



Ocena wystarczalności wytwarzania z uwzględnieniem realiów losowych

Maksymilian Przygodzki, Rafał Gwóźdź, Paweł Chmurski

Kazimierz Dolny, 25-27.04.2017 r

Tło zagadnienia - wystarczalność

- Niezawodność systemu elektroenergetycznego, obejmującego urządzenia wytwórcze i przesyłowe, uwzględnia dwa podstawowe aspekty funkcjonalne systemu - **wystarczalność** (ang. adequacy) i **niezawodność operacyjną** (ang. operational reliability, niekiedy określaną też mianem bezpieczeństwa (ang. security)).
- Przez **wystarczalność** rozumie się zdolność systemu do pokrywania zagregowanego zapotrzebowania na moc i energię wszystkich odbiorców przez cały rozpatrywany okres we wszystkich jego ustalonych stanach pracy; a przez **niezawodność operacyjną** - zdolność systemu do funkcjonowania (w tym zachowania integralności) i realizacji swych funkcji pomimo występowania nagłych zakłóceń, jak np. zwarcia lub nagłe, awaryjne odstawienia elementów systemu.
- W praktyce, pojęcie wystarczalności dotyczy długoterminowego podejścia do problemu niezawodności i należy głównie do sfery zainteresowań działów planowania. Drugie z pojęć dotyczy okresów krótkoterminowych leżących w sferze zainteresowań służb utrzymania ruchu w źródłach wytwórczych o charakterze systemowym oraz służb dyspozytorskich OSP.

Analizy wystarczalności

- Metodyka wykonywania długoterminowych analiz wystarczalności w przypadku podsystemu wytwarzania energii elektrycznej powinna uwzględniać dwa specyficzne zjawiska związane z funkcjonowaniem systemu elektroenergetycznego. Są to:
 - konieczność utrzymywania w systemie mocy wytwórczych przewyższających zapotrzebowanie na moc w systemie elektroenergetycznym, co wynika z potrzeby zabezpieczenia ciągłości dostaw do odbiorców w przypadku odstawień z eksploatacji części źródeł wytwórczych spowodowanych ich remontami planowymi i/lub sytuacjami awaryjnymi;
 - losowy charakter zdarzeń eksploatacyjnych w systemie elektroenergetycznym związanych z dostępnością lub niedostępnością eksploatacyjną poszczególnych jego elementów, w tym również dotyczących możliwości wykorzystania poszczególnych źródeł wytwórczych do pokrycia zapotrzebowania na moc w systemie.

Wskaźniki probabilistyczne oceny wystarczalności generacji

- LOLP (*Loss of Load Probability*)

$$LOLP(L) = F_p(L) = \int_0^L p(P) dL$$

- LOLE (*Loss of Load Expectation*)

