

Potrzeby zwiększenia obserwowalności sieci jako wymóg Kodeksów Sieci

Mateusz Szablicki, Piotr Rzepka – Politechnika Śląska, PSE Innowacje

Robert Kielak, Marek Głaz, Stanisław Pokora – PSE

Streszczenie

Polska elektroenergetyka stoi przed szeregiem wyzwań determinowanych zmianą modelu funkcjonowania systemów elektroenergetycznych. Jednym z takich wyzwań jest potrzeba zwiększenia obserwowalności warunków pracy systemu. Jest to niezbędne do utrzymania wysokiej „świadomości sytuacyjnej”, stanowiącej jeden z determinantów bezpiecznego i niezawodnego funkcjonowania systemu. Staje się to szczególnie istotne obecnie podczas ujednolicania generalnych wytycznych dla systemów elektroenergetycznych na poziomie Unii Europejskiej, wprowadzanych zapisami Kodeksów Sieci.

1. Wstęp

System elektroenergetyczny (SEE) stanowi zbiór wielu połączonych obiektów elektroenergetycznych, których zadaniem jest wytwarzanie, przesyłanie, magazynowanie i przetwarzanie energii elektrycznej. Poszczególne obiekty są predestynowane do realizacji różnych funkcji, zależnie od ulokowania w łańcuchu transportu energii elektrycznej od wytwórców do odbiorców. Zapewnienie bezpiecznego i niezawodnego funkcjonowania takiego złożonego „organizmu”, także w powiązaniu z SEE sąsiadujących krajów, wymaga posiadania m.in. odpowiednich środków pozwalających na obserwację warunków pracy SEE [1]. Obserwację można postrzegać w kilku płaszczyznach, m.in. jako działanie dedykowane dla:

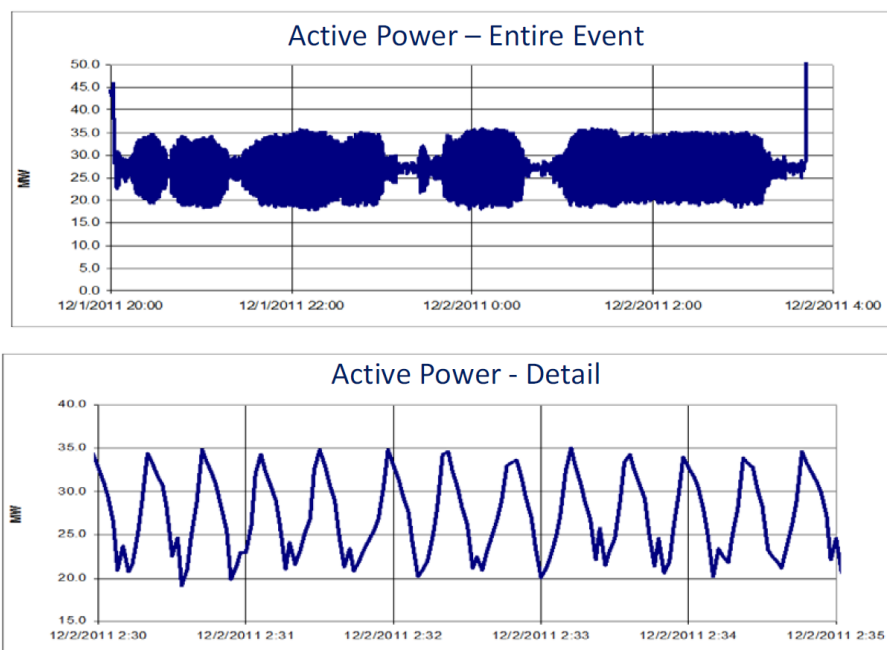
- bieżącego zarządzania pracą SEE,
- planowania SEE w różnych horyzontach czasu.

