

Elektromagnetyczne oddziaływania i bilans energetyczny w sieci zasilającej w budynku banku

Streszczenie. W pracy zajęto się analizą jakości energii i efektywności energetycznej w obiekcie, jakim jest budynek banku, z charakterystyczną dla niego infrastrukturą odbiorników energii. Rozważania mają na celu określenie bilansu energetycznego oraz oddziałujących zaburzeń w sieci budynku banku pod kątem możliwości ograniczenia powstawania zakłóceń w pracy wykorzystywanego osprzętu elektrycznego oraz optymalizacji opłat za energię elektryczną (racjonalizacji gospodarowania energią).

Abstract. The paper focuses on the analysis of the quality of power and power efficiency within a bank building, including an infrastructure of power receivers typical for such facilities. The purpose of the paper is to determine the power balance and disturbances interacting within the bank building's mains in terms of possibilities of limiting the occurrence of disturbances in the operation of electrical equipment and optimization of electricity fees (rationalization of energy management). (*Electromagnetic effect and energy balance in power supply network at bank building*).

Słowa kluczowe: racjonalizacja gospodarowania energią, kompensacja mocy biernej, elektromagnetyczne oddziaływania, harmoniczne.

Keywords: rationalization of energy management, reactive power compensation, electromagnetic effect, harmonics.

doi:10.12915/pe.2014.12.46

Wprowadzenie

We wszelkich obszarach działalności człowieka wykorzystywane są powszechnie elementy i urządzenia elektryczne. Z uwagi na niezwykle dynamiczny rozwój gospodarczy sektorów związanych z produkcją, przetwarzaniem informacji, działalnością menadżersko-administracyjną, naukowo-dydaktyczną oraz usługowo-handlową poziom zaawansowania technicznego wykorzystywanego w tych jednostkach osprzętu elektrycznego nieustannie wzrasta. Wraz z rozwojem osprzętu elektrycznego, elektronicznego i informatycznego wzrasta niebezpieczeństwo powstawania i oddziaływania zaburzeń, czyli zagrożeń prawidłowości pracy (niezawodności) występujących obok siebie urządzeń, a także mają miejsce tendencje wzrostowe obciążeń mocą bierną, co może generować dodatkowe znaczne koszty eksploatacyjne (wzrost opłat za zużycie energii elektrycznej) [1-15]. Istnieje zatem potrzeba właściwej identyfikacji i zapobiegania oddziaływaniu zaburzeń oraz wprowadzenia racjonalizacji gospodarowania energią.

Sposób zarządzania jakością i efektywnością energetyczną w obiektach gospodarczych będzie różny w zależności od rodzaju i ilości pracujących w nich odbiorników energii, ich charakteru, własności funkcjonalnych i spełnianych przez nie zadań. Pewne typy obiektów będą miały podobne jakościowo wyposażenie elektryczne, a zatem określony, dla nich typowy charakter. Jednym z takich obiektów o charakterystycznym wyposażeniu elektrycznym jest budynek banku, w którym głównymi odbiornikami energii elektrycznej są: sprzęt informatyczny (serwery, komputery), a także układy oświetlenia, klimatyzacji i osprzęt biurowy. Wiąże się to z możliwościami generowania się określonych zaburzeń elektromagnetycznych oraz obok mocy czynnej z poborem pewnej mocy biernej.

W pracy zajęto się zagadnieniami jakości energii oraz efektywności energetycznej (a w konsekwencji ekonomicznej) w obiekcie gospodarczym, jakim jest budynek banku. Dokonano pomiarów związanych z bilansem energetycznym oraz powstającymi zaburzeniami w różnych punktach obiektu, związanych z funkcjonowaniem różnych grup urządzeń odbiorczych. Celem przeprowadzonych analiz jest wskazanie metod poprawy warunków pracy urządzeń odbiorczych oraz ograniczenia kosztów funkcjonowania obiektu.