$$LOLE = LOLP \cdot \frac{N}{24}$$

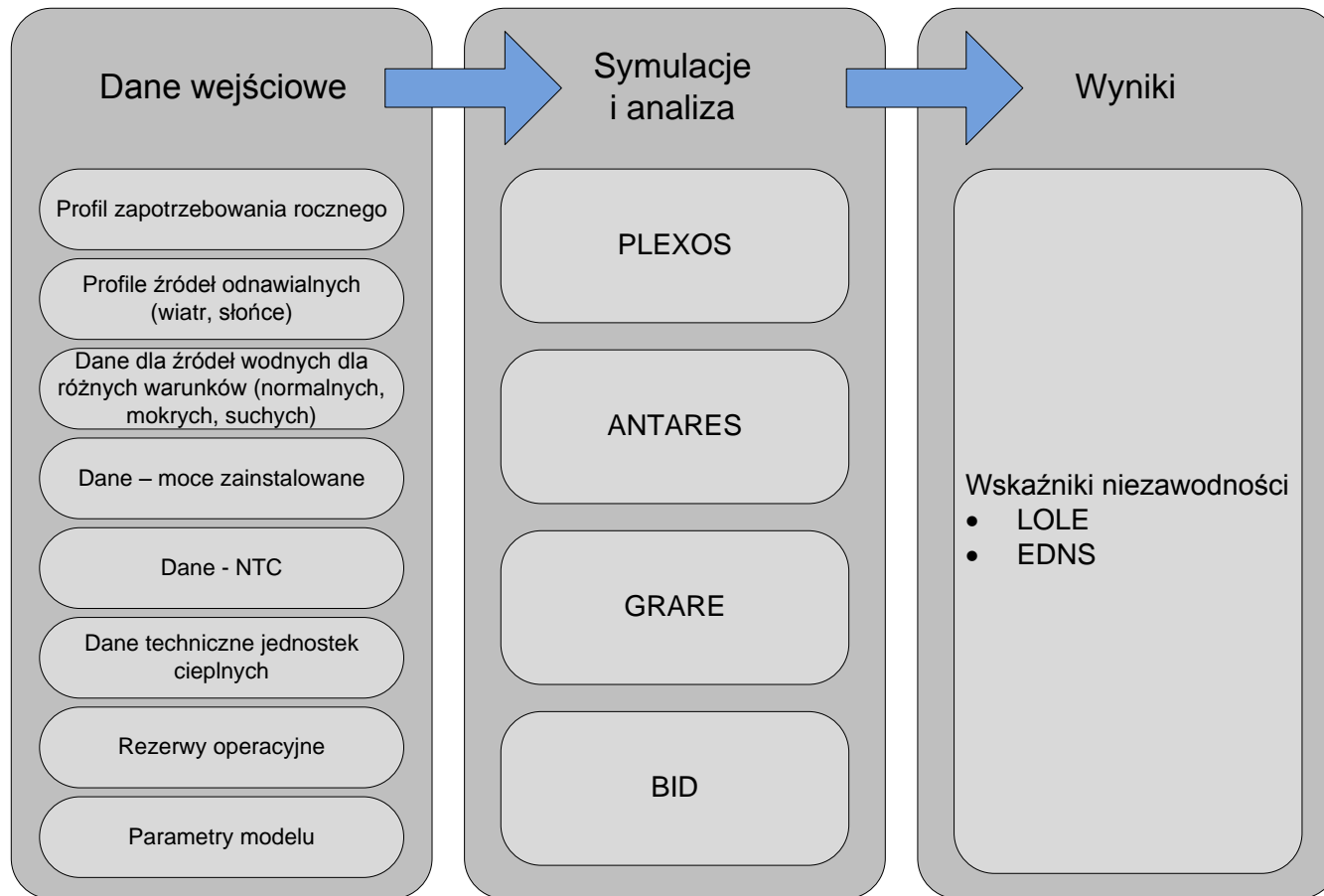
- EDNS (*Expected Demand Not Served*)

Wskaźnik ten określa poziom deficytu mocy (w MW) dla danego obszaru poprzez porównanie ze sobą zapotrzebowania i mocy zainstalowanej.

- EENS (*Expected Energy Not Served*)

Iloczyn wartości wskaźnika EDNS i łącznego czasu trwania przerw, tj. liczby godzin w których nastąpiło niepokrycie zapotrzebowania.

Metodyka ENTSO-E (1)



Metodyka ENTSO-E (2)

- W ramach analiz dokonuje się porównania przyszłych poziomów zapotrzebowania i dostępnej generacji poprzez symulację warunków rynkowych połączonego europejskiego systemu z rozdzielczością godzinową dla danego roku.
- Wykorzystywane w symulacjach są skorelowane przebiegi czasowe zapotrzebowania, produkcji w źródłach wiatrowych oraz słonecznych dla poszczególnych lat klimatycznych (obecnie 1982-2015). Ponadto nakłada się na to różne typy warunków hydrologicznych oraz dostępność źródeł związaną z wyłączeniami remontowymi oraz awaryjnymi
- Pojęcie rok klimatyczny oznacza, określoną historyczną kombinację poziomu (kształtu) zapotrzebowania, produkcji (względnej) ze źródeł wiatrowych oraz słonecznych połączoną z trzema możliwymi warunkami hydrologicznymi (mokre, normalne, suche)
- Dla każdego rozpatrywanego modelu zakłada się przeprowadzanie ok. $1000 \div 2000$ symulacji Monte Carlo, co można traktować jako statystycznie reprezentatywny wynik

Modelowe analizy wykonane dla obszaru KSE

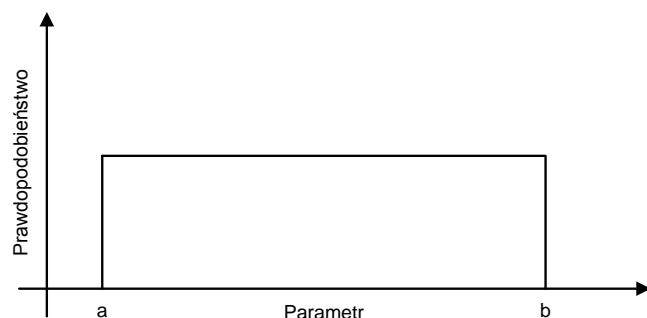
- Analizowane scenariusze wystarczalności wytwarzania:

		Popyt	
		Niski	Wysoki
Podaż	Pesymistyczny	Scenariusz 1	Scenariusz 2
	Optymistyczny	Scenariusz 3	Scenariusz 4

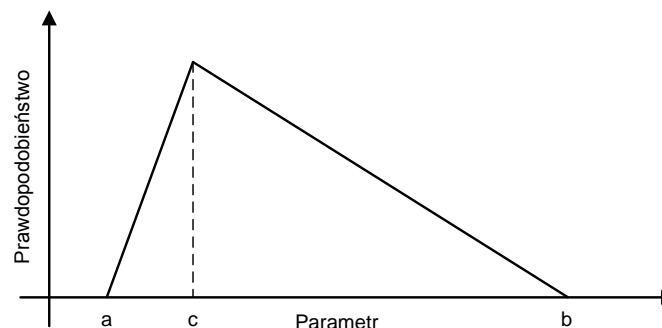
- Za pomocą modułu planowania długoterminowego programu PLEXOS (LT Plan) przeprowadzono optymalizację kosztów funkcjonowania systemu
- W obliczeniach wykorzystano statystyki dyspozycyjności jednostek wytwórczych JWCD, które obejmują:
 - wskaźnik wyłączeń nieplanowych FOR (*Forced Outage Rate*),
 - wskaźnik wyłączeń planowych SOF (*Maintenace Rate*).

Rozkłady parametrów wyłączeń awaryjnych i remontowych

- Rozkłady teoretyczne prawdopodobieństwa danej zmiennej losowej



jednostajny

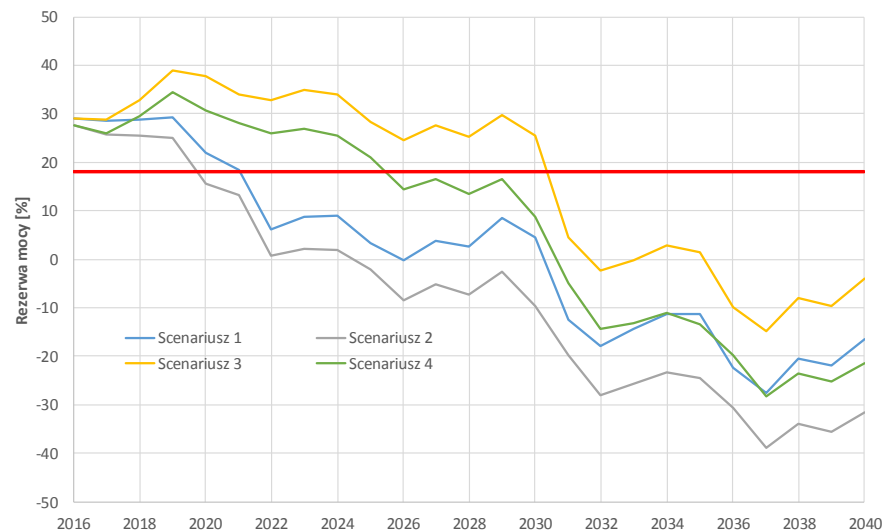
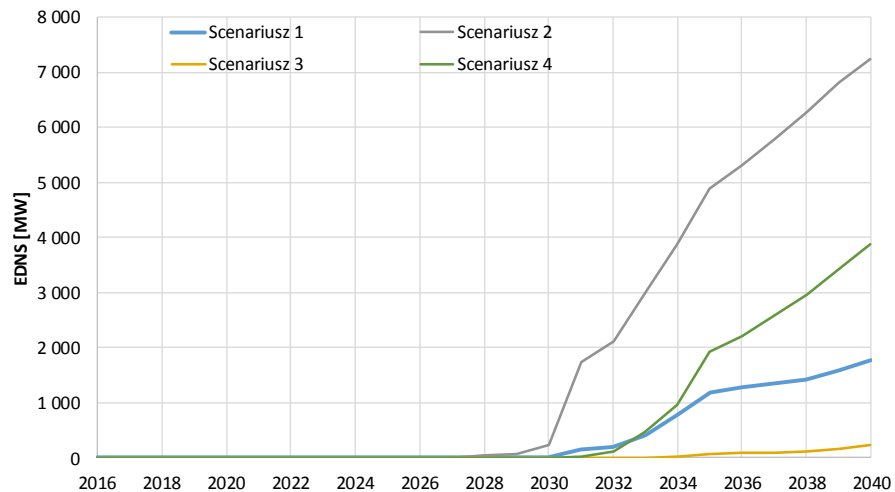
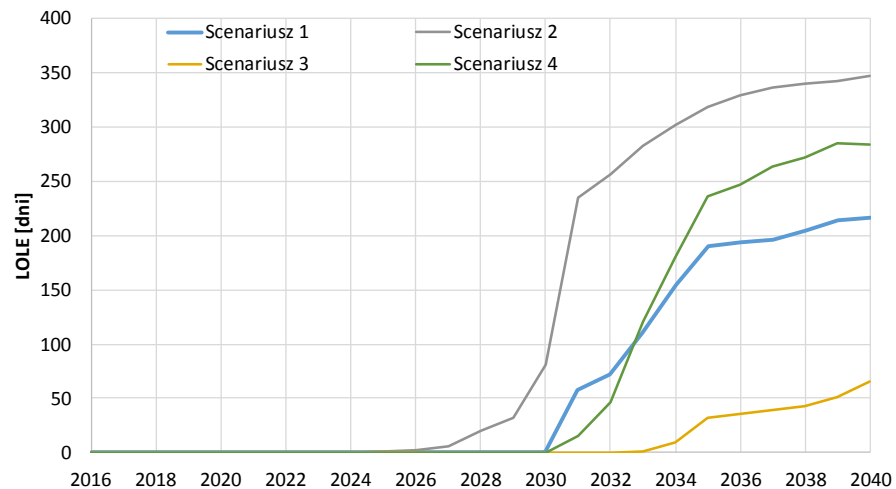


