

doi:10.15199/48.2024.08.20

Wpływ transformacji energetycznej na plany odbudowy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego

Streszczenie. W artykule przedstawiono konsekwencje prognozowanej w perspektywie roku 2040 transformacji energetycznej dla planów odbudowy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego po awarii katastrofalnej na podstawie dwóch scenariuszy, tj. uwzględniając dotychczasowe strategie oraz przyjmując alternatywny scenariusz zaangażowania wybranych źródeł OZE do procesu odbudowy.

Abstract. The article presents the consequences of the energy transformation projected in the perspective of 2040 for National Power System restoration plans after a catastrophic failure based on two scenarios, i.e. taking into account existing strategies and adopting an alternative scenario of involving selected RES sources in the restoration process. (**The impact of the energy transformation on the National Power System restoration plans**).

Słowa kluczowe: awaria systemowa, bezpieczeństwo energetyczne, strategie odbudowy, kodeks NC ER.

Keywords: power system failure, power system security, restoration strategies, NC ER.

Wstęp

Transformacja struktury wytwarzania energii elektrycznej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) wskazuje na stopniowe wycofywanie z eksploatacji bloków elektrowni konwencjonalnych nie tylko ze względu na kończący się graniczny czas pracy bloków energetycznych, ale również ze względu na cele zawarte w planach klimatyczno-energetycznych Unii Europejskiej (UE). Polityka energetyczna UE wymusza postępujące zmiany modernizacyjne w strukturze źródeł wytwórczych w systemach elektroenergetycznych poprzez zmniejszanie wpływu energetyki na środowisko, szczególnie w zakresie redukcji emisji zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych oraz zwiększanie udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w całkowitej produkcji energii w sektorze energetycznym, co stanowi odpowiedź na wprowadzony pakiet *Fit for 55*, odnoszący się do 55% redukcji emisji CO₂ do roku 2030 w porównaniu z rokiem 1990, z długoterminową perspektywą neutralności klimatycznej do roku 2050 [1].

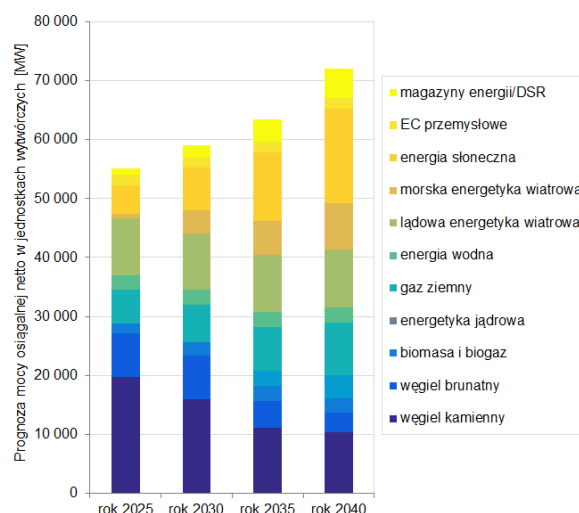
Zgodnie z Polityką Energetyczną Polski do roku 2040 (PEP2040) [2] w ramach KSE przewiduje się dynamiczny wzrost mocy zainstalowanej źródeł OZE w końcowym zużyciu energii brutto do minimum 28,5%, przy czym szacuje się, że w elektroenergetyce udział energii z OZE sięgnie 32% już w roku 2030. Dla tak postawionego celu, kluczowe działania rozwojowe w sektorze wytwórczym w KSE mają obejmować w szczególności: wdrożenie energetyki jądrowej, wdrożenie morskich farm wiatrowych, rozwój fotowoltaiki wraz z energetyką prosumencką, a także rozwój technologii magazynowania energii oraz mechanizmów odpowiedzi strony popytowej DSR (ang. *Demand Side Response*) [1,2].

