

Małgorzata ŁATKA¹
Marek NOWAK²

PORÓWNANIE PARAMETRÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ LINII ZASILAJĄCEJ ZAKŁAD PRZEMYSŁOWY PRZED I PO KOMPENSACJI MOCY BIERNEJ

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów parametrów jakości energii elektrycznej w linii zasilającej zakład przemysłowy średniej wielkości. Wybrany zakład przemysłowy zasilany jest z linii średniego napięcia, poprzez stację transformatorową 15/0,4 kV. Celem przeprowadzenia pomiarów było określenie wpływu na linię zasilającą urządzeń pracujących w zakładzie (linii produkcyjnych). Wyniki tych pomiarów i ich analiza umożliwiły dokonanie oceny jakości energii elektrycznej, którą zasilany jest zakład, zarówno po stronie wtórnej transformatora, jak i indywidualnie dla pracujących tam linii technologicznych. Pomiarów te zostały przeprowadzone również w celu pokazania skuteczności realizacji kompensacji mocy biernej oraz wykazania czy potrzebne, a może wręcz niezbędne, są dalsze działania w celu poprawy jakości energii elektrycznej, a także w celu obniżenia kosztów zakupu energii elektrycznej. Do pomiarów wykorzystano dedykowany do tego typu pomiarów miernik – analizator jakości energii elektrycznej, a uzyskane za jego pomocą wyniki umożliwiły udzielenie odpowiedzi na szereg problemów związanych z jakością energii elektrycznej. Podsumowując, na podstawie przeprowadzonych pomiarów przed i po kompensacji mocy biernej, jakość energii elektrycznej uległa poprawie po dołączeniu baterii kondensatorów. Niemniej jednak należałoby rozważyć możliwość zastosowania filtrów biernych wyższych harmonicznych, by ograniczyć zawartość harmonicznych w prądach fazowych, a tym samym zmniejszyć wartości skuteczne prądów oraz straty mocy. Takie działanie powinno spowodować dalszą poprawę jakości energii elektrycznej w linii zasilającej badany zakład przemysłowy.

Słowa kluczowe: jakość energii elektrycznej, kompensacja mocy biernej

¹ Autor do korespondencji: Małgorzata Łatka, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, email: mlatka@prz.edu.pl

² Marek Nowak, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki Politechnika Rzeszowska, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, email: mnowak@prz.edu.pl

1. Jakości energii elektrycznej

1.1. Aspekty prawne

Obowiązująca normą dotycząca jakości energii elektrycznej jest norma PN-EN 50160:2010 „Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych” [3]. Po nowelizacji z 2010 roku dotyczy ona nie tylko linii niskiego i średniego napięcia do 35 kV, ale również linii wysokiego napięcia do 110 kV.

1.2. Pojęcie jakości energii elektrycznej

Pod pojęciem jakości energii elektrycznej rozumie się obecnie trzy główne obszary: jakość obsługi rozumiana jako jakość relacji handlowych pomiędzy dostawcą i odbiorcą, ciągłość zasilania oraz jakość napięcia. [1]

Statystycznego odbiorcę energii elektrycznej dotyczą wszystkie trzy aspekty. Jednakże obok takiego podejścia, u statystycznego odbiorcy przemysłowego funkcjonuje przekonanie, że do problemów z jakości energii elektrycznej zaliczają się również problemy związane z mocą bierną. Wynika to niewątpliwie z faktu, że w przypadku problemów z współczynnikiem $\text{tg } \varphi$, odbiorca taki ponosi kary finansowe, znacznie szybciej i bardziej odczuwalne niż skutki złej jakości energii elektrycznej np. krótkotrwałej przerwy w zasilaniu. Stąd znacznie częściej odbiorca jest zainteresowany np. realizacją kompensacji mocy biernej niż poprawą jakości energii elektrycznej, nie zdając sobie sprawy, że oba problemy, jeśli się pojawiają mogą być przyczyną poważnych problemów technicznych lub/i finansowych i oba są wzajemnie ze sobą powiązane.

Niemniej jednak zauważa się zdecydowanie wzrost świadomości wśród odbiorców i duże zainteresowanie pomiarami mającymi na celu ocenę jakości energii elektrycznej, szczególnie u odbiorców przemysłowych małych i średnich przedsiębiorstw. Pozostaje jeszcze uwrażliwienie tych odbiorców na fakt, że to nie tylko dostawcy, ale również i oni, są odpowiedzialni i mają wpływ na jakość energii elektrycznej.

1.3. Parametry jakości energii elektrycznej

Mówiąc o jakości energii elektrycznej, odnosić należy się zatem do jakości napięcia zasilania, które powinno być: sinusoidalne, symetryczne trójfazowe, o parametrach znamionowych dotyczących wartości skutecznej i częstotliwości.

Z tak przyjętej definicji można zatem zdefiniować tzw. parametry jakości energii elektrycznej: częstotliwość, wartość, kształt przebiegu (zawartość harmoniczných) i asymetria napięcia.