Oddziaływania elektromagnetyczne i bilanse energii w zależności od specyfiki odbiorników

W każdym miejscu, gdzie występuje napięcie i przepływają prądy powstają pola elektromagnetyczne. Z

oddziaływaniem pól elektromagnetycznych na układy lub urządzenia elektryczne wiąże się zagadnienie powstawania i oddziaływania zaburzeń, które mogą wywołać zakłócenie prawidłowego funkcjonowania osprzętu elektrycznego bądź jego awarie [2,3,5-7].

Typ oraz charakter powstających i oddziałujących zaburzeń zależy od specyfiki wykorzystywanych urządzeń. Układy, w których zachodzą częste stany łączeniowe elementów biernych (cewek i kondensatorów), mogą mieć tendencje do generowania przebiegów (powstających w stanach przejściowych) szczególnie groźnych dla pracy podzespołów elektronicznych (półprzewodnikowych). Występujące w układach elementy o silnych nieliniowościach sprzyjają powstawaniu odkształceń sygnałów napięciowych i prądowych (generowaniu wyższych harmonicznych). Dynamiczne załączanie i wyłączanie dużych obciążeń może być przyczyną powstawania zapadów napięcia. Ponadto zarówno elementy nieliniowe, jak również podzespoły bierne mogą wywoływać powstawanie dodatkowych strat energetycznych bądź opłat za ponadnormatywny pobór energii biernej, wprowadzając dodatkowe koszty w realizowanych procesach [1,3,4,9-12].

Do niedawna charakter odbiorników energii w sieci elektroenergetycznej był najczęściej rezystancyjno-indukcyjny (związany głównie z funkcjonowaniem wszelkiego typu maszyn elektrycznych i przetworników elektromechanicznych). Obecnie często zdarzają się przypadki, że charakter odbiorników jest rezystancyjno-pojemnościowy. Ma to miejsce głównie w centrach komputerowych bądź w obiektach, w których pracują zasilacze impulsowe, elektroniczne układy prostownicze, stabilizujące, filtrujące, elektroniczne układy sterowania oświetleniem wyładowczym itp. [4,9,12].

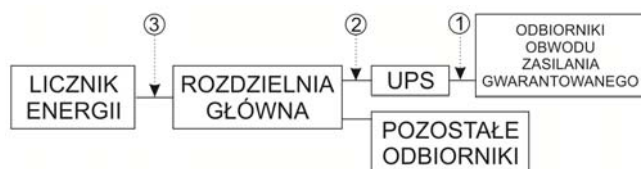
Duże obiekty związane z działalnością człowieka, jak hale produkcyjne, centra handlowe, budynki administracji, centra przetwarzania informacji itp., mają swoją określoną, dla nich charakterystyczną specyfikę, związaną z gospodarowaniem energią oraz powstawaniem i oddziaływaniem zaburzeń. Jednym z takich obiektów (o charakterystycznym typie obciążeń) jest budynek banku. Głównymi elementami odbiorczymi są w nim rozbudowane systemy informatyczne, jak również układy oświetlenia, klimatyzacji oraz drobny sprzęt biurowy. Z uwagi na funkcjonowanie dużej liczby elementów i układów nieliniowych, pracujących impulsowo, zawierających układy prostownicze, stabilizacyjne oraz filtrujące, charakter

występującego tam obciążenia jest rezystancyjno-pojemnościowy i powstają znaczne odkształcenia przebiegu pobieranego prądu (generowane są wyższe harmoniczne). Ze względu na oczekiwaną niezawodność działania znacznej części osprzętu stosowane są tam systemy zasilania gwarantowanego, również często obciążające sieć mocą bierną pojemnościową.

Wyniki pomiarów w budynku banku

Pomiary zrealizowano w budynku banku, gdzie odbiornikami energii były głównie: 23 komputery, serwery, 2 drukarko-kopiarki, drukarka laserowa, system zasilania gwarantowanego UPS o mocy 30 kVA (innej firmy niż EVER), bankomat, 4 układy klimatyzacji, układy oświetlenia energooszczędnego oraz drobny sprzęt biurowy.

