

ANALIZA POMIAROWA I OCENA WARUNKÓW PRACY BATERII KONDENSATORÓW W ŚRODOWISKU PRZEMYSŁOWYM

STRESZCZENIE

Wzrastający stopień złożoności i nowoczesności rozwiązań technicznych, dzięki którym rośnie wydajność procesów produkcyjnych, wymaga stosowania coraz wyższej klasy komputerów, urządzeń automatyki i energoelektroniki przemysłowej. Powoduje to, że konsekwencje bezpośrednie i pośrednie spowodowane zaburzeniami w zasilaniu odbiorników energii elektrycznej stają się coraz bardziej dotkliwe finansowo. W dobie nieustannych wzrostów cen paliw kopalnych i będących ich pochodną cen energii, stała bateria kondensatorów do kompensacji zmiennej mocy biernej jest obecnie rozwiązaniem nieakceptowanym. Koniecznym minimum wydają się przelączalne baterie kondensatorów, automatycznie zmieniające wartość mocy biernej w ślad za zmianami stanu kompensowanych odbiorników. Baterie kondensatorów, stosowane do kompensacji mocy biernej składowej podstawowej, są podstawą ekonomicznej pracy systemów zawierających odbiorniki rezystancyjno-indukcyjne. Ponieważ obecnie podobnie często spotykane są odbiorniki nieliniowe, na skutek zaburzeń elektromagnetycznych, pojawiają się nowe rodzaje ryzyka, zarówno wewnątrz, jak i w otoczeniu baterii. W artykule omówiono i poddano ocenie zaburzenia napięcia zasilającego, mające wpływ na warunki pracy automatycznych baterii kondensatorów, zainstalowanych w stacji transformatorowo-rozdziałowej zakładu przemysłowego, a w konsekwencji na ich eksploatację i żywotność.

Słowa kluczowe: bateria kondensatorów, kompensacja mocy biernej, jakość energii

CAPACITOR BANKS MEASURING ANALYSIS AND OPERATING CONDITION ASSESSMENT IN INDUSTRIAL ENVIRONMENT

The increasing degree of complexity and modern technical solutions, which have contributed to the growth of production processes, demand ever increasing higher level computers, automatic systems and power electronics. This means that the effects of direct and indirect disturbances in the electrical energy supply to technological devices are causing severe financial consequences. In an age of increasing fossil fuel prices and derived from this, the increasing cost of energy, the static capacitor banks are no longer an acceptable solution for reactive power compensation and power factor correction. The absolute minimum requirements are automatic capacitor banks, automatically changing the value of reactive power, tracing the changes of the condition of compensated receivers. Capacitor banks are the basis of the economical and efficient operation systems. Since currently, many systems have non-linear receivers, due to electromagnetic disturbances there are now new hazards surrounding capacitor banks both internally and externally. This paper reviews and presents the findings of voltage disturbances analysis that has an effect on the operation condition of automatic capacitor banks, installed at industrial plant substation, and the consequences on their exploitation and life-time.

Keywords: capacitor banks, power compensation, power quality

1. WPROWADZENIE

Problem prawidłowej kompensacji mocy biernej w zakładach przemysłowych jest jednym z podstawowych zagadnień, z jakim muszą się zmagać służby eksploatacyjne. Skrupulatne rozliczanie przez dostawców ponadumownego poboru energii biernej oraz znaczące podwyżki cen energii sprawiły, że kompensacja mocy biernej jest podstawą ekonomicznej pracy systemów zawierających odbiorniki rezystancyjno-indukcyjne i stanowi ważny element gospodarki energetycznej przedsiębiorstw.

Optymalizacja kosztów poprzez m.in. unikanie opłat karnych, to nie jedyny powód, dla którego należy posiadać sprawny układ kompensacji. Utrzymanie zadanego współczynnika mocy $\text{tg}\phi$ w przedziale $0,2 \div 0,4$, kompensacja mocy biernej składowej podstawowej, przyczyniają się do

wzrostu przesyłanej mocy czynnej (redukcji strat przesyłu mocy czynnej) oraz pozwalają w pełni wykorzystać przepustowość transformatorów i elektroenergetycznych kabli zasilających.

Ponieważ obecnie podobnie często spotykane są odbiorniki nieliniowe, pojawiają się nowe rodzaje ryzyka, zarówno wewnątrz, jak i w otoczeniu baterii kondensatorów [1]:

- przeciążenie kondensatorów,
- rezonans równoległy pojemności z bliskimi (w sensie elektrycznym) indukcyjnościami, zagrażający zarówno samej instalacji kompensacyjnej, jak i aparaturze rozdzielczej w miejscu zainstalowania baterii,
- wzrost poziomu zaburzeń wyższych harmonicznych powyżej wartości normatywnych,
- wzrost napięcia na szynach zbiorczych i zadziałanie zabezpieczeń nadnapięciowych.

* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki

W elektroenergetycznych sieciach zasilających z zawartością wyższych harmonicznych, szczególnie w środowisku przemysłowym, nie jest możliwa prawidłowa korekcja współczynnika mocy za pomocą konwencjonalnych baterii kondensatorów. Na skutek zaburzeń elektromagnetycznych, jakimi są wyższe harmoniczne, mogą powstać rezonanse między indukcyjnością sieci (łącznie z wtórnym uzwojeniem transformatora zasilającego) a pojemnością załączonych stopni kondensatorowych. W rezultacie następuje wzrost amplitudy harmonicznej, szczególnie kiedy jej częstotliwość odpowiada częstotliwości utworzonego układu rezonansowego, powodując uszkodzenia kondensatorów oraz innych układów elektronicznych pracujących w tej sieci. W tej sytuacji poprawa współczynnika mocy powinna odbywać się za pomocą automatycznych baterii kondensatorowych z dławikami blokującymi. Każdy stopień takiej baterii składa się z jednostkowego kondensatora i dławika blokującego, tworzących z sobą szeregowy obwód rezonansowy odstrojony od najniższej występującej harmonicznej. Tak dobrany stopień posiada charakter pojemnościowy przy częstotliwości podstawowej, zapewniając prawidłową korekcję współczynnika mocy, natomiast przy częstotliwościach wyższych od własnej częstotliwości rezonansowej, stopień posiada charakter indukcyjny.

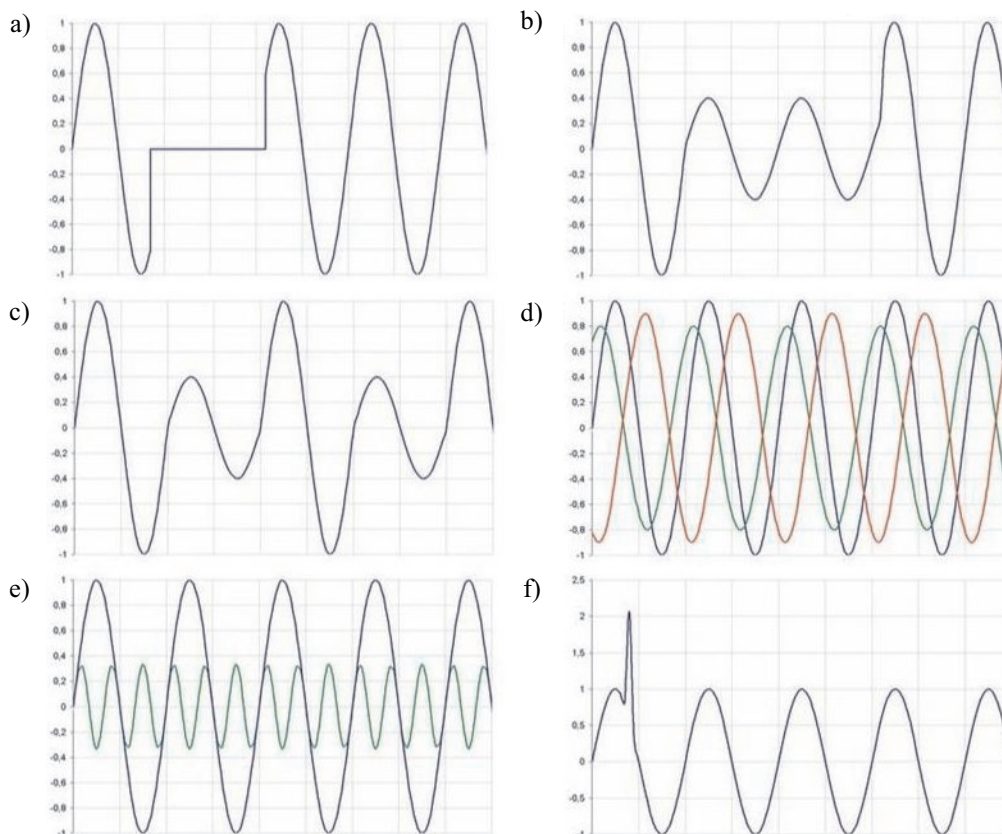
Zagadnienie jakości energii elektrycznej oraz związane z nim wymagania dotyczące m.in. dopuszczalnych poziomów odkształceń napięć i prądów, wahań wartości napięcia i jego częstotliwości, zapadów oraz impulsów napięcia, ge-

nerowanych podczas normalnej pracy lub wywołanych przyczynami losowymi, coraz częściej postrzegane są przez odbiorców energii elektrycznej jako ważny element mający wpływ na niezawodność pracy zakładowego systemu elektroenergetycznego oraz stabilność i ciągłość procesu produkcyjnego.

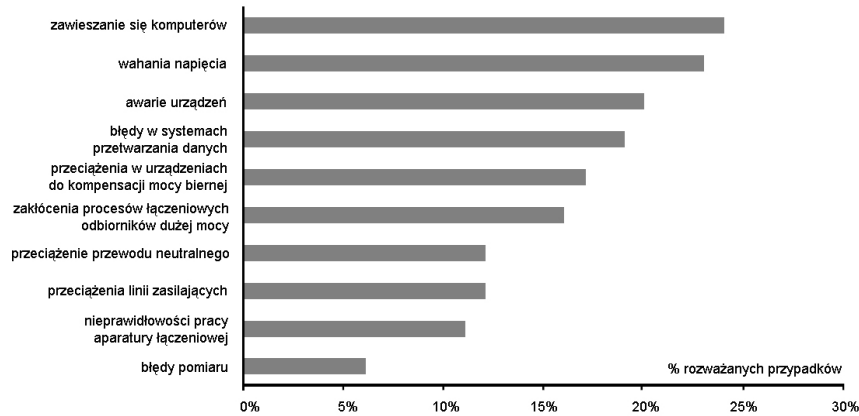
2. JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ W OBIEKCIE PRZEMYSŁOWYM

Czułość urządzeń technologicznych na jakość zasilającej je energii elektrycznej wzrasta wraz z zaawansowaniem i skomplikowaniem technologii. Wpływ parametrów energii elektrycznej na produktywność i zyskowność odbiorców przemysłowych jest tak duży i zróżnicowany jak różnorodność wykorzystywanych technologii i urządzeń.

Do najczęściej występujących zaburzeń elektromagnetycznych w środowisku przemysłowym można zaliczyć: zapady napięcia, krótkie przerwy w zasilaniu, harmoniczne napięcia oraz odkształcenia napięcia (rys. 1). Parametry takie, jak: miejsce wystąpienia, wielkość i czas trwania zakłócenia, a także rodzaj zdarzenia i podatność odbiorów na jego wystąpienie w sposób znaczący wpływają na jakość energii elektrycznej w obiekcie przemysłowym. W niektórych przypadkach dołożenie pojedynczej maszyny czy urządzenia może wytworzyć zupełnie nowe warunki i stanowić źródło problemów (rys. 2) dla zakładowego systemu elektroenergetycznego [2].

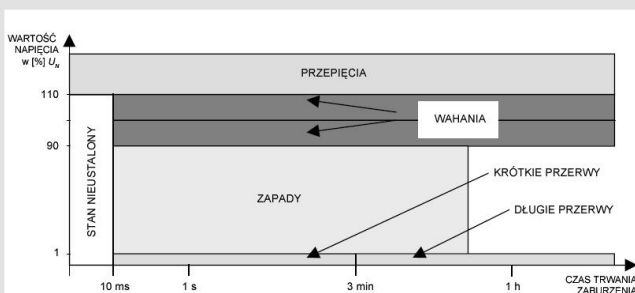


Rys. 1. Zaburzenia elektromagnetyczne: a) zanik napięcia; b) zapad napięcia; c) fluktuacje napięcia; d) asymetria napięcia; e) harmoniczne napięcia; f) przebiegi przejściowe [3]



Rys. 2. Najczęściej występujące problemy związane z jakością energii, stwierdzone w 1400 zakładach [6]

Poziomy dopuszczalnych zaburzeń w przyłączy zakładu przemysłowego, do których przestrzegania zobligowana jest spółka dostarczająca energię elektryczną, określone zostały w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego i normie PN-EN 50160 *Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych*. Parametry jakościowe energii elektrycznej w środowisku przemysłowym zasadniczo określone są w normie PN-EN 61000-2-4 *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 2-4: Środowisko – Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń w przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych*, a wymagania, dotyczące wewnętrznych miejsc przyłączenia urządzeń w instalacji obiektu przemysłowego oraz wspólnych miejsc połączenia z siecią publiczną, podobne są jak dla sieci publicznych, określone w rozporządzeniu [4] oraz normie [5], i przypisane do drugiej klasy środowiska elektromagnetycznego.



Rys. 3. Klasyfikacja zaburzeń wpływających na wartość skuteczną napięcia [6]

Graficzna prezentacja, w układzie współrzędnych, zaburzeń w napięciu zasilającym: amplituda napięcia – czas trwania zaburzenia, została przedstawiona na rysunku 3. Podstawą oceny poszczególnych wskaźników jakościowych energii elektrycznej są tygodniowe pomiary, a rejestrowane parametry, zgodnie z normą [5], obliczane są jako średnie ze zbioru wartości skutecznych kolejnych 20 ms okresów (dla częstotliwości 50 Hz) w 10-minutowych oknach uśredniania (1008 przedziałów w ciągu 7 dni).

3. KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ – ROLA BATERII KONDENSATORÓW

Olbrzymia większość odbiorników prądu przemiennego pobiera z sieci elektroenergetycznej energię czynną i bierną. Energia bierna, w odróżnieniu od energii czynnej przetwarzanej na pracę użyteczną i ciepło strat, nie wykonuje żadnej pracy, jednakże warunkuje działanie wielu odbiorników. Całkowite wyeliminowanie poboru energii biernej i jej przepływu w sieci elektroenergetycznej jest niemożliwe, dlatego tak istotna staje się prawidłowa gospodarka mocą bierną i kompensacja jej negatywnego wpływu na urządzenia elektroenergetyczne [7].

Istotą kompensacji mocy biernej jest oddawanie mocy biernej pojemnościowej, równoważne z poborem mocy biernej indukcyjnej (lub na odwrót) w miejscu zapotrzebowania na tę ostatnią, co prowadzi do poboru z sieci przez odbiorniki wyłącznie mocy czynnej. Łączne zapotrzebowanie na moc bierną w układzie elektroenergetycznym jest w przybliżeniu tego samego rzędu, co zapotrzebowanie na moc czynną i ulega okresowym zmianom dobowym oraz rocznym.

Miarą składowej biernej prądu jest współczynnik mocy $\cos \varphi$, w warunkach technicznych częściej wyrażany jako $\text{tg} \varphi$. Wartość współczynnika mocy $\text{tg} \varphi$ może zostać przeliczona w łatwy sposób na wartość $\cos \varphi$, z wykorzystaniem wzoru:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{\text{tg}^2 \varphi + 1}} \quad (1)$$

W praktyce wyróżnia się dwie zasadnicze grupy środków kompensacji mocy biernej i poprawy współczynnika mocy. Są to:

- 1) środki naturalne,
- 2) środki sztuczne.

Przy niewielkiej liczbie odbiorników indukcyjnych, dla prostych sieci elektroenergetycznych, zastosowanie naturalnych środków poprawy współczynnika mocy może okazać się wystarczające do utrzymania wymaganych parametrów, szczególnie gdy wymagania te są niewielkie. W sieciach

złożonych, o rozległej i rozbudowanej strukturze, naturalne sposoby kompensacji mocy biernej są niewystarczające i koniecznym staje się stosowanie metod sztucznych korekcji parametrów sieci [7].

Do naturalnych sposobów poprawy współczynnika mocy można zaliczyć [9]:

- właściwy dobór jednostek transformatorowych,
- właściwy dobór silników asynchronicznych,
- stosowanie silników synchronicznych,
- ograniczenie jałowej pracy odbiorników.

Wśród środków sztucznej poprawy współczynnika mocy biernej, stosowanych w elektroenergetyce, można wyróżnić:

- instalowanie baterii kondensatorów,
- instalowanie kompensatorów wirujących,
- przewzbudzenie silników asynchronicznych synchronizowanych.

Ze względu na sposób realizacji kompensacji (miejsce, zasięg) w układzie sieciowym, rozróżnia się następujące rodzaje kompensacji:

- centralną,
- grupową,
- indywidualną.

W wielu przypadkach, ze względu na różnorodność sieci elektroenergetycznej, gdy celem jest jej poprawne skompensowanie, często rozwiązaniem najlepszym jest kompensacja mieszana, zapewniająca utrzymanie odpowiednich warunków przyłączy i ograniczenie strat przesyłowych. Dla realizacji poszczególnych metod kompensacji konieczne jest spełnienie pewnych uwarunkowań, a o wyborze właściwego rozwiązania decydują między innymi [7]:

- liczba, wymagających kompensacji, odbiorników występujących w sieci,
- ilość przyłączy, dla których muszą zostać spełnione warunki przyłącza,
- wymagany poziom kompensacji sieci,
- rozległość sieci i poziom jej złożoności,
- możliwości lokalizacji urządzeń do kompensacji mocy biernej,
- rodzaje odbiorników i ich charakter,
- obecność wyższych harmonicznych i innych zaburzeń elektroenergetycznych w elektroenergetycznej sieci zakładowej oraz ich poziom,
- właściwy dobór silników asynchronicznych.

Aktualnie do najczęściej stosowanych środków korekcji współczynnika mocy, nadającym się do zastosowania w każdym zakładzie przemysłowym, zalicza się baterie kondensatorów współpracujące z regulatorem współczynnika mocy.

4. CHARAKTERYSTYKA POMIARÓW

Celem przeprowadzonych badań była ocena warunków napięciowych pracy baterii kondensatorów, po rozbudowie i modernizacji parku maszynowego – dołączenie nowych urządzeń i maszyn do kompensowanych, przez przedmiotowe baterie kondensatorów, sekcji elektroenergetycznej podstacji zakładowej.

