

O potrzebie wykonywania analiz niezawodności systemu elektroenergetycznego

Józef Paska

Niezawodność systemu elektroenergetycznego

Według NERC (*North American Electric Reliability Council*), CIGRE i UCTE niezawodność systemu elektroenergetycznego (SEE) to pojęcie ogólne, obejmujące wszystkie miary zdolności systemu, zwykle wyrażone jako wskaźniki liczbowe, do dostarczania do wszystkich punktów zapotrzebowania energii elektrycznej o parametrach w granicach przyjętych standardów oraz w żądanych ilościach [2–7, 11–13, 15]. A zatem jest to poziom funkcjonowania elementów systemu (i systemu jako całości), skutkujący dostarczaniem do odbiorców (klientów) energii elektrycznej w wymaganej ilości i o parametrach mieszczących się w granicach ustalonych standardów. Niezawodność może być mierzona przez częstość, czas trwania i poziom niekorzystnych zjawisk.

Niezawodność systemu elektroenergetycznego jest określona przez jego zdolność do zapewnienia zasilania odbiorców energią elektryczną o odpowiedniej jakości.

Niezawodność systemu elektroenergetycznego, obejmującego urządzenia wytwórcze i przesyłowe, powinna uwzględniać dwa podstawowe aspekty funkcjonalne systemu – wystarczalność (*adequacy*) i niezawodność operacyjną¹ (*operational reliability*), przy czym przez wystarczalność rozumie się zdolność systemu do pokrywania zagregowanego zapotrzebowania na moc i energię wszystkich odbiorców przez cały rozpatrywany okres, przy uwzględnieniu planowych i nieplanowych odstawień elementów systemu; a przez niezawodność operacyjną – zdolność systemu do funkcjonowania (w tym zachowania integralności) i realizacji swych funkcji pomimo występowania nagłych zakłóceń, jak np. zwarcia lub nagle, awaryjne odstawienia elementów systemu. Wystarczalność określa zatem zdolność systemu do pokrycia zapotrzebowania w stanach ustalonych, niezawodność operacyjna zaś – do przetrwania stanów przejściowych.

W praktyce pojęcie niezawodności systemu elektroenergetycznego obejmuje zarówno zagadnienia wystarczalności, jak i niezawodności operacyjnej. Pierwsze dotyczy długoterminowego podejścia do problemu niezawodności i należy głównie do sfery zainteresowań działów planowania. Drugie dotyczy okresów krótkoterminowych leżących w sferze zainteresowań operatorów systemu.

Podstawowym problemem w analizie i ocenie niezawodności jest to, że utrzymanie określonego poziomu niezawodności (jakości) zasilania wymaga nakładów ze strony operatora systemu (lub właściciela infrastruktury), podczas gdy niedostateczna jakość generuje koszty głównie po stronie odbiorców. W przeszłości wykonano wiele wysiłków, aby te koszty ocenić ilościowo z odpowiednią dokładnością [4].

1. Niekiedy określaną też mianem 'bezpieczeństwo' (*security*)

Streszczenie: W artykule przedstawiono potrzebę wykonywania analiz niezawodności systemu elektroenergetycznego oraz przegląd aktualnego stanu metodyki. Przedstawiono także związki niezawodności systemu elektroenergetycznego z bezpieczeństwem elektroenergetycznym i jakością dostawy energii elektrycznej. Omówiono dostępne modele, metody i narzędzia komputerowe.

Słowa kluczowe: system elektroenergetyczny, niezawodność, bezpieczeństwo elektroenergetyczne, analizy i ocena

ABOUT THE NEED FOR ANALYSIS AND ASSESSMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEM RELIABILITY

Abstract: In this paper the need for electric power system reliability analyses and assessment and the review of state-of-art of methodology are given. Also the relationships between electric power system reliability and electric energy security and quality of electricity supply are presented. The available models, methods and computer tools are discussed.

