

Agata ORŁOWSKA*

GENERACJA ROZPROSZONA A NIEZAWODNOŚĆ

W artykule podjęto problematykę wyznaczania wskaźników dyspozycyjności i awaryjności źródeł generacji rozproszonej, zwłaszcza odnawialnych źródeł energii. Przedstawiono wskaźniki niezawodnościowe konwencjonalnych jednostek wytwórczych powszechnie stosowane w krajowym systemie elektroenergetycznym. Omówiono tendencje rozwoju źródeł generacji rozproszonej, podkreślając ich wpływ na pracę systemu elektroenergetycznego w aspekcie niezawodności. Przedstawiono przykład obliczeniowy dotyczący wyznaczania wielostanowego modelu niezawodnościowego jednostki wytwórczej wykonany przy użyciu programów komputerowych wspomagających obliczenia naukowe i inżynierskie.

SŁOWA KLUCZOWE: generacja rozproszona, odnawialne źródła energii, niezawodność, dyspozycyjność, wielostanowy model niezawodności.

1. WPROWADZENIE

W najbliższych latach należy spodziewać się stopniowej dekarbonizacji sektora wytwórczego energii elektrycznej i jego dywersyfikacji – także poprzez wzrost udziału niskoemisyjnej generacji rozproszonej, w tym odnawialnych źródeł energii (OZE).

Do tej pory w Polsce inwestycje w OZE nie miały szans na rozwój na dużą skalę. Przyczyniły się do tego brak sprzyjających i konsekwentnych działań legislacyjnych regulujących działalność OZE oraz zagadnienia techniczne. Integracja OZE z systemem elektroenergetycznym jest utrudniona głównie ze względu na stochastyczny charakter pracy oraz nieprzystosowanie infrastruktury sieciowej do generacji na poziomie sieci dystrybucyjnych. Jednym z ważniejszych aspektów tej integracji jest zagadnienie niezawodności pracy źródeł wytwórczych, które z kolei przekłada się na niezawodność wytwarzania energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym.

* Politechnika Poznańska

2. GENERACJA ROZPROSZONA

Generacja rozproszona (wytwarzanie rozproszone, rozproszone źródła energii) – ang. *distributed generation* (DG) – to małe jednostki lub obiekty wytwórcze. W warunkach polskich za graniczną moc znamionową przyjmuje się 50÷150 MW. Źródła te przyłączane są na poziomie sieci rozdzielczych lub w sieci elektroenergetycznej odbiorcy (za urządzeniem kontrolno-rozliczeniowym). Nie podlegają centralnemu planowaniu i dysponowaniu. Często wytwarzają energię elektryczną z odnawialnych lub niekonwencjonalnych źródeł energii, również często w kogeneracji [7].

Generacji rozproszonej nie można zatem utożsamiać wyłącznie z odnawialnymi źródłami energii. Do technologii wytwarzania energii w generacji rozproszonej zalicza się:

- silniki tłokowe, turbiny i mikroturbiny gazowe, silniki Stirlinga,
- ogniwa paliwowe,
- układy kogeneracyjne oparte na turbinach gazowych, silnikach tłokowych, silnikach Stirlinga i ogniwach paliwowych,
- małe elektrownie wodne,
- elektrownie wiatrowe,
- elektrownie geotermiczne,
- systemy fotowoltaiczne,
- układy heliologiczne,
- technologie wykorzystujące biomasę i odpady,
- technologie wykorzystujące pływy, prądy i falowanie mórz oraz ciepło oceaniczne [7].

W celu zwiększenia możliwości wykorzystania źródeł, których wytwarzanie energii jest silnie uzależnione od warunków pogodowych, zapotrzebowania na ciepło, itp., stosuje się hybrydowe systemy wytwórcze (HSW). Jest to połączenie dwu lub więcej technologii wytwarzania energii elektrycznej i/lub ciepła, np. turbiny wiatrowej i generatora z silnikiem spalinowym. Do sterowania i koordynacji pracy HSW wykorzystuje się zaawansowane układy energoelektroniczne i technologie informacyjno-komunikacyjne. Bardzo często w skład HSW wchodzi zasobnik energii, który stabilizuje pracę układu. Dzięki niemu układy hybrydowe są w stanie osiągnąć pełną dyspozycyjność. Źródło może generować moc o stabilnej wartości z możliwością regulacji pod warunkiem, że do współpracy zostanie dobrany zasobnik o odpowiedniej pojemności. Magazyny energii, choć bardzo obiecujące i dające wiele nadziei na stabilizację pracy systemu elektroenergetycznego w przyszłości, są wciąż rozwijającą się i kosztochłonną alternatywą [7].

