BILANSOWANIE KSE Z UDZIAŁEM PROCESU REGULACJI PIERWOTNEJ PO WYPADNIĘCIU ŹRÓDEŁ GENERACJI ROZPROSZONEJ CZĘŚĆ II: SYNCHRONICZNA PRACA KSE Z UCTE

mgr inż. Krzysztof Dobrzyński / Politechnika Gdańska

Artykuł na podstawie opracowania wykonanego w ramach Projektu Badawczego Zamawianego nr PBZ-MEiN-1/2/2006 „Bezpieczeństwo Elektroenergetyczne Kraju”

1. WSTĘP

Niniejszy artykuł jest kontynuacją tematu, w którym rozważa się bilansowanie mocy czynnej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) po wypadnięciu źródeł generacji rozproszonej, przy czym w tym przypadku analizowany jest KSE synchronicznie pracujący z UCTE.

Powiązanie systemów elektroenergetycznych krajów europejskich w ramach UCTE z jednej strony ma na celu zwiększenie bezpieczeństwa wspólnie pracujących systemów, z drugiej zaś strony możliwość komercyjnej wymiany energii elektrycznej. Wymiana mocy KSE z powiązanymi systemami określona jest stosownymi umowami między operatorami. Umowy te ustalają poziom mocy wymiany na poszczególnych połączeniach transgranicznych. Duże nasycenie źródłami generacji rozproszonej, takimi jak farmy wiatrowe, które w znacznym stopniu uzależnione są od pogody, niesie ze sobą pewne problemy. Jednym z nich jest pewne prawdopodobieństwo wypadnięcia takich źródeł, na przykład z powodu zbyt dużego wiatru. Ubytek generowanej w systemie mocy w pierwszych kilku minutach będzie musiał zostać uzupełniony przez jednostki wytwórcze, pracujące w ramach regulacji pierwotnej. W przypadku synchronicznej pracy KSE z UCTE również jednostki pracujące w innych systemach będą brały udział w procesie regulacji, wpływając w ten sposób na moc płynącą w połączeniach transgranicznych.

2. MODEL KSE ORAZ ROZMIESZCZENIE ŹRÓDEŁ GENERACJI ROZPROSZONEJ

Założenia rozmieszczenia źródeł generacji rozproszonej i ich mocy pozostały niezmienione w porównaniu z Częścią I artykułu. Zatem do KSE przyłączono 130 farm wiatrowych o zróżnicowanej mocy znamionowej (sumaryczna moc zainstalowana w farmach to 6593 MW), przy czym przeważająca liczba źródeł została przyłączona w nadmorskim pasie północnej Polski.

Wymiana transgraniczna charakteryzuje się następującym importem mocy na przekroju zachodnim (niemieckim):

- do stacji Krajnik: 496,8 MW
- do stacji Mikułowa: 430,2 MW

oraz następującym eksportem na przekroju południowym:

