znacznie większymi nakładami inwestycyjnymi. Dodatkowo zwiększenie mocy zainstalowanej źródeł, zmniejsza wykorzystanie energii na potrzeby własne klastra. Szansą dla takiego wariantu staje się wykorzystanie nadwyżki produkcji w multiinstalacji C-GEN, pracującej jako fabryka chemiczna.
5. Zastosowanie w klastrze KE elektrowni bilansująco-regulacyjnej (np. multiinstalacji C-GEN) o stosunkowo dużej mocy (klasy 5 MW) ogranicza konieczność stosowania w biogazowniach zasobników energii.
6. Z przeprowadzonej analizy wynika, że uzyskanie racjonalnej samowystarczalności klastra KE wymaga zastosowania mechanizmów DSM/DSR, czyli racjonalnego wykorzystania energii elektrycznej (dostosowania, w pewnym zakresie, zapotrzebowania do produkcji wymuszonej źródeł OZE).

Literatura

- [1] Ustawa OZE, obowiązująca od 1 lipca 2016 r.
- [2] Popczyk J. Klastry energetyczne – tak. Energetyka jądrowa i rynek mocy – nie. Nowy rynek energii elektrycznej – tak, na ten jest już najwyższy czas !!! (08.08.2016).
[Biblioteka BŻEP, http://www.klaster3x20.pl](http://www.klaster3x20.pl)
- [3] Strona serwisu PVMonitor: <http://pvmonitor.pl/>
- [4] Strona giełdowej platformy informacyjnej: <http://gpi.tge.pl/pl>

Datowanie RAPORTU (wersja oryginalna) – 5.09.2016 r.