W ostatnich latach w Polsce rozwija się koncepcja powstawania klastrów energii. Jest to rozwiązanie działające na obszarze jednego powiatu lub 5 gmin. Dotyczy wytwarzania i równoważenia zapotrzebowania, dystrybucji lub obrotu

energiją z OZE, innych źródeł lub paliw w ramach sieci dystrybucyjnej [10]. Obejmuje więc zarządzanie generacją rozproszoną.

Wysoki udział źródeł o zmiennej mocy wyjściowej ma niekorzystny wpływ na regulacyjność i stabilność pracy krajowego systemu elektroenergetycznego (KSE). Dlatego tak istotne jest tworzenie rozwiązań, które pozwolą na równoważenie wytwarzania i zapotrzebowania na poziomie lokalnym.

Do poprawy bezpieczeństwa i przewidywalności pracy KSE może przyczynić się praca źródeł generacji rozproszonej w układzie inteligentnych sieci (ang. *smart grid*). Założeniem działania sieci inteligentnych jest kompleksowe zarządzanie systemem poprzez aktywny udział wszystkich jej użytkowników – wytwórców, odbiorców i operatorów. W takim układzie zarządzanie rozproszonymi zasobami wytwórczymi (generacją rozproszoną, zasobnikami energii oraz obciążeniami w ramach działań programów reakcji strony popytowej) może być realizowane za pomocą wirtualnej elektrowni (z ang. VPP – *virtual power plant*) [1]. Wirtualna elektrownia może wchodzić w zakres klastra energii [7].

Elektrownia wirtualna nie istnieje materialnie w tradycyjnym rozumieniu. Z punktu widzenia reszty systemu elektroenergetycznego stanowi zamkniętą sterowalną całość (jednostkę). Jest to zatem efekt fizyczny analogiczny do przyłączenia i pracy w danym punkcie/węźle sieci rzeczywistej elektrowni. Efekt ten zostaje osiągnięty poprzez realizację zamierzonych działań związanych z kontrolą, sterowaniem i optymalizacją pracy rozproszonych zasobów wytwórczych [1].

W literaturze funkcjonuje pojęcie mikrosieci, którą także można rozpatrywać jako wirtualną elektrownię, stanowi bowiem dla systemu elektroenergetycznego sterowalną całość (jednostkę) [5, 7].

Agregacja rozproszonych zasobów energii w ramach elektrowni wirtualnej pozwala na zwiększenie przewidywalności pracy w stosunku do jednostek pracujących samodzielnie. Sterowanie i optymalizacja zasobami energii – zmiennością generacji oraz dynamicznie zmieniającego się obciążenia – wewnątrz elektrowni stanowi ułatwienie dla operatora sieci oraz sprzedawcy energii. Jest alternatywą dla budowy dużej elektrowni systemowej.

3. NIEZAWODNOŚĆ W ENERGETYCE

3.1. Niezawodność jednostek wytwórczych

Niezawodność jest to właściwość obiektu, która charakteryzuje jego zdolność do pełnienia określonych zadań, w określonych warunkach i w określonym przedziale czasu [6]. Miarą niezawodności obiektu są wskaźniki odpowiadające specyfice ich pracy. Klasyczne podejście do oceny niezawodności opiera się na wyznaczeniu prawdopodobieństw bezwarunkowych i średnich czasów przebywania elementów, obiektów złożonych lub systemów w poszczególnych stanach oraz określaniu ich wskaźnika technicznego [3].