- ze stacji Dobrzeń: 383,6 MW
- ze stacji Wielopole: 667,1 MW

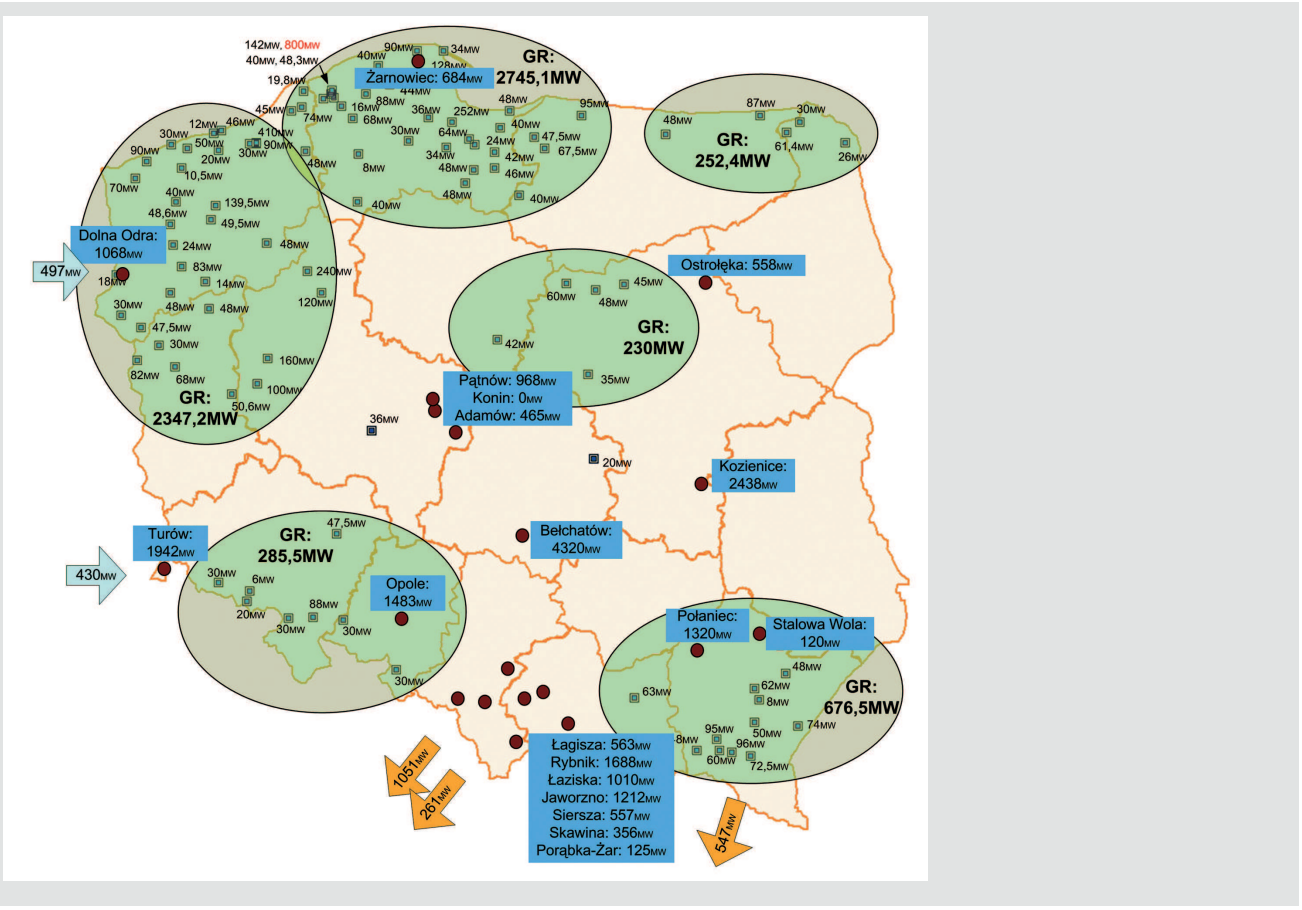
Streszczenie

Artykuł jest kontynuacją tematu o takim samym tytule, przy czym rozważana jest w nim praca synchroniczna KSE z UCTE. W artykule tym analizuje się proces bilansowania mocy po wypadnięciu źródeł generacji rozproszonej w ramach regulacji pierwotnej, w której biorą udział bloki wytwórcze w całym UCTE.

- ze stacji Kopanina: 156,5 MW
- ze stacji Bujaków: 104,7 MW
- ze stacji Krosno-Iskrzynia: –547,4 MW.

Sumarycznie KSE eksportuje moc na poziomie ok. 932 MW.

Na rys. 1 przedstawiono rozlokowanie źródeł generacji rozproszonej oraz wyodrębniono obszary charakteryzujące się dużym nasyceniem tych źródeł. Ponadto zamieszczono wartości mocy wytwarzane w poszczególnych elektrowniach systemowych oraz moce na połączeniach transgranicznych (analizy przeprowadzono bez wymiany mocy łączem prądu stałego ze Szwecją).



Rys. 1. Moce zainstalowane w farmach wiatrowych, moce wytwarzane w elektrowniach systemowych oraz moce na połączeniach transgranicznych. Stan wyjściowy

3. PRZYJĘTE WARIANTY WYPADNIĘĆ ŹRÓDEŁ GENERACJI ROZPROSZONEJ

W analizach dotyczących KSE synchronicznie współpracującego z UCTE uwzględniono te same warianty procentowego udziału farm wiatrowych w całościowej generacji mocy jak w Części I. Zmianie uległy jedynie wartości mocy odpowiadające poszczególnym procentowym udziałom[1]:

- W20 – moc wytwarzana w farmach wiatrowych stanowi 20% mocy wytwarzanej w systemie i jest równa 5414 MW[2] (ok. 82% mocy wytwarzanej w farmach)
- W15 – moc wytwarzana w farmach wiatrowych stanowi 15% mocy wytwarzanej w systemie i jest równa 4061 MW (ok. 62% mocy wytwarzanej w farmach)
- W10 – moc wytwarzana w farmach wiatrowych stanowi 10% mocy wytwarzanej w systemie i jest równa 2707 MW (ok. 41% mocy wytwarzanej w farmach)
- W5 – moc wytwarzana w farmach wiatrowych stanowi 5% mocy wytwarzanej w systemie i jest równa 1354 MW (ok. 21% mocy wytwarzanej w farmach).

1 Zmiana wynika z faktu, że w przypadku samodzielnej pracy KSE wyłączono wybrane bloki w celu zbilansowania mocy eksportowanej podczas synchronicznej pracy KSE z UCTE.

2 Moc generowana w KSE przed przyłączeniem farm wiatrowych wynosi 27 072 MW.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wartość mocy na połączeniach transgranicznych zmienia się w zależności od poziomu mocy generowanej przez farmy wiatrowe (tab. 1). Największą zmianę obserwuje się na połączeniu Krajnik – Vierraden, gdzie dla wariantu W20 zmiana mocy w porównaniu z modelem wyjściowym jest na poziomie ok. 758 MW. Spowodowane jest to bliskością połączenia z obszarem, na którym w dużej liczbie występują farmy wiatrowe. Z kolei najmniejsza zmiana mocy występuje na południu Polski, na dwutorowej linii Krosno-Iskrzynia – Lemieszany.