Przewidywane w kolejnych latach wycofywanie z eksploatacji bloków elektrowni konwencjonalnych wymusza konieczność zaplanowania transformacji energetycznej poprzez zmianę struktury wytwarzania energii elektrycznej, uwzględniając:

- zastępowanie mocy zainstalowanej wycofywanych jednostek wytwórczych w KSE wraz z ich zdolnościami produkcyjnymi,
- zdolności do pokrywania bilansu w zakresie postępującego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną,
- przejmowanie roli źródeł pracujących w sposób stabilny w podstawie obciążenia,
- uniknięcie drastycznego wzrostu cen energii elektrycznej,

- konsekwentne zmniejszanie wpływu energetyki na środowisko poprzez redukcję emisji zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych.

Na rysunku 1 zestawiono prognozowaną strukturę mocy osiągalnej netto jednostek wytwórczych, przedstawioną w PEP2040.



Rys.1. Prognozowana struktura mocy osiągalnej netto jednostek wytwórczych wg Polityki Energetycznej Polski do roku 2040

Z punktu widzenia konsekwencji realizacji celów szczegółowych i projektów strategicznych PEP2040, transformacja sektora wytwórczego KSE ma opierać się przede wszystkim na zastępowaniu bloków elektrowni konwencjonalnych źródłami OZE oraz blokami jądrowymi. Istotne znaczenie do podjęcia kroków w kierunku wdrożenia energetyki jądrowej w KSE miało opublikowanie w roku 2020 Programu Polskiej Energetyki Jądrowej [3], zgodnie z którym przewiduje się budowę bloków jądrowych, opartych na wodnych reaktorach ciśnieniowych III generacji. Pierwszy blok elektrowni jądrowej o mocy 1-1,6 GW ma zostać uruchomiony w roku 2033, a następnie przewiduje się uruchomienie kolejnych pięciu analogicznych bloków w odstępach 2-3 lat. Ponadto, równolegle proponowane są inwestycje w modułarne reaktory typu SMR (ang. *Small Modular Reactor*), co omówiono w [1-3]. Wdrożenie energetyki jądrowej wiąże się z możliwością zaplanowania stabilnej pracy źródeł w podstawie obciążenia systemu elektroenergetycznego z najdłuższym czasem

wykorzystania mocy zainstalowanej, będących jednocześnie źródłami bezemisyjnymi.

Dynamiczny rozwój źródeł OZE niesie za sobą pozytywny efekt postępującego ograniczenia emisji zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych z sektora energetycznego, jednak ze względu na stochastyczny charakter generacji, ich niesterowalność i zmniejszenie naturalnej inercji systemu elektroenergetycznego [4], planowanie pracy systemów elektroenergetycznych może stanowić wyzwanie dla zapewnienia bieżących warunków bilansowania. Konieczność ograniczania fluktuacyjnego charakteru pracy źródeł OZE determinuje przedsięwzięcia w kierunku budowy struktury magazynowania energii elektrycznej [5]. Stąd przewiduje się, że sumaryczna moc zainstalowana w magazynach energii będzie sukcesywnie wzrastać do nawet 4,95 GW w roku 2040 [2].

Transformacja sektora energetycznego wymusza podejmowanie kroków w celu zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego, nie tylko w normalnym stanie pracy systemu elektroenergetycznego, ale również na wypadek poważnego zakłócenia jego pracy. Przewidywane zmiany w strukturze wytwarzania energii elektrycznej w KSE do roku 2040 w konsekwencji przekładają się na zmianę struktury źródeł wytwórczych, aktywnie uczestniczących w planach obrony i odbudowy zdolności wytwórczych na wypadek awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego.

Źródła wytwórcze w warunkach awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego

Awaria katastrofalna w systemie elektroenergetycznym jest zdarzeniem, w wyniku którego następuje zanik napięcia w systemie elektroenergetycznym lub w znacznej jego części przez minimum 3 minuty, utracone zostaje co najmniej 50% aktualnego zapotrzebowania, a linie transgraniczne zostają wyłączone, skutkując uruchomieniem procedur odbudowy systemu [6,7]. Celem procedur odbudowy jest przywrócenie zasilania, resynchronizacja systemu elektroenergetycznego i powrót do stanu normalnego po wystąpieniu awarii katastrofalnej [8]. Dodatkowo, obowiązujący *Kodeks sieciowy dotyczący stanu zagrożenia i stanu odbudowy systemów elektroenergetycznych* [9], tzw. Kodeks NC ER, przewiduje wdrażanie procedur odbudowy systemu również w stanach zagrożenia, jeszcze przed wystąpieniem awarii katastrofalnej [10].