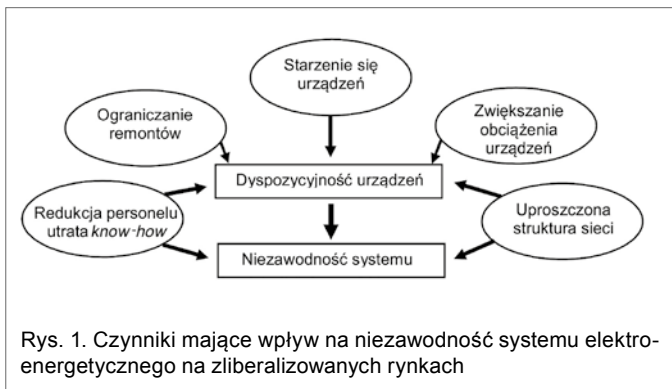
Key words: electric power system, reliability, electric energy security, analysis and assessment

Zgodnie z zadaną strukturą regulacji jakości dostaw na poszczególnych rynkach, niezawodność systemu elektroenergetycznego może mieć znaczący wpływ na wyniki finansowe, oprócz dobrze znanych kosztów remontów, serwisu, kapitału, administracji i personelu. Jednakże dążenie do redukcji kosztów często objawia się w działaniach, które mają negatywny wpływ na niezawodność systemu elektroenergetycznego (rys. 1).

Problem znalezienia równowagi pomiędzy niskimi kosztami operacyjnymi i kapitałowymi a odpowiednim poziomem niezawodności systemu jest kluczowy. Podczas gdy wykonanie obliczeń tylko dla finansowych aspektów zarządzania aktywami jest stosunkowo proste, określenie i ocena technicznych wskaźników niezawodności są znacznie trudniejsze.

Niezawodność SEE a bezpieczeństwo elektroenergetyczne i jakość zasilania

Bezpieczeństwo energetyczne jest zdefiniowane w ustawie z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz.U. nr 54, poz. 348 z późniejszymi zmianami) jako „stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywiczne-



Rys. 1. Czynniki mające wpływ na niezawodność systemu elektroenergetycznego na zliberalizowanych rynkach

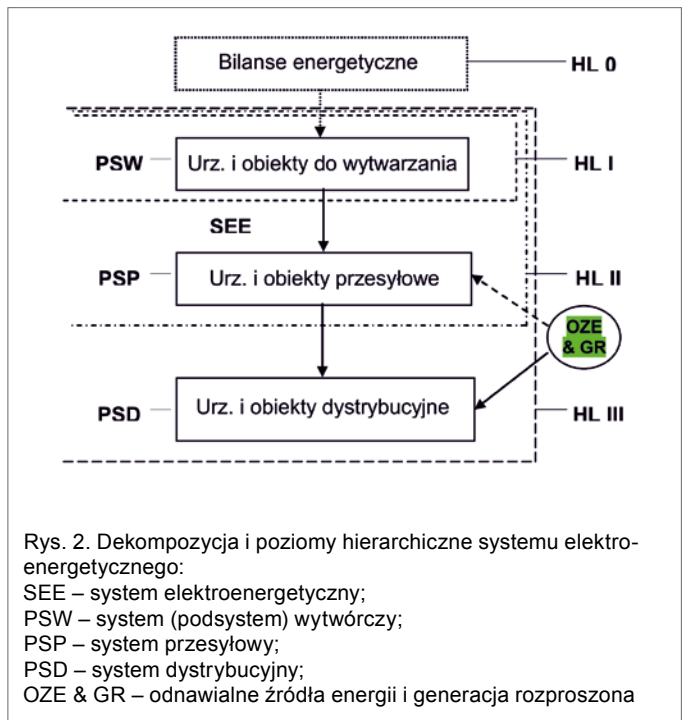
go zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”. Definicja ta została powtórzona w „Założeniach polityki energetycznej Polski do 2030 roku”.

Przyjmując tę definicję, można określić zachowanie bezpieczeństwa energetycznego kraju jako zespół działań zmierzających do stworzenia takiego systemu prawno-ekonomicznego, który wymuszałby: 1) pewność dostaw, 2) konkurencyjność, 3) spełnienie wymogów ochrony środowiska.

W takim ujęciu bezpieczeństwo energetyczne jest zatem kategorią społeczno-ekonomiczną, w której można wyróżnić bezpieczeństwo cząstkowe, określone w odniesieniu do poszczególnych form czy nośników energii, np.: bezpieczeństwo elektroenergetyczne, bezpieczeństwo zaopatrzenia w ciepło itp. W przypadku tzw. sieciowych nośników energii – jak energia elektryczna, gaz, ciepło sieciowe – o stanie bezpieczeństwa energetycznego w dużym stopniu decyduje też poziom funkcjonowania odpowiedniego systemu energetycznego, czyli jego niezawodność. Dla energii elektrycznej jest to niezawodność systemu elektroenergetycznego.