Tab. 1. Zmiany mocy na liniach transgranicznych w poszczególnych wariantach

Stacja w KSE	Stacja poza KSE	Wyjściowy[3]	W5	W10	W15	W20
			Zmiana o ⊿P			
		[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]
Bujaków	Liskowiec	105 (eksport)	-15[4]	-39	-67	-89
Dobrzeń	Albrechtice	384 (eksport)	-35	-36	-23	-20
Kopanina	Liskowiec	156 (eksport)	-17	-50	-67	-107
Wielopole	Noszowice	667 (eksport)	-46	-132	-157	-225
Krajnik (Tor I)	Vierraden (Tor I)	248 (import)	-119	-217	-264	-379
Krajnik (Tor II)	Vierraden (Tor II)	248 (import)	-119	-217	-264	-379
Mikułowa (Tor I)	Hagenwerder (Tor I)	218 (import)	+49	+61	+71	+133
Mikułowa (Tor II)	Hagenwerder (Tor II)	212 (import)	+47	+58	+44	+128
Krosno-Iskrzynia (Tor I)	Lemieszany (Tor I)	274 (eksport)	-6	-11	-18	-9
Krosno-Iskrzynia (Tor II)	Lemieszany (Tor II)	274 (eksport)	-6	-11	-18	-9

W przypadku pracy synchronicznej KSE z UCTE nie ulegają również zmianie warianty wypadnięć źródeł generacji rozproszonej. Moce wyłączane w analizowanych wariantach zestawiono w tab. 2.

Tab. 2. Moce wyłączane w farmach wiatrowych w poszczególnych wariantach obliczeń [MW]

	Warianty wyłączeń farm wiatrowych								
	25%			50%			75%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
W5	344	273	330	610	698	596	907	959	926
W10	688	546	660	1220	1396	1192	1814	1918	1852
W15	1031	820	991	1829	2095	1788	2720	2877	2778
W20	1375	1093	1321	2439	2793	2384	3627	3836	3704

3 Wyjściowy oznacza model KSE bez przyłączonych farm wiatrowych.

4 Znak (-) oznacza zmniejszenie mocy w stosunku do wartości otrzymanej dla modelu wyjściowego (bez przyłączonych farm wiatrowych).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4. WYNIKI PRZEPROWADZONYCH ANALIZ

4.1. ZMIANA MOCY W ELEKTROWNIACH KONWENCJONALNYCH, BIORĄCYCH UDZIAŁ W REGULACJI PIERWOTNEJ PO WYPADNIĘCIU ŹRÓDEŁ GENERACJI ROZPROSZONEJ

Synchroniczna praca KSE z UCTE z jednej strony daje możliwość wymiany energii elektrycznej między systemami, z drugiej zaś zwiększa bezpieczeństwo pracy połączonych systemów. Sposób reakcji na powstałe zaburzenie w danym systemie wszystkich połączonych systemów jest podobny. W pierwszych kilku minutach powstała odchyłka mocy eliminowana jest przez bloki pracujące w ramach regulacji pierwotnej. Wspólna praca synchroniczna wielu systemów zwiększa znacząco moc dostępną w ramach regulacji pierwotnej (w porównaniu z pojedynczym systemem). Jednak pewnym ograniczeniem są tu połączenia transgraniczne, których liczba oraz przepustowość znacząco wpływa na wartość mocy, która może zostać wyregulowana w danym systemie.

W analizach wykonanych dla pracy synchronicznej KSE z UCTE zastosowano model turbiny uwzględniający regulację pierwotną [3], przy czym zastosowano go w wybranych blokach KSE (te same bloki jak w Części I) oraz w wybranych generatorach w pozostałych systemach UCTE.

Przyjęto czas symulacji po wystąpieniu zakłócenia wynoszący 5 min. Długość tego czasu jest wystarczająca do osiągnięcia stanu ustalonego w systemie. W tab. 3 zamieszczono przykładowe wyniki otrzymane dla poszczególnych wariantów obliczeń, przy czym podobnie jak w Części I zestawia się tu następujące wielkości:

- ΣP_{FW} – suma mocy czynnej wyłączanej w farmach wiatrowych w danym wariancie
- $\Sigma \Delta P_{GS}$ – suma mocy czynnej dodatkowo wygenerowanej przez elektrownie konwencjonalne w KSE, biorące udział w regulacji pierwotnej po wyłączeniu wybranych farm wiatrowych o mocy ΣP_{FW}
- Δf – odchyłka częstotliwości w systemie po zaburzeniu i osiągnięciu stanu ustalonego.

Tab. 3. Zestawienie mocy generowanej w ramach regulacji pierwotnej ($\Sigma \Delta P_{GS}$) w elektrowniach systemowych KSE oraz odchyłka częstotliwości w systemie (Δf) jako odpowiedź na wyłączenie danej mocy w farmach wiatrowych (ΣP_{FW}) w poszczególnych wariantach