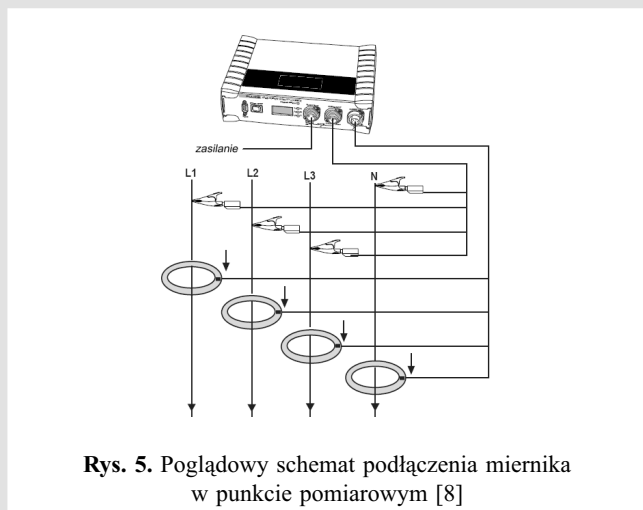
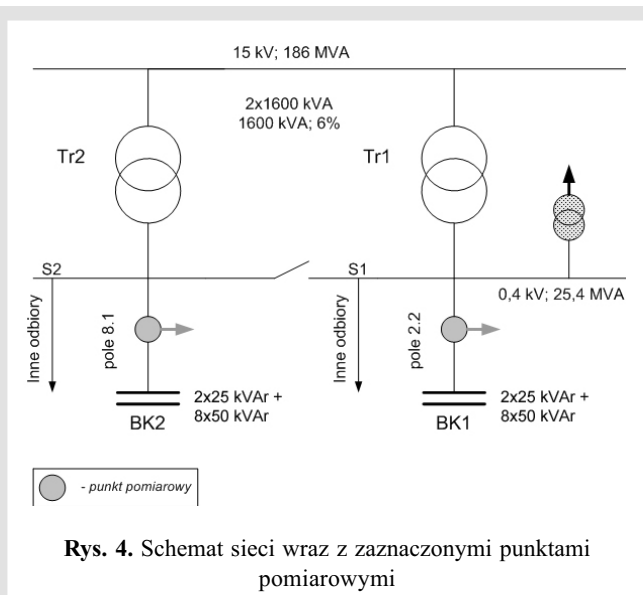
Badania, na których została oparta analiza, przeprowadzono w stacji transformatorowo-rozdzielczej zakładu przemysłowego, w sekcji pierwszej i drugiej, zasilanych z dwóch transformatorów po 1600 kVA. Obiektami badań były automatyczne baterie kondensatorowe typu BKD-95 (BK1 i BK2), o mocy 450 kVAr każda. Analizę przeprowadzono pod kątem zgodności z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Z uwagi na fakt, iż standardy normalizacyjne w Polsce nie są obligatoryjne, normy PN-EN 50160 oraz PN-EN 61000-2-4 posłużyły jako dokumenty pomocnicze.

Wymagania przepisów [4], co do poziomu dopuszczalnych zaburzeń w napięciu zasilającym, zostały przedstawione w tabeli 1. Wszystkie dopuszczalne wartości nie mogą być przekroczone przez 95% wartości średnich obliczanych za okresy 10-minutowe.

Automatyczne baterie kondensatorowe typu BKD 95 przeznaczone są do kompensacji mocy biernej w sieci o napięciu 0,4 kV, przy równomiernym obciążeniu faz. Przez zastosowanie elektronicznego regulatora (z mikroprocesorem) do sterowania załączaniem lub wyłączaniem członów kondensatorowych, bateria zapewnia szybką i dokładną kompensację niekorzystnego poboru mocy biernej. Elektroniczny regulator $\cos\phi$ porównuje aktualnie istniejący w sieci współczynnik mocy z wartością zadaną i w zależności od potrzeb steruje liczbą załączonych kondensatorów. Człon regulacyjny baterii posiada moc 25 kVAr (rys. 4).

Tabela 1. Dopuszczalne zaburzenia napięcia zasilającego [4]

Zaburzenie	Wartość progowa	Zaburzenie	Wartość progowa
Zmiana napięcia zasilającego ($\Delta U/U_N$)	$\pm 10\%$	Harmoniczna 2	2%
Zapady napięcia zasilającego ($\Delta U/U_N$)	10÷100%	Harmoniczna 3	5%
Krótkie przerwy w zasilaniu	< 3 min	Harmoniczna 4	1%
Asymetria napięcia U_2/U_1	2%	Harmoniczna 5	6%
Odchylenie częstotliwości	$\pm 1\%$	Harmoniczna 7	5%
Harmoniczne napięcia – THD_U	8%	Harmoniczna 9	1,5%
Uciążliwość migotania światła	≤ 1	Harmoniczna 13	3%



Dla każdej z baterii kondensatorów przeprowadzono tygodniowe pomiary. Rejestracje wykonano za pomocą analizatora parametrów jakości energii elektrycznej FLUKE 1745, który jest uniwersalnym przyrządem do analizy sieci elektrycznych niskich napięć. Przyrząd, dodatkowo, wyposażony jest w specjalizowane oprogramowanie PQ Log, obsługujące analizator (rys. 5).

5. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

Częstotliwość napięcia zasilającego w analizowanych punktach pomiarowych spełnia wymagania rozporządzenia [4] określone dla podmiotów zaliczanych do grupy przyłączeniowej III. Zarejestrowane zmiany mieszczą się w dopuszczalnym zakresie ($50 \text{ Hz} \pm 1\%$), nieprzekraczając wartości progowych.

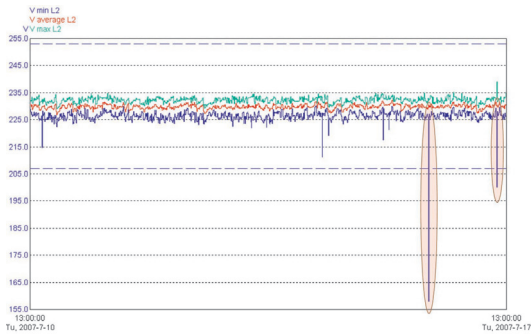
W tabeli 2 przedstawiono zbiorcze zestawienie porównawcze zarejestrowanych wartości skutecznych napięć fazowych. Zmiany wartości skutecznej napięcia mogą być spowodowane pracą samej baterii kondensatorów – załączanie kolejnych stopni – lub pracą odbiorników zasilanych z kompensowanych sekcji, takich jak: silniki dużych napędów maszyn produkcyjnych, pompy stacji obiegu wody technologicznej oraz suwnice. Przedstawione na rysunku 6 wartości napięcia spełniają wymagania rozporządzenia [4]: w każdym tygodniu 95% zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego mieści się w przedziale odchyień $\pm 10\%$ napięcia znamionowego.

Wyróżnione na rysunku 6 obniżenia wartości skutecznej napięcia poniżej wartości dopuszczalnej (minimalna wartość z grupy zarejestrowanych pomiarów w czasie 10 min.) spowodowane były zapadami napięcia. W czasie pomiarów, baterii BK1 i BK2, analizator parametrów jakości energii elektrycznej zarejestrował po trzy zapady napięcia. Na rysunku 7 zaprezentowany został raport, zarejestrowanych zdarzeń w napięciu zasilającym, z ich podziałem ze względu na amplitudę napięcia w czasie zdarzenia i czas jego trwania, wygenerowany z programu PQ Log. Zdarzenia w napięciu są sortowane i zaliczane według ich maksymalnej amplitudy i czasu trwania, z uwzględnieniem podziału zgodnego z zaleceniami UNIPEDE (International Union of Producers & Distributors of Electrical Energy).

Zarejestrowane przez analizator zapady napięcia zostały również odnotowane przez system monitoringu linii zasilających i wewnątrzzakładowej sieci elektroenergetycznej PowerLogic SMS-1500. System SMS-1500 dzięki analizatorom sieci nadzorującym główne zasilacze zakładu, rejestruje parametry jakości energii elektrycznej, w punkcie pomiarowym. Przyczyna zarejestrowanego zapadu napięcia, powstała poniżej punktu pomiarowego, a więc znajdowała się po stronie odbiorcy energii elektrycznej.

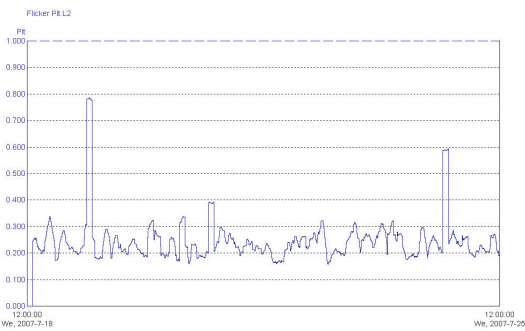
Tabela 2. Parametry napięcia zasilającego baterii BK1 i BK2

U_{rms}	Nr bat.	BK1			BK2		
	Faza	L1 V	L2 V	L3 V	L1 V	L2 V	L3 V
U_{min}	min	205,33	207,94	202,71	187,66	157,97	209,61
U_{sr}	min	225,57	226,99	226,42	226,28	226,79	226,35
	cp05	226,89	228,12	227,66	227,78	228,38	227,89
	śr	228,52	229,57	229,16	229,30	229,81	229,37
	cp95	227,30	228,46	228,04	228,28	228,75	228,34
	max	231,18	232,00	231,52	231,59	232,29	231,61
U_{max}	max	234,29	234,70	234,70	238,78	238,99	238,78



Rys. 6. Wartości skuteczne napięcia fazy L2 – BK2

Wahania napięcia zasilającego są powodowane głównie zmianami obciążenia w przemysłowej sieci elektroenergetycznej lub procesami łączeniowymi w sieci zasilającej. Zarejestrowane poziomy wskaźnika długookresowego migotania światła P_{It} (rys. 7), dla obydwu przeprowadzonych pomiarów, spełniają wymagania rozporządzenia [4] (tab. 1) i nie przekraczają ustalonych wartości.



Rys. 7. Wskaźnik długookresowego migotania światła P_{It} fazy L2 – BK1

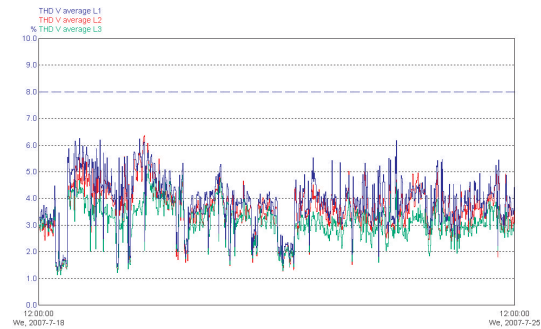
Asymetria napięcia zasilającego w sieciach trójfazowych jest bardzo istotna, przede wszystkim, z punktu widzenia oddziaływania na pracę urządzeń przyłączonych do niej (np. silniki). Zarejestrowana przez analizator asymetria napięcia w punkcie pomiarowym nie przekracza 1% (tab. 3) i spełnia wymagania rozporządzenia [4], zgodnie z którym dopuszczalny przedział współczynnika asymetrii napięcia zasilającego (percytyl 95%) powinien zawierać się w granicach od 0 do 2%.

Tabela 3. Wartości charakterystyczne asymetrii napięcia

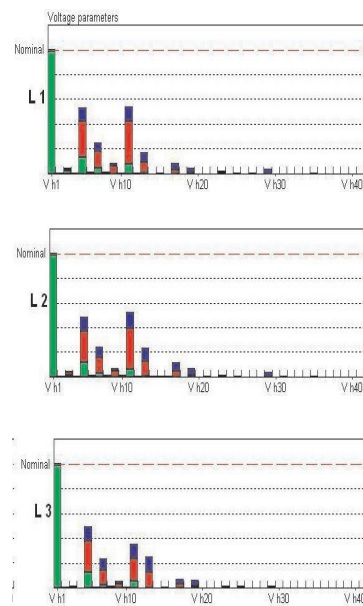
$W_{asy. U}$	Wartość	BK1	BK2
	cp95	0,35	0,34
	max	0,41	0,40

Przykładowa rejestracja współczynnika odkształcenia napięcia THD_U , przedstawiona na rysunku 8, wskazuje na niewielki poziom zaburzeń harmonicznych w napięciu zasilającym, których wartość nie przekracza dopuszczalnych 8%. Współczynnik zawartości harmonicznych spełnia wymagania rozporządzenia [4] zarówno w przypadku rejestra-

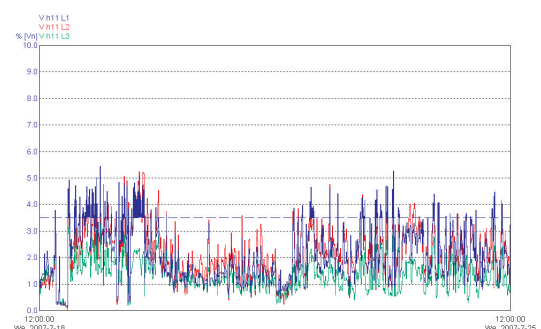
cji prowadzonych dla baterii BK1, jak i BK2. Analizując widmo skumulowanych częstości harmonicznego napięcia zasilającego (rys. 9), można zauważyć, że wartość współczynnika THD_U tworzą, przede wszystkim, harmoniczne dominujące, a więc 5., 7. i 11., charakterystyczne dla środowiska przemysłowego. Zarejestrowane wartości harmonicznej 11. (rys. 10) przekraczają poziomy określone rozporządzeniem [4] oraz normą [5].



Rys. 8. Współczynnik odkształcenia napięcia zasilającego THD_U – BK1



Rys. 9. Widmo harmonicznych napięcia zasilającego – BK1



Rys. 10. Harmoniczna 11 – BK1

Odształcenia napięcia wymuszają poziomy składowych harmonicznych w prądzie zasilającym, co może powodować nadmierne grzanie się kondensatorów, dalsze odształcenie krzywej napięcia i w konsekwencji awarię baterii [10].

6. WNIOSKI Z POMIARÓW

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że dla istniejącego obciążenia w stacji transformatorowo-rozdzielczej warunki pracy baterii kondensatorów BK1 i BK2 można uznać za poprawne.

Stwierdzone odształcenia napięcia, mierzone wartością współczynnika THD_U , nie przekraczają dopuszczalnych rozporządzeniem [4] i normą [5] wartości, nawet przy maksymalnych, zarejestrowanych, prądach obciążenia baterii.

Obserwowany wysoki poziom 11. harmonicznej napięcia zasilającego, baterii BK1, wymuszał krytyczny poziom prądu 11. harmonicznej w baterii kondensatorów, który może być przyczyną przegrzewania izolacji kondensatorowej.

Odształcenie prądu kondensatorów jest rezultatem obecności odbiorników nieliniowych po stronie zarówno pierwotnej jak i wtórnej transformatora. Odształcenia napięcia zasilającego po stronie SN to efekt łącznej emisji odbiorników przyłączonych w pozostałych stacjach transformatorowo-rozdzielczych zakładu.

Moc baterii kondensatorów BK1 i BK2 jest wystarczająca z punktu widzenia kompensacji mocy biernej zasilanych z analizowanej podstacji odbiorników.

7. PODSUMOWANIE

Stosowanie właściwej kompensacji mocy biernej pozwala na prawidłową eksploatację wewnątrzzakładowego systemu elektroenergetycznego, jak również w istotny sposób wpływa na koszty związane z opłatami za energię elektryczną.

W dobie coraz silniejszej konkurencji rynkowej, istotnym i stale zyskującym na znaczeniu elementem gospodarki energetycznej przedsiębiorstw produkcyjnych staje się racjonalizacja zużycia nośników energetycznych, mająca na celu redukcję udziału tych kosztów w całkowitych kosztach działalności. Właściwą drogą do osiągnięcia tego celu jest optymalizacja sposobu zakupu i zużycia mediów energetycznych, w tym energii elektrycznej. Gospodarka mocą bierną w obiekcie przemysłowym jest szczególnie istotna i w znacznym stopniu może przyczynić się do redukcji opłat za energię elektryczną przedsiębiorstwa.

Monitorowanie infrastruktury elektroenergetycznej i parametrów energii elektrycznej, jak również zrozumienie skali i złożoności zagadnienia jakości energii elektrycznej,

może przyczynić się, w znacznym stopniu, do lokalizacji i neutralizacji jej wpływu na urządzenia i instalacje technologiczne przedsiębiorstwa.

Literatura

- [1] Fassbinder S.: *Harmoniczne. Kondensatory w środowisku o dużej zawartości harmonicznych*. [w:] Jakość zasilania – poradnik, Wrocław, Polskie Centrum Promocji Miedzi S.A. 2004
- [2] Pędzisz K.: *System zarządzania i monitoringu sieci elektroenergetycznej zakładu przemysłowego*. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, nr 23, 2007, ISSN 1425-5766, s. 81–84
- [3] LPQI: <http://www.lpqi.org/lwslib/ktwse?page> – link aktualny na dzień 10.02.2008
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. z dnia 29 maja 2007 r.). Na podstawie art. 9 ust. 3 i 4 ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz. U. z 2006 r. Nr 89, poz. 625, z późn. zm. 3)
- [5] PN-EN 50160: 2002 *Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych*. Kwiecień 2005
- [6] Hanzelka Z.: *Jakość dostaw energii elektrycznej wyzwaniem dla współczesnej elektrotechniki (cz. 1)*. Elektroinfo, nr 12, 2006, s. 16–22
- [7] Pacholski E.: *Źródła energii biernej. wybór rozwiązań optymalnych ograniczających przepływy energii biernej w elektroenergetycznej sieci KGHM „Polska Miedź” S.A.* Referaty naukowo-techniczne ELMA ENERGIA. <http://www.elma-energia.pl/indexpl.php> – link aktualny na dzień 01.04.2008
- [8] *Fluke 1745 Power Quality Logger. User Manual, Rev.1, 7/06, April 2006, s. 19*
- [9] Strojny J., Strzałka J.: *Projektowanie urządzeń elektroenergetycznych*. Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne 2001, ISSN 0239-6114
- [10] Olesz M.: *Jakość energii elektrycznej w obiekcie przemysłowym*. Inżynieria & Utrzymanie Ruchu Zakładów Przemysłowych, nr 10, 2006, s. 48–52

Wpłynęło: 25.11.2008

Krzysztof PĘDZISZ



Urodzony 11 lutego 1980 roku w Myślenicach. Tytuł magistra inżyniera o specjalności elektroenergetyka uzyskał w roku 2004 na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Od 2004 roku do chwili obecnej kontuuje naukę (studia doktoranckie w zakresie elektrotechniki na Wydziale EAIiE AGH), równocześnie od grudnia 2004 roku jest zatrudniony w Tele-Fonika Kable Sp. z o.o. S.K.A. W roku 2007 ukończył studia podyplomowe o specjalności jakość energii elektrycznej na Wydziale EAIiE AGH.

e-mail: krzysztof.pedzisz@agh.edu.pl