trójkątny

- Analiza statystyczna uzyskanych rozkładów empirycznych pozwoliła na wyznaczenie parametrów a , b rozkładu jednostajnego oraz trójkątnego a , b , c . Parametry a i b informują kolejno o minimalnym i maksymalnym czasie postoju jednostki, natomiast parametr c wyraża przeciętny czas postoju planowego lub awaryjnego.

Parametr	Rozkład jednostajny		Rozkład trójkątny		
	a	b	a	b	c
T_a	10	160	10	30	160
T_n	60	1800	60	150	1800

Rezultaty



Podsumowanie

- Znaczenie długoterminowych prognoz wystarczalności wynika z wymiernych strat ekonomicznych powstających zarówno w przypadku istnienia w systemie nieuzasadnionych ekonomicznie nadwyżek mocy, jak i w przypadku trwałych deficytów mocy wytwórczej w tym systemie.
- Dotychczas stosowane podejście deterministyczne do oceny wystarczalności generacji w świetle zwiększenia udziału jednostek wytwórczych o niepewnym charakterze generacji okazało się niewystarczające. W związku z tym coraz szerzej do oceny wystarczalności generacji stosuje się metody probabilistyczne uwzględniające czynniki losowe.
- Wśród czynników losowych, najczęściej uwzględnianych w analizach dotyczących wystarczalności generacji uwzględnia się:
 - a) poziomu zapotrzebowania na moc,
 - b) produkcję energii elektrycznej przez źródła „niepewne”, takie jak farmy wiatrowe i źródła słoneczne,
 - c) warunki hydrologiczne mające wpływ na produkcję energii elektrycznej w źródłach wodnych,
 - d) częstość oraz czas trwania wyłączeń awaryjnych generatorów.
- Metodyki probabilistyczne oceny wystarczalności generacji są nieustannie rozwijane, a ich głównym celem jest jak najlepsze odzwierciedlenie niepewności związanej z czynnikami losowymi wpływającymi na funkcjonowanie systemu, a tym samym na wystarczalność generacji

Pytania recenzenta

- *Jaki jest wymiar wskaźnika EDNS (MW czy MWh)?*
- *Autorzy proszeni są o wyjaśnienie dotyczące pochodzenia i stosowania narzędzi informatycznych PLEXOS, GRARE, ANTARES, BID.*
- *Czy na wystarczalność generacji może mieć wpływ zawodność sieci przesyłowej?*

Program PLEXOS

- Program PLEXOS został opracowany i jest dystrybuowany przez australijską firmę Energy Exemplar.
- Obliczenia w zakresie wystarczalności przy pomocy programu PLEXOS mogą być wykonywane w dwóch podstawowych trybach:
 - a) poprzez odwzorowanie wolnej gry ekonomicznej pomiędzy podażą i popytem na energię elektryczną i ustanowieniem punktu równowagi w zakresie rozwoju systemu elektroenergetycznego (w tym systemu przesyłowego) opierając się na minimalizacji całkowitych kosztów systemowych w postaci tzw. minimum rynkowego rozwoju. Uzyskane wyniki obliczeń określają wskazany punkt równowagi oraz określają związane z nim koszty systemowe. Jednym z wyników są wskaźniki niezawodności;
 - b) poprzez określenie, opierając się na prognozach popytowych potrzeb w zakresie rozwoju bazy wytwórczej i systemu przesyłowego przy zdeterminowanych kryteriach wystarczalności systemu. W tym przypadku kryterium niezawodności (wartość wskaźników) jest determinantą rozwoju.