		25%			50%			75%		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
W5	ΣP_{FW} [MW]	344	273	330	610	698	596	907	959	926
	$\Sigma \Delta P_{GS}$ [MW]	124	113	124	230	228	219	322	321	325
	Δf [Hz]	-0,029	-0,027	-0,028	-0,043	-0,042	-0,041	-0,055	-0,055	-0,056
W10	ΣP_{FW} [MW]	688	546	660	1220	1396	1192	1814	1918	1852
	$\Sigma \Delta P_{GS}$ [MW]	239	209	236	477	471	456	684	692	688
	Δf [Hz]	-0,044	-0,039	-0,043	-0,078	-0,077	-0,075	-0,107	-0,108	-0,108
W15	ΣP_{FW} [MW]	1031	820	991	1829	2094	1788	2721	2877	2778
	$\Sigma \Delta P_{GS}$ [MW]	292,21	253,29	287,55	609,66	602,68	582,77	–	–	–
	Δf [Hz]	-0,059	-0,052	-0,058	-0,112	-0,110	-0,107	–	–	–
W20	ΣP_{FW} [MW]	1375	1093	1321	2440	2792	2384	3628	3836	3704
	$\Sigma \Delta P_{GS}$ [MW]	353,65	312,59	349,54	749,11	737,72	713,93	–	–	–
	Δf [Hz]	-0,068	-0,061	-0,067	-0,135	-0,133	-0,129	–	–	–

Z otrzymanych danych wynika, że w przypadku 6 wariantów wypadnięcia źródeł generacji rozproszonej system traci stabilność. Wszystkie te warianty dotyczą jednoczesnego wyłączania dużych mocy.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Z założeń pracy UCTE wynika, że nagłe wyłączenie mocy 3000 MW nie jest traktowane w kategoriach awarii, a jedynie zaburzenia. Zatem wyłączenie mocy o takiej wartości nie powinno powodować utraty stabilności przez połączone systemy. W rozważanym modelu UCTE wartością graniczną mocy wyłączanej jest ok. 2700 MW. Mniejsza wartość mocy wynika ze sposobu odwzorowania UCTE w modelu, który z powodu rozległości systemu zawiera wiele uproszczeń (systemy poza KSE odwzorowane są ekwiwalentami).

Należy zauważyć, że graniczna wartość mocy możliwa do wyłączenia nie jest ściśle określona i w pewnej mierze zależy od rozmieszczenia wyłączanych źródeł oraz ich mocy. Wniosek taki można wysnuć z faktu, że po wyłączeniu farm wiatrowych z sumaryczną mocą 2792 MW w wariancie W20 50% B system utrzymuje stabilność, gdzie w wariancie W15 75% A i W15 75% B mniejsza moc (odpowiednio 2721 MW i 2778 MW) powoduje już utratę stabilności.

Statyczna odchyłka częstotliwości w zależności od wariantu kształtuje się na poziomie od ok. –29 mHz do ok. –135 mHz. W żadnym wariancie nie jest zatem przekroczona przyjęta w UCTE dopuszczalna maksymalna odchyłka częstotliwości (±180 mHz).

4.2. ZMIANA OBCIĄŻENIA ELEMENTÓW SIECI PO WYPADNIĘCIU ŹRÓDEŁ GENERACJI ROZPROSZONEJ

Analizę wpływu wypadnięcia źródeł generacji rozproszonej na linie elektroenergetyczne można podzielić ze względu na poziomy napięć, a co za tym idzie – na linie, które zarządzane są przez zakłady energetyczne (sieci 110 kV) oraz przez operatora przesyłowego (sieci NN). W przypadku sieci 110 kV skupiono się na liniach łączących poszczególne zakłady energetyczne (ZE). W tab. 4 zestawiono dla wszystkich wariantów liczbę linii łączących poszczególne ZE, w których na skutek wyłączenia źródeł generacji rozproszonej następuje zmiana obciążenia nie mniej niż o 10%. W tabeli uwzględniono również linie sieci przesyłowej.

Tab. 4. Liczba linii (110 kV i NN) łączących ZE, w których obciążenie zmienia się o ≥±10%. W nawiasie – pierwsza pozycja: zwiększenie obciążenia, druga pozycja: zmniejszenie obciążenia

	25%			50%			75%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
W5	0	0	0	2 (1, 1)	5 (4, 1)	6 (5, 1)	11 (8, 3)	7 (4, 3)	10 (8, 2)
W10	8 (3, 5)	5 (3, 2)	5 (2, 3)	26 (13, 13)	19 (9, 10)	23 (10, 13)	50 (35, 15)	44 (30, 14)	57 (40, 17)
W15	14 (4, 10)	13 (7, 6)	12 (2, 10)	46 (26, 20)	36 (16, 20)	43 (23, 20)	–	–	–
W20	16 (5, 11)	14 (8, 6)	21 (3, 18)	57 (26, 31)	48 (21, 27)	52 (27, 25)	–	–	–

Na podstawie wyników zamieszczonych w tab. 4 trudno jednoznacznie stwierdzić, że wyłączenie określonego poziomu mocy powoduje przewagę linii dociążanych nad odciążanymi lub odwrotnie. Wynika to z faktu, że w wykorzystywaniu źródeł rozproszonych duże znaczenie ma rozmieszczenie tych źródeł w systemie, a co za tym idzie – odległość (w sensie elektrycznym) wyłączanego źródła (źródeł) od danej linii łączącej poszczególne ZE.

