



Analiza wystarczalności zasobów wytwórczych
w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym
dla okresu X 2020 – XII 2021

Konstancin - Jeziorna, 7 października 2020 r.

Spis treści

1	Wprowadzenie.....	3
2	Prognoza zapotrzebowania na moc i energię elektryczną.....	3
3	Metodyka analiz bilansowych.....	4
3.1	Scenariusze lat klimatycznych.....	4
3.2	Wielkości zdolności wytwórczych.....	5
3.3	Profile pracy nJWCD.....	5
3.4	Profile pracy OZE.....	6
3.5	Wymiana transgraniczna.....	6
3.6	Probabilistyczne wskaźniki niezawodności KSE.....	6
4	Wyniki przeprowadzonych analiz.....	7
5	Podsumowanie.....	10
	Wykaz nazw, skrótów i oznaczeń.....	11

1 Wprowadzenie

Operator Systemu Przesyłowego (OSP) opracowuje analizy wystarczalności zasobów wytwórczych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE), stanowiące podstawę do oceny bezpieczeństwa dostarczania energii elektrycznej do odbiorców końcowych. W niniejszym dokumencie zostały przedstawione wyniki analizy wystarczalności dla okresu od października 2020 roku do grudnia 2021 roku. W analizie uwzględniono dane o dyspozycyjności krajowych źródeł wytwórczych według stanu na koniec września 2020 roku.

Przez wystarczalność zasobów wytwórczych rozumiana jest ich zdolność do pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną wraz z wymaganym poziomem rezerwy mocy. Parametrami opisującymi wystarczalność zasobów wytwórczych są probabilistyczne wskaźniki LOLE (*loss of load expectation*) oraz LOLP (*loss of load probability*).

W dokumencie przedstawiono założenia przyjęte do analizy, wyniki analizy oraz opis zastosowanych metod analitycznych. Analiza została wykonana z wykorzystaniem metodyki zgodnej z pan-europejskim podejściem do oceny wystarczalności generacji stosowanym przez ENTSO-E, rozszerzonym i rozwiniętym przez OSP w zakresie niezbędnym do uwzględnienia uwarunkowań krajowych.

W pierwszym kroku analiza została wykonana wyłącznie z uwzględnieniem krajowych zasobów wytwórczych. W kroku drugim uwzględniono moc dyspozycyjną połączeń transgranicznych, wyznaczając jej poziom niezbędny do spełnienia wskaźników wystarczalności.

Pomimo tego, że wyniki analizy bazują na metodzie probabilistycznej, to pozostają one wrażliwe na uwarunkowania otoczenia przyjmowane jako dane zdeterminowane, w tym przede wszystkim na:

- terminy oddawania do eksploatacji nowych jednostek wytwórczych,
- harmonogramy postojów remontowych jednostek wytwórczych,
- terminy oddawania do eksploatacji nowych źródeł OZE,
- techniczne i handlowe możliwości wykorzystywania mocy połączeń transgranicznych.

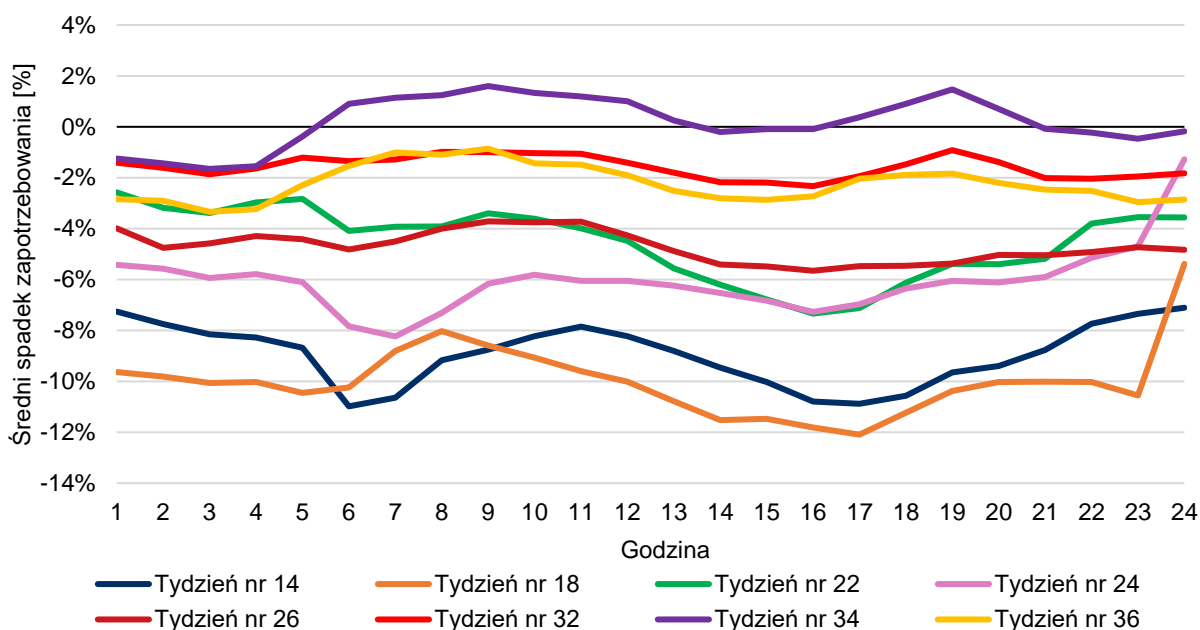
Z tego powodu ocena wystarczalności zasobów wytwórczych może być obciążona niedokładnościami, w szczególności dla dalszych okresów.