Dla bieżącego zarządzania pracą SEE obserwowanie warunków jego pracy służy do budowania chwilowej „świadomości sytuacyjnej”. Taką obserwację dzieli się na lokalną i globalną. Obserwacja lokalna odnosi się do pojedynczego obiektu lub niewielkiego zbioru połączonych obiektów. Jej realizacja jest niezbędna do kontrolowania lokalnych warunków pracy SEE, tj. warunków pracy przyporządkowanego obiektu. Umożliwia to dopasowanie regulowalnych parametrów pracy tego obiektu do aktualnie wymaganych warunków pracy w węźle lub fragmencie SEE (np. regulacja napięcia) bądź pozwala doprowadzić do wyłączenia tego obiektu podczas zakłóceń zlokalizowanych wewnątrz lub w jego bliskim sąsiedztwie (np. w sytuacji zaistnienia zwarcia). Natomiast obserwacja globalna odnosi się do całości SEE, lub dużego zbioru obiektów. Jej realizacja jest niezbędna do kontrolowania globalnych warunków pracy zarówno danego SEE, jak i sąsiadujących SEE. Umożliwia to obszarowe (centralne) dopasowanie parametrów pracy wielu obiektów do uzgodnionych umów handlowych (np. transgraniczna wymiana mocy, bilansowanie mocy) bądź interwencyjną zmianę parametrów pracy wielu obiektów podczas zakłóceń wielkoobszarowych (np. w sytuacji wystąpienia oscylacji mocy w połączonych SEE).

Obserwowanie warunków pracy SEE jest ważne nie tylko dla bieżącego zarządzania jego pracą – jest to działanie istotne także przy planowaniu. Umożliwia m.in. przygotowanie i walidację modeli SEE, niezbędnych do predykcyjnej analizy i oceny warunków pracy SEE (lokalnych i/lub globalnych). Pozwala to m.in. oszacować możliwy wpływ obecności nowego obiektu w SEE jeszcze przed jego fizycznym przyłączeniem. Dostępność obserwacji można także wykorzystać do weryfikacji poprawności i kalibracji zachowywania się poszczególnych obiektów (w tym ich elementów składowych, np. regulatorów) podczas różnych zdarzeń zarejestrowanych w układach rzeczywistych.

Należy podkreślić, że zapewnienie wysokiej szczegółowości (jakościowej i ilościowej) obserwacji warunków pracy SEE jest konieczne m.in. do utrzymania bezpiecznego i niezawodnego funkcjonowania SEE. Staje się to szczególnie istotne obecnie, w dobie obserwowanych i spodziewanych zmian w sektorze elektroenergetyki. Dotychczasowe wytyczne zostały ukształtowane dla SEE z dominującym udziałem wielkoskalowych, konwencjonalnych źródeł wytwórczych. Jednak polityka energetyczna i klimatyczna Unii Europejskiej (UE) prowadzi do wstrzymania rozwoju lub wręcz wycofania wielu takich źródeł, które coraz powszechniej są zastępowane źródłami odnawialnymi (obecnie są to przede wszystkim źródła rozproszone [2] i [3], w nieodległej przyszłości będą to również źródła wielkoskalowe w postaci np. morskich farm wiatrowych [4]). Obecność w SEE źródeł odnawialnych (wśród których dominują źródła z układami energoelektronicznymi w torze wyprowadzenia mocy) skutkuje m.in. zwiększeniem dynamiki i zakresu zmienności warunków pracy SEE zarówno w stanach normalnych (znaczna zależność poziomu generacji od szybkozmiennych warunków atmosferycznych, szczególnie dla źródeł rozproszonych), jak i w stanach przejściowych towarzyszących zakłóceniom w pracy SEE (źródła odnawialne charakteryzują się wielokrotnie niższą inercją naturalną, w porównaniu do źródeł konwencjonalnych [5] i [6]). Można również

domniemywać, że potrzeby obserwacji warunków pracy SEE będą musiały być zwiększone także z powodu zachodzącej decentralizacji sektora wytwórczego (następuje przejście z modelu SEE, w którym „naturalny” transport energii odbywa się od sieci NN do sieci nn, na model SEE, w którym coraz bardziej widoczny staje się odwrotny kierunek transportu energii), co może wymusić konieczność zwiększenia zbioru obserwowanych obiektów SEE. Dodatkowo wskazuje się, że obecne wytyczne dotyczące obserwowalności SEE mogą się okazać niewystarczające także z powodu wysokiego ryzyka pojawienia się nowych zagrożeń, obniżających stabilność pracy SEE, do których [7] zaliczono m.in.: obniżenie stabilności częstotliwościowej i napięciowej, zmniejszenie poziomu mocy synchronizującej między źródłami wytwórczymi i obszarami SEE, oraz występowanie niekorzystnych interakcji pomiędzy obiektami o „szybkich” zdolnościach regulacyjnych (rys. 1), co może prowadzić do uszkodzenia pojedynczych obiektów lub rozległych awarii systemowych.