Podobne zestawienie jak dla linii łączących poszczególne zakłady energetyczne wykonano również dla transformatorów sieciowych oraz zamieszczono je w tab. 5. Z tabeli tej wynika, że w tym przypadku znacznie większa jest liczba transformatorów dociążanych ≥10%.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tab. 5. Liczba transformatorów sieciowych, w których obciążenie zmienia się o ≥±10%. W nawiasie – pierwsza pozycja: zwiększenie obciążenia, druga pozycja: zmniejszenie obciążenia

	25%			50%			75%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
W5	1 (1, 0)	1 (1, 0)	0	4 (4, 0)	6 (6, 0)	4 (4, 0)	15 (15, 0)	15 (15, 0)	14 (14, 0)
W10	4 (4, 0)	2 (2, 0)	2 (2, 0)	17 (17, 0)	16 (16, 0)	14 (14, 0)	28 (24, 4)	23 (18, 5)	27 (22, 5)
W15	7 (4, 3)	5 (4, 1)	3 (2, 1)	26 (17, 9)	21 (14, 7)	21 (15, 6)	–	–	–
W20	12 (5, 7)	8 (5, 3)	11 (3, 8)	33 (17, 16)	33 (16, 17)	31 (16, 15)	–	–	–

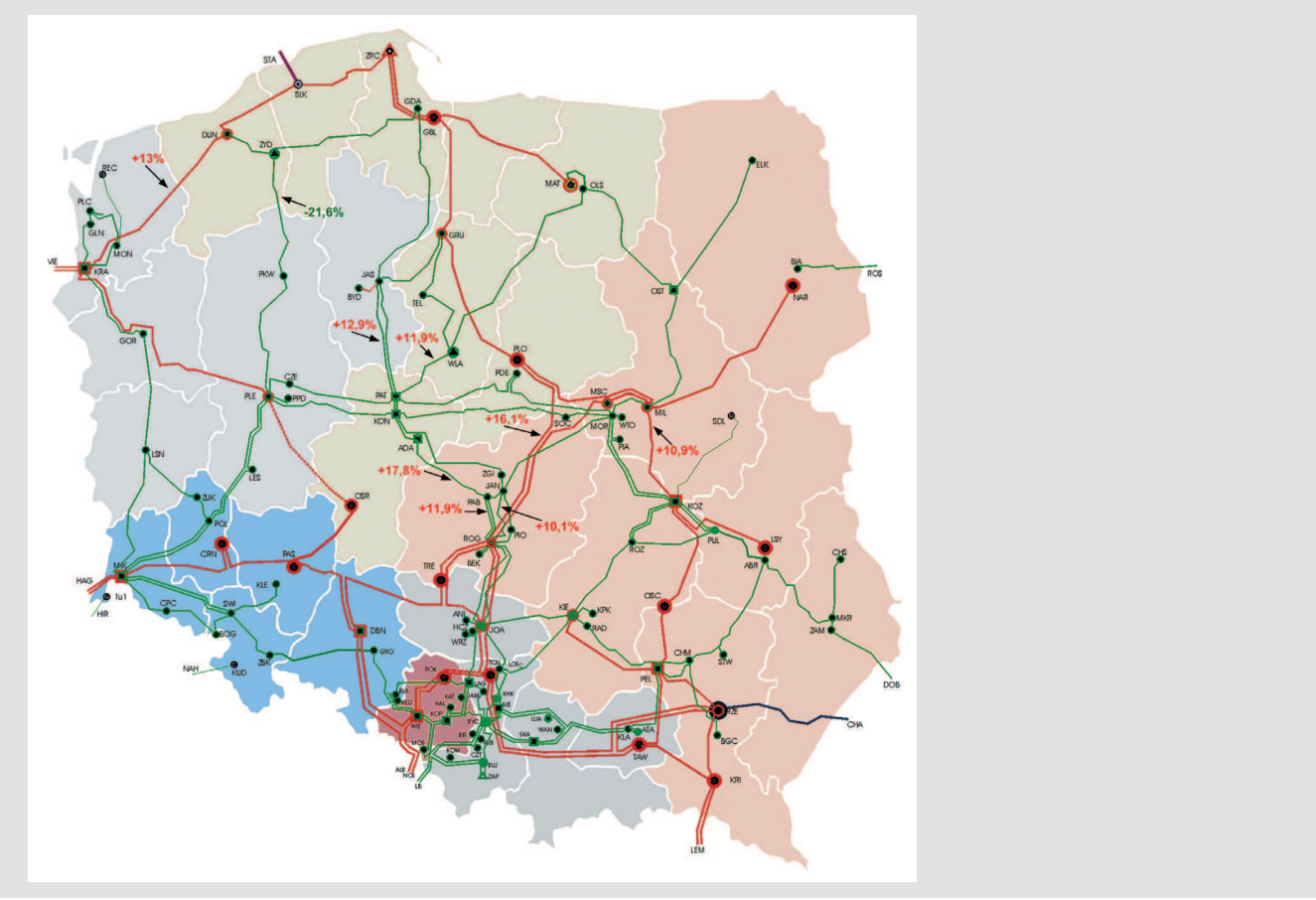
Rys. 2. Zmiana obciążenia (≥±10%) w liniach łączących poszczególne ZE. Kolor czerwony – zwiększenie obciążenia, kolor zielony – zmniejszenie obciążenia. Wariant W15 50% A

Sieć 110 kV zorientowana na północy Polski (obejmująca obszar nadmorski), gdzie zainstalowana jest większość źródeł generacji rozproszonej, zarządzana jest przez dwóch operatorów sieci dystrybucyjnej: ENERGA-OPERATOR S.A. oraz ENEA Operator Sp. z o.o. Operatorzy ci koordynują pracę sieci 110 kV znajdującej się na obszarach zakładów energetycznych, których podział pokazano na rys. 2. Połączenia pomiędzy poszczególnymi ZE na północy Polski są w niektórych przypadkach otwarte, co na rysunku zaznaczono liniami przerywanymi.