W przypadku jednostek wytwórczych wyznacza się wskaźniki awaryjności i dyspozycyjności, które uzyskać można na podstawie danych statystycznych. Za ich pomocą można oceniać niezawodność w stosunku do przeszłości oraz przyszłości (niezawodność prognozowana). Znajomość tych zagadnień pozwala m.in. optymalnie zaplanować harmonogram remontów, czy przewidzieć odpowiednią rezerwę mocy w systemie [3]. W Polsce dostępne są dane dotyczące awaryjności dużych bloków energetycznych, charakteryzowane przez następujące wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne [6]:

– wskaźnik dyspozycyjności

$$AF = \frac{T_p + T_r}{T_k} \cdot 100, \quad (1)$$

– wskaźnik udziału czasu awarii w czasie kalendarzowym

$$FOF = \frac{T_a}{T_k} \cdot 100, \quad (2)$$

– wskaźnik awaryjności

$$FOR = \frac{T_a}{T_p + T_a} \cdot 100, \quad (3)$$

– wskaźnik wykorzystania mocy zainstalowanej

$$GCF = \frac{A_n}{T_k \cdot P_z} \cdot 100, \quad (4)$$

– wskaźnik użytkowania mocy osiągalnej

$$GOF = \frac{A_n}{T_p \cdot P_{os}} \cdot 100, \quad (5)$$

– wskaźnik remontów planowanych

$$SOF = \frac{T_{kp} + T_s + T_b}{T_k} \cdot 100, \quad (6)$$

– wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego

$$SF = \frac{T_p}{T_k} \cdot 100, \quad (7)$$

– średni czas ruchu (obliczeniowy)

$$ART = \frac{T_p}{L_w}, \quad (8)$$

gdzie: T_p – czas pracy bloku lub grupy bloków w rozpatrywanym okresie, T_r – czas postojów bloku lub grupy bloków w rezerwie w rozpatrywanym okresie, T_{kp} – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie kapitalnym, T_s – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie średnim, T_b – czas po-

stojów bloku lub grupy bloków w remoncie bieżącym, T_a – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie awaryjnym, T_k – czas dla którego wykonywane są obliczenia, L_w – liczba wszystkich postojów, A_n – wyprodukowana energia elektryczna, P_z – moc zainstalowana, P_{os} – moc osiągalna [6].

Jednostki wytwórcze (elektrownie) są obiektami złożonymi. Na niezawodność obiektów złożonych ma wpływ niezawodność ich poszczególnych elementów składowych. W budowie modelu niezawodnościowego należy zatem dokonać dekompozycji rozważanego obiektu i zbudować jego strukturę niezawodnościową, przedstawianą najczęściej w postaci graficznej – grafu lub schematu blokowego. Wypadkowa niezawodność zależy oczywiście także od sposobu połączeń tych elementów [3, 6].

Wskaźnik gotowości pojedynczego urządzenia (elementu, obiektu) przy pominięciu postojów planowanych, określany jako prawdopodobieństwo wystąpienia stanu ruchu w dowolnej chwili jego życia, wyraża się wzorem:

$$p = \frac{t_{pr}}{t_{pr} + t_a} = \frac{t_{pr}}{T_{pa}} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}, \quad (9)$$

zaś wskaźnik awaryjności rozumiany jako prawdopodobieństwo wystąpienia stanu awarii określony jest wzorem:

$$q = \frac{t_a}{t_{pr} + t_a} = \frac{t_a}{T_{pa}} = \frac{\lambda}{\mu + \lambda}, \quad (10)$$

gdzie: t_{pr} – średni czas pracy urządzenia pomiędzy kolejnymi awariami, t_a – średni czas awarii urządzenia, $T_{pa} = t_{pr} + t_a$, $\mu = 1/t_a$ – intensywność napraw, $\lambda = 1/t_{pr}$ – intensywność uszkodzeń [3, 6].

Prognozowana niezawodność elementów jest charakteryzowana za pomocą probabilistycznych rozkładów czasu do uszkodzenia [3, 6].

3.2. Niezawodność systemu elektroenergetycznego

Niezawodność systemu elektroenergetycznego (SEE) to zdolność do zapewnienia zasilania odbiorców energią elektryczną o odpowiedniej jakości. Niezawodność SEE powinna uwzględniać dwa aspekty: wystarczalność (ang. *adequacy*) i bezpieczeństwo (ang. *security*). Wystarczalność określa zdolność do pokrycia przez system zapotrzebowania na moc i energię w stanach ustalonych, natomiast bezpieczeństwo – zdolność do funkcjonowania w stanach zakłóceń [6].