W warunkach awarii systemowej, w wyniku przekroczenia zmian częstotliwości i/lub napięcia na poziomie $\Delta f \geq 0,05f_n$, $\Delta U \geq 0,2U_n$ następuje automatyczne otwarcie wyłączników blokowych jednostek wytwórczych [7,10]. W takich warunkach, jednostki wytwórcze mogą znaleźć się w następującym stanie:

- utrzymanie się w pracy autonomicznej,
- postój n-godzinowy z możliwością rozruchu autonomicznego, tj. samostartu,
- postój n-godzinowy bez zdolności do samostartu – odbudowa zdolności wytwórczych poprzez podanie napięcia i mocy rozruchowej z zewnętrznych źródeł rozruchowych.

Z punktu widzenia strategii odbudowy, w KSE przewiduje się dwa podstawowe kierunki działania, tj. strategię oddolną oraz strategię odgórną [6,9]. Strategia oddolna przewiduje podanie napięcia na część danego Operatora Systemu Przesyłowego (OSP) bez pomocy innych OSP; przy czym źródła energii rozruchowej mogą stanowić jednostki wytwórcze zdolne do samostartu, jednostki zdolne do przejścia do pracy na potrzeby własne lub do pracy wyspowej bądź wydzielone fragmenty KSE, utrzymujące się po awarii w pracy synchronicznej. Z kolei strategia odgórną uwzględnia podanie napięcia na część

danego OSP z wykorzystaniem pomocy sąsiednich OSP. Szczegółowe wymagania techniczne w zakresie aktywnego udziału jednostek wytwórczych o mocy osiągalnej od 50 MW w planach odbudowy poprzez wykazanie zdolności do pracy autonomicznej i/lub samostartu zostały sprecyzowane w kodeksie sieciowym, dotyczącym wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci, tzw. Kodeksie NC RfG [11]. Ponadto, w zakresie zdolności do samostartu, wymagania techniczne dla jednostek świadczących systemową usługę odbudowy precyzuje dokument *Warunki działania w charakterze dostawcy usług w zakresie odbudowy*, zatwierdzony *Decyzją Prezesa URE z dnia 7 czerwca 2019 r., nr DRE.WKP.744.4.4.2018.2019.ZJ* [12]. Weryfikacja zdolności źródeł wytwórczych do aktywnego udziału w planach obrony i odbudowy zasilania KSE jest realizowana przy pomocy prób systemowych, wykonywanych na polecenie OSP zgodnie z zapisami IRiESP [13].

Biorąc pod uwagę rolę, jaką poszczególne źródła wytwórcze mogą pełnić w warunkach awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego, na rysunku 2 przedstawiono podział na rolę aktywną oraz pasywną [14].



Rys.2. Rola źródeł wytwórczych w procesie odbudowy zdolności wytwórczych

Elektrownie i elektrociepłownie konwencjonalne, które nie wykazują zdolności do utrzymania się w pracy autonomicznej stanowią źródła uruchamiane ze źródeł rozruchowych, przy czym najistotniejszą kwestią w zakresie przywrócenia ich zdolności wytwórczych jest uprzednie przeprowadzenie rozruchu napędów niezbędnych urządzeń potrzeb własnych danego bloku. Dyspozycyjna moc czynna i bierna źródła rozruchowego musi zatem charakteryzować się wystarczającym poziomem generacji do zasilania i pokrycia mocy urządzeń potrzeb własnych uruchamianego bloku z uwzględnieniem ich mocy rozruchowych przy sekwencyjnych rozruchach, a także mocy związanej z ładowaniem linii podczas tworzenia torów rozruchowych.