Rys. 1. Długotrwałe oscylacje subharmoniczne w układzie sieciowym z farmą wiatrową [7]

Powyższe jednoznacznie wskazuje na ważność zagadnienia identyfikacji nowych potrzeb związanych z obserwowaniem warunków pracy SEE, ponieważ niewystarczająca szczegółowość obserwacji może utrudnić zarówno bieżące zarządzanie pracą SEE, jak i jego planowanie. W niniejszej publikacji skupiono się na poszukiwaniu jakościowych i ilościowych wytycznych obserwacji SEE zawartych w Kodeksach Sieci.

2. Kodeksy Sieci

Dotychczas ogólne wytyczne dotyczące zasad i środków obserwowania warunków pracy SEE zwykle formułowano na poziomie krajowym. Było to podyktowane nieutożsamością funkcjonalną krajowych SEE (w ograniczeniu do wybranych aspektów pracy), co – niejednokrotnie – historycznie wymusiło nieidentyczne podejście do obserwowania SEE. Jednak działania UE, związane z dążeniem do liberalizacji rynku wewnętrznego energii elektrycznej, doprowadziły do opracowania i opublikowania rozporządzeń Komisji UE ustanawiających Kodeksy Sieci (przez Kodeksy Sieci rozumie się zarówno Kodeksy, jak i Wytyczne).

Kodeksy Sieci są aktami prawnymi UE w formie rozporządzeń Komisji UE [8]. W ujęciu ogólnym formułują wspólne zasady funkcjonowania i zarządzania SEE krajów członkowskich UE, w odniesieniu m.in. do: bezpieczeństwa i niezawodności SEE, przyłączania do SEE i dostępu stron trzecich, zasad przejrzystości oraz wymiany danych i rozliczania, procedur operacyjnych w sytuacjach awaryjnych, oraz alokacji zdolności i zarządzania ograniczeniami, bilansowania (w tym rezerw mocy), harmonizowania struktur taryf przesyłowych, efektywności energetycznej SEE. Przedmiotową tematykę podzielono na trzy obszary merytoryczne [8] i [9]:

- obszar rynkowy – Kodeksy Sieci określające zasady funkcjonowania rynku bilansującego, rynków krótkoterminowych dnia następnego i dnia bieżącego, rynków długoterminowych w zakresie długoterminowych praw przesyłowych;

- obszar przyłączeniowy – Kodeksy Sieci określające zasady i wymagania związane z przyłączaniem obiektów wytwórczych, odbiorczych i przesyłowych do SEE oraz połączeń stałoprądowych wysokiego napięcia (systemy HVDC);
- obszar operacyjny – Kodeksy Sieci określające wymogi i zasady wobec użytkowników systemów przesyłowych dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy SEE, efektywnego wykorzystania wzajemnie połączonych SEE i zasobów, oraz zapobiegania rozprzestrzenianiu się lub pogłębianiu incydentów, aby uniknąć rozległych zakłóceń i stanu blackout'u, jak również umożliwienia sprawnej i szybkiej odbudowy SEE.

W niniejszej publikacji skupiono się na Kodeksach Sieci ulokowanych w obszarze przyłączeniowym i operacyjnym, zestawionych w tabeli 1.