Niezawodność SEE rozpatruje się na trzech poziomach hierarchicznych:

- poziom pierwszy (HL I) – obejmuje jednostki wytwórcze, ocenia zdolność generacji do pokrywania obciążeń,

- poziom drugi (HL II) – obejmuje poziom HL I rozbudowany o sieci przesyłowe,
- trzeci (HL III) – obejmuje cały system, łącznie z dystrybucją [6].

Niezawodność wytwarzania energii elektrycznej (poziom HL I) ocenia się poprzez wyznaczenie prawdopodobieństwa wystąpienia stanu, w którym zapotrzebowanie na moc przewyższa zdolność wytwórczą systemu. Na podstawie tego prawdopodobieństwa wyznacza się wskaźniki niezawodności wytwarzania energii elektrycznej (wystarczalności), tj. LOLP – prawdopodobieństwo niepokrycia zapotrzebowania (ang. *Loss of Load Probability*), LOLE – oczekiwany czas niepokrycia zapotrzebowania (ang. *Loss of Load Expectation*), EENS – oczekiwana energia niedostarczona (ang. *Expected Energy Not Supplied*), itp. [6].

Istota problemu oceny niezawodności wytwarzania w przyszłości sprowadza się zatem do prognozowania dystrybuanty zdolności wytwórczej (mocy dyspozycyjnej) systemu. Obliczanie dystrybuanty mocy dyspozycyjnej odbywa się na podstawie przyjętych modeli niezawodności jednostek wytwórczych. Zasadniczo można wyróżnić ich dwa podstawowe rodzaje – model dwustanowy i wielostanowy. W modelu dwustanowym jednostka wytwórcza może z prawdopodobieństwem p_i znajdować się w stanie dyspozycyjności (zdolności do pracy z mocą osiągalną P_{os}) i z prawdopodobieństwem $q_i = 1 - p_i$ w stanie niedyspozycyjności. W modelu wielostanowym jednostka wytwórcza może znajdować się w stanach częściowej dyspozycyjności, w których zdolność wytwórcza jest niższa od znamionowej (osiągalnej) [6].

3.3. Problematyka wyznaczania niezawodności źródeł generacji rozproszonej

W ostatnich latach w literaturze [4, 6, 7, 8] zwrócono uwagę na konieczność uwzględniania rosnącego udziału generacji rozproszonej w analizie niezawodności systemu elektroenergetycznego.

Przez lata polski system elektroenergetyczny działał w sposób scentralizowany. Dyspozycyjność dużych systemowych elektrowni ciepłych jest duża – ok. 90%. Pracują one stabilnie z mocą zbliżoną do znamionowej przez większą część roku. Ponadto podlegają koordynacji i planowaniu przez Operatora Sieci Przesyłowych, stąd plany remontowe są równomiernie rozkładane. Ubytek mocy z tytułu awarii – przy dużej liczbie jednostek i pełnej przypadkowości awarii – także można uznać za równomiernie rozłożony [7].

Generacja rozproszona nie podlega centralnemu planowaniu. Odnawialne źródła energii charakteryzują się znacznie niższym czasem pracy. Wskaźniki wyznaczone jak dla elektrowni konwencjonalnych są nieadekwatne, ponieważ odnoszą się do charakterystycznej wartości mocy (zdolności wytwórczej), przyjmowanej w obliczeniach niezawodności. W odróżnieniu od bloków konwencjonalnych zdolność wytwórcza elektrowni OZE jest ograniczona przez

dostępność energii pierwotnej i zmienia się w czasie. Specyfika wytwarzania generacji rozproszonej wymaga zatem odpowiedniego odwzorowania.

W literaturze [4, 6, 7, 8] wyróżnia się dwie składowe niezawodności odnawialnych źródeł energii:

- niezawodność strukturalną – wynikającą z konstrukcji, budowy oraz urządzeń składających się na elektrownię OZE i jej połączenie z siecią,
- niezawodność produkcyjną – wynikającą z dostępności energii pierwotnej i losowej zmienności zdolności wytwórczej [4].