Pasywna rola źródeł OZE w procesie odbudowy wynika ze stochastycznego charakteru ich generacji, stąd w warunkach dynamicznego spadku częstotliwości i/lub napięcia, na skutek zadziałania automatyk przeciwwyspowych (ang. *anti-islanding*), następuje odłączenie z pracy tego typu elektrowni. Dla systemowych źródeł OZE o stosunkowo wyższej mocy, poza pasywnymi metodami detekcji pracy wyspowej, bazującymi na

kryteriach zabezpieczeń podczęstotliwościowych, nadczęstotliwościowych, podnapięciowych oraz nadnapięciowych, wprowadza się również aktywne metody detekcji, które bazują na kryteriach dynamiki zmian częstotliwości (RoCoF), czy też dynamiki zmian kąta wektorów napięć systemu i źródła OZE [15]. Ponowna resynchronizacja źródeł OZE ma miejsce po skutecznym zakończeniu procesu odbudowy, na co nakłada się również sposób integracji z siecią przy pomocy inwerterów, których charakterystyka działania wymusza synchronizację przy braku oscylacji częstotliwości i napięcia systemowego.

Pasywna rola elektrowni jądrowych w procesie odbudowy związana jest z koniecznością ochrony własnej infrastruktury technologicznej z nadzrędnym zagwarantowaniem zasilania systemów chłodzenia rdzenia reaktora, ponieważ nawet po awaryjnym odłączeniu bloku jądrowego z systemu, reaktor w stanie niekrytycznym charakteryzuje się generacją ciepła powyłączeniowego w wyniku zachodzących przemian jądrowych. W przypadku ryzyka bądź wystąpienia utraty zasilania zewnętrznego, zasilanie potrzeb własnych realizowane jest priorytetowo poprzez przejście bloku do pracy na potrzeby własne lub alternatywnie – z wykorzystaniem źródeł zasilania awaryjnego [16]. Resynchronizacja bloków jądrowych z systemem elektroenergetycznym może nastąpić dopiero po procesie odbudowy i powrocie do normalnego stanu pracy systemu.

Nowe propozycje strategii odbudowy z wykorzystaniem źródeł OZE

Postępująca transformacja systemów elektroenergetycznych wiąże się z koniecznością aktualizacji dotychczasowych planów obrony i odbudowy zdolności wytwórczych, stąd zagadnienie uwzględnienia pracy źródeł OZE w warunkach awaryjnych jest aktualnie rozwijanym tematem badawczym. Największym wyzwaniem w zakresie udziału źródeł OZE w planach obrony i odbudowy jest zapewnienie zdolności do pracy wyspowej i/lub samostartu. Stąd, największy potencjał rozwoju zauważa się dla źródeł współpracujących z magazynami energii ze względu na konieczność zapewnienia warunków do regulacji napięcia i częstotliwości w układach wyspowych.

Dla źródeł pracujących bez współpracy z magazynami energii, w pracy [17] w badaniach symulacyjnych przedstawiono niekorzystny efekt załączenia farmy wiatrowej do tworzonego układu wyspowego, ze względu na wprowadzanie znacznych oscylacji częstotliwości podczas fluktuacyjnych zmian generacji. Dlatego autorzy zwracają uwagę na konieczność implementacji dodatkowych układów regulacji dla pracy elektrowni wiatrowych w układach wyspowych. Podobnie w pracy [18] autorzy wskazują na potencjał zwiększenia liczby źródeł rozruchowych w procesie odbudowy pod warunkiem współpracy elektrowni wiatrowych z magazynami energii, szczególnie z jednoczesnym zastosowaniem narzędzi pozwalających na analizę generacji wiatrowej w czasie rzeczywistym.