Wyniki pomiarów: prądów, napięć, mocy (czynnych, biernych i pozornych) całkowitych oraz w poszczególnych fazach układu, współczynników mocy, przebiegów prądów fazowych oraz zawartości harmonicznych prądów w poszczególnych punktach (1, 2, 3 przedstawionych na rysunku 1) instalacji elektrycznej budynku banku zamieszczono na rysunkach 2÷4.



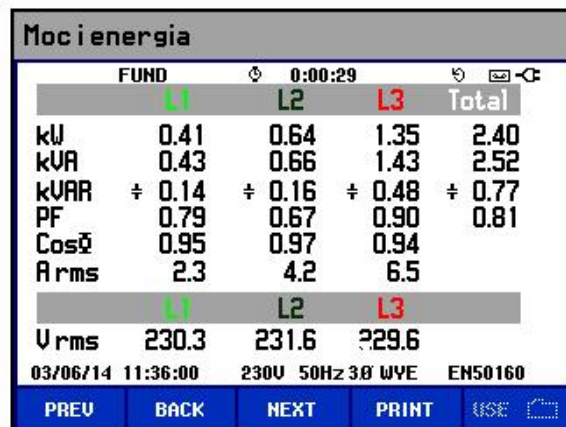
Rys. 1. Miejsca realizacji pomiarów w budynku banku

Najważniejszymi odbiornikami energii w banku są serwery i komputery, w których przetwarzane są dane związane z realizowanymi operacjami finansowymi oraz obsługiwaniymi klientami. Z uwagi na strategiczne znaczenie tych odbiorników nieodzowne jest ich załączenie do sieci zabezpieczanej przez system zasilania gwarantowanego UPS. Z pomiarów przeprowadzonych na wyjściu zasilacza UPS (punkt 1 na rysunku 1) wynika, że są to urządzenia pobierające obok mocy czynnej (użytecznej) moc bierną pojemnościową, zatem mają charakter rezystancyjno-pojemnościowy. Moc bierna pojemnościowa pobierana przez urządzenia załączone na wyjściu UPS przekraczała 30% wartości mocy czynnej (rys. 2a). Jest to zrozumiałe z uwagi na sposób funkcjonowania ich zasilaczy impulsowych. Z tego samego powodu powstają bardzo silne odkształcenia prądów pobieranych przez te odbiorniki. Kształty prądów pobieranych z poszczególnych faz zasilacza UPS przedstawiono na rysunku 2b, natomiast charakterystykę widmową prądów (harmonicznych) na rysunku 2c. Całkowity współczynnik odkształceń prądu THD_i przekraczał 65% (zauważyć można zawartość głównie 3, 5, 7, i 9 harmonicznej). Dzięki zasileniu z UPS VFI (on-line) ma miejsce separacja energetyczna tych urządzeń od sieci zasilającej, dlatego tylko w ograniczonym zakresie niekorzystnie oddziałują one na sieć elektroenergetyczną. Zasilacz bezprzerwowo pełni zatem funkcję zabezpieczania (zwiększania niezawodności) zasilania odbiorników o znaczeniu priorytetowym, a jednocześnie ogranicza możliwość powstania wzajemnych, negatywnych oddziaływań elektromagnetycznych urządzeń o znaczeniu strategicznym oraz innych odbiorników pracujących w obiekcie.

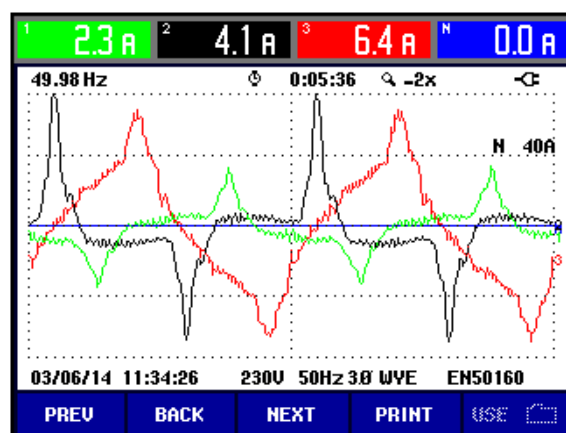
Analogiczne badania zrealizowano na wejściu zasilacza UPS (w punkcie 2 na rysunku 1). Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że obwód wejściowy UPS pobiera z sieci 2 kvar mocy biernej pojemnościowej (rys. 3a), co stanowi ok. 60% pobieranej mocy użytecznej, której wartość kształtowała się na poziomie 3,3 kW. Zastosowany zasilacz UPS (zachodniej firmy) był mocno przewymiarowany

(przygotowany do przyszłego wzrostu mocy załączonych odbiorników), dlatego stosunkowo mało zmieniająca się moc bierna stanowiła tak duży udział w mocy całkowitej pobieranej przez zasilacz.