Niezawodność strukturalna może być określana przez klasyczne wskaźniki dyspozycyjności i awaryjności, natomiast za miarę niezawodności produkcyjnej może służyć prawdopodobieństwo mocy wytwarzanej w funkcji czasu [4, 6, 7, 8].

4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY DOTYCZĄCY WYZNACZANIA WIELOSTANOWEGO MODELU NIEZAWODNOŚCIOWEGO

Poniżej przedstawiono przykład wyznaczenia wielostanowego modelu niezawodnościowego dla elektrowni wiatrowej, uwzględniający zarówno niezawodność strukturalną, jak i produkcyjną. Wykorzystano metodę dokładną analityczną. W celu wyznaczenia modelu posłużono się programami komputerowymi wspomagającymi obliczenia naukowe i inżynierskie, tj. Matlab, MS Excell.

Elektrownię wiatrową rozpatrywać można jako szeregowe połączenie elementów (urządzeń), których efektem współdziałania jest przetwarzanie energii wiatru na energię elektryczną. Niesprawność jednego z elementów, np. generatora lub przekładni, powoduje niesprawność elektrowni wiatrowej. W celu zachowania przejrzystości, w rozpatrywanym przykładzie wyróżniono trzy składowe niezawodności strukturalnej (konstrukcyjnej):

- układ elektryczny,
- układ mechaniczny,
- układ sterowania.

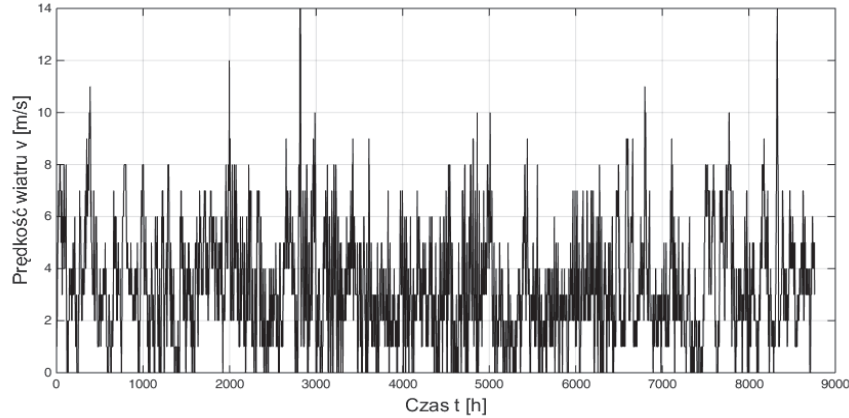
Poszczególne układy można uszczegółowić stosownie do potrzeb, rozbudowując ich strukturę niezawodnościową w procesie dekompozycji.

Niezawodność produkcyjną uwzględniono poprzez wprowadzenie do modelu dodatkowego elementu reprezentującego dostępność energii pierwotnej. Strukturę modelu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Rozpatrywany model elektrowni wiatrowej

Dostępność energii pierwotnej, wpływającą na zmienność zdolności wytwórczej turboszespołu, wyznaczono na podstawie statystycznych danych klimatycznych [9] dla miasta Poznania (rys. 2).



Rys. 2. Zmienność prędkości wiatru w lokalizacji Poznań dla typowego roku meteorologicznego, na podstawie [9]

Wartości prędkości wiatru skorygowano stosownie do wysokości zainstalowania gondoli proponowanego turboszespołu wiatrowego [7]:

$$v(h_2) = v(h_1) \cdot \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha, \quad (11)$$

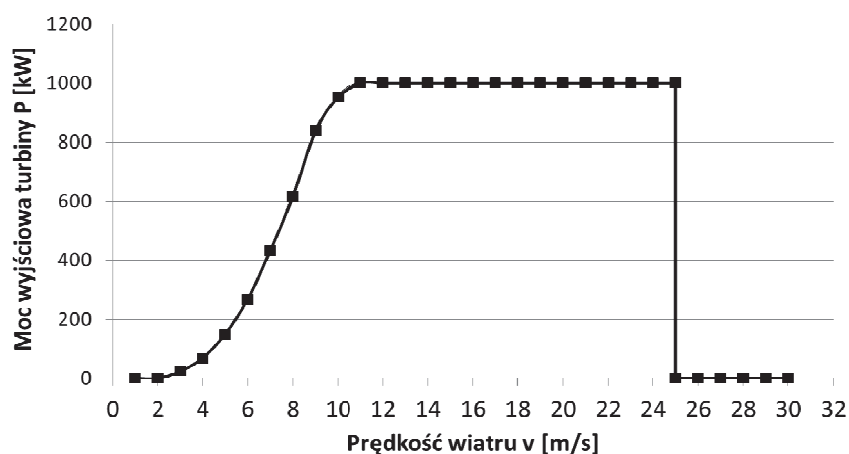
gdzie: $h_1=10$ m, $h_2=80$ m – wysokość, $v(h_1)$ – prędkość wiatru na wysokości h_1 , $v(h_2)$ – prędkość wiatru na wysokości h_2 , $\alpha=1/7$ – parametr zależny od szorstkości terenu [7].

Dla każdej godziny w roku, na podstawie skorygowanych statystycznych wartości prędkości wiatru, obliczono moc dyspozycyjną turboszespołu. W tym celu posłużono się krzywą mocy dla przykładowej turbiny Leitwind LTW77 o mocy znamionowej 1000 kW [2], zaprezentowaną na rys. 3. Rozpatrywaną krzywą mocy aproksymowano analitycznie, uzyskując zapis matematyczny mocy wyjściowej turbiny w funkcji prędkości wiatru:

$$P(v) = \begin{cases} 0 & 0 \leq v < v_{CI} \\ P_x & v_{CI} \leq v < v_R \\ P_R & v_R \leq v < v_{CO} \\ 0 & v \geq v_{CO} \end{cases}, \quad (12)$$

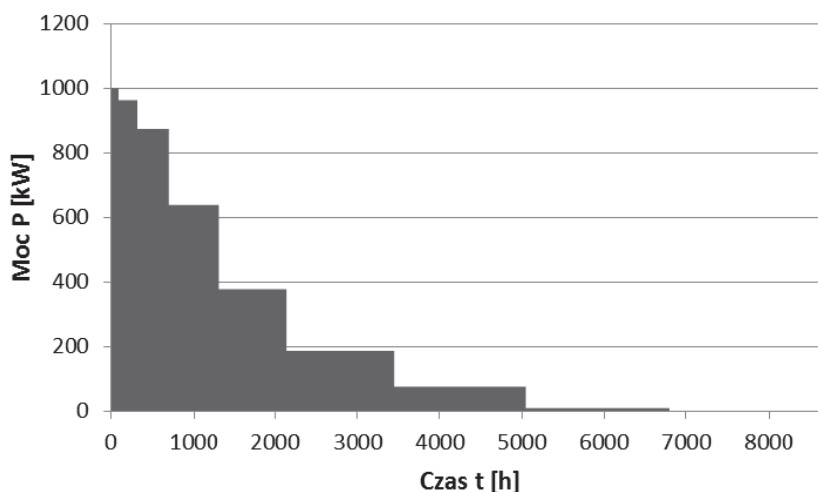
$$P_x = 0,0229v^6 - 0,9067v^5 + 13,665v^4 - 100,55v^3 + 397,22v^2 - 767,76v + 560,57, \quad (13)$$

gdzie: v_{CI} – prędkość włączeniowa, v_R – prędkość znamionowa, v_{CO} – prędkość wyłączeniowa, P_R – moc znamionowa.



Rys. 3. Krzywa mocy turbozespołu Leitwind LTW77 1000 kW, na podstawie [2]

Obliczenie mocy dyspozycyjnej według (12) i (13) dla każdej godziny w roku pozwoliło na sporządzenie uporządkowanego wykresu mocy generowanej przez turbinę wiatrową (rys. 4). Na jej podstawie przyjęto dziewięciostanowy model niezawodnościowy rozpatrywanej turbiny w zakresie dostępności energii wiatru. Jego parametry zestawiono w tabeli 1. Prawdopodobieństwo wystąpienia danego stanu obliczono analogicznie do (9) i (10).