Ponadto na rys. 2 zaznaczono linie łączące poszczególne ZE, których obciążenie zmieniło się o co najmniej 10%. Większość linii podlegających odciążeniu (kolor zielony linii) znajduje się w północnej części Polski, na obszarze o dużym nasyceniu źródłami rozproszonymi. Moc do tego obszaru dostarczana jest (ewentualnie

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wyprowadzana) przede wszystkim przez sieć przesyłową (rys. 3). W wariantach, w których generowana jest duża moc w źródłach generacji rozproszonej, obserwuje się przepływ mocy z północnego obszaru Polski w kierunku Polski centralnej.



Rys. 3. Zmiana obciążenia (≥10%) w liniach sieci przesyłowej. Wartość w kolorze czerwonym – wzrost obciążenia, wartość w kolorze zielonym – zmniejszenie obciążenia. Wariant W15 50% A. Praca synchroniczna KSE z UCTE

Wyłączenie określonej sumarycznej mocy generowanej w źródłach rozproszonych w określony sposób ma wpływ na linie przesyłowe. Z jednej strony odciąża linie przesyłowe, którymi wyprowadzana jest moc z obszaru (na rys. 3 np. linia ZYD-PKW). Z drugiej zaś strony, dociążane są linie, którymi z elektrowni systemowych dostarczana jest moc do obszaru, w którym nastąpił ubytek mocy (na rys. 3, np. linia PAT-JAS lub KRA-DUN). Dociążane są również linie przesyłowe będące w bliskim sąsiedztwie elektrowni systemowych. Jest to wynikiem zwiększenia mocy przez te elektrownie w ramach działania regulacji pierwotnej (na rys. 3 np. linia ROG-PAB czy KOZ-MIL).

4.3. ZMIANA OBCIĄŻENIA LINII TRANSGRANICZNYCH PO WYPADNIĘCIU ŹRÓDEŁ GENERACJI ROZPROSZONEJ

W pracy synchronicznej KSE z UCTE nagłe wyłączenie określonej liczby źródeł generacji rozproszonej powoduje, że w bilansowaniu ubytku generowanej mocy oprócz elektrowni systemowych KSE uczestniczą również elektrownie położone w UCTE. Fakt ten prowadzi do zmiany mocy płynącej w liniach transgranicznych, gdzie wartość tej zmiany zależy od wartości wyłączanej mocy w źródłach generacji rozproszonej.

Wartość mocy na połączeniach transgranicznych zmienia się w zależności od poziomu mocy generowanej przez farmy wiatrowe (tab. 6). Największą zmianę obserwuje się na połączeniu Krajnik – Vierraden, gdzie dla wariantu W20 zmiana mocy w porównaniu z modelem wyjściowym jest na poziomie ok. 758 MW. Spowodowane jest to bliskością połączenia z obszarem, na którym w dużej liczbie występują źródła generacji rozproszonej. Z kolei najmniejsza zmiana mocy występuje na dwutorowej linii Krosno-Iskrzynia – Lemieszany.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tab. 6. Zmiany mocy na liniach transgranicznych w poszczególnych wariantach

Stacja w KSE	Stacja poza KSE	Wyjściowy[5]	W5	W10	W15	W20
			Zmiana o ΔP			
		[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]
Bujaków (BUJ213)	Liskowiec (CLIS__21)	105 (eksport)	-15[6]	-39	-67	-89
Dobrzeń (DBN413)	Albrechtice (CALB__1A)	384 (eksport)	-35	-36	-23	-20
Kopanina (KOP223)	Liskowiec (CLIS__21)	156 (eksport)	-17	-50	-67	-107
Wielopole (WIE413)	Noszowice (CNOS__11)	667 (eksport)	-46	-132	-157	-225
Krajnik (KRA214)	Vierraden (D8VIE_21)	248 (import)	-119	-217	-264	-379
Krajnik (KRA224)	Vierraden (D8VIE_21)	248 (import)	-119	-217	-264	-379
Mikułowa (MIK414)	Hagenwerder (D8HGW_11)	218 (import)	+49	+61	+71	+133
Mikułowa (MIK424)	Hagenwerder (D8HGW_11)	212 (import)	+47	+58	+44	+128
Krosno-Iskrzynia (KRI412)	(Lemieszany) QLEME_1	274 (eksport)	-6	-11	-18	-9
Krosno-Iskrzynia KRI422	Lemieszany (QLEME_1)	274 (eksport)	-6	-11	-18	-9

W tab. 7 zamieszczono zmiany wartości mocy (w tym wartości udarowe) płynących przez linie transgraniczne, otrzymane dla jednego z analizowanych wariantów. Z tabeli tej wynika, że największa zmiana mocy następuje na przekroju niemieckim, gdzie na linii dwutorowej Krajnik – Vierraden zmiana ta sięga poziomu ok. 438 MW. Należy przy tym zauważyć, że w żadnym z rozpatrywanych wariantów nie jest przekroczona obciążalność dopuszczalna długotrwale dowolna dla danej linii transgranicznej.