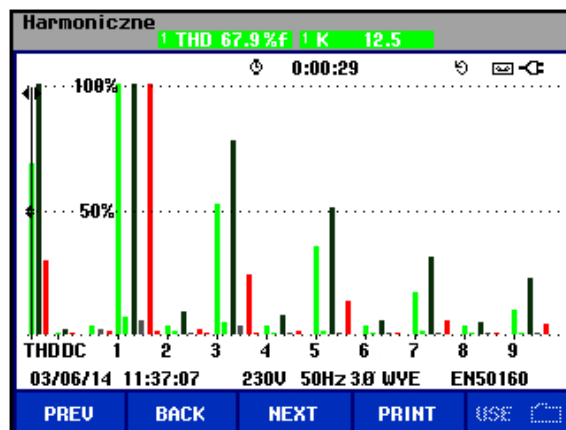
a)



b)



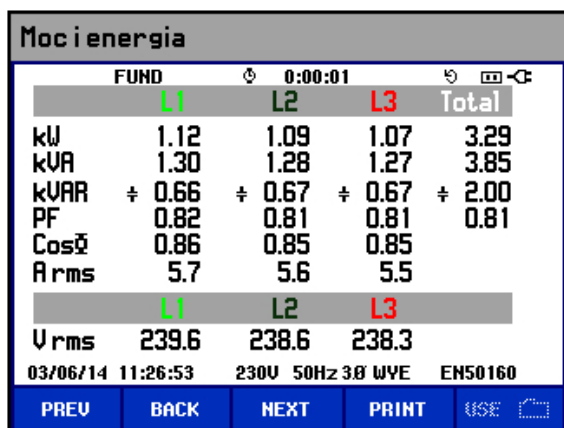
c)



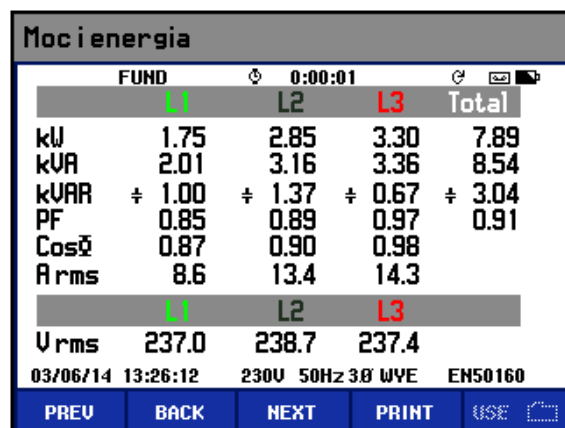
Rys. 2. Wyniki pomiarów w obwodzie zasilania gwarantowanego (wyjście UPS): a) napięcia, prądy i moce, b) przebiegi pobieranych prądów, c) charakterystyka widmowa harmonicznych prądów

Całkowity współczynnik odkształceń prądu na wejściu UPS miał wartość poniżej 35% (występowanie szczególnie 2 i 3 harmonicznej), a zatem sieć była obciążona przez UPS prądem o mniejszych zniekształceniach (rys. 3b oraz 3c) niż odkształcenia prądów pobieranych przez odbiorniki na jego wyjściu.