Rys. 4. Uporządkowany wykres mocy generowanej przez rozpatrywaną turbinę wiatrową

Tabela 1. Parametry modelu niezawodności produkcyjnej rozpatrywanej turbiny.

numer stanu	zdolność wytwórcza turbozespołu [kW]	częstość [h/rok]	prawdopodobieństwo
8	1000	89	0,0102
7	963	227	0,0259
6	874	381	0,0435
5	638	622	0,0710
4	378	819	0,0935
3	187	1311	0,1497
2	76	1598	0,1824
1	9	1754	0,2002
0	0	1959	0,2236

Dla czynników niezawodności konstrukcyjnej przyjęto dwustanowy model pracy, co oznacza, że element może być zdalny lub niezdatny do pracy. Prawdopodobieństwa znalezienia się elementów w tych stanach przyjęto arbitralnie ($p = 0,95, q = 0,05$), sugerując się publikowanymi opracowaniami [8].

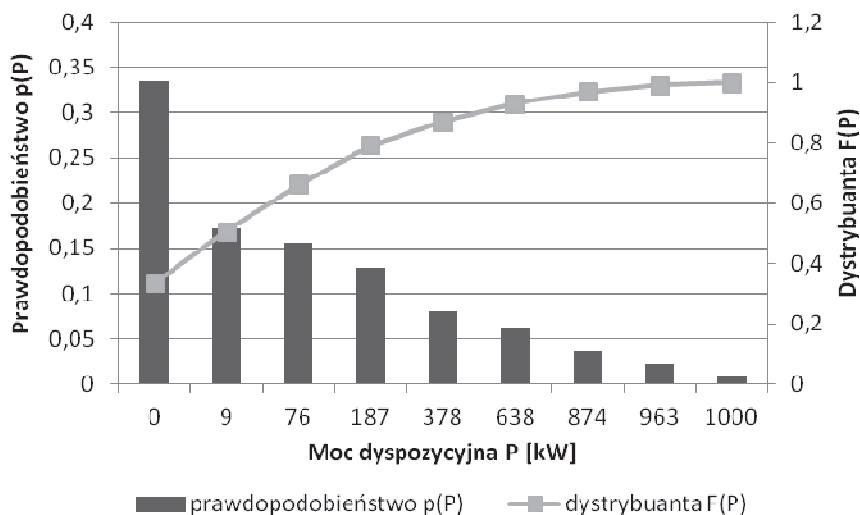
Na badany model turbozespołu wiatrowego składają się zatem 3 elementy dwustanowe oraz jeden element dziewięciostanowy. Oznacza to, że można otrzymać $2^3 \cdot 9^1 = 72$ kombinacji możliwych stanów pracy układu. Prawdopodobieństwa poszczególnych stanów określają człony iloczynu (14) przekształconego do postaci beznawiasowej:

$$(p_E + q_E) \cdot (p_M + q_M) \cdot (p_S + q_S) \cdot (p_{W1} + \dots + p_{W8} + q_W) = 1, \quad (14)$$

gdzie: p_E, p_M, p_S – prawdopodobieństwa zdalności do pracy elementów konstrukcyjnych turbiny (układu elektrycznego, układu mechanicznego, układu sterowania), q_E, q_M, q_S – prawdopodobieństwa niezdatności do pracy elementów konstrukcyjnych turbiny, $p_{W1} - p_{W8}$ – prawdopodobieństwa pracy turbiny w stanach 1–8 dostępności energii wiatrowej, q_W – prawdopodobieństwo niezdatności do pracy turbiny ze względu na brak odpowiednich warunków wiatrowych.

Przykładowo po przekształceniu (14) człon $p_E \cdot p_M \cdot p_S \cdot p_{W1}$ jest równy prawdopodobieństwu stanu, w którym wszystkie elementy konstrukcyjne są zdalne do pracy a warunki wiatrowe pozwalają na pracę turbiny z mocą 9 kW. Jeżeli przynajmniej jeden z elementów konstrukcyjnych jest niezdatny do pracy, to nawet przy dostępności energii pierwotnej moc wyjściowa turbozespołu będzie równa zero. Stąd, kombinacje możliwych stanów pracy, skutkujące tą samą wartością mocy wyjściowej, można połączyć w jeden stan, sumując ich prawdopodobieństwa.