5 Wyjściowy oznacza model KSE bez przyłączonych farm wiatrowych.
6 Znak (-) oznacza zmniejszenie mocy w stosunku do wartości otrzymanej dla modelu Wyjściowego (bez przyłączonych farm wiatrowych).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

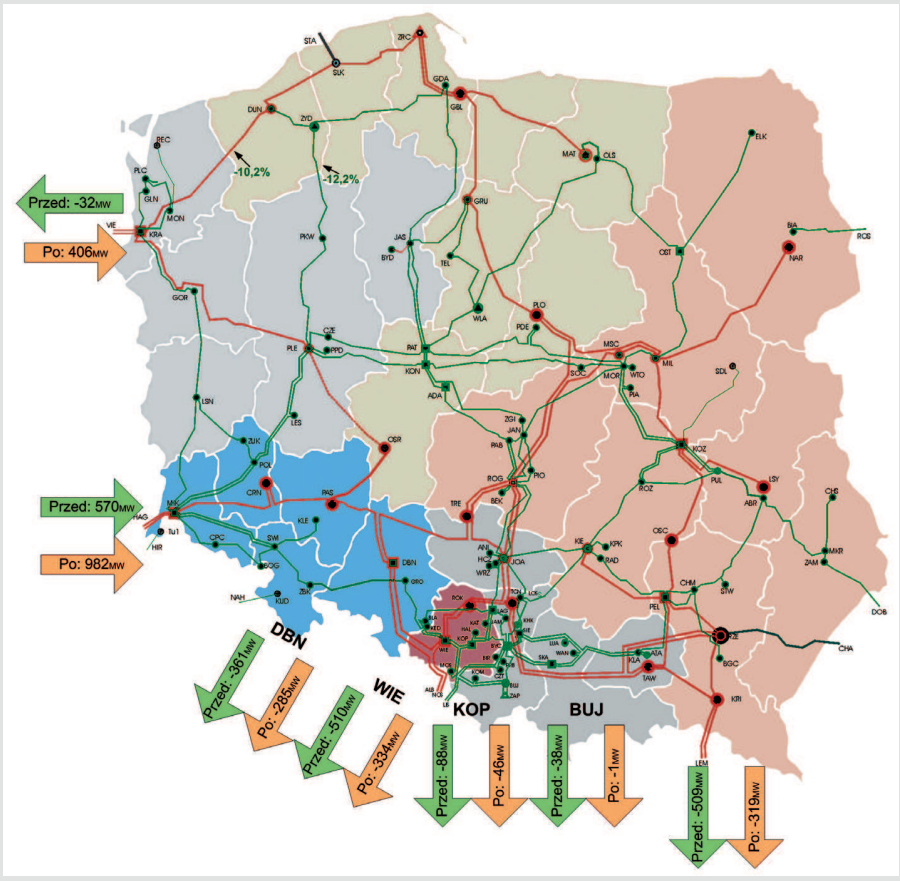
Tab. 7. Zmiana obciążenia linii transgranicznych. Wariant W15 50% A

Stacja w KSE	Stacja poza KSE	P_{pocz} [7]	P_{ust} [8]	ΔP [9]	P_{udr} [10]	P_{min} [11]
		[%]	[%]	[%] ([MW])	[MW]	[MW]
Bujaków (BUJ213)	Liskowiec (CLIS__21)	9,2	0,2	-9,0 (-37,1)	39,3	0,0
Dobrzeń (DBN413)	Albrechtice (CALB__1A)	26,1	20,6	-5,5 (-76,2)	362,7	223,9
Kopanina (KOP223)	Liskowiec (CLIS__21)	21,4	11,1	-10,3 (-42,4)	90,3	6,1
Wielopole (WIE413)	Noszowice (CNOS__11)	36,8	24,1	-12,7 (-176)	516,1	192,3
Krajnik (KRA214)	Vierraden (D8VIE_21)	4,3	54,4	58,7 (218,9)	292,5	2,9
Krajnik (KRA224)	Vierraden (D8VIE_21)	4,3	54,4	58,7 (218,9)	292,5	2,9
Mikułowa (MIK414)	Hagenwerder (D8HGW_11)	20,9	36,0	15,1 (209,3)	624,4	285,6
Mikułowa (MIK424)	Hagenwerder (D8HGW_11)	20,3	34,9	14,6 (202,4)	605,5	276,9
Krosno-Iskrzynia (KRI412)	(Lemieszany) QLEME_1	30,6	19,2	-11,4 (-94,7)	256,8	84,9
Krosno-Iskrzynia KRI422	Lemieszany (QLEME_1)	30,6	19,2	-11,4 (-94,7)	256,8	84,9