Analizując i określając wartości liczbowe tzw. wskaźników jakości energii elektrycznej zwraca się uwagę przede wszystkim na napięcie, jednakże należy odnieść się również do prądu. Bowiem np. odkształcony prąd może powodować

odkształcenie napięcia, a to już może być powodem pogorszenia się jakości energii elektrycznej. Nie można pominąć, przy ocenie jakości energii, gospodarki mocą bierną w takim przedsiębiorstwie, gdyż generowanie mocy biernej poza dopuszczalną wartość ($\text{tg } \varphi$ powyżej 0,4) może być przyczyną wielu niekorzystnych zjawisk pogarszających jakość energii elektrycznej nie tylko u danego odbiorcy, ale u innych odbiorców zasilanych z tej samej linii.

2. Pomiary parametrów jakości energii elektrycznej w zakładzie przemysłowym średniej wielkości

2.1. Charakterystyka zakładu przemysłowego

Zakład przemysłowy, w którym przeprowadzono badania, zajmuje się produkcją taśm opakowaniowych. Wytwarza taśmy polipropylenowe, urządzenia oraz akcesoria do pakowania. Funkcjonują w nim dwa ciągi produkcyjne (oznaczone w artykule jako linia 1 i linia 2) do wytwarzania taśm oraz wtryskarki do produkcji tulei, na które nawijane są wyprodukowane taśmy.

Najbardziej eksploatowanym ciągiem produkcyjnym w zakładzie jest linia 1 ze względu na swoje możliwości produkcyjne. Funkcjonuje też linia 2, która eksploatowana jest równolegle z linią 1 w czasie największego zapotrzebowania na wyroby zakładu.

2.2. Zakres i metoda przeprowadzenia pomiarów parametrów jakości energii elektrycznej w sieci zakładowej

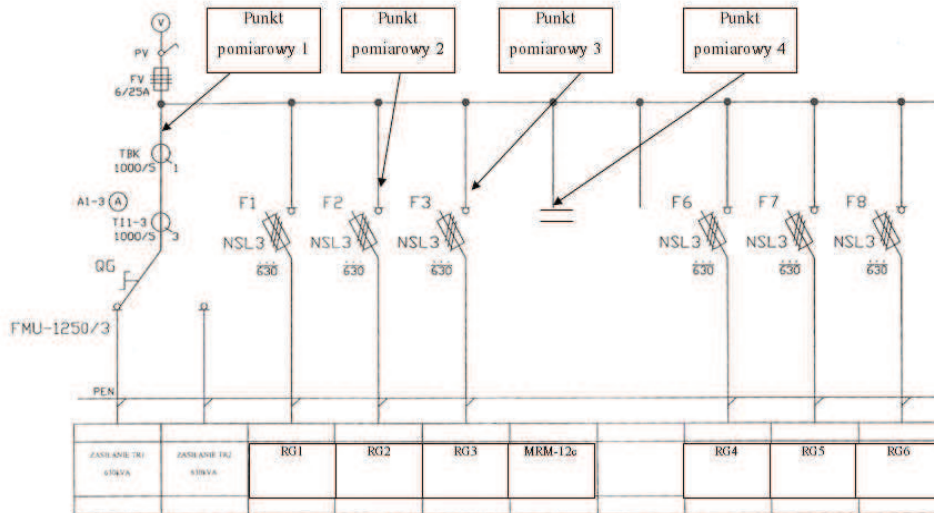
Przeprowadzenie serii pomiarów, jakie zostały zrealizowane w wybranym zakładzie przemysłowym, miało na celu ocenę parametrów jakości energii elektrycznej w linii zasilającej zakład oraz określenie wpływu odbiorników – w tym wypadku poszczególnych linii produkcyjnych – na jakość energii elektrycznej.

Analiza otrzymanych wyników pomiarów została przeprowadzona głównie pod kątem zawartości wyższych harmonicznych w napięciu i prądzie oraz w celu określenia wielkości i rodzaju mocy biernej generowanej przez określone odbiorniki oraz w punkcie przyłączenia zakładu do linii po stronie wtórnej transformatora.

Do pomiarów użyto trójfazowego analizatora jakości energii elektrycznej Chauvin Arnoux 8335 A. Wyposażony jest on w 5 wejść napięciowych (L1, L2, L3, N, PE) oraz 4 wejścia prądowe (L1, L2, L3, N). Przystosowany jest do pomiarów w sieciach 1-fazowych, 2-fazowych, 3-fazowych trój- i czteroprzewodowych. W czasie rzeczywistym mierzone są napięcia międzyfazowe i fazowe, prądy w każdej z faz i w przewodzie neutralnym, na ekranie prezentowane są ich przebiegi w czasie i wykresy wektorowe. Obliczane są: współczynniki mocy ($\cos \varphi$, DPF , PF , $\text{tg } \varphi$), wartość współczynnika odkształcenia każdego z napięć i prądów, harmoniczne do 50. rzędu z uwzględnieniem ich presu-

nięcia fazowego, moce czynna, bierna i pozorna w każdej z faz. Dzięki możliwości ustawienia alarmu dla dowolnego mierzonego parametru (gdy przekroczone zostaną dopuszczalne wartości np. zgodne z normą PN-EN 50160 lub dowolnie zadeklarowane przez użytkownika), możliwe jest na bieżąco uzyskiwanie informacji o pogorszeniu się jakości energii. W trybie rejestracji możliwy jest zapis wszystkich, mierzonych przez przyrząd, parametrów.

Pomiary zostały wykonane w godzinach pracy pierwszej zmiany, gdy pracowała linia 1 oraz wtryskarki. Dokonane zostały w czterech punktach pomiarowych, które zostały przedstawione na rysunku 1 i dokładnie opisane w tabeli 1.



Rys. 1. Schemat rozdzielni Rnn wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi

Fig. 1. Diagram of low voltage switchboard with marked measurements points

Tabela 1. Opis punktów pomiarowych

Table 1. Description of measurement points

	Odbiornik/Odbiorniki	Przebieg pomiaru
Punkt pomiarowy 1	Strona wtórna transformatora Dy5 15/0,4 630 kVA	Obserwacja parametrów napięcia i prądu zasilającego zakład z włączoną i odłączoną baterią kondensatorów
Punkt pomiarowy 2	Dwie wtryskarki CS 371/160 54 kW	Obserwacja parametrów napięcia i prądu zasilającego dwie wtryskarki
Punkt pomiarowy 3	Linia produkcyjna 1	Obserwacja parametrów napięcia prądu zasilającego urządzenia wchodzące w skład ciągu produkcyjnego
Punkt pomiarowy 4	Bateria kondensatorów	Obserwacja parametrów napięcia prądu zasilającego baterię kondensatorów (po kompensacji)

2.3. Wpływ linii produkcyjnej 1 i wtryskarek na parametry sieci zasilającej

Linia produkcyjna 1 i wtryskarki do wytwarzania tulei są najbardziej eksploatowanymi odbiornikami energii elektrycznej w zakładzie. Pomiary parametrów zasilania tych urządzeń przeprowadzono w celu oceny wpływu ich pracy na jakość energii elektrycznej (odkształcenie napięcia i prądu, generowana moc bierna). Zbiorcze wyniki tych pomiarów przedstawia tabela 2.

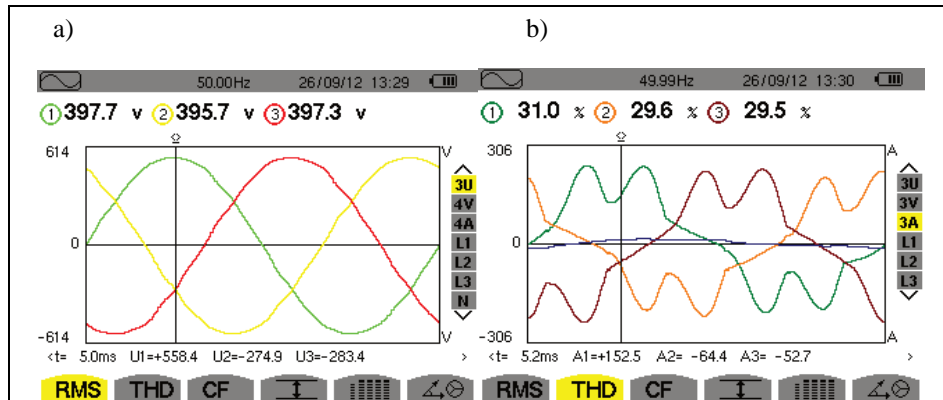
Tabela 2. Uśrednione parametry zasilania linii produkcyjnej 1 i wtryskarek

Table 2. The averaged supply parameters of production line number 1 and injection molding machine

Urządzenie i numer fazy Parametr	Wtryskarki punkt pomiarowy nr 2			Linia 1 punkt pomiarowy nr 3		
	1	2	3	1	2	3
Napięcia fazowe RMS [V]	228,7	228,6	229,7	229,1	227,8	227,9
Napięcia międzyfazowe RMS [V]	395,6	397,4	397,1	396,2	394	396
Prądy fazowe RMS [A]	69,7	72,6	75,3	151,2	144,5	156,4
THD_I prądu [%]	4,7	4,1	4,7	28,7	29,3	27,9
THD_{Uf} napięcia fazowego [%]	1,5	1,4	1,5	1,2	1,3	1,2
THD_U napięcia międzyfazowego [%]	1,4	1,3	1,6	1,1	1,2	1,3
Moc czynna [kW]	7	8,2	8	31,7	29,7	32,6
Moc bierna [kVar]	14,2	14,3	15,2	13,7	14,2	14,4
DPF	0,423	0,478	0,445	0,959	0,944	0,953
PF	0,421	0,475	0,444	0,917	0,901	0,914
$tg \varphi$	2,29	1,9	2,12	0,242	0,304	0,264

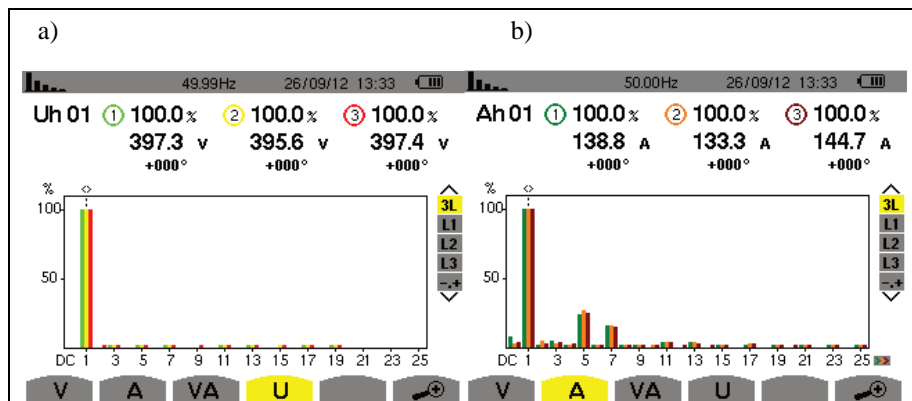
Największym odbiornikiem w zakładzie jest ciąg produkcyjny 1 – moc około 94 kW, prąd w każdej z faz – około 150 A. Przebiegi napięć międzyfazowych i prądów linii zasilającej przedstawiono na rysunku 2, zaś na rysunku 3 pokazano widmo harmoniczných tych napięć i prądów.

Na każdy półokres napięcia zasilającego w prądzie zasilającym linię produkcyjną 1 widoczne są dwa ekstrema. Do zasilania silników elektrycznych w ciągu produkcyjnym wykorzystywane są falowniki na wejściu z prostownikami diodowymi, przez co prąd płynący w linii zasilającej jest odkształcony jak na rysunku 2b. Zatem oddziaływanie na linię zasilającą linii produkcyjnej 1 widoczne jest w widmie harmoniczných prądu, poprzez występowanie w nim harmoniczných rzędu $1 \pm 6n$.



Rys. 2. Przebiegi a) napięć międzyfazowych oraz b) prądów fazowych zasilających linię produkcyjną 1 wraz z wartością *THD* prądu.

Fig. 2. Plot of a) line-to-line voltage and b) phase currents supplied production line number 1 with *THD* value of the currents

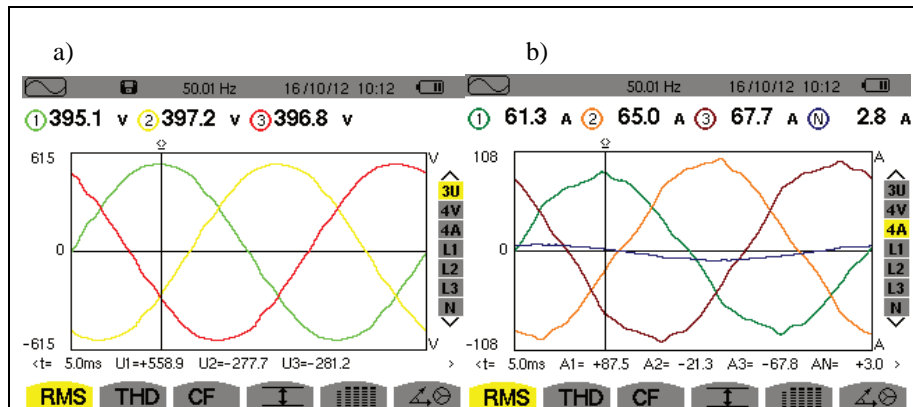


Rys. 3. Widmo harmonicznych a) napięć międzyfazowych i b) prądów fazowych zasilających linię produkcyjną 1.

Fig. 3. The harmonics spectrum of the a) line-to-line voltage and b) phase currents supplied production line number 1.

Druga grupa odbiorników – wtryskarki – powodują mniejsze odkształcenie prądu, pobierają mniejszą moc czynną, ale generują dużo większą moc bierną niż inne urządzenia. Średnio jedna pracująca wtryskarka pobiera moc czynną około 23,2 kW i moc bierną około 43,8 kvar. Znacznie obciąża sieć zasilającą składową bierną prądu. Współczynniki *DPF* i *PF* są znacznie poniżej 0,5, a różnice między nimi są bardzo małe, co świadczy o niewielkim odkształceniu prądu, ale dużej mocy biernej o charakterze indukcyjnym. Współczynnik $\text{tg } \varphi$, wynoszący ponad 2,2 znacznie przekracza dopuszczalną wartość 0,4, co jest przyczyną, że

zakład płaci kary za przekroczone wartości mocy biernej. Przebiegi czasowe napięć międzyfazowych i prądów fazowych wtryskarek pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Przebiegi a) napięć międzyfazowych i b) prądów fazowych zasilających wtryskarki.

Fig. 4. Plot of a) line-to-line voltage and b) phase currents supplied injection molding machine.

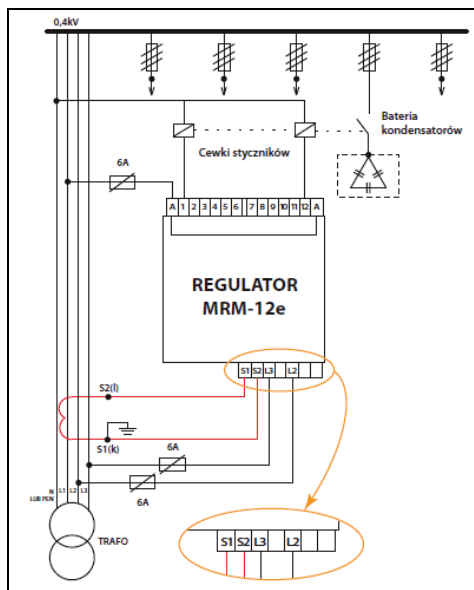
Po wykonaniu pomiarów i ich analizie w zakładzie zapadła decyzja o modernizacji zakładowej sieci elektrycznej o baterię kondensatorów. Poprzez zastosowanie tego rozwiązania, parametry zasilania urządzeń i maszyn elektrycznych powinny ulec poprawie. Ważnym aspektem przemawiającym na korzyść tej modernizacji jest aspekt ekonomiczny, gdyż do tej pory przedsiębiorstwo płaciło kary na rzecz zakładu energetycznego z powodu przekroczeń generowanej mocy biernej, względem pobieranej mocy czynnej (całkowity współczynnik $\text{tg}\varphi$ w punkcie pomiarowym nr 1 przekraczał wartość 0,4).

Sensownym i technicznie uzasadnionym rozwiązaniem [4] w przypadku, gdy większość mocy biernej w zakładzie generują wtryskarki, wydaje się być kompensacja indywidualna tych urządzeń. Zdecydowano jednak, że kompensacja będzie odbywać się centralnie przy pomocy wielostopniowej baterii kondensatorów, sterowanej regulatorem mikroprocesorowym. Dzięki takiemu rozwiązaniu skompensowana zostanie moc bierna generowana nie tylko przez wtryskarki, ale też inne urządzenia podłączone do sieci, bowiem także drugi ciąg produkcyjny w czasie pracy generuje moc bierną.

W przypadku gdyby uruchomione zostały w przyszłości nowe urządzenia, które generowałyby moc bierną w znacznym stopniu, przy nich też należałoby zainstalować kondensatory do kompensacji indywidualnej, co powodowałoby kolejne koszty. Dzięki takiemu rozwiązaniu (kompensacji centralnej), sieć zakładowa będzie zabezpieczona także na przyszłość [4].

2.4. Kompensator mocy biernej

W celu realizacji kompensacji centralnej zainstalowana została w zakładzie bateria kondensatorów MRM 12C, sterowana poprzez mikroprocesorowy regulator. Możliwa jest realizacja od 3 do 12 stopni wyjściowych, dzięki czemu zakres kompensacji mocy może być bardzo szeroki. W tym przypadku zastosowano 5 stopni wyjściowych: baterię o mocy 5 kvar, dwie o mocy 15 kvar i dwie o mocy 30 kvar. Pracuje on głównie w trybie pracy automatycznej. Do regulatora podłączone jest napięcie międzyfazowe oraz sygnał z przekładnika prądowego 1000/5 A. Na podstawie tych sygnałów i zaimplementowanego algorytmu, mikrokontroler steruje stycznikami, które kolejno załączają poszczególne sekcje baterii. Schemat podłączenia mikroprocesorowego regulatora mocy biernej do sieci pokazano na rysunku 5. [2]



Rys. 5. Schemat podłączenia mikroprocesorowego regulatora mocy biernej do sieci

Fig. 5. Connection diagram of microprocessor regulator with electrical network

2.5. Porównanie parametrów jakości energii w sieci nieskompensowanej i skompensowanej

W celu porównania parametrów sieci nieskompensowanej i skompensowanej pomiary w miejscu przyłączenia zakładu do sieci dystrybucyjnej (punkt pomiarowy 1) dokonano na dwa sposoby, przy wyłączonym i włączonym regulatorze mocy biernej

w krótkim odstępie czasu, by wyniki były możliwe do porównania ze sobą. Tabela 3 przedstawia dane uzyskane w wyniku tych pomiarów.

Tabela 3. Porównanie uśrednionych parametrów zasilania przed i po kompensacji mocy biernej w punkcie pomiarowym nr 1

Table 3. Comparison of averaged parameters of electrical network before and after compensation in measuring point number 1.

Parametr	Faza		1		2		3	
	przed	po	przed	po	przed	po	przed	po
	kompensacji		kompensacji		kompensacji		kompensacji	
Napięcia fazowe RMS [V]	228,6	230,4	228,3	230,1	229,1	230,9		
Napięcia międzyfazowe RMS [V]	395	398,2	396,7	399,7	396,5	399,9		
Prądy fazowe RMS [A]	254,4	234,7	262,2	230,8	277,6	236,6		
THD_I prądu [%]	15,5	18,9	14,6	18,4	14,7	19,1		
THD_{U_f} napięcia fazowego [%]	0,684	1,1	0,738	1,2	0,796	1,1		
THD_U napięcia międzyfazowego [%]	0,652	1,1	0,67	1,1	0,732	1,1		
Moc czynna [kW]	48	50,6	49	49,2	52	50,6		
Moc bierna [kvar]	32,7	19,1	34,4	20	36,6	21		
DPF	0,837	0,953	0,827	0,943	0,827	0,943		
PF	0,826	0,935	0,818	0,926	0,817	0,925		
$\operatorname{tg} \varphi$	0,64	0,291	0,667	0,33	0,668	0,329		

Po zainstalowaniu baterii (rys. 6) parametry zasilania zakładu uległy poprawie. Odchylenie napięcia przed kompensacją wynosiło około 1% znamionowej wartości napięć, natomiast po kompensacji wartość napięć międzyfazowych jest niższa od znamionowej zaledwie o 0,7 V, tj. 0,1%, natomiast poziom napięcia fazowego jest wyższy o 0,5 V od znamionowego. Zdecydowanie uległa zmniejszeniu wartość skuteczna prądu fazowego. Stało się tak, gdyż przez kompensację mocy biernej zmniejszyła się składowa bierna prądu. Nieznacznie wzrósł pobór mocy czynnej, gdyż jest ona potrzebna również do poprawnej pracy baterii (zasilanie sterownika, styczniki, pokrycie strat w przewodach). Znacznie spadła generowana moc bierna – różnice sięgają nawet 16 kvar w każdej z faz, tj. prawie o 50%. Poprawiły się wartości współczynników DPF i PF (przez spadek mocy biernej a tym samym i pozornej). Znacznie uległ zmniejszeniu współczynnik $\operatorname{tg} \varphi$. Po skompensowaniu nie przekracza dopuszczalnej wartości 0,4.



Rys. 6. Widok rozdzielni zakładu z zainstalowaną baterią kondensatorów

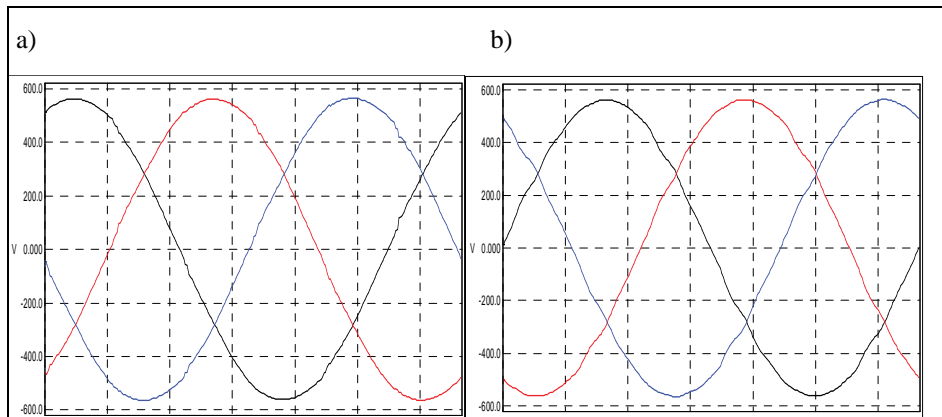
Fig. 6. Electrical switchboard with the capacitors battery

Jedynymi parametrami, które zmieniły się na gorsze są współczynniki odkształcenia prądów i napięć THD_I i THD_U . Jednakże nie oznacza to znacznego zwiększenia zawartości harmoniczných (odkształcenia przebiegów), bowiem nastąpiło jednocześnie zmniejszenie podstawowej harmonicznój prądu wskutek zmniejszenia składowej biernej prądu zgodnie ze wzorem:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=50} I_h^2}}{I_1} \quad (1)$$

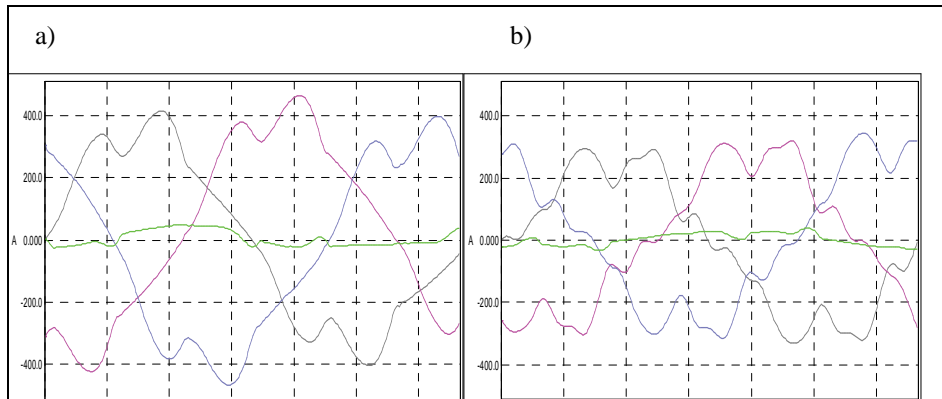
Zatem jeżeli wziąć pod uwagę THD_I prądów fazowych, pogorszenie się parametrów jest jedynie pozorne – choć współczynnik pokazuje inaczej. Wzrost THD_U jest nieznaczny i jego wartość nie przekracza wartości podawanych w normach.

Porównanie przebiegów napięć międzyfazowych i prądów fazowych w punkcie pomiarowym nr 1 przed i po kompensacji przedstawiono na rysunkach 7 i 8, a na rysunku 9 zamieszczono porównanie widma harmoniczných tych prądów fazowych. Natomiast na rysunku 10, przedstawiono napięcie i prąd baterii kondensatorów.



Rys. 7. Porównanie przebiegów napięć międzyfazowych zasilających zakład a) przed i b) po kompensacji.

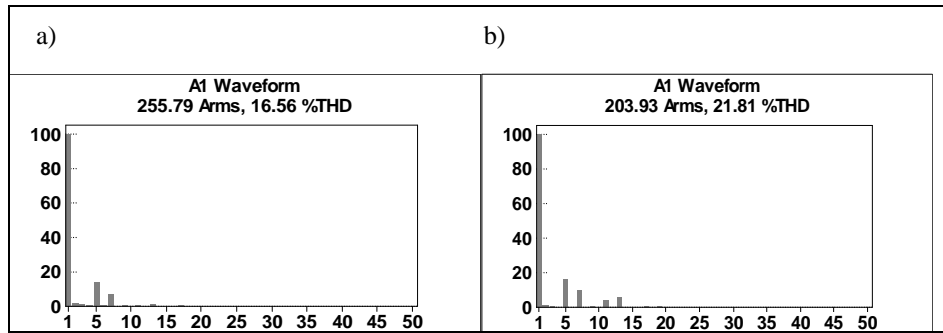
Fig. 7. Comparison of plots of line-to-line voltage supplied factory a) before and b) after compensation.



Rys. 8. Porównanie przebiegów prądów fazowych zasilających zakład a) przed i b) po kompensacji.

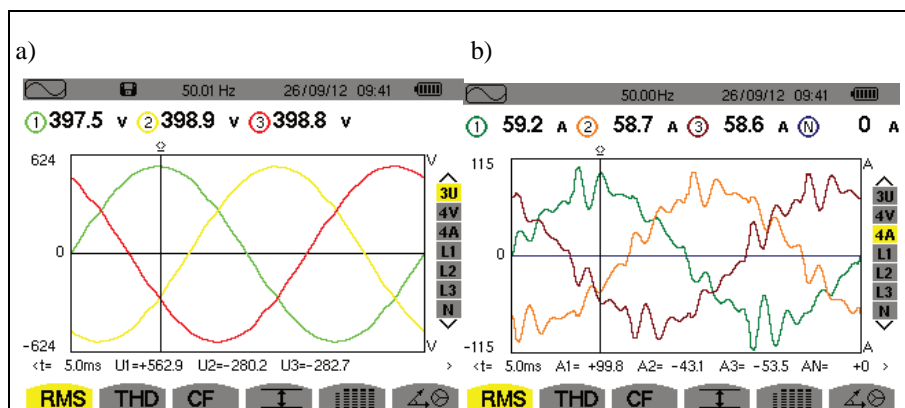
Fig. 8. Comparison of plots of phase currents supplied factory a) before and b) after compensation.

Jak widać na przebiegach z rysunku. 10, prąd baterii kondensatorów jest odkształcony, i właśnie jego przepływ mógł spowodować wzrost THD_U . Ponieważ jednak inne parametry polepszyły się po kompensacji, a odkształcenie napięcia nie jest duże i nie przekracza wartości dopuszczanej przez normę, można powiedzieć, że instalacja baterii kondensatorów pozytywnie wpłynęła na zakładową sieć elektryczną i nastąpiła poprawa jakości energii elektrycznej.



Rys. 9. Porównanie widma harmonicznych prądu w pierwszej fazie zasilającej zakład a) przed i b) po kompensacji.

Fig. 9. Comparison of harmonics spectrum of first phase current supplied factory a) before and b) after compensation.



Rys. 10. Przebiegi napięć międzyfazowych i prądów baterii kondensatorów

Fig. 10. Plots of line-to-line voltage and capacitors battery phase currents

3. Podsumowanie

W artykule pokazano tylko wybrane wyniki pomiarów związanych z jakością energii elektrycznej, przeprowadzonych w średniej wielkości przedsiębiorstwie przed i po kompensacji. Na podstawie wyników tych pomiarów należy stwierdzić, że u badanego odbiorcy nie występują problemy dotyczące jakości energii elektrycznej, które mają długotrwałe czasy występowania, takie jak odchylenia napięcia, czy asymetria. W czasie pomiarów nie stwierdzono też innych zjawisk krótkotrwałych, takich jak np. zapady napięcia, wahania itp. Zasadniczym problemem była moc bierna, która powodowała konieczność płacenia kar za przekroczenie współczynnika $\text{tg } \varphi$ powyżej 0,4. Po dołączeniu baterii kon-

densatorów sterowanej mikroprocesorowym regulatorem, współczynnik $\text{tg } \varphi$ mieści się w dopuszczalnych granicach. Pomiary pokazały ważną rolę kompensacji – poprawia ona nie tylko parametry jakości energii elektrycznej, ale znacząco też odciąża zakład finansowo. Przeprowadzona uproszczona analiza ekonomiczna (Simple Pay Back Time) pokazała, że czas zwrotu inwestycji jest bardzo krótki (SPBT = 5 miesięcy) – co potwierdza jej opłacalność.

Pozostaje jeszcze problem harmonicznych w prądach fazowych zasilających linię produkcyjną 1, gdzie THD_I prądu wynosi 30%. Wystarczy dobrać odpowiednie filtry wyższych harmonicznych dla 5. i 7. harmonicznej (jak wynika z rys. 3 i 9), by problem ten ograniczyć. Inne urządzenia pracujące w zakładzie nie generują harmonicznych, więc ten problem nie występuje.

Wydaje się więc, że kolejnym krokiem w modernizacji zakładu jest instalacja jednego z dostępnych rozwiązań filtracji wyższych harmonicznych prądu. Należałoby jednak głęboko zastanowić się nad realizacją tego przedsięwzięcia, gdyż prócz niewątpliwych jego zalet, mogłoby ono wygenerować dodatkowe koszty. Oprócz kosztu instalacji systemu filtracji, trzeba będzie również dokonać zmian w regulatorze mocy biernej. Najczęściej stosowane filtry bierne LC, generują dla składowej podstawowej prądu sieci moc bierną pojemnościową. W pewnym stopniu taki filtr bierny można tak dobrać, by częściowo to on kompensował moc bierną indukcyjną w linii zasilającej. Dlatego w najlepszym przypadku może wystarczyć zmienić tryb załączania sekcji baterii. Jednak najbardziej prawdopodobne jest to, że zakład będzie wtedy musiał wymienić sekcje baterii kondensatorów na nowe (mniejsze pojemności), dostosowane wielkością do nowych parametrów mocy biernej. Możliwe jest też wystąpienie niekorzystnych rezonansów w sieci zasilającej.

Warto też wziąć pod uwagę to, że mimo odkształcenia prądu w linii zasilającej zakład, THD_U napięcia nie przekracza wartości dopuszczalnej przez normę. Zatem wynika z tego, że występujące odkształcenie prądu nie ma większego wpływu na odkształcenie napięcia w sieci. Stąd instalacja filtrów biernych nie będzie miała praktycznie żadnego wpływu na dalszą poprawę jakości energii elektrycznej i ograniczenie kosztów energii elektrycznej w zakładzie przemysłowym, w którym wykonywane były prezentowane pomiary.

Literatura

- [1] Hanzelka Z.: Jakość dostawy energii elektrycznej. Wydawnictwa AGH, Kraków, 2013
- [2] Mikroprocesorowy regulator mocy biernej MRM-12 C. Instrukcja montażu i obsługi, Warszawa 1994, S.C. Twelve
- [3] Norma PN-EN 50160:2010 „Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych”
- [4] Poradnik inżyniera elektryka t.2, WNT, Warszawa 2007

THE QUALITY PARAMETERS OF ELECTRICITY OF THE POWER LINE SUPPLYING AN INDUSTRIAL PLANT BEFORE AND AFTER COMPENSATION OF REACTIVE POWER

Summary

The article presents the results of measurements of electricity quality parameters of the power line feeding a middle size industrial plant. The chosen industrial plant is supplied by a medium – voltage line through transformer stations 15/04 kV. The aim of these measurements was to evaluate the influence of the devices that are used in the plant (the production lines) on the power line, particularly, the evaluation of the kind and dimension of their influences on the power lines. The results and their analysis enabled us to evaluate the power quality that is supplied to the industrial plant, on both sides, the secondary side of the transformer and individually for technological lines. The research was also done in order to show the effectiveness of introducing the reactive power compensation and to prove whether the continuation of improvement of the power quality is needed or even necessary and whether it will influence the decrease in costs of purchasing the electric power.

To do the research, a special measuring instrument was used - the analyzer of the power quality; and the results obtained enabled to answer many questions concerning the problems with the power quality.

To sum up, on the basis on the obtained results before and after compensation of reactive power, the power quality has improved significantly after adding capacitors battery. However, the possibility of use of passive filters of higher harmonics should be considered in order to limit the content of harmonics in the phase current and at the same time to decrease the effective value of the currents and the losses of the power. It should result in the further improvement of the power quality in the line supplying the chosen industrial plant.

Keywords: The power quality, compensation of reactive power

DOI: 10.7862/re.2015.11

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: kwiecień 2015