Na rys. 5 przedstawiono rozkład prawdopodobieństwa i dystrybuantę mocy dyspozycyjnej rozpatrywanego turbozespołu dla przyjętej lokalizacji.



Rys. 5. Rozkład prawdopodobieństwa i dystrybuanta mocy dyspozycyjnej rozpatrywanego turbozespołu dla przyjętej lokalizacji

5. WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Uzyskany model niezawodnościowy stanowi punkt wyjścia do dalszych analiz niezawodnościowych. Może on zostać zaimplementowany w rozważaniach systemowych, związanych z badaniem wystarczalności generacji. Im większy i bardziej złożony system, tym mniej zasadne wydaje się odwzorowywanie pojedynczej turbiny za pomocą wielu stanów wykorzystania energii wiatru. Niemniej jednak, na poziomie lokalnym, rozpatrując klastery energii, działanie wirtualnej elektrowni lub mikro sieci, model pozwoli uniknąć niedoszacowania oceny niezawodności badanego systemu.

Zaproponowany model można rozszerzać o dodatkowe jednostki wytwórcze, np. silniki Diesla, elektrownię fotowoltaiczną, uzyskując hybrydowy system wytwórczy, czy strukturę generacji rozproszonej, pracującej w ramach klastra, wirtualnej elektrowni lub mikro sieci. Rozbudowując model należy wziąć pod uwagę, że modelowane jednostki mogą posiadać wspólne wyprowadzenie mocy.

Uzyskane wyniki silnie zależą od parametrów danego turbozespołu oraz lokalizacji. Każdy przypadek powinien być zatem indywidualnie rozpatrywany. Wadą metody dokładnej analitycznej jest duża ilość kombinacji do rozpatrzenia. W analizach niezawodnościowych systemów stosowane są inne narzędzia, np. metody: rekursywna, rozkładu normalnego, rozwinięcia w szereg Edgewortha, symulacyjna. Stosowane są także procesy Markowa i semi-Markowa [6].

Każda technologia generacji rozproszonej posiada własną specyfikę pracy, która powinna znaleźć odzwierciedlenie w modelach niezawodnościowych i metodologii wyznaczania wskaźników awaryjności i dyspozycyjności.

LITERATURA

- [1] Billewicz K., Smart grids: inteligentne sieci elektroenergetyczne. cz. I, IMD Anna Korba, Radom 2015.
- [2] Dane techniczne turbozespołu Leitwind LTW77 1000: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1649-leitwind-ltw77-1000> (dostęp: 16.01.2019 r.).
- [3] Gładyś H., Malta R., Praca elektrowni w systemie elektroenergetycznym, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
- [4] Marchel P., Paska J., Surma T., Odnawialne i rozproszone źródła energii a niezawodność systemu elektroenergetycznego, Zeszyt tematyczny Rynku Energii nr I (IX), 2014.
- [5] Parol M., Mikrosieci – przyszłościowe struktury sieci dystrybucyjnych, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, Nr 8/2016, s. 1–5.
- [6] Paska J., Niezawodność systemów elektroenergetycznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [7] Paska J., Rozproszone źródła energii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2017.
- [8] Paska J., Surma T., Niezawodność podzespołów elektrowni wiatrowych, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, Nr 4a/2012, s. 150–156.
- [9] Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków, Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju: <https://www.miiir.gov.pl/strony/zadania/budownictwo/charakterystyka-energetyczna-budynkow/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow-1/>, (dostęp 16.01.2018 r.).
- [10] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii.

DISPERSED GENERATION AND RELIABILITY

The article addresses the issue of determining the availability and failure indicators for dispersed generation sources, especially renewable energy sources. The reliability indicators of conventional generation units, commonly used in the national power system are presented. The trends in the development of distributed generation sources, emphasizing their impact on the operation of the power system in terms of reliability are discussed. A calculation example concerning the multi-state reliability model of a generation unit is shown. The computer programs supporting scientific and engineering calculations are used.

(Received: 24.01.2019, revised: 04.03.2019)