2 Prognoza zapotrzebowania na moc i energię elektryczną

Od 14 marca 2020 r. na obszarze Rzeczypospolitej Polskiej ogłoszono stan zagrożenia epidemicznego w związku z występującymi zakażeniami wirusem SARS-CoV-2. Wprowadzenie różnego rodzaju działań prewencyjnych w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się wirusa miało znaczący wpływ na poziom zapotrzebowania na moc i energię elektryczną w KSE.

W celu oszacowania wpływu tych działań na zapotrzebowanie, porównano opracowane wcześniej prognozy na rok 2020 z wykonaniem tego roku. Na Rysunku 1 dla poszczególnych godzin dni roboczych z wybranych tygodni 2020 roku, przedstawiono średni spadek zapotrzebowania w stosunku do wcześniej prognozowanego. Największy spadek zapotrzebowania przypada na okres obowiązywania najszerzych ograniczeń dla działalności gospodarczych, mających na celu spowolnienie pandemii, tj. na 14 - 18 tydzień 2020 r.

Rysunek 1. Średnia różnica zapotrzebowania w stosunku do prognozy w kolejnych godzinach doby w dniu roboczym.



Uwzględniając stosowaną obecnie w Polsce strategię przeciwdziałania zarażeniom, w ramach analizy założono, że nie będą już stosowane działania prewencyjne w postaci globalnych ograniczeń w funkcjonowaniu instytucji lub zakładów pracy, jakie miały miejsce od końca pierwszego kwartału 2020 r. Na tej podstawie oraz w związku z obserwowanym odbudowywaniem się krajowego zapotrzebowania przyjęto, że zapotrzebowanie na moc i energię elektryczną w 2021 roku będzie na poziomie prognozowanego przed okresem pandemii zapotrzebowania dla roku 2020, tj. 155 TWh netto. Dla czwartego kwartału 2020 roku przyjęto, że zapotrzebowanie nie przekroczy maksymalnych wartości, które wystąpiły w czwartych kwartałach lat 2018 i 2019.

3 Metodyka analiz bilansowych

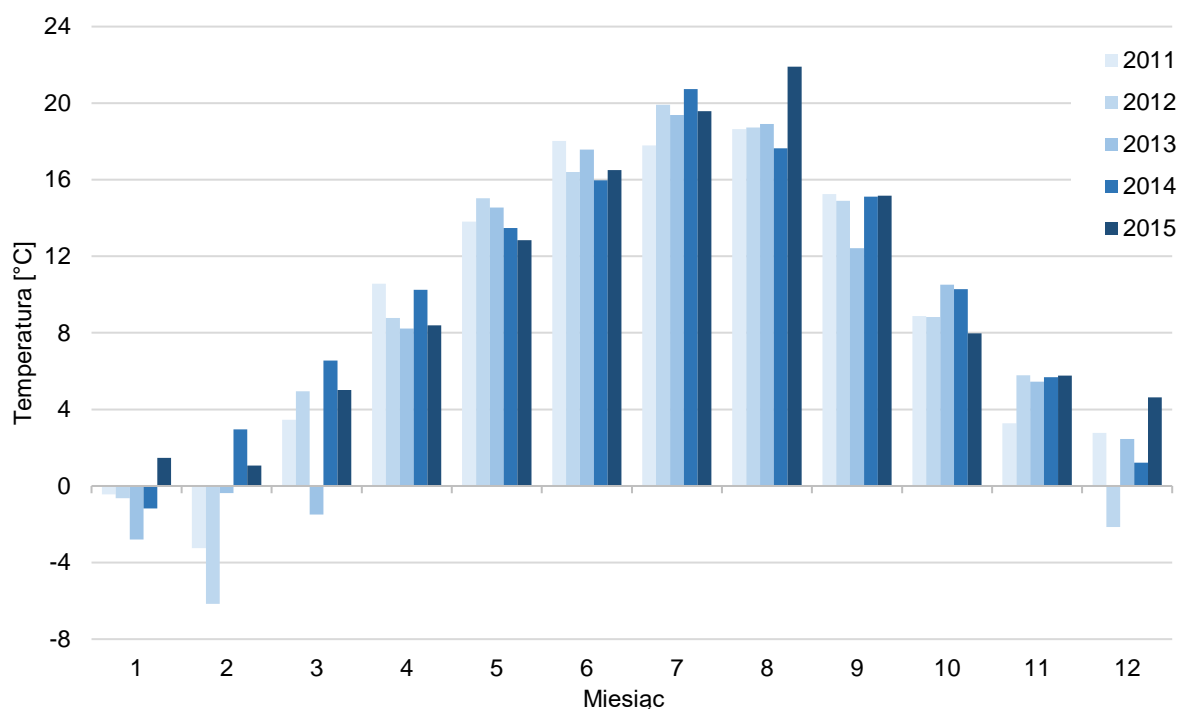
3.1 Scenariusze lat klimatycznych

Funkcjonowanie KSE, w tym bilans mocy, jest coraz bardziej zależny od zmienności warunków pogodowych. Aby wiarygodnie przewidzieć przyszłe uwarunkowania mające wpływ na sytuację bilansową w systemie, konieczne jest uwzględnienie danych obejmujących szeroki zakres zmienności warunków pogodowych, uwzględniający zarówno warunki normalne, jak i skrajne.

Wykonana analiza bazuje na obliczeniach dla lat klimatycznych. Podejście to jest stosowane m. in. przez ENTSO-E przy prowadzeniu analiz Mid-Term Adequacy Forecast (MAF) oraz Ten-Year Network Development Plan (TYNDP). Pozwala ono na odwzorowanie w przyszłych horyzontach czasu zmienności czynników pogodowych na podstawie obserwacji z lat ubiegłych. Każdy rok klimatyczny charakteryzuje się współzależnymi parametrami określającymi warunki hydrologiczne, wietrzne, nasłonecznienia i temperaturowe, co umożliwia ocenę pracy KSE z uwzględnieniem jednoczesności występowania różnych warunków pogodowych.

Na potrzeby analizy wykorzystano profile godzinowe lat klimatycznych 2011 - 2015. Lata te stanowią odpowiednią próbę z uwagi na ich istotne zróżnicowanie pod względem warunków pogodowych, w szczególności temperatur zimowych oraz letnich. W zakresie uwzględnianych lat klimatycznych najniższe średnie miesięczne temperatury wystąpiły w lutym 2012 roku, zaś najwyższe w sierpniu 2015 roku. Na Rysunku 2 przedstawiono wykres średnich miesięcznych temperatur w latach 2011 – 2015.

Rysunek 2. Średniomiesięczne wartości temperatury dla lat 2011-2015.



3.2 Wielkości zdolności wytwórczych

Wielkości zdolności wytwórczych w KSE zostały przyjęte na podstawie:

- informacji przekazanych przez przedsiębiorstwa wytwórcze na potrzeby sporządzania planów koordynacyjnych rocznych,
- przeprowadzonej w pierwszej połowie 2020 roku ankietyzacji krajowych przedsiębiorstw wytwórczych i inwestorów planujących budowę nowych jednostek wytwórczych,
- aktualnych informacji dotyczących terminów oddania do eksploatacji jednostek wytwórczych będących w trakcie budowy,
- aktualnych informacji dotyczących terminów trwałego odstawienia istniejących jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD),
- aktualnie obserwowanych trendów rozwoju źródeł OZE.

3.3 Profile pracy nJWCD

W analizach wykorzystano profile pracy nJWCD opracowane na podstawie dwóch źródeł: (i) danych OSP oraz (ii) informacji dostarczanych przez ARE.

Wartości współczynników wykorzystania mocy zainstalowanej dla nJWCD zawodowych zostały wyznaczone na podstawie danych historycznych generacji tych źródeł, pochodzących z systemów pomiarowych OSP. Wyznaczono krzywe termosensytywności opisujące relację obciążenia w funkcji temperatury. Dla każdego miesiąca w roku zastosowano odrębną krzywą termosensytywności, wyznaczoną na podstawie danych historycznych z lat 2011-2015.

Wartości współczynników wykorzystania mocy zainstalowanej dla pozostałych nJWCD opracowane zostały na podstawie danych udostępnionych przez ARE. Wykorzystano dane dotyczące współczynników dyspozycyjności nJWCD z lat 2011-2015, z podziałem na poszczególne rodzaje jednostek wytwórczych. Dane dostosowano do granulacji godzinowej modelu analiz, opracowując godzinowe charakterystyki pracy nJWCD dla poszczególnych lat klimatycznych.

3.4 Profile pracy OZE

W analizach uwzględniono godzinowe profile pracy źródeł wiatrowych (FW) i źródeł fotowoltaicznych (PV) opracowane na podstawie bazy danych ENTSO-E - Pan-European Climatic Database (PECD).

3.5 Wymiana transgraniczna

Podstawowe obliczenia wykonano bez uwzględnienia wolumenu mocy na połączeniach transgranicznych. Następnie, dla okresów deficytowych badano wpływ mocy dyspozycyjnej połączeń transgranicznych na poprawę bilansu mocy, i na tej podstawie wyznaczano poziom mocy na połączeniach transgranicznych w kierunku importu do Polski, niezbędny do spełnienia wymaganych wskaźników wystarczalności.

3.6 Probabilistyczne wskaźniki niezawodności KSE

W celu uwzględnienia awaryjności JWCD i związanego z tym prawdopodobieństwa niezbilansowania systemu elektroenergetycznego, wykorzystano model wyznaczania tabeli prawdopodobieństw stanów systemu (COPT - Capacity Outage Probability Table) oraz dystrybuanty mocy dyspozycyjnej.

Model ten uwzględnia aktualną na dany rok analizy liczbę i moc JWCD, i oblicza tabelę COPT, podstawowo dla 1 stycznia, 1 lipca, 1 września oraz dodatkowo dla każdego dnia, w którym następuje zmiana dostępnej mocy JWCD w KSE. Parametry niezawodnościowe, tj. wskaźniki FOR (Forced Outage Rate) określone zostały na podstawie danych historycznych dla poszczególnych JWCD.

Wynikiem modelu jest rozkład prawdopodobieństwa występowania określonych wielkości nieplanowych ubytków mocy JWCD. Na tej podstawie możliwa jest analiza niezawodności systemu wytwórczego, m.in. obliczenie parametrów niezawodnościowych LOLE i LOLP oraz wyznaczenie dystrybuanty mocy dyspozycyjnej.

Ocena niezawodności KSE odnosi się do liczby i mocy źródeł wytwórczych pokrywających zapotrzebowanie na moc w zadanym okresie. W celu określenia poziomu niezawodności wyznaczone zostały następujące wskaźniki:

a) LOLP

Parametr, który określa prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji, w której zapotrzebowanie przekroczy zdolność wytwórczą systemu w zadanym okresie:

$$LOLP(Z_k) = P \{P_{dys} < Z_k\}$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji, gdzie całkowita zdolność wytwórcza systemu jest mniejsza od zapotrzebowania,

P_{dys} – moc dyspozycyjna systemu,

Z_k – zapotrzebowanie na energię elektryczną powiększone o wymaganą rezerwę zdolności wytwórczych na potrzeby spełnienia standardu bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do odbiorców końcowych; rezerwa zdolności wytwórczych jest równa 120% zdolności wytwórczych największej dostępnej JWCD.

b) LOLE

Parametr, który określa sumaryczną liczbę godzin w zadanym okresie, gdy zdolności wytwórcze nie zapewniają pokrycia zapotrzebowania w systemie elektroenergetycznym (LOLE jest wartością oczekiwaną sumy czasów trwania deficytów mocy w analizowanym okresie):

$$LOLE = \sum_{k=1}^a \Delta t_k LOLP(Z_k)$$

gdzie:

a – koniec rozpatrywanego okresu,

Δt_k – czas trwania stałej wartości obciążenia (1 godzina).