Obszar regulacyjny	Tematyka Kodeksu Sieci	Status
Obszar przyłączeniowy	Wymogi dotyczące przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci (NC RfG) – [10]	Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r.
	Wymogi dotyczące przyłączenia odbioru (NC DCC) – [11]	Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/1388 z dnia 17 sierpnia 2016 r.
	Wymogi dotyczące przyłączenia do sieci systemów wysokiego napięcia prądu stałego oraz modułów parku energii z podłączeniem prądu stałego (NC HVDC) – [12]	Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/1447 z dnia 26 sierpnia 2016 r.
Obszar operacyjny	Wytyczne dotyczące pracy systemu przesyłowego energii elektrycznej (SO GL) – [13]	Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/1485 z dnia 2 sierpnia 2017 r.
	Kodeks sieci dotyczący stanu zagrożenia i stanu odbudowy systemów elektroenergetycznych (NC ER) – [14]	Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/2196 z dnia 24 listopada 2017 r.

Tab. 1. Podział Kodeksów Sieci [8]

3. Obserwacja SEE w Kodeksach Sieci – przegląd tematyczny

Podczas przeglądu Kodeksów Sieci koncentrowano się na poszukiwaniu zapisów odnoszących się do zagadnień obserwowania pracy SEE, ze szczególnym wskazaniem tych zagadnień, które wykraczają poza dotychczasową praktykę krajową. Umożliwiło to zidentyfikowanie jakościowego i/lub ilościowego zakresu zwiększenia obserwowalności SEE, jako zalecenia lub wręcz wymagania Kodeksów Sieci.

Dokonana szczegółowa analiza treści Kodeksów Sieci wskazuje, że – podstawowo – przez obserwowanie SEE rozumie się:

- dokonywanie pomiarów i wyznaczanie parametrów wielkości opisujących warunki pracy SEE,
- wymianę informacji między różnymi uczestnikami rynku energii (obiektami SEE).

Tak rozumiane obserwowanie SEE realizuje się zarówno w odniesieniu do pojedynczego obiektu SEE (obserwacja lokalna), jak i do całości SEE (obserwacja globalna). Traktuje się to jako działanie umożliwiające budowanie „świadomości sytuacyjnej” niezbędnej zarówno do bieżącego zarządzania pracą SEE, jak i do jego planowania w różnych horyzontach czasu.

Analiza treści Kodeksów Sieci pozwala wnioskować, że – generalnie – **podejście do obserwowania SEE wprowadzane zapisami Kodeksów Sieci nie różni się zauważalnie od dotychczasowej praktyki krajowej**. Zapisy te można podzielić na kilka obszarów tematycznych (przedstawiono najważniejsze):

- zapisy wskazujące na zasadność i ważność obserwowania SEE;

W każdym z rozpatrywanych Kodeksów Sieci są zamieszczone treści jednoznacznie wskazujące na konieczność obserwowania SEE. Przykładowo w [10] wprost ukonstytuowano konieczności obserwowania SEE m.in. poprzez wymianę informacji między uczestnikami rynku energii jako *wstępny warunek umożliwiający operatorom systemu utrzymanie stabilnych i bezpiecznych warunków pracy SEE*. Podkreślono, że w tym celu *operatorzy systemu muszą prowadzić stały przegląd stanu SEE, który uwzględnia informacje na temat warunków eksploatacji obiektów przyłączonych do tego SEE* (21 zapis ogólny w [10]). Wskazano przy tym, że informacje te muszą być *wysokiej jakości* (m.in. art. 40 ust. 2 w [13]), a środki/narzędzia pozwalające na obserwację SEE powinny być m.in. *niezawodne i rezerwowane* (m.in. art. 24 ust. 1 lit. a w [13]).

- zapisy systematyzujące metodykę obserwowania SEE;

W każdym z rozpatrywanych Kodeksów Sieci są zamieszczone zapisy precyzujące zbiór podstawowych informacji o SEE, które powinny być zbierane i – zwykle – wymieniane między zdefiniowanymi uczestnikami rynku energii. Dotyczy to m.in. pomiarów, które stanowią *dane czasu rzeczywistego*. Dla źródeł wytwórczych określa to treść art. 14 i 15 w [10], odrębnie dla poszczególnych typów źródeł. Dla odbiorów przedstawiono to w ramach art. 19, 40 – 53 i art. 130 w [13], w odniesieniu do relacji OSP-OSP, OSP-OSD, OSP-OSD- przyłączone obiekty. Wymagania te rozszerzono w [14] o wytyczne właściwe dla nienormalnych stanów pracy SEE, tj. dla stanu zagrożenia, stanu zaniku zasilania i stanu odbudowy SEE, w ramach art. 40.

- uzupełniające zapisy systematyzujące metodykę obserwowania SEE (dotyczy uczestników rynku energii innych niż OSP);

W każdym z rozpatrywanych Kodeksów Sieci z obszaru przyłączeniowego są zamieszczone zapisy nakładające na właścicieli obiektów przyłączanych do SEE obowiązek kontrolowania wypełniania przez podległe obiekty wymogów właściwych Kodeksów Sieci przez cały okres funkcjonowania tych obiektów. Dla źródeł wytwórczych określa to treść art. 40 ust. 1 w [10], dla odbiorów art. 34 ust. 1 w [11], a dla systemów HVDC art. 69 ust. 1 w [12]. Realizacja takiej kontroli wymaga ciągłego obserwowania warunków pracy obiektu w SEE. Wskazuje się, że – w odniesieniu do potrzeby obserwacji kontrolnej i odpowiedzialności podmiotowej – nie wykracza to poza dotychczasową praktykę krajową. **Jako nowość można traktować rozszerzenie konieczności obserwowania warunków pracy obiektu o nowe stany, do których zalicza się m.in. interakcje między systemami HVDC i innymi obiektami** (patrz art. 29 w [12]).

- zapisy dotyczące obserwowania SEE poprzez symulacyjną estymację stanu pracy.

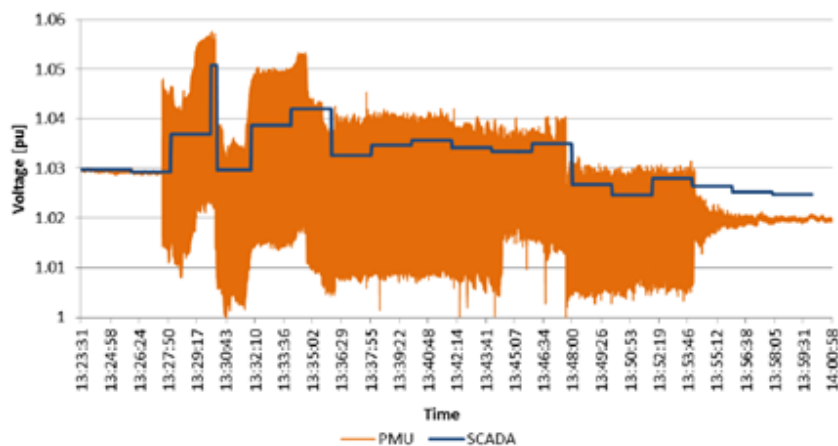
Kodeksy Sieci wprowadzają wymóg przekazywania przez podmioty przyłączane do SEE modeli symulacyjnych, które można wykorzystywać do estymowania spodziewanych warunków pracy SEE, poprzez badania symulacyjne *stanów ustalonych i stanów dynamicznych (w tym stanów przejściowych elektromagnetycznych)*. W [10] przedmiotowe wymagania są zawarte m.in. w art. 15 (w odniesieniu do jednostek typu C), w [12] w art. 54, w [13] w art. 64 i 66 – 69. Wskazuje się, że – w odniesieniu do metodyki – nie stanowi to rozszerzenia dotychczasowej praktyki krajowej, ponieważ obecnie również wykorzystuje się modele symulacyjne obiektów SEE m.in. do predykcyjnej analizy i oceny warunków pracy SEE np. o innej niż bieżąca struktura. Jednak obecnie zwykle to operator SEE musiał samodzielnie opracować modele symulacyjne SEE. W tym aspekcie przywołane zapisy Kodeksów Sieci o konieczności dostarczania takich modeli przez każdego z uczestników rynku energii do operatora SEE stanowią istotną nowość. Można przypuszczać, że znacząco ułatwi to budowanie modeli symulacyjnych całości SEE i upowszechni obserwowanie SEE poprzez estymację stanu pracy z wykorzystaniem badań symulacyjnych.

Jako istotne zwiększenie potrzeb obserwowalności SEE – w odniesieniu do dotychczasowej praktyki krajowej – można traktować konieczność stosowania środków/narzędzi pozwalających na identyfikację występowania oscylacji subharmonicznych w SEE (w Kodeksach Sieci zwykle stosuje się nazwę *oscylacje mocy*). Zagadnienie oscylacji subharmonicznych stanowi novum w KSE, ponieważ bieżące dokumenty legislacyjne, w tym IRIESP/IRIESD nie zawierają zapisów wprost odnoszących się do takich zakłóceń. Należy przy tym podkreślić, że dla KSE zjawisko oscylacji subharmonicznych dotychczas nie było krytyczne – do tej pory nie identyfikowano pogorszenia warunków pracy SEE wskutek ich zaistnienia. Jednak z uwagi na coraz powszechniejsze wypieranie wielkoskalowych, konwencjonalnych źródeł wytwórczych przez źródła z układami energoelektronicznymi w torze wyprowadzenia mocy (zarówno rozproszone, w postaci źródeł wiatrowych i fotowoltaicznych, jak i wielkoskalowe, w postaci np. lądowych i morskich farm wiatrowych, farm fotowoltaicznych), ryzyko zaistnienia oscylacji subharmonicznych znacząco rośnie [15]. Szczegółowe informacje dotyczące tego zjawiska, możliwych przyczyn i skutków oraz powiązanych zapisów Kodeksów Sieci, przedstawiono m.in. w [16].

Obserwowanie oscylacji subharmonicznych w SEE wymaga stosowania odpowiednich środków/narzędzi monitorowania warunków pracy SEE. Jest to determinowane charakterem tego zjawiska definiowanym przez szeroki zakres możliwych wartości częstotliwości oscylacji, oraz często niesinusoidalnym kształtem przebiegu wielkości wejściowej źródła oscylacji (niejednokrotnie nawet przebieg niecykliczny). Powoduje to, że w wielu sytuacjach oscylacje subharmoniczne trudno zaobserwować za pomocą klasycznych systemów SCADA, co jest spowodowane zbyt niską rozdzielczością ich pomiarów (rys. 2).

W [16] wskazano, że do obserwowania oscylacji subharmonicznych powinny być wykorzystywane specjalne środki/narzędzia:

- dedykowane rejestratory zakłóceń lub analizatory jakości energii elektrycznej, tzw. DDR (ang. *dynamic disturbance recorders*);
- obszarowe systemy nadzoru wykorzystujące techniki pomiarów synchronicznych dokonywanych za pomocą urządzeń PMU (ang. *phasor measurement units*) [17] i [18].



Rys. 2. Oscylacje subharmoniczne obserwowane za pomocą „klasycznych” (SCADA) i dedykowanych (PMU) środków/narzędzi pomiarowych [16]

4. Podsumowanie

Dla obecnego modelu funkcjonowania KSE z przeważającym udziałem wielkoskalowych, konwencjonalnych źródeł wytwórczych w sektorze wytwórczym dotychczasowe podejście do jego obserwacji jest wystarczające do zapewnienia bezpiecznej i niezawodnej pracy. Wieloletnia praktyka inżynierska pozwoliła na takie ukształtowanie wytycznych, które dla dotychczas występujących normalnych i zakłóceńowych stanów pracy zapewniały „świadomość sytuacyjną” właściwą do podejmowania decyzji ruchowych i planistycznych dopasowanych do aktualnych i spodziewanych warunków pracy KSE. W takim zakresie Kodeksy Sieci nie determinują potrzeby zwiększenia obserwowalności KSE poza dotychczasową praktykę krajową. Należy je raczej traktować jako dokumenty systematyzujące tę praktykę, poprzez zestawienie dedykowanych zapisów w jednej grupie dokumentów. Niemniej, dotychczasowe podejście stanie się niewystarczające w sytuacji rosnącego udziału w sektorze wytwórczym KSE źródeł z układami energoelektronicznymi w torze wyprowadzenia mocy. Upowszechnieniu się takich źródeł będą towarzyszyć nowe, obecnie pomijalne, zjawiska, które mogą doprowadzić do pogorszenia warunków pracy KSE. Jednym z takich zjawisk – określonym w Kodeksach Sieci – są oscylacje subharmoniczne. Wymusza to zwiększenie zakresu obserwowalności SEE, ponieważ obecne środki/narzędzia mogą nie gwarantować ich należytej identyfikacji. Wydaje się, że właściwym podejściem będzie zastosowanie obszarowych systemów pomiarów synchronicznych.

Literatura

- [1] Machowski J., Lubośny Z., Białek J., Rumby J.: Power system dynamics: stability and control. John Wiley & Sons, 2020.
- [2] Prognoza pokrycia zapotrzebowania szczytowego na moc w latach 2016 – 2035. Materiał informacyjny opracowany w Departamencie Rozwoju Systemu PSE S.A., 2016.
- [3] Szablicki M., Rzepka P., Wronka A., Dziendziel A.: Potencjał klastrów energii jako źródeł brakującej mocy w KSE w perspektywie wycofywania jednostek konwencjonalnych. Rynek Energii, 2019 nr 2, 35-40.
- [4] Przyszłość morskiej energetyki wiatrowej w Polsce. Raport PSEW, 2019.
- [5] Wasilewski J., Karkoszka K., Lubośny Z., Rzepka P., Szablicki M.: Badania wpływu sztucznej inercji pochodzącej ze źródeł wiatrowych na dynamikę KSE pracującego asynchronicznie względem sąsiadujących systemów przesyłowych. Energetyka, 2018 nr 4, 209-213.
- [6] Szablicki M., Rzepka P., Sowa P., Halinka A.: Energy Storages as Synthetic Inertia Source in Power Systems. CONCAPAN Conference, 2018.
- [7] Rzepka P., Szablicki M., Halinka A.: Nowe zagrożenia w systemie elektroenergetycznym. Wiadomości Elektrotechniczne, 2019 nr 7, 16-22.
- [8] Wytyczne ramowe i kodeksy sieciowe. Urząd Regulacji Energetyki. Dostęp w Internecie: <https://www.ure.gov.pl/>
- [9] Trębski R., Kielak R., Szablicki M., Rzepka P.: Nowe uwarunkowania funkcjonowania systemu elektroenergetycznego po wdrożeniu Kodeksów Sieci – wybrane aspekty. XXII Seminarium Automatyka w elektroenergetyce, 2019.

- [10] Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/631 z dnia 14 sierpnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci.
- [11] Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/1388 z dnia 17 sierpnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący przyłączenia odbioru.
- [12] Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/1447 z dnia 26 sierpnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci określający wymogi dotyczące przyłączenia do sieci systemów wysokiego napięcia prądu stałego oraz modułów parku energii z podłączeniem prądu stałego.
- [13] Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/1485 z dnia 2 sierpnia 2017 r. ustanawiające wytyczne dotyczące pracy systemu przesyłowego energii elektrycznej.
- [14] Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/2196 z dnia 24 listopada 2017 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący stanu zagrożenia i stanu odbudowy systemów elektroenergetycznych.
- [15] Szablicki M., Rzepka P., Mazek P., Kielak R.: Network Code dla wysokonapięciowych instalacji prądu stałego – wybrane aspekty implementacji w KSE. Wiadomości Elektrotechniczne, 2019 nr 1, 18-24.
- [16] Rzepka P., Szablicki M., Halinka A., Kielak R.: Oscylacje subharmoniczne w wymaganiach kodeksów sieci. VIII Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny, 2018.
- [17] Trębski R., Głaz M.: Poprawa obserwowalności systemu elektroenergetycznego poprzez wykorzystanie techniki synchronfazorów. XXI Seminarium Automatyka w elektroenergetyce, 2018.
- [18] Talaga M.: Doświadczenia eksploatacyjne związane z wdrażaniem aplikacji wykorzystujących pomiary synchroniczne. XX Ogólnopolska Konferencja Zabezpieczenia Przekazników w Energetyce, 2017.