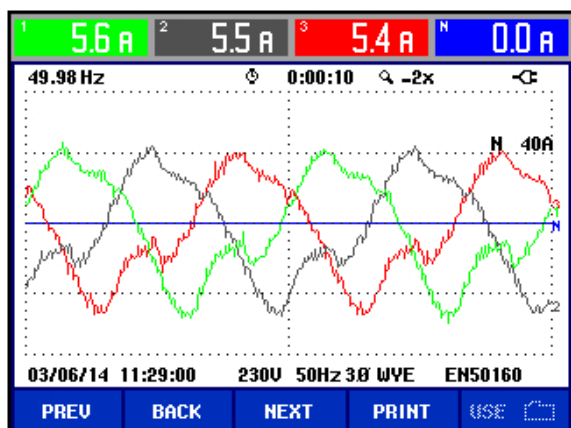
a)



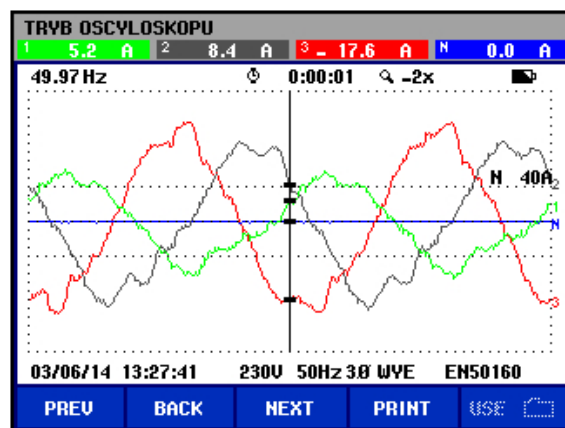
a)



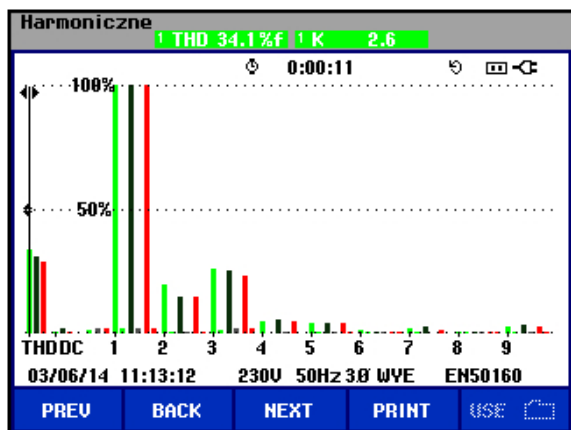
b)



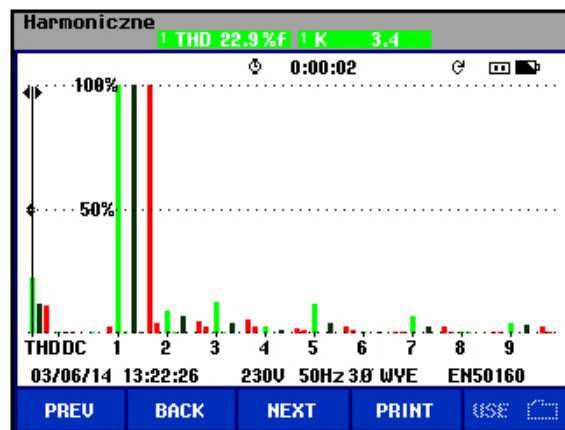
b)



c)



c)



Rys. 3. Wyniki pomiarów w obwodzie zasilania gwarantowanego (wejście UPS): a) napięcia, prądy i moce, b) przebiegi pobieranych prądów, c) charakterystyka widmowa harmonicznych prądów

Rys. 4. Wyniki pomiarów na wejściu rozdzielni głównej budynku banku: a) napięcia, prądy i moce, b) przebiegi pobieranych prądów, c) charakterystyka widmowa harmonicznych prądów

Dokonano również pomiarów mocy i zniekształceń prądów dla całego obiektu (w punkcie 3 na rysunku 1). Równolegle z zasilaczem UPS do sieci zasilającej w budynku banku podłączone były głównie układy oświetlenia energooszczędnego oraz klimatyzacji.

Przebiegi prądów pobieranych z sieci przez wszystkie odbiorniki w budynku przedstawiono na rysunku 4b, natomiast widmową charakterystykę częstotliwościową na rysunku 4c. Współczynnik zniekształceń prądu THD_i dla całego obiektu miał wartość poniżej 25% (zawartość głównie 2, 3, 5 i 7 harmonicznej).