4 Wyniki przeprowadzonych analiz

W Tabeli 1 przedstawiono wyniki przeprowadzonej analizy wystarczalności zasobów wytwórczych przy założeniu niedostępności dodatkowej mocy pochodzącej z importu na połączeniach transgranicznych.

Dla okresu X 2020 – XII 2021 wyznaczono miesięczne wartości probabilistycznych wskaźników wystarczalności zasobów wytwórczych LOLE oraz maksymalne wartości wskaźnika LOLP (max LOLP). Za spełniające standard bezpieczeństwa dla analizowanego horyzontu uznaje się wartość LOLE mniejszą bądź równą 3 godziny na rok (0,25 h/miesiąc). Ponadto, w celu unikania kumulacji oraz wysokiej wartości prawdopodobieństwa niezbilansowania KSE w krótkich okresach, wymaga się aby wartość wskaźnika LOLP nie przekraczała 1%.

Tabela 1. Wartości wskaźników LOLE oraz max LOLP w podziale na miesiące w zależności od roku klimatycznego (CY) bez uwzględnienia wolumenu dostępnego importu mocy na połączeniach transgranicznych.

Nr miesiąca	2020			2021											
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LOLE															
CY 2011	9,82	7,44	0,01	0,05	0,31	0,33	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,05	0,03	0,08	0,00
CY 2012	28,96	5,65	3,14	0,12	3,92	0,07	0,03	0,01	0,00	0,04	0,02	0,05	0,12	0,03	0,02
CY 2013	17,17	11,65	0,33	0,64	0,17	1,39	0,07	0,00	0,02	0,03	0,01	0,08	0,22	0,14	0,00
CY 2014	15,25	6,10	0,85	0,32	0,05	0,38	0,12	0,01	0,01	0,05	0,01	0,02	0,09	0,10	0,01
CY 2015	30,51	3,87	0,02	0,07	0,07	0,25	0,01	0,01	0,00	0,04	0,11	0,07	0,13	0,04	0,00
max LOLP															
CY 2011	0,32	0,12	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
CY 2012	0,58	0,24	0,12	0,01	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CY 2013	0,36	0,35	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
CY 2014	0,25	0,12	0,07	0,03	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CY 2015	0,59	0,15	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00

W wyniku przeprowadzonej analizy zidentyfikowane zostało ryzyko niewystarczalności zasobów wytwórczych w odniesieniu do wszystkich analizowanych lat klimatycznych. Przekroczenia wskaźników LOLE występują w okresie od października 2020 roku do marca 2021 roku. W okresie tym również wskaźnik max LOLP przekracza wartość 1%. W celu zbadania wrażliwości wskaźnika LOLP na dodatkową moc pochodzącą z importu na połączeniach transgranicznych, wykonano obliczenia dla podokresów: X-XII 2020 roku oraz całego 2021 roku. Wyniki obliczeń przedstawiono w Tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Liczba godzin, w których wskaźnik LOLP przekracza 1% oraz wartość wskaźnika max LOLP, w zależności od wolumenu dodatkowej mocy dla okresu X-XII 2020 r.

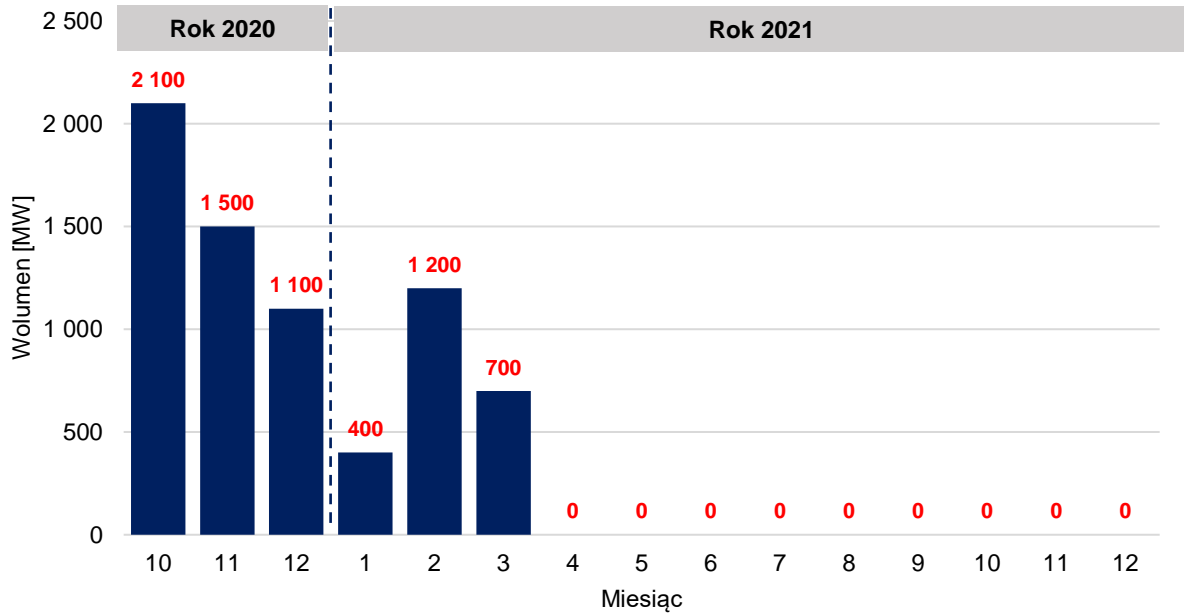
Liczba godzin, w których wskaźnik LOLP przekracza 1%						Wolumen dodatkowej mocy [MW]	Wskaźnik max LOLP					
330	407	413	435	340	385	Brak	31,79 %	58,30 %	35,85 %	25,54 %	59,11 %	41,92 %
272	326	353	366	282	320	+200	23,16 %	46,78 %	26,49 %	17,29 %	47,61 %	32,26 %
204	268	302	253	229	251	+400	16,19 %	35,98 %	18,86 %	11,77 %	36,80 %	23,92 %
126	201	220	161	164	174	+600	10,93 %	26,62 %	12,94 %	7,74 %	27,29 %	17,10 %
59	139	153	88	126	113	+800	7,12 %	18,93 %	8,55 %	4,92 %	19,48 %	11,80 %
19	90	87	41	88	65	+1 000	4,51 %	12,97 %	5,50 %	3,02 %	13,41 %	7,88 %
14	65	28	8	55	34	+1 200	2,75 %	8,57 %	3,39 %	1,80 %	8,88 %	5,08 %
5	40	5	1	39	18	+1 400	1,63 %	5,50 %	2,03 %	1,04 %	5,73 %	3,19 %
3	38	3	0	34	16	+1 500	1,24 %	4,35 %	1,56 %	0,78 %	4,52 %	2,49 %
0	32	2	0	27	12	+1 600	0,94 %	3,40 %	1,18 %	0,59 %	3,55 %	1,93 %
0	21	0	0	21	8	+1 700	0,70 %	2,65 %	0,89 %	0,44 %	2,77 %	1,49 %
0	9	0	0	16	5	+1 800	0,52 %	2,04 %	0,67 %	0,32 %	2,13 %	1,14 %
0	6	0	0	7	3	+1 900	0,38 %	1,56 %	0,50 %	0,23 %	1,63 %	0,86 %
0	1	0	0	3	1	+2 000	0,28 %	1,19 %	0,38 %	0,17 %	1,24 %	0,65 %
0	0	0	0	0	0	+2 100	0,20 %	0,90 %	0,28 %	0,12 %	0,94 %	0,49 %
CY 2011	CY 2012	CY 2013	CY 2014	CY 2015	Średnia CY11-15		CY 2011	CY 2012	CY 2013	CY 2014	CY 2015	Średnia CY11-15

Tabela 3. Liczba godzin, w których wskaźnik LOLP przekracza 1% oraz wartość wskaźnika max LOLP, w zależności od wolumenu dodatkowej mocy dla 2021 r.

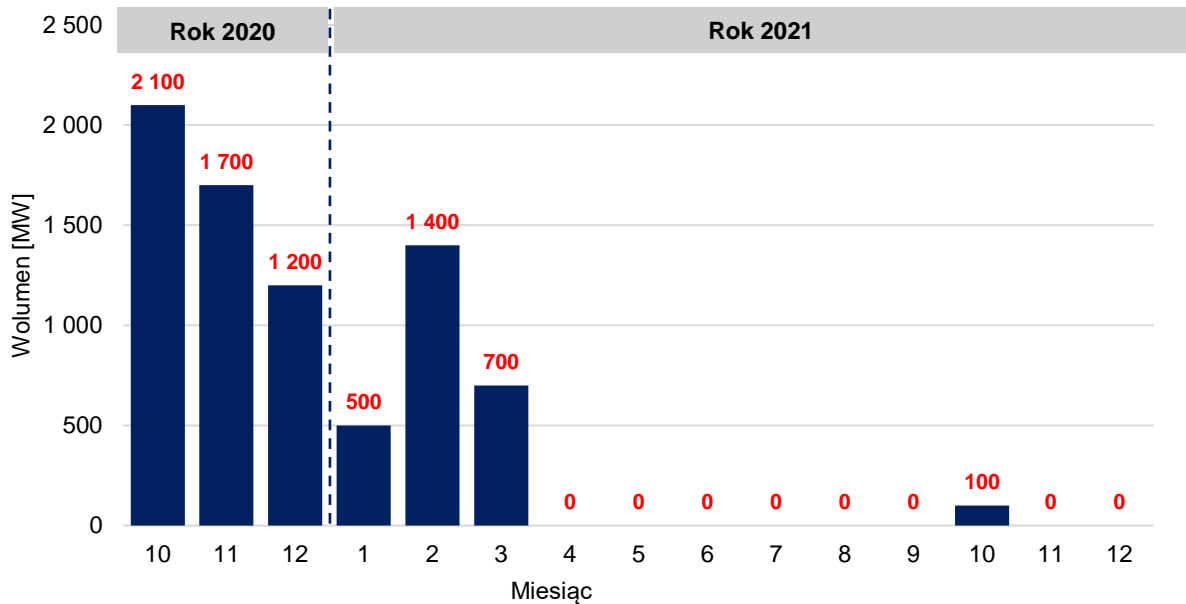
Liczba godzin, w których wskaźnik LOLP przekracza 1%						Wolumen dodatkowej mocy [MW]	Wskaźnik max LOLP					
21	67	77	18	3	37	Brak	2,07 %	20,73 %	4,59 %	2,52 %	2,09 %	6,40 %
9	60	60	12	2	29	+100	1,62 %	17,53 %	3,67 %	1,97 %	1,63 %	5,28 %
4	54	43	5	1	21	+200	1,26 %	14,66 %	2,90 %	1,54 %	1,26 %	4,33 %
0	48	30	1	0	16	+300	0,98 %	12,19 %	2,27 %	1,20 %	0,98 %	3,52 %
0	43	15	0	0	12	+400	0,74 %	10,06 %	1,78 %	0,93 %	0,75 %	2,85 %
0	36	7	0	0	9	+500	0,57 %	8,25 %	1,38 %	0,71 %	0,58 %	2,30 %
0	29	1	0	0	6	+600	0,43 %	6,71 %	1,07 %	0,55 %	0,43 %	1,84 %
0	26	0	0	0	5	+700	0,32 %	5,42 %	0,82 %	0,41 %	0,32 %	1,46 %
0	22	0	0	0	4	+800	0,24 %	4,35 %	0,63 %	0,31 %	0,24 %	1,15 %
0	14	0	0	0	3	+900	0,18 %	3,45 %	0,48 %	0,23 %	0,18 %	0,90 %
0	11	0	0	0	2	+1 000	0,13 %	2,72 %	0,36 %	0,17 %	0,13 %	0,70 %
0	7	0	0	0	1	+1 100	0,10 %	2,13 %	0,27 %	0,13 %	0,10 %	0,54 %
0	3	0	0	0	1	+1 200	0,07 %	1,65 %	0,20 %	0,10 %	0,07 %	0,42 %
0	1	0	0	0	0	+1 300	0,05 %	1,28 %	0,15 %	0,07 %	0,05 %	0,32 %
0	0	0	0	0	0	+1 400	0,04 %	0,97 %	0,11 %	0,05 %	0,04 %	0,24 %
CY 2011	CY 2012	CY 2013	CY 2014	CY 2015	Średnia CY11-15		CY 2011	CY 2012	CY 2013	CY 2014	CY 2015	Średnia CY11-15

Na podstawie uzyskanych wyników, dla rozpatrywanego okresu wyznaczono maksymalny wolumen dodatkowej mocy pochodzącej z importu na połączeniach transgranicznych, wymagany dla zapewnienia wartości wskaźnika LOLE na poziomie nie większym niż 0,25 h/miesiąc [Rysunek 3] oraz wartości wskaźnika LOLP poniżej 1% [Rysunek 4].

Rysunek 3. Wolumen dodatkowej mocy w celu zapewnienia wartości wskaźnika LOLE na poziomie nie większym niż 0,25 h/miesiąc.



Rysunek 4. Wolumen dodatkowej mocy w celu zapewnienia wartości wskaźnika LOLP nie większego niż 1%.



5 Podsumowanie

Analiza wystarczalności krajowych zasobów wytwórczych dla okresu od października 2020 r. do grudnia 2021 r. wykazała, że wartości wskaźników LOLE oraz max LOLP przekraczają dopuszczalny poziom standardu bezpieczeństwa pracy KSE. Do spełnienia standardu bezpieczeństwa jest wymagany dostęp do dodatkowego wolumenu mocy dyspozycyjnej na połączeniach transgranicznych, w kierunku importu do Polski.

Dla zapewnienia wartości miesięcznego wskaźnika LOLE w zakresie każdego z pięciu lat klimatycznych na poziomie nie większym niż 0,25 godziny, wymagany jest dodatkowy wolumen mocy dyspozycyjnej na połączeniach transgranicznych w wysokości:

- **2 100 MW** dla okresu październik-grudzień 2020 roku,
- **1 200 MW** dla 2021 roku.

Dla zapewnienia wartości wskaźnika max LOLP na poziomie nie większym niż 1% w zakresie każdego z pięciu lat klimatycznych, wymagany jest dodatkowy wolumen mocy dyspozycyjnej na połączeniach transgranicznych w wysokości:

- **2 100 MW¹** dla okresu październik-grudzień 2020 roku,
- **1 400 MW²** dla 2021 roku.

W związku z tym do spełnienia standardów bezpieczeństwa pracy KSE w analizowanym okresie, poza utrzymywaniem wysokich wskaźników dyspozycyjności krajowych źródeł wytwórczych, jest wymagany dodatkowy wolumen mocy dyspozycyjnej na połączeniach transgranicznych, w kierunku importu do Polski.

¹ Wartość maksymalna wyznaczona dla lat klimatycznych 2012 i 2015. W pozostałych latach klimatycznych wartość ta waha się w przedziale od 1 500 MW do 1 700 MW.

² Wartość maksymalna wyznaczona dla roku klimatycznego 2012. W pozostałych latach klimatycznych wartość ta waha się w przedziale od 300 MW do 700 MW.

Wykaz nazw, skrótów i oznaczeń

ARE	Agencja Rynku Energii S.A.
ENTSO-E	(ang. European Network of Transmission System Operators for Electricity) – Stowarzyszenie Europejskich Operatorów Systemów Przesyłowych Energii Elektrycznej
FW	Łądowa elektrownia wiatrowa
JWCD	Jednostka Wytwórcza Centralnie Dysponowana
nJWCD	Jednostka Wytwórcza nie będąca Centralnie Dysponowaną
KSE	Krajowy System Elektroenergetyczny
LOLE	(ang. Loss of Load Expectation) – oczekiwany sumaryczny czas trwania deficytów mocy w rozpatrywanym okresie
LOLP	(ang. Loss of Load Probability) – prawdopodobieństwo wystąpienia deficytu mocy w rozpatrywanym okresie
MAF	(ang. Mid-Term Adequacy Forecast) – średnioterminowa prognoza wystarczalności generacji
OSP	Operator systemu przesyłowego
OZE	Odnawialne źródła energii
PSE S.A.	Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.
PV	(ang. Photovoltaic) – instalacja fotowoltaiczna
TYNDP	(ang. Ten-Year Network Development Plan) – Dziesięcioletni plan rozwoju sieci o zasięgu wspólnotowym