W modelu matematycznym wyjściowym obserwuje się import mocy na przekroju niemieckim oraz eksport na przekroju południowym. Fakt przyłączenia określonej liczby źródeł generacji rozproszonej do systemu może powodować zmianę kierunku przepływu na liniach transgranicznych. Tak jest w przypadku przytaczanego tu wariantu W15 50% A, gdzie na połączeniu Krajnik – Vierraden następuje zmiana kierunku przepływu. W trakcie pracy przyłączonych farm wiatrowych występuje eksport mocy na tej linii, związany z dużą generacją w farmach wiatrowych położonych na obszarze północnej Polski. Wyłączenie farm wiatrowych określonych dla wariantu W15 50% A powoduje, że po osiągnięciu stanu ustalonego na linii Krajnik – Vierraden występuje import na poziomie ok. 406 MW, względem eksportu na poziomie ok. 32 MW przed zakłóceniem (rys. 4). Ogólnie zmiana wartości mocy występuje we wszystkich liniach transgranicznych, a wyłączenie źródeł generacji rozproszonej powoduje w tym wariancie, że KSE po zakłóceniu importuje moc na poziomie ok. 403 MW, wobec eksportu mocy przed zakłóceniem na poziomie ok. 968 MW. Zatem różnica mocy wymiany sięga poziomu ok. 1371 MW. Różnica ta powinna zostać zbilansowana z wykorzystaniem regulacji wtórnej, co wymaga dostępności rezerwy wirującej o zbliżonej wartości w elektrowniach pracujących w KSE.

7 P_{pocz} – obciążenie mocą czynną [%] linii przed zakłóceniem.
8 P_{ust} – obciążenie mocą czynną [%] linii po zakłóceniu i osiągnięciu stanu ustalonego.
9 ΔP – zmiana mocy czynnej w linii spowodowana wyłączeniem źródeł generacji rozproszonej, obliczana jako różnica mocy ustalonej i mocy początkowej.
10 P_{udr} – maksymalna moc czynna osiągana w linii w czasie trwania stanu nieustalonego.
11 P_{min} – minimalna moc czynna osiągana w linii w czasie trwania stanu nieustalonego.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 4. Moc płynąca w liniach transgranicznych przed i po wyłączeniu źródeł generacji rozproszonej w wariancie W15 50% A

5. PODSUMOWANIE

W analizowanych wariantach modelu UCTE (w tym również KSE) graniczna wartość mocy, która nie powoduje utraty stabilności, kształtuje się na poziomie ok. 2800 MW. Wartość tej mocy prowadzi do odchyłki statycznej częstotliwości na poziomie –135 mHz, która nie przekracza dopuszczalnego zakresu ±180 mHz. W rzeczywistości, w UCTE nagłe wyłączenie mocy (generowanej lub pobieranej) na poziomie 3000 MW nie jest traktowane jako stan awaryjny i nie powinno prowadzić do utraty stabilności w powiązanych systemach. Pojawienie się niestabilności systemu przy wyłączeniu mniejszej mocy związane jest z pewnymi uproszczeniami, jakie zastosowano przy modelowaniu systemów powiązanych z KSE.

Istotnym problemem wydaje się być duża zmiana mocy na połączeniach transgranicznych, która w znaczący sposób zmienia moc wymiany. Należy pamiętać, że wartości mocy na tych liniach podlegają umowom międzysystemowym, zatem ustalona moc wymiany z innymi operatorami powinna być utrzymywana. Wystąpienie zakłócenia, takiego jakim jest wypadnięcie określonej liczby źródeł generacji rozproszonej, a co za tym idzie – określonej wartości mocy generowanej, oznacza, że należy w możliwie szybki sposób wyregulować moc wymiany. Odbywa się to w ramach regulacji wtórnej, przy czym jej zdolność do pokrycia powstałego niezbilansowania zależy od dostępnej rezerwy wirującej.

W tab. 6 przedstawiono, jak zmienia się moc płynąca w poszczególnych liniach transgranicznych. Z tabeli tej wynika, że największa zmiana zachodzi na linii Krajnik – Vierraden, gdzie w wariancie W20 zmiana ta dochodzi do ok. 758 MW. To pokazuje, że połączenie z systemem niemieckim, zwłaszcza przez linię Krajnik – Vierraden, jest relatywnie słabe. Uwidacznia się to aktualnie przy silnych wiatrach wiejących w północnych Niemczech, kiedy powstają wahania mocy przenoszone wzmiankowaną linią do systemu polskiego. Sytuacja, w której na północy Polski przybędzie farm wiatrowych, prawdopodobnie pogłębi tylko ten stan.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

BIBLIOGRAFIA

1. Lubośny Z., Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, WNT, Warszawa 2006.

2. Lubośny Z., Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, WNT, Warszawa 2009.

3. Lubośny Z., Klucznik J., Dobrzyński K., *Modele turbin parowych i wodnych. Modele regulatorów turbin parowych i wodnych*, praca w ramach Projektu Badawczego Zamawianego nr PBZ-MEiN-1/2/2006 „Bezpieczeństwo Elektroenergetyczne Kraju", grudzień 2007, Gdańsk.

4. Dobrzyński K., *Badanie procesu bilansowania KSE po wypadnięciu źródeł rozproszonych. Bilansowanie KSE bez i z wykorzystaniem wymiany międzynarodowej*, praca w ramach Projektu Badawczego Zamawianego nr PBZ-MEiN-1/2/2006 „Bezpieczeństwo Elektroenergetyczne Kraju", wrzesień 2009, Gdańsk.

5. www.pse-operator.pl.

6. Zajczyk R., Modele matematyczne systemu elektroenergetycznego do badań elektroenergetycznych stanów nieustalonych i procesów regulacyjnych, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2003.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl