

Kompensacja mocy biernej w sieciach współpracujących z instalacjami OZE

Streszczenie: W artykule przedstawiono podstawowe problemy związane z kompensacją mocy biernej w sieciach współpracujących z instalacją OZE. Zaprezentowano również podstawowe wskazówki oraz praktyczne sposoby, jak projektować i budować układy kompensacji aby uniknąć niepotrzebnych kosztów oraz problemów związanych z tym zagadnieniem.

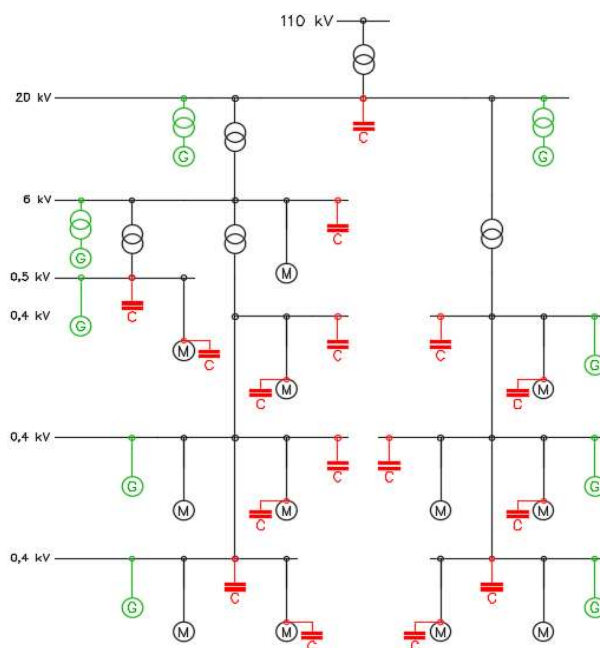
Słowa kluczowe: Moc bierna, moc bierna indukcyjna, moc bierna pojemnościowa, moc bierna odkształcona (moc dystorsji), kompensacja mocy biernej, tgφ, wyższe harmoniczne, kompensacja wyższych harmonicznych, automatyczne baterie kondensatorów, automatyczne baterie dławików kompensacyjnych, dynamiczne kompensatory mocy biernej, dynamiczne kompensatory mocy biernej z funkcją filtracji wyższych harmonicznych.

1. Wprowadzenie

Wybór kompensatora oraz sposobu kompensacji mocy biernej w układach zasilających współpracujących z OZE ściśle zależy od lokalizacji źródła OZE w systemie elektroenergetycznym. W artykule zostanie opisanych 5 różnych rodzajów OZE i ich możliwych lokalizacji oraz jak została dla nich realizowana kompensacja mocy biernej. Analizę oparto dla rzeczywistych realizacjach. W artykule zostaną opisane następujące przypadki:

- kompensacja mocy biernej w układach PV współpracujących z instalacją przemysłową,
- kompensacja mocy biernej w układach ferm wiatrowych, lub pojedynczych wiatraków,
- kompensacja mocy biernej w układach pomp ciepła,
- kompensacja mocy biernej w układach współpracujących z generatorami gazowymi (Bio-gazownia),
- kompensacja mocy biernej w układach mieszanych (PV + Wiatrak + Pompy ciepła + Bio-gazownia).

Na rysunku 1 przedstawiono możliwe miejsca występowania kompensacji mocy biernej oraz źródeł OZE w systemie elektroenergetycznym opisane w artykule.



Rys. 1. Możliwe miejsca występowania kompensacji mocy biernej oraz źródeł OZE opisane w artykule

Każdy przypadek został scharakteryzowany w następujący sposób: opis przykładu praktycznego, przedstawienie podstawowych problemów, opis metody eliminowania zagrożeń wynikających z niewłaściwie implementowanej kompensacji.

2. Kompensacja mocy biernej w układach PV współpracujących z instalacją przemysłową

Opis instalacji: Zakład produkcyjny z terenu Słubic, moc zamówiona 250 kW, moc zapotrzebowana ok. 160,00 kW, moc instalacji PV 244,56 kWp (praktyczna 155 kW). Średnia wartość $\text{tg}\varphi$ na poziomie 0,42. Miesięczna wartość energii pojemnościowej oddawanej do sieci na poziomie ok. 7,2 Mvarh. Taryfa rozliczeniowa B23.

Opis problemu: Opłata z tytułu energii biernej pojemnościowej na poziomie ok. 2.500,00 zł netto miesięcznie. Opłata z tytułu $\text{tg}\varphi > 0,4$ na poziomie ok. 150,00 zł netto miesięcznie.

Zastosowane rozwiązanie: Aktywny kompensator mocy biernej z funkcją redukcji harmonicznym typ ASVG 50 kvar. Pomiar prądu i napięcia dla potrzeb kompensatora po stronie nn. 0,4 kV.

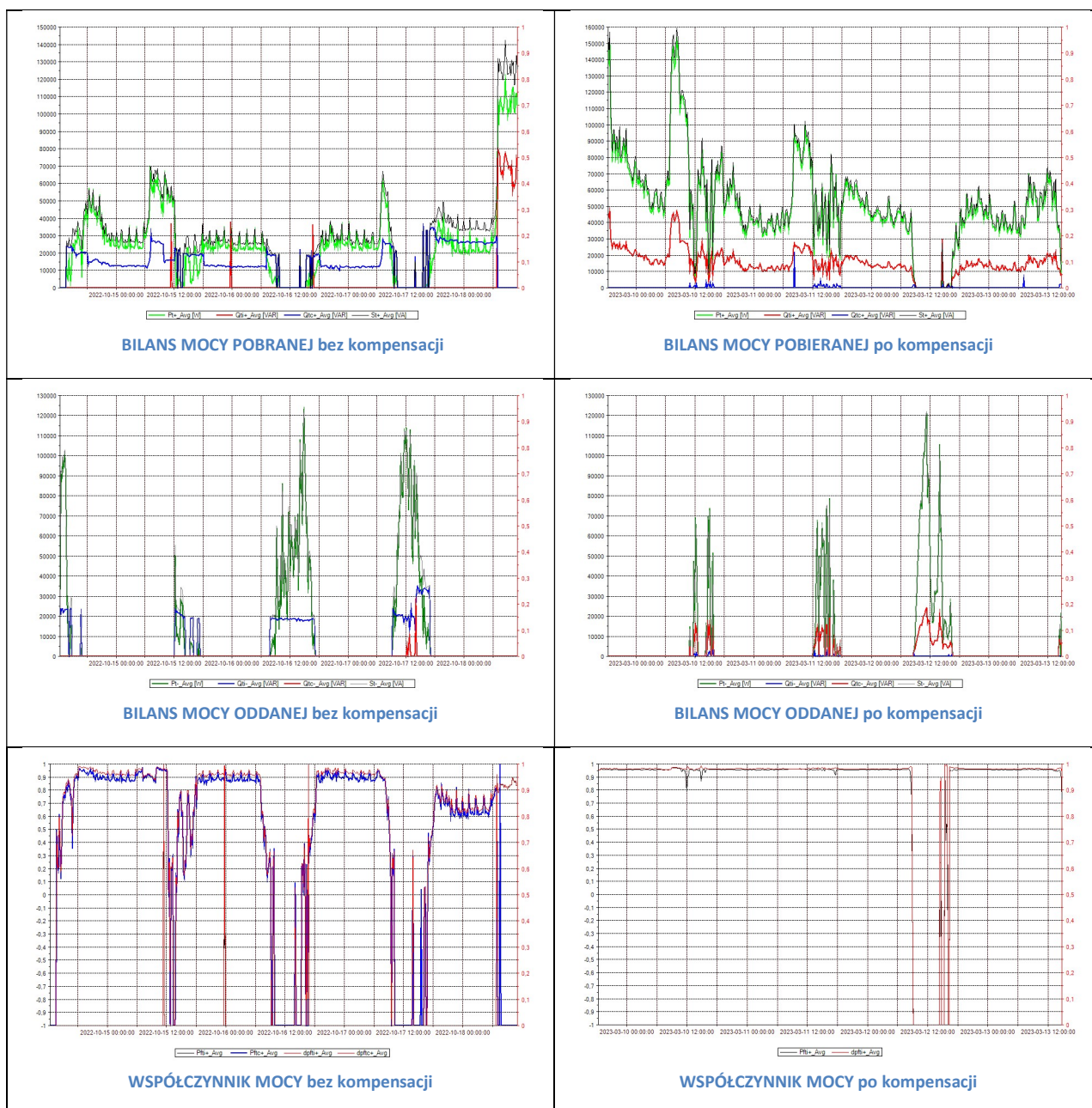
Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe przebiegi charakterystycznych wielkości opisywanego przykładu: bilans mocy pobranej, bilans mocy oddanej, współczynnik mocy bez kompensacji i po kompensacji.

Zastosowane rozwiązanie wyeliminowało opłaty z tytułu mocy biernej pojemnościowej (na układ rozliczeniowy z Dystrybutorem energii, pracuje jeszcze transformator 1250 kVA bez kompensacji biegu jałowego). Dodatkowo, w zakresie mocy kompensatora, uzyskano symetryzację prądu obciążenia na poziomie +10% oraz redukcję harmonicznym (3-ciej, 5-tej i 7-mej) o ok. 15%.

Aktywny kompensator zastosowano ponieważ:

- Dynamiczne (gwałtowne) zmiany obciążenia mocą bierną w zakresie od -25 kvar CAP do +25 kvar IND, w okresie małego obciążenia na szynach RG (duża produkcja energii elektrycznej z instalacji PV w stosunku do aktualnych potrzeb Zakładu).
- Potrzeby w zakresie mocy biernej indukcyjnej na poziomie do 30 kvar w celu utrzymania warunku $\text{tg}\varphi < 0,4$.
- Potrzeby w zakresie mocy biernej pojemnościowej na poziomie do 25 kvar w celu wyeliminowania opłat za moc bierną oddaną.

Tradycyjna kompensacja w tym przypadku, musiała by być oparta o kondensatory chronione dławikami rezonansowymi 7% oraz dławiki kompensacyjne. Cenowo takie rozwiązanie było by zbliżone do kosztu Aktywnego Kompensatora z funkcją Filtra Wyższych Harmonicznych (ASVG). Dodatkowo rozwiązanie tradycyjne potrzebowałoby znacznie więcej miejsca w pomieszczeniu RG prefabrykowanej stacji transformatorowej. Ze względu na jego brak istniała nawet koncepcja wyniesienia tradycyjnego układu kompensacyjnego poza stację transformatorową (wykonanie zewnętrzne), a to podniosło by jeszcze bardziej jego koszty wykonania oraz obniżyło by jego niezawodność.



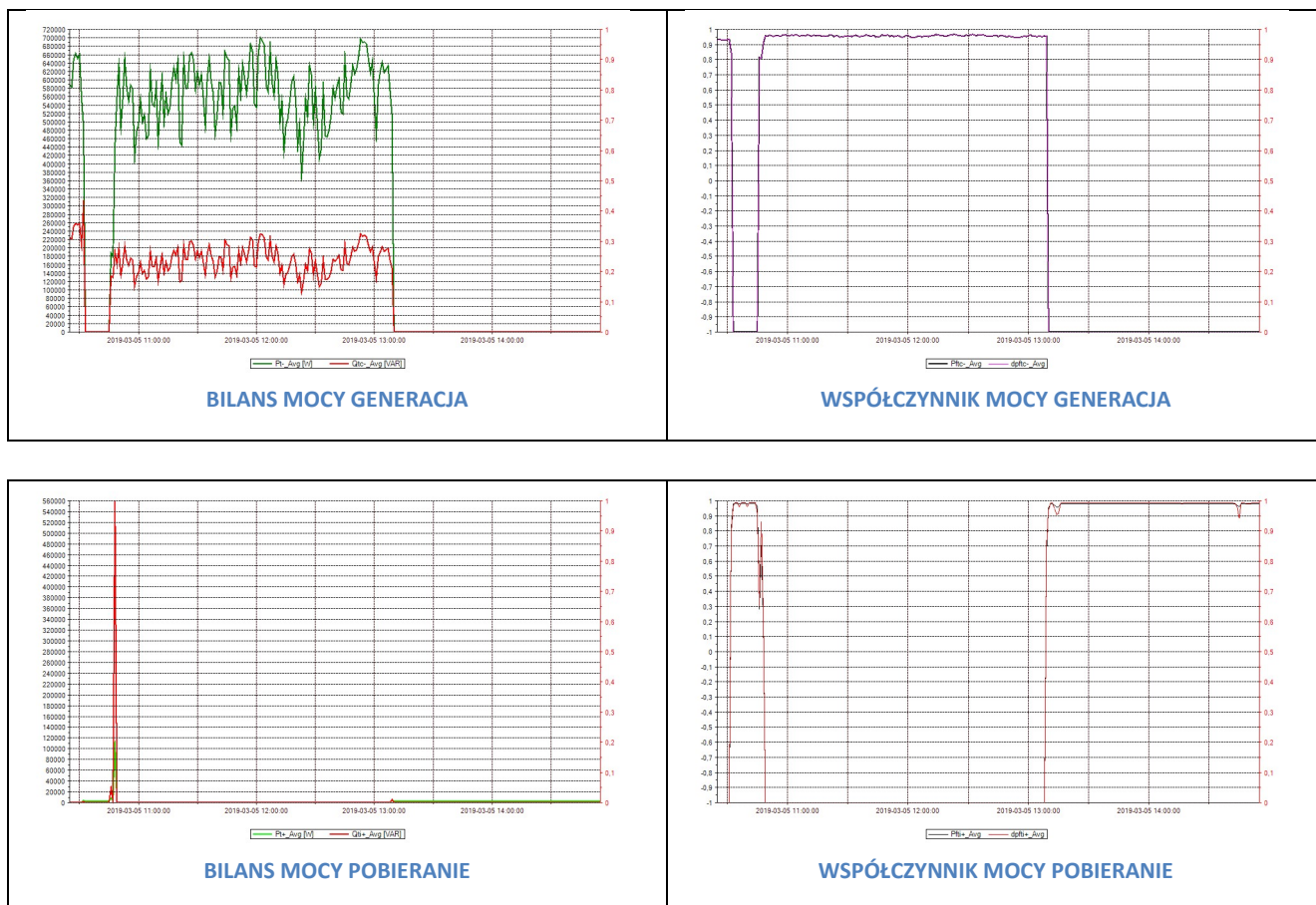
Rys. 2. Przykładowe przebiegi charakterystycznych wielkości opisywanego przykładu: bilans mocy pobranej, bilans mocy oddanej, współczynnik mocy bez kompensacji i po kompensacji.

3. Kompensacja mocy biernej w układach ferm wiatrowych, lub pojedynczych wiatraków

Opis instalacji : Układ dwóch wiatraków (2x 600 kW) Okolice Gniezna. Średnia wartość $\text{tg}\varphi$ na poziomie 0,6 przy oddawaniu energii oraz $\text{tg}\varphi = 6,0$ przy pobieraniu energii. Każdy generator posiada swój fabryczny układ kompensacji 5x50 kvar. Taryfa rozliczeniowa B11.

Opis problemu : Opłata z tytułu $\text{tg}\varphi > 0,4$ na poziomie ok. 2.500,00 zł netto miesięcznie.

Zastosowane rozwiązanie : Dobudowa układu kompensacji z kondensatorami 690V (drobne stopnie 5+5+10+25). Rezygnacja ze sterowania baterią, sterownikiem wiatrakowym. Zabudowano niezależny regulator DCRG 8 firmy LOVATO. Istniejące stopnie 5x50 kvar (sterowanie) wprowadzono pod nowy regulator współczynnika mocy. Na rysunku nr 3 przedstawiono przykładowe przebiegi charakterystycznych wielkości opisywanego przykładu.



Rys. 3. Przykładowe przebiegi charakterystycznych wielkości opisywanego przykładu: bilans mocy pobranej, bilans mocy oddanej, współczynnik mocy bez kompensacji i po kompensacji.

Podstawowym problemem w tym przypadku była moc bierna indukcyjna występująca w okresie pobierania energii (częste wyłączenia spowodowane słabym wiatrem i ustawianie gondoli do nowych warunków wietrznych) oraz brakiem kompensacji na wstępnym etapie uruchamiania generatora (zastosowana kompensacja fabryczna reagowała zbyt wolno w stosunku do zmieniających się warunków sieciowych).

Rozbudowa układu kompensacyjnego o drobne stopnie oraz wymiana sterowania rozwiązała problem opłat za moc bierną indukcyjną (opłaty zostały ograniczone o ok. 95%).

Sugestie o zwiększeniu parametru odpowiedzialnego za rozpoczęcie produkcji (siły wiatru) nie znalazły zrozumienia u Inwestora, który zainteresowany był produkcją praktycznie w każdych warunkach wietrznych.

4. Kompensacja mocy biernej w układach pomp ciepła

W tym przypadku zachodzi najczęściej konieczność kompensacji mocy biernej indukcyjnej.

Można to zrealizować wykorzystując klasyczne układy kompensacji (baterie kondensatorów), lub kompensatory dynamiczne typ SVG.

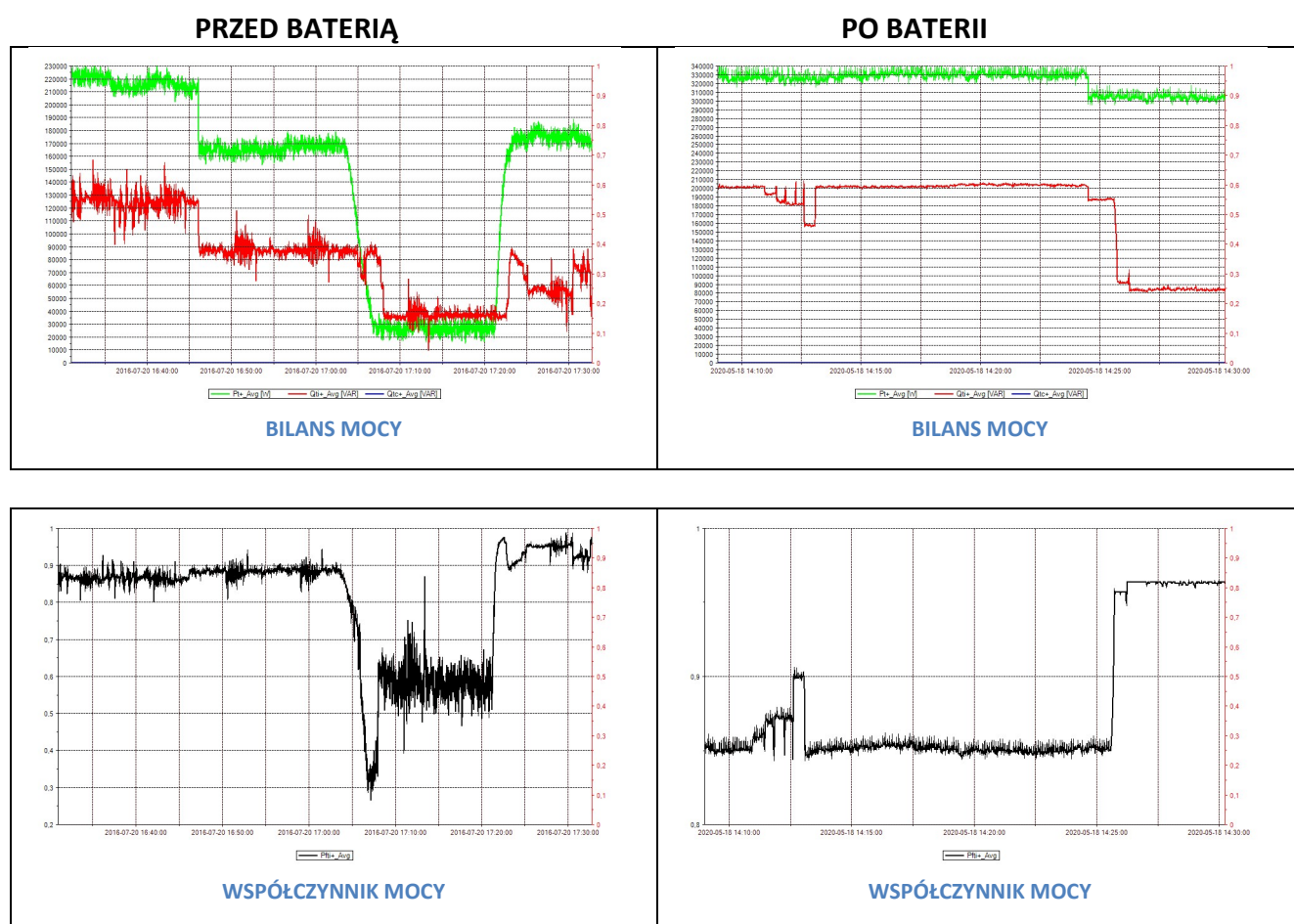
W celu właściwego doboru kompensatora należy przeprowadzić pomiary podstawowych parametrów sieci w celu określenia, czy nie występują obciążenia szybkozmiennie (w takim przypadku zalecana jest kompensacja dynamiczna) oraz czy w sieci nie występują wyższe harmoniczne. Poziom wyższych harmonicznych decyduje, w przypadku baterii kondensatorów, czy należy je dodatkowo wyposażać w dławiki ochronne (rezonansowe) 7% lub 14%.

5. Kompensacja mocy biernej w układach współpracujących z generatorami gazowymi (bio-gazownia)

Opis instalacji: Zakład produkcyjny (oczyszczalnia ścieków z terenu Śląska). Moc jednej z kilku rozdzielni oddziałowych 350 kW, moc zapotrzebowana ok. 300 kW - odbiory własne + agregat bio-gazowy synchroniczny o mocy 200kW (praktyczna 100 kW, zależna od zgromadzonego metanu, $\cos\varphi = 1,0$). Średnia wartość $\tan\varphi$ na poziomie 0,45 przy pobieraniu energii przez rozdzielnię i 0,55 przy generowaniu energii przez rozdzielnię do sieci zakładowej. Taryfa rozliczeniowa B23.

Opis problemu: Brak bilansu mocy biernej (rys. nr 4) na szynach rozdzielni oddziałowej skutkował opłatami globalnymi z tytułu energii biernej indukcyjnej (zbiorcza faktura za dystrybucję energii).

Zastosowane rozwiązanie : Automatyczna bateria kondensatorów serii MULTIMATIC z dławikami ochronnymi 7%.



Rys. 4. Przykładowe przebiegi charakterystycznych wielkości opisywanego przykładu: bilans mocy, współczynnik mocy, bez kompensacji i po kompensacji.

Analizując wykresy przedstawione na rysunku nr 4 (patrz powyżej) można zauważyć, że w momencie gdy moc czynna na szynach rozdzielni dąży do „0” (moc generowana przez agregat gazowy = mocy zapotrzebowanej przez odbiory zasilane z rozdzielni oddziałowej), zmiany wartości współczynnika mocy osiągają bardzo dużą dynamikę zmian (współczynnik mocy bez kompensacji). Dynamika zmian wartości $\Delta kvar$ (ilość mocy biernej pochodzącej z kompensatora potrzebna do osiągnięcia zadanego $\cos\varphi$ na szynach rozdzielni), musiała zostać uwzględniona w nastawach zastosowanego regulatora (w tym przypadku regulator DCRG8 LOVATO). W tym konkretnym przypadku chodziło o parametr

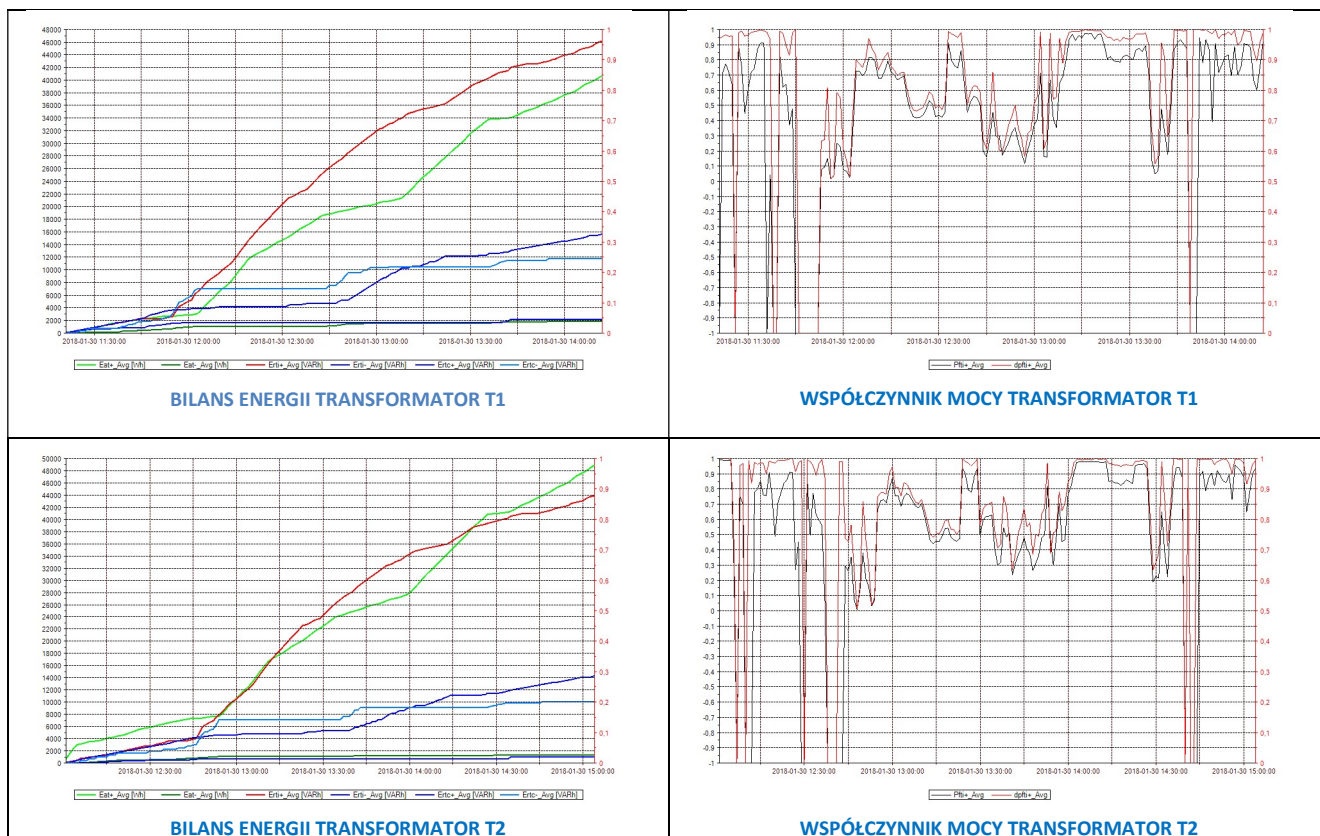
związany z czasem reakcji baterii na zmiany mocy biernej w układzie oraz parametr zarządzający czułością działania. Oczywiście tego typu problemy mogą zostać rozwiązane przez zastosowanie Dynamicznych Kompensatorów mocy biernej (SVG), gdzie czas reakcji na zmianę obciążenia to 20ms lub stosując rozwiązania jak w punkcie 5 niniejszego artykułu - kompensacja centralna z wykorzystaniem pomiaru po stronie SN.

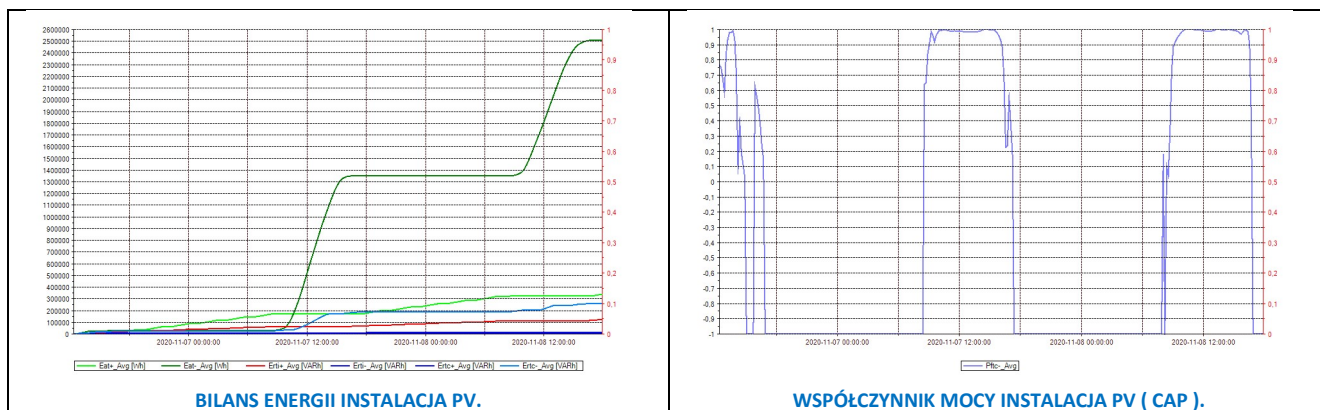
6. Kompensacja mocy biernej w układach mieszanych (PV + Wiatrak + Pompy ciepła + Biogazownia)

Opis instalacji: Zakład produkcyjny (oczyszczalnia ścieków z terenu Gubina). Moc zamówiona 280 kW, moc zapotrzebowana ok. 160,00 kW. Transformator T1 - odbiory własne + agregat gazowy synchroniczny o mocy 200kW (praktyczna 160 kW). Transformator T2 - odbiory własne + mała PV. Transformator T3 instalacja PV 300,0 kW (praktyczna 295 kW). Średnia wartość tgφ na poziomie 2,42. Taryfa rozliczeniowa B23.

Opis problemu: Opłata z tytułu energii biernej indukcyjnej na poziomie ok. 6.500,00 zł netto miesięcznie.

Zastosowane rozwiązanie: Ze względu na fakt, że obciążenie mocą bierną na trzech transformatorach miało różny charakter (patrz zestawienie bilansów energii i $\cos\phi$ rys. nr 5),było by konieczne zastosowanie trzech różnych (indywidualnie dla każdego transformatora) kompensatorów, dlatego zaproponowano rozwiązanie, które wykorzysta istniejące baterie kondensatorów zasilane z transformatorów T1 i T2. Opracowano ich współpracę w systemie MASTER-SLAVE. Pomiar prądu i napięcia dla potrzeb kompensatora(MASTER) pobrano po stronie SN 15 kV z wykorzystaniem zmodernizowanych wcześniej przekładników dwuuzwojeniowych i dwurdzeniowych.





Rys. 5. Przykładowe przebiegi charakterystycznych wielkości opisywanego przykładu: bilans energii, współczynnik mocy, bez kompensacji transformatory T1, T2 i TPV.

P/P/10057518/00011/21 Str. 3 z 3

Opis	tg fi0	tg fi	j. m.	Data	Ilość	Ilość m-cy	Współczynniki	Cena jedn. netto (zł)	Należność netto (zł)	Stawka VAT (%)
Sztywność										
szczyt przedpołudniowy			MWh	30/06/2021	0,566			0,0000	0,00	23
szczyt popołudniowy			MWh	30/06/2021	2,450			0,0000	0,00	23
pozostałe godziny doby			MWh	30/06/2021	12,660			0,0000	0,00	23
Opłata za ponadumowny pobór energii biernej indukcyjnej										
szczyt przedpołudniowy	0,40	1,88	Mvarh	30/06/2021	0,566		0,97711	245,4400	135,74	23
szczyt popołudniowy	0,40	1,82	Mvarh	30/06/2021	2,45		0,9281	245,4400	558,09	23
pozostałe godziny doby	0,40	1,77	Mvarh	30/06/2021	12,66		0,88755	245,4400	2.757,86	23
Opłata za ponadumowny pobór energii biernej przy wprowadzaniu en. czynnej										
szczyt przedpołudniowy	0,40	0,75	Mvarh	30/06/2021	18,683		0,1606	245,4400	736,44	23
szczyt popołudniowy	0,40	3,89	Mvarh	30/06/2021	0,334		2,72921	245,4400	223,73	23
pozostałe godziny doby	0,40	0,89	Mvarh	30/06/2021	36,173		0,24295	245,4400	2.156,98	23
Opłata za ponadumowne wprowadzenie energii biernej przy wprowadzaniu en. czynnej										
szczyt przedpołudniowy	0,40	0,00	Mvarh	30/06/2021	18,683		0,000	245,4400	0,00	23
szczyt popołudniowy	0,40	0,00	Mvarh	30/06/2021	0,334		0,000	245,4400	0,00	23
pozostałe godziny doby	0,40	0,00	Mvarh	30/06/2021	36,173		0,000	245,4400	0,00	23
Opłata za ponadumowny pobór energii biernej pojemnościowej										
szczyt przedpołudniowy			Mvarh	30/06/2021	0,000			245,4400	0,00	23
szczyt popołudniowy			Mvarh	30/06/2021	0,001			245,4400	0,25	23
pozostałe godziny doby			Mvarh	30/06/2021	0,004			245,4400	0,98	23
Opłata abonamentowa										
			zł/mc	30/06/2021		1,000		14,5900	14,59	23
Zużycie: 15,676 MWh					Ogółem wartość netto: 11.653,98 zł					

Rys. 6. Faktura za dystrybucję energii elektrycznej przed uruchomieniem proponowanej kompensacji.

P/P/10057518/00011/22 Str. 3 z 3

Opis	tg fi0	tg fi	j. m.	Data	Ilość	Ilość m-cy	Współczynniki	Cena jedn. netto (zł)	Należność netto (zł)	Stawka VAT (%)
Sztywność										
szczyt przedpołudniowy			MWh	31/10/2022	1,580			4,0600	6,41	23
szczyt popołudniowy			MWh	31/10/2022	2,985			4,0600	12,12	23
pozostałe godziny doby			MWh	31/10/2022	11,307			4,0600	45,91	23
Opłata za ponadumowny pobór energii biernej indukcyjnej										
szczyt przedpołudniowy	0,40	0,18	MWh	31/10/2022	1,58		0,000	252,6900	0,00	23
szczyt popołudniowy	0,40	0,18	MWh	31/10/2022	2,985		0,000	252,6900	0,00	23
pozostałe godziny doby	0,40	0,19	MWh	31/10/2022	11,307		0,000	252,6900	0,00	23
Opłata za ponadumowny pobór energii biernej przy wprowadzaniu en. czynnej										
szczyt przedpołudniowy	0,40	0,15	MWh	31/10/2022	13,264		0,000	252,6900	0,00	23
szczyt popołudniowy	0,40	0,16	MWh	31/10/2022	1,724		0,000	252,6900	0,00	23
pozostałe godziny doby	0,40	0,15	MWh	31/10/2022	20,393		0,000	252,6900	0,00	23
Opłata za ponadumowne wprowadzenie energii biernej przy wprowadzaniu en. czynnej										
szczyt przedpołudniowy	0,40	0,00	MWh	31/10/2022	13,264		0,000	252,6900	0,00	23
szczyt popołudniowy	0,40	0,02	MWh	31/10/2022	1,724		0,000	252,6900	0,00	23
pozostałe godziny doby	0,40	0,01	MWh	31/10/2022	20,393		0,000	252,6900	0,00	23
Opłata za ponadumowny pobór energii biernej pojemnościowej										
szczyt przedpołudniowy			Mvarh	31/10/2022	0,011			252,6900	2,78	23
szczyt popołudniowy			Mvarh	31/10/2022	0,032			252,6900	8,09	23
pozostałe godziny doby			Mvarh	31/10/2022	0,152			252,6900	38,41	23
Opłata abonamentowa										
			zł/mc	31/10/2022		1,000		14,5900	14,59	23
Zużycie: 15,872 MWh					Ogółem wartość netto: 5.309,17 zł					

Rys. 7. Faktura za dystrybucję energii elektrycznej po uruchomieniu kompensacji.

Zastosowane rozwiązanie wyeliminowało opłaty z tytułu mocy biernej indukcyjnej (patrz powyżej na porównanie rysunków nr 6 i 7). Kompensacja lokalna (przez transformator T1 i T2) wykorzystująca pomiar po stronie ŚN, wyeliminowała konieczność zabudowy nowych kompensatorów o przeciwnych charakterach działania.

7. PODSUMOWANIE

Przedstawione i omówione w artykule problemy związane z układami kompensacji mocy biernej współpracującymi z instalacjami OZE wyraźnie wskazują na fakt, że w tym przypadku, należy montaż lub modernizację istniejącej kompensacji poprzedzić :

- wizją lokalną,
- analizą rachunków za dystrybucję,
- pomiarami podstawowych parametrów sieci

i dopiero na ich podstawie dokonać doboru typu i miejsca lokalizacji kompensatora. Rachunek ekonomiczny (cena rozwiązania) oraz „możliwości” Inwestora muszą zostać uwzględnione w procesie wyboru kompensatora.

Dodatkowo należy pamiętać, że każdorazowo, dobudowa instalacji OZE do już istniejącej sieci musi zostać uwzględniona w już istniejących układach kompensacji, lub w doprojektowywanych układach kompensacji.

Literatura:

1. Herlender K., Żebrowski M., *Kompensacja mocy biernej jako jeden z elementów poprawy efektywności energetycznej*, Elektro-Info, nr 12, 2014
2. Hanzelka Z., Piekarczyk A.: *Załączanie baterii kondensatorów w sieciach niskiego i średniego napięcia*. AGH, Kraków 2000.
3. Herlender K., Żebrowski M., *Wpływ szybkości komutacji baterii kondensatorów na zawartość wyższych harmonicznych*, Elektro-Info, nr 7/8, 2016.
4. Informacje techniczne zawarte na stronach www.REBUD.pl

Autorzy: mgr inż. Maciej Żebrowski P.W.REBUD Nowa Sól, zebrowski@rebud.pl , www.REBUD.pl ¹

dr inż. Justyna Herlender, Wrocław University of Science and Technology, Department of Electrical Power Engineering, 27 Wybrzeże Wyspiańskiego St., 50-370 Wrocław, Poland; E-mail: justyna.herlender@pwr.edu.pl,²