

MOŻLIWOŚĆ LOKALNEJ ODBUDOWY ZASILANIA W OPARCIU O ZASOBNIKI ENERGII I ROZPROSZONE ŹRÓDŁA OZE

Leszek BRONK¹, Mirosław MATUSEWICZ²

1. Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk
tel.: 58 349 8211 e-mail: l.bronk@ien.gda.pl
2. ENERGA OPERATOR SA
tel.: 607 338 431 e-mail: Miroslaw.Matusewicz@energa.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki testów odbudowy zasilania obszaru sieci dystrybucyjnej z wykorzystaniem magazynu energii (ME) i rozproszonych źródeł odnawialnych. Próba pracy wyspowej z odnawialnymi źródłami energii (OZE) została wykonana na ograniczonym obszarze sieci elektroenergetycznej (SEE). Na testowany obszar składają się cztery podobszary, które można załączyć/odłączyć za pomocą zdalnie sterowanych rozłączników. Celem próby było zdalne wydzielenie i zasilanie obszaru z wykorzystaniem ME, a następnie farmy wiatrowej (FW). Artykuł oparto na wynikach projektu „Budowa lokalnego obszaru bilansowania (LOB) jako elementu zwiększenia bezpieczeństwa i efektywności energetycznej pracy systemu dystrybucyjnego”, realizowanego przy współudziale Energa Operator SA, Uniwersytetu Zielonogórskiego i Instytutu Energetyki Oddział Gdańsk.

Słowa kluczowe: magazyn energii, lokalny obszar bilansowania, OZE, praca wyspowa.

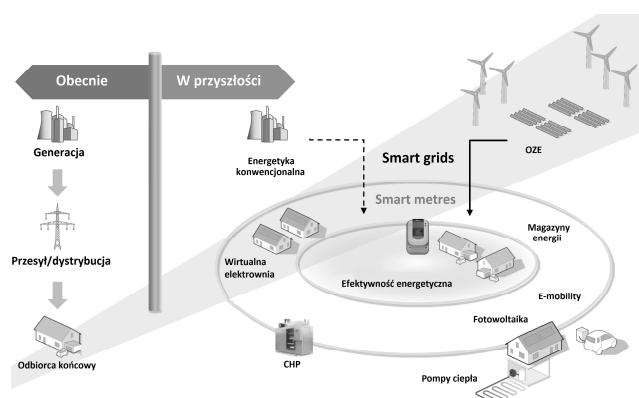
1. WSTĘP

Funkcjonowanie sieci dystrybucyjnej podlega obecnie istotnym zmianom wynikającym z rozwoju rozproszonych OZE, wzrostu urządzeń wykorzystującej energię elektryczną u odbiorców końcowych oraz pojawienia się zasobów przyłączonych do sieci, które z punktu widzenia OSD charakteryzują się sterownością i możliwością wpływu na warunki prowadzenia ruchu sieci dystrybucyjnej (rys. 1). Możliwości techniczne oraz potencjał wykorzystania ich do świadczenia usług regulacyjnych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) przedstawiono w opracowaniach [1, 2, 3]. FW pełnią obecnie dominującą rolę wśród OZE, prawdopodobnie w przyszłości nie ulegnie ona istotnemu obniżeniu.

Wdrożenie „pakietu zimowego” przyczyni się do zmian w zasadach kontraktowania usług regulacyjnych. Po 2020 roku część odpowiedzialności za funkcjonowanie SEE zostanie przeniesiona na poziom OSD, m.in.: będą to usługi związane z regulacją napięcia, szybką generacją prądu biernego lub usług w zakresie inercji mocy i odbudowy systemu [4].

Ponadto rozwój klastrów energii, których zadaniem jest zapewnienie lokalnego bezpieczeństwa energetycznego, będzie wymagał właściwego doboru struktury zasobów (m.in. generacji rozproszonej, zasobników energii). Tworzenie lokalnych grup wytwórców i odbiorców energii,

bilansujących się w obrębie grupy, jest korzystne z perspektywy elastyczności funkcjonowania KSE i może stać się w przyszłości podstawą do tworzenia lokalnych obszarów bilansowania, współdziałających z OSD.



Rys. 1. Sieć dystrybucyjna obecnie i w przyszłości [5]

2. OBSZAR ORAZ CEL TESTÓW

2.1. Lokalny Obszar Bilansowania

Próba pracy wyspowej została wykonana na ograniczonym obszarze sieci dystrybucyjnej w ramach LOB, który zaimplementowano w obrębie GPZ Władysławowo. Kluczowym elementem LOB jest magazyn energii o parametrach technicznych 0,75 MW/1,50 MWh, wykonany w technologii Li-Ion. W obszarze LOB zlokalizowane są cztery farmy wiatrowe o łącznej mocy 6 MW oraz biogazownia o mocy 0,8 MW. Maksymalne zapotrzebowanie na moc odbiorców przyłączonych do sieci w obszarze LOB wynosi 6 MW [6]. Celem działania LOB jest zapewnienie niezawodnej i bezpiecznej pracy sieci w warunkach dużego udziału energii z odnawialnych i rozproszonych źródeł, z uwzględnieniem jakości dostarczanej energii oraz efektywności jej wykorzystania. W sytuacjach awaryjnych LOB jest w stanie funkcjonować w trybie pracy wyspowej, wykorzystując zasobnik energii pracujący w trybie regulacji częstotliwości oraz lokalną generację rozproszoną. Centralnym elementem systemu sterowania LOB jest oprogramowanie LOBster, którego zadaniem jest planowanie i prowadzenie ruchu w LOB. System zasilany jest danymi pomiarowymi gromadzonymi

w trybie off- lub online i prognozami warunków meteorologicznych. Na podstawie wykonywanych prognoz zapotrzebowania odbiorców na moc i prognoz generacji rozproszonej [7] system wypracowuje plan wykorzystania zasobów sterowalnych na dobę następną, a następnie wartości zadane w czasie rzeczywistym [8].

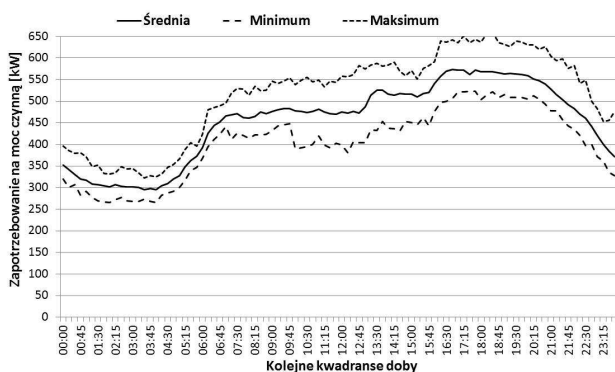
2.2. Charakterystyka oraz możliwości regulacyjne zasobów na obszarze LOB

Głównym celem przeprowadzonego testu było zbadanie możliwości współpracy FW i ME w zakresie bilansowania mocy obszaru wydzielonego w warunkach rzeczywistego obciążenia. Ze względu na techniczne możliwości zasobnika energii (moc/pojemność) oraz dużą zmienność zapotrzebowania na moc odbiorców końcowych i generacji, przeprowadzono analizę możliwych konfiguracji pracy sieci przy różnych obciążeniach. Na podstawie analiz wytypowano obszary sieci SN z przyłączonymi odbiorcami, które mogą być sekwencyjnie załączane lub odłączane za pomocą rozłączników zdalnie sterowanych, w zależności od bilansu zapotrzebowania na moc i generacji na wydzielonym obszarze sieci [6]. W wyniku przeprowadzonych badań wytypowano cztery podobszary. W tab. 1 przedstawiono charakterystykę poszczególnych podobszarów.

Tablica 1. Charakterystyka poszczególnych podobszarów

Wyszczególnienie i charakterystyka podobszarów
Podobszar 1: zlokalizowany pomiędzy łącznikami Q-9080, 9458, Q-9416, Q-9316: 11 st. SN/nn, ME (750kW/1,5MWh)
Podobszar 2: zlokalizowany pomiędzy łącznikami Q-9416, 903100: 2 stacje SN/nn, farma wiatrowa (3,2 MW)
Podobszar 3: zlokalizowany pomiędzy stacją SN/nn Połczyno, łącznikami Q-90228, Q-9225: 5 stacji SN/nn
Podobszar 4: zlokalizowany pomiędzy łącznikami Q-90228, Q-9255: 7 stacji SN/nn
Łącznie 4 podobszary: 25 stacji SN/nn

Profil obciążenia obszaru testowego w dniu roboczym został przedstawiony na rys. 2. Z przedstawionych danych wynika, że dla całego obszaru testowego (obszary 1–4), średnie (linia ciągła) zapotrzebowanie na moc czynną w ciągu dnia wynosiło ok. 480–550 kW. Szczytowe zarejestrowane zapotrzebowanie na moc w badanym obszarze wynosiło ok. 650 kW.



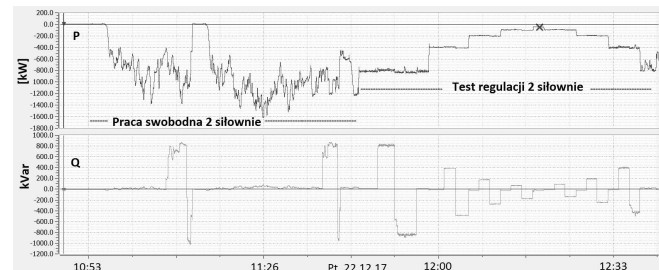
Rys. 2. Sumaryczny dobowy profil obciążenia w dniu roboczym dla czterech obszarów na podstawie danych historycznych

Podstawowym źródłem zasilania wydzielonego obszaru będzie farma wiatrowa, a ME pełniłyby funkcję bilansującą. Możliwości regulacyjne poszczególnych zasobów zbadano przed wykonaniem właściwego testu.

2.2.1. Możliwości regulacyjne farmy wiatrowej

Na FW o mocy 3,2 MW zainstalowane są cztery turbiny ENERCON E-48 o mocy 800 kW, z generatorem synchronicznym, w których cała moc wyprowadzona jest przez przekształtnik.

Warunki wiatrowe podczas sprawdzenia rzeczywistych możliwości regulacyjnych umożliwiały generowanie mocy ok. 1,2 MW przez dwie pracujące siłownie. Podczas testu sprawdzono dokładność utrzymywania ograniczenia generacji mocy czynnej oraz zakres dostępnej mocy biernej przy różnych poziomach generacji. Przebieg generacji mocy czynnej i biernej podczas testu przedstawiono na rys. 3. Czas rozpoczęcia generacji mocy przez FW od podania napięcia wynosi ok. 8 min.

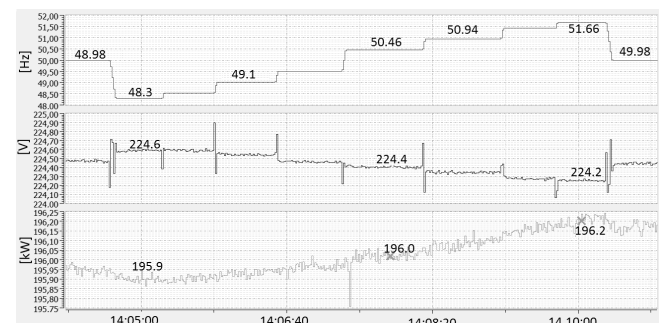


Rys. 3. Przebieg mocy czynnej i biernej wprowadzanej do sieci SN przez FW podczas testu sprawdzenia zdolności regulacyjnych

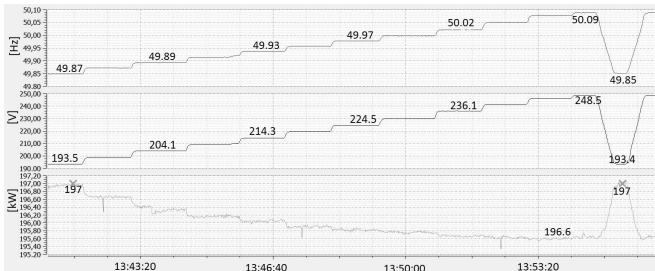
Przeprowadzone testy wykazały wysokie możliwości regulacyjności FW. Szeroki zakres regulacji mocy czynnej i biernej oraz znaczna dynamika tej regulacji (rzędu 6–16 kW/s) pozwalają na wykorzystanie właściwości regulacyjnych FW w procesie regulacji napięcia i bilansowania obszaru wyspowego współpracującego z ME. Istotne jest, że FW przy ograniczonej mocy (mniejszej od mocy wynikającej z aktualnych warunków atmosferycznych) pracuje stabilnie także przy niskim obciążeniu (podczas testu 50 kW) w zakresie mocy czynnej i biernej.

2.2.2. Możliwości regulacyjne Magazynu Energii

Podczas testów ME będzie pełnił rolę bilansującą. Dlatego przeprowadzono badania, które miały na celu sprawdzenie właściwości regulacyjnych zainstalowanych inwerterów magazynu w zakresie częstotliwości i regulacji napięcia. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wybrane wyniki z przeprowadzonych testów.



Rys. 4. Przebieg wartości skutecznych 1 sek. częstotliwości, napięcia i mocy ME podczas próby regulacji częstotliwości przy zadanym napięciu i stałym nieregulowanym obciążeniu mocą



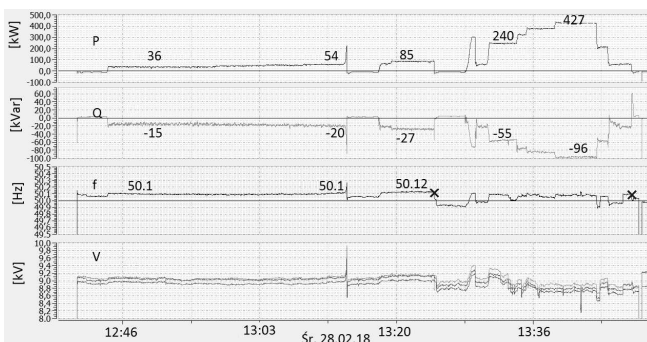
Rys. 5. Przebieg wartości skutecznych 1 sek. częstotliwości, napięcia i mocy ME podczas próby regulacji napięcia

Z przeprowadzonych badań wynika, że ME umożliwia regulację napięcia i częstotliwości w wymaganym zakresie, co w przypadku pracy wyspowej sieci umożliwi zasilanie odbiorców energią o parametrach zgodnych z wymaganiami ogólnymi IRIESD.

3. WYNIKI TESTÓW PRACY WYSPOWEJ

Program testów przewidywał sukcesywne przyłączenie kolejnych podobszarów. W każdym kroku kolejnych etapów (przyłączania obszarów) określona była spodziewana wielkość obciążenia oraz zalecona nastawa generacji FW. Po przyłączeniu dwóch testowych podobszarów, zgodnie z założeniem, głównym źródłem zasilającym badany obszar była FW, a ME pełnił funkcję bilansującą. Następnie kolejno przyłączono dwa pozostałe podobszary. Uproszczony schemat rzeczywistej sieci SN/nn testowanego obszaru przedstawiono na rys. 8.

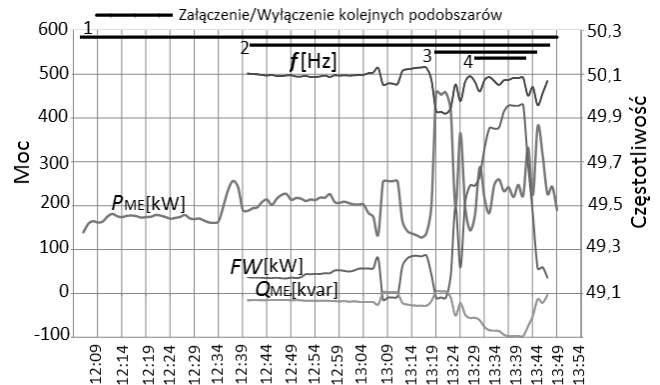
Wartość generacji z FW była definiowana w zależności od bieżącego zapotrzebowania na moc podczas pracy wyspowej. Warunki wiatrowe podczas testu (7–10 m/s) umożliwiały generowanie mocy z FW ok. 1,5–2 MW (przy mocy zainstalowanej 3,2 MW). Podczas testów FW pracowała z ograniczoną mocą od ok. 40 kW do 430 kW, w zależności od wielkości zapotrzebowania na moc odbiorców końcowych w przyłączanych obszarach. Odpowiednia wartość generacji była zdalnie ustawiana przez operatora farmy wiatrowej. Na rys. 6 przedstawiono przebieg generacji mocy czynnej i biernej FW oraz zmierzone podczas testu wartości częstotliwości i napięcia w punkcie przyłączenia.



Rys. 6. Przebieg mocy czynnej i biernej wprowadzanej do sieci SN przez farmę wiatrową podczas testu pracy wyspowej

Zmiany wartości mocy, a także częstotliwości podczas kolejno przyłączanych podobszarów zostały przedstawione na rys. 7. Można zauważyć, że przy załączeniu kolejnych podobszarów i wzroście obciążenia ME z 125 kW do 450 kW (ok. 13.19) zarejestrowano spadek częstotliwości z wartości 50,13 Hz do 49,92 Hz, zgodnie z wcześniej

testowaną charakterystyką podatności częstotliwościowej ME $f = f(P)$. Widoczne szybkie zmiany mocy czynnej P_{ME} po godz. 13.24 są związane z pracą FW z ograniczeniem i bilansowaniem obszaru przez magazyn. Zmianom wielkości generowanej mocy towarzyszą zmiany częstotliwości, które nie przekraczają $df = 0,2$ Hz przez cały okres testu. Zarejestrowane zaburzenia potwierdzają poprawne zachowanie ME przy dynamicznych zmianach w sieci wynikające z przyłączenia kolejnych podobszarów i zmian mocy generowanej na farmie wiatrowej.



Rys. 7. Przebieg mocy wprowadzanej do sieci SN przez FW, ME oraz częstotliwości napięcia obszaru podczas testu pracy wyspowej

4. WNIOSKI KOŃCOWE

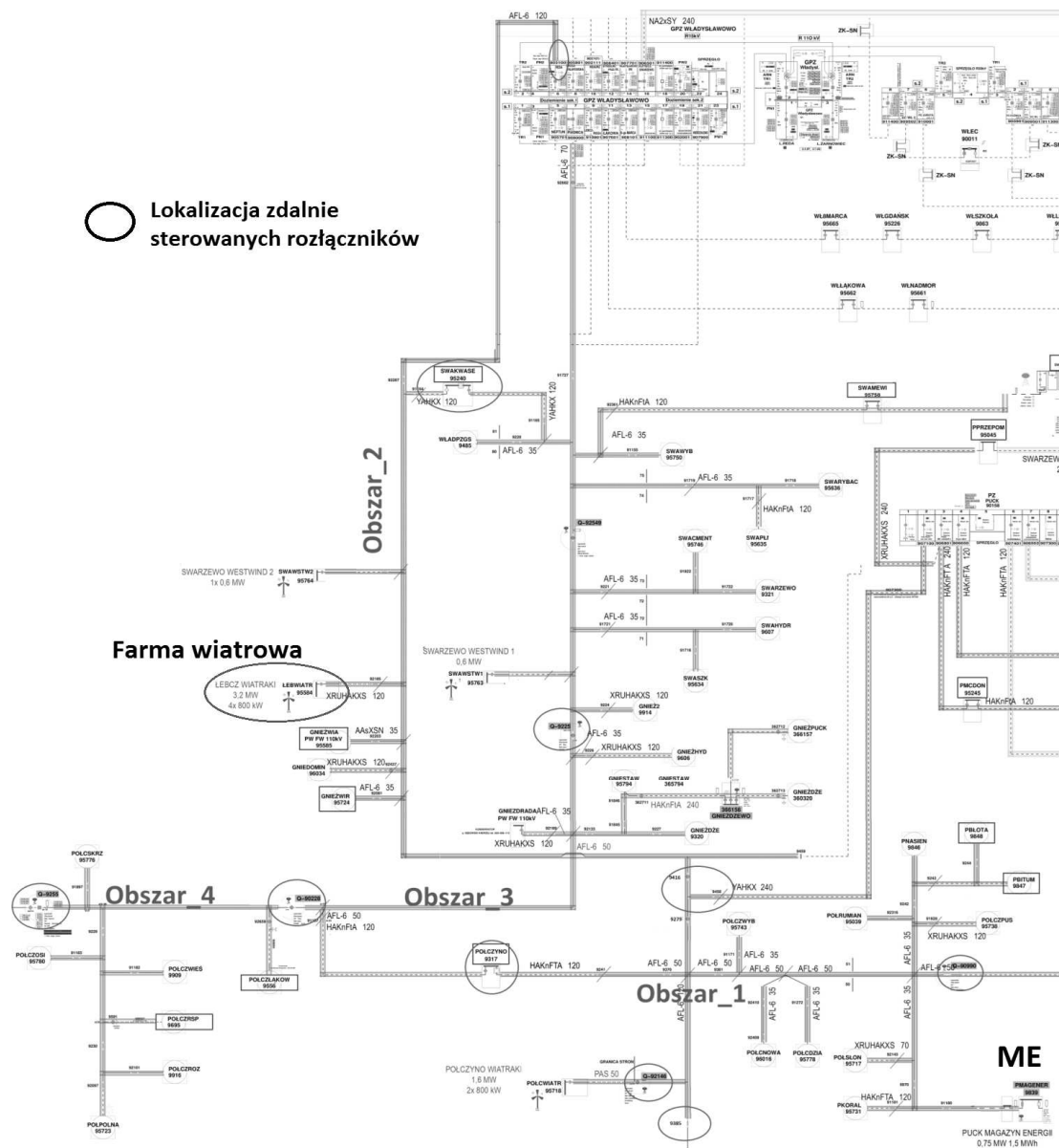
Przeprowadzone testy odbudowy zasilania fragmentu obszaru sieci dystrybucyjnej potwierdziły możliwości wykorzystania w tym zakresie magazynu energii współpracującego ze źródłami OZE o zmiennej charakterystyce pracy, tj. farmy wiatrowe. ME posiada zdolność do bieżącego bilansowania mocy czynnej i biernej obszaru z zachowaniem wymaganych przepisami parametrów energii elektrycznej. Wykonane badania potwierdziły wysokie możliwości regulacyjne elektrowni wiatrowych. Podczas testów moc FW była dostosowywana ręcznie, w zależności od wielkości zapotrzebowania na moc na obszarze wyspy. Pełne wykorzystanie możliwości regulacyjnych wymagałoby zamodelowania charakterystyki $P = f(f)$ w SCADA farmy wiatrowej.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Lubośny Z.: Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, WNT, Warszawa 2012
2. Praca zbiorowa: Możliwości świadczenia i zapotrzebowanie w KSE na usługi regulacyjne dostarczone przez generację wiatrową w Polsce; Instytut Energetyki IB O/Gdańsk
3. Lubośny Z.: Wpływ elektrowni wiatrowych na system elektroenergetyczny, AUTOMATYKA-ELEKTRYKA-ZAKŁÓCENIA, vol. 7, nr 4 (26), str. 54-70, grudzień 2016
4. Wniosek Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady w prawie wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej, COM(2016) 864 final, 2016/0380 (COD), Bruksela, dnia 23.2.2017 r.
5. Mekel M.: Flexibility choices for distribution networks. New roles and tasks for the DSOs to facilitate markets, Conference Evolving the market – matching the future needs, Stockholm, November 2017

- Bronk L., Wilk M., Matuszewicz M.: Integration of Distributed Generation with the Local Demand Within a Local Balancing Area, *Acta Energetica*, vol. 3, no. 32, pp. 23-30, Jul. 2017.
- Pakulski T., Bronk L.: Estymacja zapotrzebowania na moc w czasie quasi-rzeczywistym w obszarze sieci

- średniego napięcia w warunkach ograniczonej obserwalności; *Acta Energetica* nr. 37
- Czarnecki B., Wrocławski M.: Koncepcja Lokalnego Obszaru Bilansowania jako narzędzia planowania i prowadzenia ruchu sieci dystrybucyjnej SN, *Konferencja PTPIREE: Szacowanie i prognozowanie obciążeń w SEE*, Wisła, grudzień 2017



Rys. 8. Uproszczony schemat rzeczywistej sieci SN/nn testowanego obszaru

POSSIBILITY OF LOCAL SYSTEM RESTORATION BASED ON ENERGY STORAGE AND DISTRIBUTED RENEWABLE ENERGY SOURCES

The implementation of the "winter package" will contribute to changes in the rules for contracting ancillary services. After 2020, part of the responsibility for the functioning of the power system will be transferred to the level of DSO, for example: regulation of voltage, Fast Reactive Current Injection (FRCI) or services in artificial inertia and system restoration. The article presents the results of tests of power supply system restoration based on energy storage (ES) and distributed renewable sources (wind farms). The attempt of island operation with RES (renewable energy sources) was carried out in a limited area of the power grid. The tested area contained four sub-areas that can be switched on / off using remotely controlled load break switch. The purpose of the test was to remotely isolate the area and feed it using the Energy Storage and then the wind farm (WF). The paper is based on the results of the project *The Building of a Local Balancing Area (LBA) as an Element of Increasing Safety and Energy Efficiency of the Distribution System Operation* implemented with the participation of Energa Operator SA, the University of Zielona Gora and the Institute of Power Engineering Gdansk Division.

Keywords: energy storage, renewable sources, wind generation, local balancing area, island operation.