Całkowita moc pobierana w budynku banku (rys. 4a) jest na poziomie 8,5 kVA, przy czym pobierana moc bierna pojemnościowa jest rzędu 3 kvar (przy mocy użytecznej około 8 kW). Jednoznacznie wynika stąd, że w obiekcie występują problemy z kompensacją mocy biernej. Analiza udostępnionych rachunków za energię elektryczną (z kilku miesięcy 2014 r.) wykazała (tab. 1), że bank ponosi wyższe opłaty miesięczne za pobór energii biernej pojemnościowej niż za energię użyteczną (energia bierna jest trzykrotnie droższa od energii czynnej).

Tabela 1. Zestawienie kosztów zużycia energii elektrycznej w budynku banku dla przykładowych miesięcy 2014 r.

Miesiąc	Energia bierna pojemnościowa [kvarh]	Energia czynna [kWh]	Koszt en. biernej [zł]	Koszt en. czynnej [zł]
01	2177	5097	1315,08	1200,34
03	2125	4474	1283,67	1053,63
04	2009	4193	1213,60	987,45

Znaczna część mocy biernej rozpatrywanego obiektu pobierana jest przez załączony UPS. W większości systemów zasilania gwarantowanego UPS VFI (on-line) funkcjonujących na rynku stosowane są układy korekcji współczynnika mocy (PFC), których zadaniem jest osiągnięcie współczynnika mocy jak najbardziej zbliżonego do wartości 1. W rezultacie producenci deklarują, że jest on na poziomie około 0,99. Jest to parametr podawany dla optymalnego obciążenia, niemniej zasilacze te pobierają z sieci pewną moc bierną pojemnościową, za którą użytkownik płaci regularne rachunki, czyli stanowi to obciążenie finansowe dla obiektu.

Firma EVER produkuje zasilacze UPS POWERLINE 33 oraz GREEN 33, w których realizowana jest kompensacja mocy biernej, w efekcie czego nie jest pobierana przez nie z sieci żadna moc bierna pojemnościowa, a dodatkowo może być skompensowana moc bierna innych urządzeń załączonych do wspólnej sieci elektroenergetycznej w obiekcie. Jest to funkcjonalność podlegająca patentowaniu. Wejściowy obwód UPS pracuje jednocześnie jako elektroniczny przesuwnik fazowy i bez dołączania dodatkowych elementów kompensacyjnych dokonuje kompensacji mocy biernej własnej oraz w pewnym zakresie (rzędu 25% mocy znamionowej) mocy biernej zarówno pojemnościowej, jak i indukcyjnej odbiorników załączonych równolegle z UPS do sieci zasilającej. Osiąga się dzięki temu eliminację opłat za ponadumowny pobór mocy biernej, czyli realne, powtarzające się cyklicznie, wymierne oszczędności finansowe.

Uwagi i wnioski

Z przeprowadzonych pomiarów wynika jednoznacznie, że zdecydowana większość odbiorników charakterystycznych dla obiektu, jakim jest budynek banku, wprowadza silne odkształcenia pobieranego prądu (oddziaływanie harmonicznych), a jednocześnie obciąża układ zasilania (obok mocy czynnej) mocą bierną pojemnościową. Efektem tego mogą być nieprawidłowości funkcjonowania osprzętu wrażliwego na oddziaływanie wyższych harmonicznych, a na bieżąco bardziej dotkliwym skutkiem jest zwiększenie opłat za użytkowanie energii elektrycznej, wynikające z powstawania dodatkowych strat energetycznych związanych z oddziaływaniami harmonicznych, a przede wszystkim z poboru z sieci zasilającej energii biernej pojemnościowej (która jest około trzykrotnie droższa od energii czynnej i na którą nie ma żadnego limitu nieodpłatnych poborów).

Poprawę funkcjonowania obiektów w obu obszarach uzyskuje się dzięki zastosowaniu UPS EVER POWERLINE GREEN 33. Z uwagi na separację energetyczną zabezpieczanych odbiorników od sieci zasilającej (topologia VFI) osiąga się eliminację oddziaływania na nie zaburzeń sieciowych, natomiast ze względu na wprowadzenie funkcji kompensacji mocy biernej (likwidacji poboru z sieci mocy biernej pojemnościowej) uzyskuje się eliminację opłat za energię bierną pojemnościową. Dzięki temu osiąga się wzrost niezawodności funkcjonowania urządzeń, a

jednocześnie realne oszczędności finansowe wynikające z racjonalnego gospodarowania energią.

Kompensację mocy biernej można zrealizować przez zastosowanie kompensatorów, czyli dodatkowych urządzeń pobierających moc bierną przeciwnego charakteru. Znacznie korzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie zasilacza UPS, który w tym obiekcie i tak musi być załączony, a posiadającego funkcję kompensacji mocy biernej (którego obwód wejściowy działa jednocześnie jako elektroniczny przesuwnik fazowy), a nie jedynie mającego układ PFC. Daje to pewność, że z sieci elektroenergetycznej nie będzie pobierana moc bierna pojemnościowa, czyli umożliwi w najprostszy sposób eliminację opłat za ponadumowny pobór mocy biernej.

Właściwe określenie specyfiki odbiorników w różnych obiektach związanych z działalnością człowieka umożliwia prawidłowe dostosowanie technicznych środków zaradczych w celu ograniczenia oddziaływania zaburzeń, a jednocześnie wprowadzenie racjonalnego zarządzania energią.

LITERATURA

- [1] Barlik R., Nowak M., Jakość energii elektrycznej – stan obecny i perspektywy, *Przegląd Elektrotechniczny*, 81 (2005), nr 07/08, 1-12
- [2] Bednarek K., Electromagnetic action of heavy-current equipment operating with power frequency, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, Vol. 16 (2010), No 3, 357-368
- [3] Bednarek K., Jakość, pewność i właściwa konstrukcja układu zasilania a bezpieczeństwo urządzeń elektrycznych, *Elektro.info*, 2012, nr 12, 26-31
- [4] Bednarek K., Kompensacja mocy biernej i praca hybrydowa w systemach zasilania gwarantowanego (UPS), *Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical engineering*, Poznań 2013, No 74, 33-41
- [5] Bednarek K., Kasprzyk L., Suppression of higher harmonic components introduction to the networks and improvement of the conditions of electric supply of electrical equipment, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), No 12b, 236-239
- [6] Bielecki S., Jakość energii elektrycznej na rynku energii, *Przegląd Elektrotechniczny*, 83 (2007), nr 07/08, 68-72
- [7] Charoy A., Compatibilite electromagnetique. Parasites et perturbations des electroniques, 1-4 (1996), Dunod, Paris
- [8] Cheng P.T., Lee T.L., Distributed Active Filter Systems (DAFSs): A new approach to power system harmonics, *IEEE Trans. Industry Applications*, 42 (2006), No 5, 1301-1309
- [9] Czarnecki L., Moce w obwodach elektrycznych z niesinusoidalnymi przebiegami prądów i napięć, Warszawa 2005, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej
- [10] Koziarowska A., Bartman J., Wpływ kompensacji mocy biernej na zawartość harmonicznych na przykładzie urządzeń kopalnianych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 1, 136-140
- [11] Pasko M., Lange A., Kompensacja mocy biernej i filtracja wyższych harmonicznych za pomocą filtrów biernych LC, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr 4, 126-129
- [12] Wciślik M., Bilanse mocy w obwodzie prądu przemiennego z odbiornikiem nieliniowym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 2, 136-140
- [13] Dz. U. nr 93/2007, poz. 623 – Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 4 maja 2007 w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego
- [14] PN-EN 50160: 2010 – Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
- [15] <http://www.ever.eu/> [dostęp: 2014.10.08]

Autor: dr inż. Karol Bednarek, EVER Sp. z o.o., ul. Grudzińskiego 30, 62-020, Swarzędz, E-mail: k.bednarek@ever.eu.