Ustawa definiuje także: **bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej** – zdolność systemu elektroenergetycznego do zapewnienia bezpieczeństwa pracy sieci elektroenergetycznej oraz równoważenia dostaw energii elektrycznej z zapotrzebowaniem na tę energię; **bezpieczeństwo pracy sieci elektroenergetycznej** – nieprzerwaną pracę sieci elektroenergetycznej, a także spełnianie wymagań w zakresie parametrów jakościowych energii elektrycznej i standardów jakościowych obsługi odbiorców, w tym dopuszczalnych przerw w dostawach energii elektrycznej odbiorcom końcowym, w możliwych do przewidzenia warunkach pracy tej sieci; **równoważenie dostaw energii elektrycznej z zapotrzebowaniem na tę energię** – zaspokojenie możliwego do przewidzenia, bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na energię elektryczną i moc, bez konieczności podejmowania działań mających na celu wprowadzenie ograniczeń w jej dostarczaniu i poborze; **zagrożenie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej** – stan systemu elektroenergetycznego lub jego części, uniemożliwiający zapewnienie bezpieczeństwa pracy sieci elektroenergetycznej lub równoważenie dostaw energii elektrycznej z zapotrzebowaniem na tę energię.

Wydaje się uzasadnione następujące stwierdzenie: „w obecnym, konkurencyjnym otoczeniu, niezawodna dostawa energii elektrycznej oznacza jej dostarczanie do punktów przyłączenia odbiorców (klientów) w postaci odpowiedniej do zasilania urządzeń elektrycznych odbiorców i realizacji u nich procesów technologicznych, zgodnie z wymaganiami eksploatacyjnymi”. Właściwe jest zatem mówienie o jakości dostawy energii elek-



Rys. 2. Dekompozycja i poziomy hierarchiczny systemu elektroenergetycznego:

SEE – system elektroenergetyczny;

PSW – system (podsystem) wytwórczy;

PSP – system przesyłowy;

PSD – system dystrybucyjny;

OZE & GR – odnawialne źródła energii i generacja rozproszona

trycznej, jakości zasilania energią elektryczną czy też o jakości zaopatrywania odbiorców w energię elektryczną.

Problem jakości zasilania odbiorców w energię elektryczną można podzielić na trzy zagadnienia:

- jakość dostarczanej energii elektrycznej (jakość napięcia);
- niezawodność dostawy energii elektrycznej (niezawodność zasilania);
- jakość obsługi odbiorcy (klienta).

O jakości dostarczanej energii elektrycznej oraz o niezawodności jej dostawy w dużej mierze decyduje niezawodność systemu elektroenergetycznego (SEE).

Podejścia metodyczne do analiz i oceny niezawodności systemu elektroenergetycznego

Analiza i ocena niezawodności może odnosić się do przeszłości (jest dokonywana *ex post*) lub do przyszłości (jest to wówczas niezawodność prognozowana). W obu sytuacjach wyznacza się wartości odpowiednich miar niezawodności – wskaźników niezawodności.

Zwykle analizuje się niezależnie niezawodność podsystemów, składających się na SEE: wytwórczego, przesyłowego, dystrybucyjnego; a zatem niezawodność realizacji pojedynczej funkcji: wytwarzania, przesyłu, dystrybucji, zasilania konkretnych odbiorców [1, 3–7]. Można również w systemie wyróżnić trzy poziomy hierarchiczne (rys. 2):

- poziom pierwszy (HL I), obejmujący urządzenia i obiekty wytwarzające energię elektryczną;
- poziom drugi (HL II), obejmujący łącznie obiekty i urządzenia do wytwarzania i przesyłania energii;
- poziom trzeci (HL III), obejmujący cały system, łącznie z dystrybucją.

Struktura ta ciągle dobrze oddaje istotę funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, jednak obecnie należy mieć także na uwadze dodatkowe aspekty:

- występuje często podział wytwarzania i dystrybucji pomiędzy pewną liczbę niezależnych przedsiębiorstw;

- coraz większy jest udział wytwarzania w źródłach wykorzystujących odnawialne zasoby energii (OZE) lub realizujących wytwarzanie skojarzone (źródła skojarzone), których rozwój jest wspierany dyrektywami UE i krajowymi regulacjami prawnymi. Ich praca często podlega ograniczeniom zewnętrznym (dostępność energii pierwotnej, wytwarzanie energii elektrycznej determinowane zapotrzebowaniem na ciepło, wymagany regulacjami prawnymi udział w sprzedaży energii odbiorcom finalnym itp.);
- zwiększa się wykorzystanie, w ramach systemu rozdzielczego, źródeł wytwarzania o małej skali, tworzących generację rozproszoną (GR).

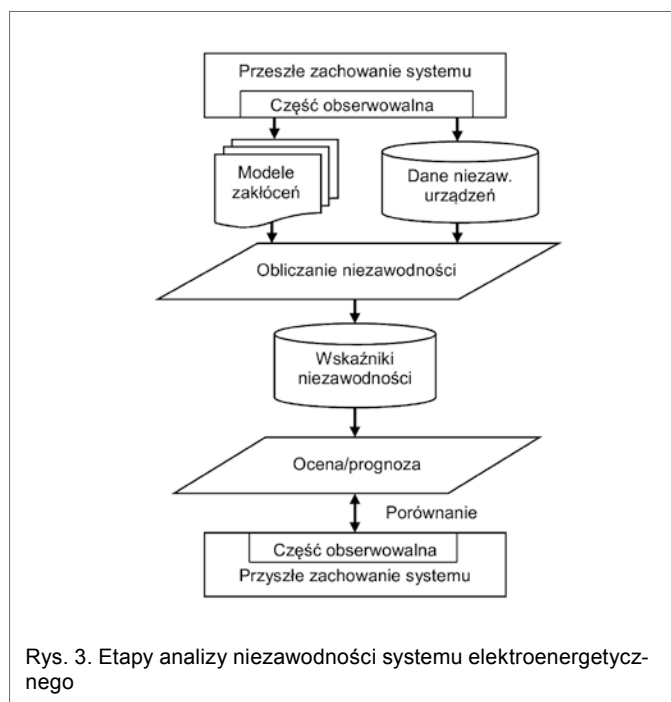
Te dodatkowe aspekty oraz deregulacja i konkurencja powodują, że następuje decentralizacja kompetencji i odpowiedzialności za niezawodność. Zadanie zapewnienia niezawodności dostawy energii elektrycznej odbiorcom staje się zadaniem zdekomponowanym na wiele niezależnych podmiotów – przedsiębiorstw energetycznych. Tym większą rolę odgrywają operatorzy systemu elektroenergetycznego – operatorzy systemów rozdzielczych, a przede wszystkim operator systemu przesyłowego.

Można także uwzględnić jeszcze jeden poziom – HL 0 – który odnosi się do całego rozpatrywanego obszaru i odzwierciedla dostępność zasobów i źródeł energii (w tym przypadku – przetwarzanych na energię elektryczną) w relacji do zapotrzebowania. Analizy wykonywane na tym poziomie pozwalają na ocenę, z reguły dla dłuższego horyzontu czasowego, możliwości zrównoważenia bilansu energetycznego. Uwzględnia się tutaj lokalne zasoby energetyczne i ograniczenia ich pozyskiwania (np. zasoby hydroenergetyczne i warunki hydrologiczne) oraz możliwości i uwarunkowania importu. Efektem analiz na tym poziomie jest ocena bezpieczeństwa energetycznego kraju lub obszaru.

Pierwszy poziom hierarchiczny systemu (HL I) jest tożsamy z pierwszą strefą funkcjonalną systemu elektroenergetycznego, z systemem wytwórczym. Na tym poziomie rozpatruje się niezawodność tzw. uproszczonego systemu elektroenergetycznego, którego sieć w warunkach normalnych i remontowych nie wprowadza ograniczenia dla wykorzystania mocy dyspozycyjnej węzłów wytwórczych do zasilania węzłów odbiorczych. Niezawodność takiego systemu jest to więc niezawodność wytwarzania energii elektrycznej w SEE, rozumiana jako gotowość elektrowni do pokrywania obciążeń (*adequacy*). Niekiedy w analizach na tym poziomie hierarchicznym uwzględnia się możliwość wymiany międzysystemowej.

Przy ocenie niezawodności SEE na poziomie hierarchicznym HL II model: ‘zdolność wytwórcza – obciążenie’ należy rozbudować o sieć przesyłową, czyli o zdolność przesłania wytworzonej mocy i energii. Obliczane są wskaźniki niezawodności dwojakiego typu: wskaźniki dla konkretnych węzłów obciążenia oraz wskaźniki „systemowe” – dla całego systemu lub obszaru (na tym poziomie hierarchicznym). Nie są one konkurencyjne, lecz komplementarne. Wskaźniki „systemowe” dają ocenę całościową, zaś wskaźniki dla konkretnych węzłów obciążenia stanowią miarę niezawodności systemu z punktu widzenia tych węzłów, a także dostarczają informacji wyjściowej dla analizy na następnym poziomie hierarchicznym.

Analiza niezawodności SEE na trzecim poziomie hierarchicznym (HL III) stanowi najbardziej złożony problem, wymaga bowiem uwzględnienia wszystkich (trzech) stref funkcjonalnych systemu. Dlatego strefa funkcjonalna dystrybucji jest zazwyczaj rozpatrywana oddzielnie, a wskaźniki poziomu HL



Rys. 3. Etapy analizy niezawodności systemu elektroenergetycznego

III można wyznaczyć, wykorzystując wskaźniki obliczone na poziomie HL II jako dane wejściowe. Rezultatem ostatecznym są wskaźniki dla węzłów odbiorczych.

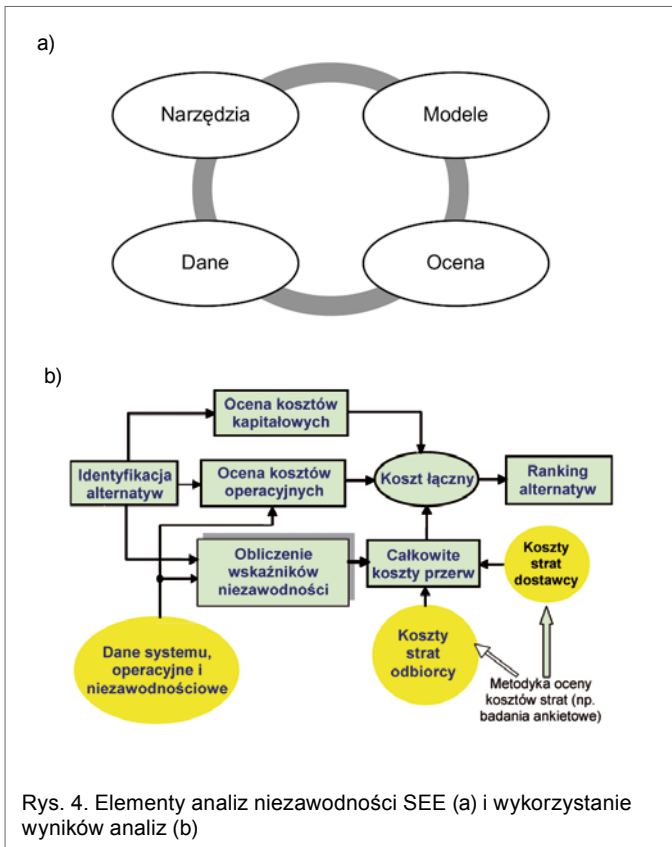
Ogólny zarys metodyki analiz i oceny niezawodności SEE przedstawiono na rys. 3.

Używając odpowiednich statystyk awaryjności, tworzy się zestaw modeli awarii oraz odpowiadających im danych wejściowych. W części obliczeniowej, zależnie od użytej metody, wyznacza się wskaźniki niezawodności systemu. W większości przypadków są to wskaźniki dotyczące przerw i/lub ograniczeń w dostawie energii. Jakikolwiek inny deficyt w realizacji świadczonych usług, np. brak dostatecznych zdolności przesyłowych, może być również wyrażony przez wskaźniki. Teoretycznie wskaźniki te mogą być sprawdzane w relacji z aktualnym zachowaniem systemu, jeśli rozważany wariant rozwoju systemu jest realizowany i upłynął dostatecznie długi czas obserwacji.

W zależności od zakresu badań, analiza niezawodności wymaga odwzorowania kompletnego, operacyjnego zachowania się systemu, do pewnego stopnia uwzględniając działania, ręczne lub automatyczne, podjęte w odpowiedzi na awarie urządzeń. Dlatego też analiza niezawodności jest zadaniem o wiele bardziej wyrafinowanym niż konwencjonalna analiza rozplywu mocy dla kryterium „n – 1”. Potrzebne są odpowiednie modele reprezentujące elementy i system. Potrzeba również narzędzi obliczeniowych i danych do wykonania obliczeń, wykorzystujących wspomniane modele i wskaźniki, a także wskaźników i metod pozwalających na wykorzystanie wyników tych modeli i metod do odpowiednich zastosowań praktycznych (rys. 4).

Wśród metod analizy i oceny niezawodności (prognozowanej) systemu dominują dwa główne podejścia: analityczne i symulacyjne; są one równie często używane przy ocenie wystarczalności systemów elektroenergetycznych.

Metody analityczne polegają na obliczaniu wskaźników niezawodności z odpowiedniego modelu matematycznego. Zbiór określanych wskaźników jest więc pochodną przyjętego modelu i zbioru danych wejściowych. Zasadniczy problem stanowi przyjmowane założenia upraszczające, których efekt jest często niezany.



Rys. 4. Elementy analiz niezawodności SEE (a) i wykorzystanie wyników analiz (b)

Metody symulacyjne, znane również jako metody Monte Carlo, polegają na ocenie wskaźników niezawodności dzięki symulacji losowego zachowania się systemu. Można wyróżnić dwie grupy metod symulacyjnych: niesekwencyjne i sekwencyjne (szeregowe). W metodach niesekwencyjnych każdy odcinek czasu jest rozpatrywany niezależnie; nie można więc modelować korelacji czasowych czy następstwa zdarzeń. W metodach sekwencyjnych czas i jego podokresy są traktowane chronologicznie. Jest to okupione dłuższym czasem obliczeń.

Główna różnica pomiędzy podejściami – analitycznym i symulacyjnym – leży w procesie wyboru analizowanych stanów systemu elektroenergetycznego i sposobie obliczania prawdopodobieństw i innych wskaźników niezawodności (wystarczalności).

W obu podejściach na poziomach HL II i HL III systemu elektroenergetycznego ocenia się niezawodność (wystarczalność) systemu, wykorzystując rozpyły mocy do identyfikacji stanów deficytowych i oceny efektów działań zaradczych (restytucyjnych). Pozwala to określić głębokość stanów deficytowych systemu. Na poziomie HL I nie uwzględnia się zakłóceń w sieci elektroenergetycznej, a zatem identyfikacja stanów deficytowych systemu odbywa się bezpośrednio – bez liczenia rozpyły mocy.

Do obliczania rozpyły mocy są stosowane modele transportowe, metody rozpyły mocy prądu stałego, metody rozpyły mocy prądu przemiennego. Te ostatnie są rzadko wykorzystywane w podejściu symulacyjnym z powodu długiego czasu obliczeń komputerowych. Jest to ograniczenie praktyczne, a nie teoretyczne. Jeśli jednak ocenia się wyjście mocy biernej poza limity lub napięcia poza ograniczenia, niezbędne staje się wykorzystanie metody rozpyły mocy prądu przemiennego.

Przy analizie i ocenie niezawodności SEE na poziomie hierarchicznym HL II (podsystem wytwórczy + sieć przesyłowa)

są obliczane wskaźniki dwojakiego typu: wskaźniki dla konkretnych węzłów obciążenia oraz wskaźniki „systemowe” – dla całego systemu (na tym poziomie hierarchicznym) [1, 3–7].

Wskaźniki systemowe, z przeszłości i prognozowane, są niezmiernie ważne z punktu widzenia podejmowania decyzji dotyczących całego systemu elektroenergetycznego. Ich zalety nie podlegają dyskusji. Jednak wskaźniki systemowe nie są właściwe dla zidentyfikowania efektów indywidualnych działań wzmacniających system, np. dodania linii. Jest to szczególnie ważne dla dużych systemów istniejących w praktyce, gdy zmiana wartości wskaźników, będąca rezultatem poszczególnych działań wzmacniających, jest bardzo mała w porównaniu z innymi zmianami zachodzącymi w całym systemie. Stąd wskaźniki systemowe mogą być niewrażliwe na takie zmiany. Ponieważ pojedyncze działania dla wzmocnienia sieci przesyłowej jest skierowane głównie na polepszenie warunków w danym węzle odbiorczym (lub ich ograniczonym zbiorze), pożądana jest znajomość wartości wskaźników „przed” i „po” tym wydarzeniu (działaniu wzmacniającym). Może to być obiektywnie i efektywnie zmierzone tylko za pomocą wskaźników niezawodności dla węzłów (punktów) odbiorczych.

Dla systemu dystrybucyjnego (strefy funkcjonalnej dystrybucji) obliczanymi wskaźnikami niezawodności są zwykle: oczekiwana liczba zakłóceń (przerw w zasilaniu), średni czas trwania zakłócenia, roczna niedyspozycyjność (wskaźnik nieciągłości zasilania) węzła odbiorczego. Dodatkowo można obliczyć wartość oczekiwaną odłączonej mocy lub niedostarczonej energii.

Programy komputerowe do analiz i oceny niezawodności systemu elektroenergetycznego

Programy komputerowe, za pomocą których można dokonać analiz i oceny niezawodności systemu elektroenergetycznego, można podzielić na trzy grupy:

- systemy informatyczne do kompleksowej obsługi firm elektroenergetycznych w zakresie analiz systemowych, w których występuje moduł do obliczeń niezawodności. Do tej grupy można zaliczyć: PSSTMTPLAN, NEPLAN oraz Power Factory;
- programy specjalistyczne do obliczeń niezawodności, stanowiące samodzielne narzędzia. Zostały one stworzone z myślą o przedsiębiorstwach elektroenergetycznych. Do tej grupy należy zakwalifikować programy takie, jak: TRELSS, PROCOSE, DISREL, SUBREL, TRANSREL, WindEx AWAR;
- programy mające swe zastosowanie w pracach badawczych z zakresu niezawodności systemu elektroenergetycznego, są to programy takie, jak: CREAM, COMPASS, ZuBer, NIEZ, ONW.

Zestawienie ww. programów wraz z ich potencjalnym zakresem zastosowania zostało zawarte w tabeli 1.

W Polsce do analiz i oceny niezawodności systemu elektroenergetycznego wykorzystywano różne narzędzia komputerowe: NIEZ, ONW, TPLAN, TRELSS. Ten ostatni został wdrożony w ramach projektu realizowanego w latach 1998–1999 dla EPRI i PSE SA przez Politechnikę Warszawską [8], w latach 2001–2002 uzupełniony nakładką pozwalającą wczytywać dane systemu w formacie KDM [9], a w latach 2006–2008 zmodyfikowany do postaci pozwalającej uwzględniać elektrownie wiatrowe [10].

Tabela 1. Zestawienie podstawowych cech programów

Nazwa programu	Twórca programu	Metoda obliczeń	Zastosowanie
CREAM	EPRI, USA	symulacyjna	niezawodność systemów przesyłowych
TRELSS	EPRI, USA	analityczna	niezawodność dużych systemów przesyłowych
PROCOSE	Ontario Hydro, USA	symulacyjna	niezawodność systemów przesyłowych
COMPASS	University of Manchester, Wielka Brytania	analityczna	niezawodność systemów przesyłowych
DISREL	General Reliability, USA	analityczna	niezawodność sieci rozdzielczych
SUBREL	General Reliability, USA	analityczna	niezawodność stacji elektroenergetycznych
TRANSREL	General Reliability, USA	analityczna	niezawodność sieci przesyłowych
ZuBer	Uniwersytet w Darmstadt, Niemcy	analityczna	niezawodność systemu wytwórczego i przesyłowego
PSS™TPLAN	Siemens PTI, USA	analityczna	niezawodność dużych sieci przesyłowych i rozdzielczych
NEPLAN Reliability	BCP, Szwajcaria	analityczna	niezawodność dużych sieci przesyłowych i rozdzielczych
NIEZ	Politechnika Śląska, Polska	analityczna	niezawodność sieci przesyłowych i rozdzielczych
Power Factory	DIGSILENT GmbH, Niemcy	analityczna, symulacyjna	niezawodność dużych sieci przesyłowych i rozdzielczych
ONW	Politechnika Warszawska, Polska	analityczna, symulacyjna	niezawodność systemu wytwórczego
WindEx AWAR	Elkomtech SA, Polska	analiza danych	niezawodność sieci dystrybucyjnej

Podsumowanie

O jakości zasilania energią elektryczną, a zatem o niezawodności dostawy energii elektrycznej i w dużym stopniu o jej jakości, decyduje niezawodność urządzeń i układów służących wytwarzaniu, przesyłaniu i rozdzielaniu energii elektrycznej – niezawodność systemu elektroenergetycznego.

Z punktu widzenia zapobiegania tzw. wielkim awariom systemowym szczególnie istotna jest analiza (prognozowanie) niezawodności systemów elektroenergetycznych, która winna mieć należne i trwałe miejsce w analizach wykonywanych dla określenia warunków bezpiecznej pracy systemu w fazie programowania układów i parametrów pracy SEE.

Przemiany w sektorze energii elektrycznej dały bodziec do innego traktowania zagadnień niezawodności systemu elektroenergetycznego. Rośnie nacisk na zapewnienie odpowiedniego poziomu niezawodności w przyszłości, tak ze strony ciał regulacyjnych, jak i odbiorców energii.

Liberalizacja elektroenergetyki prowadzi do rozdzielenia wytwarzania, przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej. Co więcej, presja rosnących kosztów na konkurencyjnych rynkach zmusza firmy do redukcji inwestycji i kosztów operacyjnych, co najczęściej wywoła negatywne efekty w dziedzinie jakości zaopatrzenia w energię elektryczną. Na takim podłożu narastają pytania o przyszły poziom niezawodności zasilania, a zainteresowanie szczegółowymi analizami niezawodności systemu elektroenergetycznego wzrasta.

Literatura

- [1] BILLINTON R., ALLAN R.N.: *Reliability Assessment of Large Electric Power Systems*. Kluwer Academic Publishers. Boston – Dordrecht – Lancaster 1988.
- [2] *Glossary of Terms Used in Reliability Standards*. NERC. November 13, 2008.
- [3] PASKA J.: *Ocena niezawodności podsystemu wytwórczego systemu elektroenergetycznego*. Prace Naukowe PW – Elektryka. nr 120, 2002.

- [4] PASKA J.: *Niezawodność systemów elektroenergetycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2005.
- [5] PASKA J.: *Analysis and Evaluation of Electric Power System Reliability*. „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 7, 2008.
- [6] PASKA J.: *Electric Power System Reliability Optimization*. „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 11, 2008.
- [7] PASKA J.: *Metodyka analizy i oceny niezawodności systemu elektroenergetycznego w warunkach rynku energii elektrycznej*. „Rynek Energii”, nr 6, 2010.
- [8] PASKA J. (Principal Investigator), BARTCZAK J., KŁOS A., MOMOT A., NOWAKOWSKA E., BARGIEL J., GOC W., SOWA P., TEICHMAN B.: *Application of TRELSS and Implementation of Value-Based Reliability Approach at Polish Power Grid Company*. TR-114816. EPRI, Palo Alto, CA and PPGC, Warsaw, Poland, March 2000.
- [9] PASKA J. I INNI: *System wspomaganie analiz niezawodnościowych pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego*. Praca dla PSE SA. Warszawa, wrzesień 2002.
- [10] PASKA J. I INNI: *Opracowanie modeli niezawodnościowych dla generacji wiatrowej*. Praca dla PSE-Operator SA. Warszawa, czerwiec 2008.
- [11] *Power System Reliability Analysis. Application Guide*. CIGRE WG 03 of SC 38 (Power system analysis and techniques). Paris 1987.
- [12] *Power System Reliability Analysis. Composite Power System Reliability Evaluation*. CIGRE Task Force 38-03-10. Paris 1992.
- [13] *Reliability Assessment Guidebook – version 2.1*. NERC, May 2010.
- [14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Dz.U. 2007 r. nr 93, poz. 957; 2008 r. nr 30, poz. 178; 2008 r. nr 162, poz. 1005.
- [15] *UCTE System Adequacy Methodology*. UCTE. January 2009.

prof. dr hab. inż. Józef Paska – Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Warszawska

artykuł recenzowany