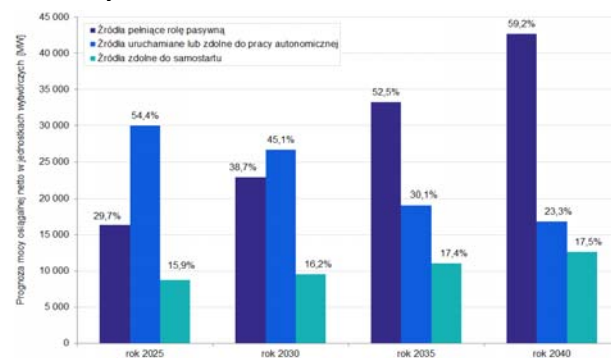
Autorzy prac badawczych dotyczących potencjału wykorzystania źródeł OZE we współpracy z magazynami energii w procesie odbudowy w swoich analizach wskazują na korzystny efekt zdolności do regulacji częstotliwości i napięcia w układach wydzielonych wraz z poprawą warunków bilansowania i zwiększenia zasięgu tworzonego układu wyspowego [19,20]. Z drugiej strony zauważa się również pewne ograniczenia udziału tego typu układów w procesie odbudowy ze względu na ścisłą zależność od dostępnych zdolności ładowania i rozładowania baterii oraz od warunków generacji źródeł współpracujących z danym

magazynem energii [21] czy też konieczność analizy harmonicznych w przypadku synchronizacji kilku obszarów, pracujących z wykorzystaniem układów inwerterowych [22].

Drugą grupę źródeł odnawialnych, uwzględnianych w propozycjach nowych strategii odbudowy, stanowią morskie farmy wiatrowe w przypadku integracji z systemem elektroenergetycznym przy pomocy połączeń wysokonapięciowych łączy kablowych prądu stałego HVDC (ang. *High Voltage Direct Current*), jednak wyłącznie w przypadku pracy z przekształtnikami o topologii VSC (ang. *Voltage Source Converter*), tj. pracujących jako źródło napięcia [5,23,24]. W pracach [23,24] autorzy wykazali zaletę topologii HVDC VSC jaką jest zdolność do regulacji częstotliwości, która jest szczególnie istotna dla jednostek pracujących autonomicznie, w odróżnieniu od alternatywnej topologii CSC (ang. *Current Source Converter*). Dodatkowo wykazali oni zdolność do regulacji napięcia w układach wyspowych, co przekłada się na możliwość ich wykorzystania do odbudowy zasilania, nawet w przypadku przesyłu mocy rozruchowej długimi liniami wysokiego napięcia.

Konsekwencje transformacji systemu elektroenergetycznego dla planów odbudowy KSE

Przewidywane zmiany w sektorze wytwarzania energii elektrycznej w KSE do roku 2040 [2] w bezpośredni sposób korespondują ze zmianą struktury źródeł pełniących aktywną rolę w procesie odbudowy na wypadek awarii katastrofalnej. Przyjmując optymistyczny scenariusz spełnienia wymagań technicznych i organizacyjnych według dotychczasowych strategii odbudowy, strukturę źródeł wytwórczych w warunkach awarii systemowej przedstawiono na rysunku 3 jako scenariusz bazowy. Źródła potencjalnie zdolne do aktywnego uczestnictwa w procesie odbudowy mogłyby obejmować elektrownie wodne, elektrownie oraz elektrociepłownie gazowe i biogazowe jako źródła rozruchowe, a także elektrownie i elektrociepłownie konwencjonalne jako źródła zdolne do pracy autonomicznej bądź uruchamiane ze źródeł rozruchowych.

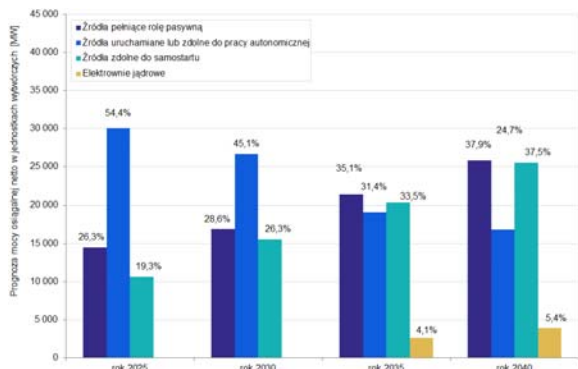


Rys.3. Rola źródeł wytwórczych w procesie obrony i odbudowy zdolności wytwórczych dla transformowanej struktury wytwarzania KSE – scenariusz bazowy czy są źródła odbiorcze?

Dynamiczny wzrost udziału źródeł pełniących rolę pasywną w procesie odbudowy wynika z planów wdrożenia energetyki jądrowej w KSE oraz intensywnego rozwoju źródeł OZE. Przy aktualnych założeniach, już w roku 2035 udział źródeł pełniących rolę pasywną przewyższy udział źródeł uczestniczących aktywnie w procesie odbudowy zdolności wytwórczych. Przekłada się to na trudności związane z szybkim powrotem do stanu normalnego systemu elektroenergetycznego, ze względu na warunki odbudowy częstotliwości i inercję systemu, a także zwiększenie znaczenia strategii odgórnej podawania

napięcia w scenariuszach odbudowy KSE, która uzależniona jest od dyspozycyjności sąsiednich systemów elektroenergetycznych.

Zaproponowany scenariusz alternatywny [14] uwzględnia opisywany w literaturze potencjał zaangażowania do aktywnego udziału w procesie odbudowy źródeł odnawialnych współpracujących z magazynami energii oraz morskich elektrowni wiatrowych, jak przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Rola źródeł wytwórczych w procesie obrony i odbudowy zdolności wytwórczych dla transformowanej struktury wytwarzania KSE – scenariusz alternatywny

Perspektywa zaangażowania źródeł OZE do procesu odbudowy zdolności wytwórczych wskazuje na szersze możliwości prowadzenia oddolnej strategii odbudowy ze względu na ograniczony udział źródeł pełniących rolę pasywną w procesie odbudowy w stosunku do scenariusza bazowego. Jako osobną grupę wyróżniono elektrownie jądrowe, ponieważ ze względu na specyfikę pracy nie będą pełniły roli źródeł rozruchowych, jednak charakteryzują się one specyficznymi wymaganiami w zakresie obrony zdolności wytwórczych, np. poprzez przechodzenie do pracy na potrzeby własne.

Podsumowanie

- Prognozowane zmiany w strukturze źródeł wytwórczych wymuszają konieczność podejmowania kroków w kierunku analiz pracy systemu elektroenergetycznego w warunkach awaryjnych.
- Zwiększenie udziału źródeł aktywnie uczestniczących w planach odbudowy może przyczynić się do poprawy warunków prowadzenia oddolnej strategii odbudowy.
- Potencjał uwzględnienia źródeł OZE w planach odbudowy stanowi przesłankę do prowadzenia prac badawczych w zakresie zdolności źródeł OZE i magazynów energii do samostartu oraz przechodzenia w tryb pracy wyspowej.

Autorzy: dr inż. Daria Złotecka, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: daria.złotecka@put.poznan.pl; prof. dr hab. inż. Aleksandra Rakowska, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: aleksandra.rakowska@put.poznan.pl

LITERATURA

[1] Polska NET-ZERO 2050. Transformacja sektora energetycznego Polski i UE do 2050 roku. Centrum Analiz Klimatyczno-Energetycznych

[2] Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku

[3] Program Polskiej Energetyki Jądrowej

[4] Machowski J., Lubośny Z., Stabilność systemu elektroenergetycznego. Wydawnictwo Naukowe PWN (2018)

[5] Garciarivas R.S., Gonzales D.R., Navarro J.A., Soriano L.A., Rubio J.J., Gomez M.V., Garcia V., Pacheco J., VSC-HVDC

and Its Applications for Black Start Restoration Processes. *Applied Sciences* (2021), 11, 5648

[6] Nowina-Konopka M., Kuczkowski G., NCER – Art. 4 ust. 5 – Plan odbudowy – wymagania dla użytkowników KSE. Konferencja PTPIREE Wymagania i obowiązki wynikające z wdrażania Kodeksów Sieci Przyłączeniowych, Operacyjnych i Rynkowych w elektroenergetyce, 2-3.10.2019 r., Łochów

[7] ENTSO-E Operation Handbook. P5 – Policy 5: Emergency Operations

[8] Kuczyński R., Generalny plan odbudowy KSE po wystąpieniu awarii katastrofalnej a miejsce aglomeracji warszawskiej w tych planach – wybrane zagadnienia. Konferencja PTPIREE Wymagania i obowiązki wynikające z wdrażania Kodeksów Sieci Przyłączeniowych, Operacyjnych i Rynkowych w elektroenergetyce, 2-3.10.2019 r., Łochów

[9] Rozporządzenie Komisji UE 2017/2196 z dnia 24 listopada 2017 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący stanu zagrożenia i stanu odbudowy systemów elektroenergetycznych

[10] Złotecka D., Nadmierne zwisy linii WN jako przyczyna awarii w systemach elektroenergetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 94 (2018), nr 10, 143-147

[11] Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci

[12] Decyzja Prezesa URE nr DRE.WKP.744.4.4.2018.2019.ZJ. Warunki działania w charakterze dostawców usług w zakresie odbudowy, na podstawie: Rozporządzenia Komisji (UE) 2017/2196 z dnia 24 listopada 2017 r. ustanawiającego kodeks sieci dotyczący stanu zagrożenia i stanu odbudowy systemów elektroenergetycznych – wersja z dnia 28.09.2018 r.

[13] Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej. Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci – tekst ujednolicony z dnia 17.11.2022 r.

[14] Złotecka D., Odbudowa zdolności wytwórczych elektrowni po awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego, rozprawa doktorska, Poznań (2023)

[15] Dmitruk K., Korzeniewski M., Sikorski A., Frequency based islanding detection methods in power electronic converters. *Power Electronics and Drives* (2017), 2/37, s. 27-41

[16] CIGRE B5 Protection and automation. TB 810 – Protection and automation issues of islanded systems during system restoration/black start. Work Group B5.54. September (2020)

[17] Zhu H., Liu Y., Aspects of power system restoration considering wind farms. International Conference on Sustainable Power Generation and Supply (SUPERGEN 2012), 08-09 September 2012, Hangzhou

[18] Golshani A., Sun W., Zhou Q., Zheng Q.P., Hou Y., Incorporating Wind Energy in Power System Restoration Planning. *IEEE Trans. on Smart Grid* (2019), 10/1, s. 16-28

[19] Bronk L., Matuszewicz M., Możliwość lokalnej odbudowy zasilania w oparciu o zasobniki energii i rozproszone źródła OZE. XIX Konferencja Naukowa "Aktualne problemy w elektroenergetyce" APE'19, 12.06.2019-14.06.2019; Jastrzębia Góra, Polska, *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej* (2019), nr 62, s. 81-84

[20] Nguyen Q., Vallem M.R., Vyakaranam B., Tbaileh A., Ke X., Samaan N., Control and Simulation of a Grid-Forming Inverter for Hybrid PV-Battery Plants in Power System Black Start. 2021 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), 26-29 July 2021, Washington, DC, USA

[21] Maina D.K., Nair N.K.C., Recent Advancements on Power System Restoration. 2017 IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT-Asia), 4-7 December 2017, Auckland, New Zealand

[22] Jain H., Seo G.S., Lockhart E., Gevorgian V., Kroposki B., Blackstart of Power Grids with Inverter-Based Resources. 2020 IEEE Power and Energy Society General Meeting (IEEE PES GM), 2-6 August 2020, Montreal, Canada

[23] Klos M., Rostaniec L., Paska J., Pawlak K., HVDC Converter Stations to Enable Offshore Wind Farm Integration with Power System. *Acta Energetica* (2016), 2/27, s. 127-132

[24] Jiang-Hafner Y., Duchon H., Karlsson M., Ronstrom L., Abrahamsson B., HVDC with Voltage Source Converters – A Powerful Standby Black Start Facility. 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 21-24 April 2008, Chicago, USA