Program GRARE

- Nazwa pochodzi od akronimu Grid Reliability and Adequacy Risk Evaluator. Program został opracowany przez włoskiego operatora Terna (CESI). Wykorzystuje on symulacje Monte Carlo do wyznaczania niezawodności i ekonomicznego rozdziału obciążeń generatorów.
- Program został stworzony, aby ułatwić podejmowanie decyzji związanych z planowaniem długo i średnio terminowym, w szczególności wykorzystywany jest w ocenie niezawodności dużych systemów elektroenergetycznych modelując w szczegółach sieci przesyłowe.
- W ramach analizy wystarczalności generacji przyjmuje się założenia:
 - a) wystarczalność mierzona jest za pomocą wyliczanych wskaźników (EENS, LOLE, LOLP);
 - b) rezerwa operacyjna mocy uwzględnia największe jednostki mocy, niepewność zapotrzebowania na energię, przewidywaną generację w OZE, możliwa jest agregacja obszarowa i stały udział procentowy obciążenia w węzłach;
 - c) zarządzanie popytem, przez obniżenie zapotrzebowania na energię w węzłach, w których obciążenie nie będzie miało wpływu na wystarczalność;
 - d) zarządzanie podażą (over-generation management) przez obniżenie generacji energii w jednostkach wytwórczych.

Program ANTARES

- Nazwa programu jest akronimem określenia A New Tool for generation Adequacy Reporting of Electricity System.
- Program jest narzędziem służącym do symulacji i oceny wystarczalności wieloobszarowej oraz symulacji rynku. Program został opracowany przez RTE (Le réseau de transport d'électricité).
- W programie przyjmuje się założenia:
 - a) Reprezentacja dużych systemów elektroenergetycznych jest symulowana przez uproszczony model (przynajmniej jeden węzeł na kraj, maksymalna liczba możliwych węzłów wynosi 500).
 - b) Analiza odbywa się sekwencyjnie dla roku z minimalnym przedziałem czasu równym godzinie.
 - c) Dla każdej z 8760 godzin przebiegi czasowe zmiennych (moc dostępna z elektrowni opalanych paliwami kopalnymi, dostępność wiatru, słońca, obciążenia, itp.) wynikają z danych historycznych, bazują na prognozowanych przebiegach albo wykorzystują rozkłady stochastyczne generowane przez program.
 - d) W jednostkach wodnych, generacja miesięczna/roczna określona jest na podstawie heurystycznego określenia dostępności wody, natomiast generacja godzinowa/dzienna bazuje na optymalizacji ekonomicznej.
 - e) Modelując przerwy w generacji energii program wykorzystuje nowe algorytmy stochastyczne (rozkłady statystyczne poziomów produkcji energii elektrycznej, korelacje uwzględniające czas i rozmieszczenie w przestrzeni).

Program BID

- Program służy do symulacji rozdziału obciążeń generatorów uwarunkowanych ekonomicznie (economic dispatch), wykorzystywane przez Pöyry Management Consulting's.
- Program modeluje generację godzinową dla każdej jednostki znajdującej się w systemie, biorąc pod uwagę koszt generacji oraz ograniczenia operacyjne takie jak koszty rozruchu elektrowni. Model symuluje generację w elektrowniach wodnych bazując na możliwej dostępności wody, a generację w wietrze i słońcu wykorzystując dane historyczne.
- Program wyznacza w zakresie godzinowym ceny energii elektrycznej, rozmieszczenie generacji, przepływy mocy na połączeniach międzystrefowych.
- Program służy do określenia takich współczynników jak: dochód z rynku, współczynniki obciążenia, koszty paliwa i CO₂, liczbę startów w roku.
- Wykorzystywany jest do analiz inwestycji w moce wytwórcze.

Pytania recenzenta

- *Czy na wystarczalność generacji może mieć wpływ zawodność sieci przesyłowej?*



Dziękuję za uwagę