

**Marcin WARDACH¹, Andrzej KIRYLUK²,
Piotr CIERZNIĘWSKI¹, Tomasz ZARĘBSKI¹**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych, Oddział Szczeciński SEP (1)
Akel – Usługi Elektryczne Automatyka Andrzej Kiryluk (2)

Analiza jakości i zużycia energii elektrycznej w instalacjach obiektów o charakterze przemysłowym, komunalnym i usługowym

Streszczenie. Praca obejmuje pomiary i analizę jakości energii elektrycznej oraz zużycia energii w wybranych zakładach przemysłowym, komunalnym i usługowym. W pracy opisano parametry jakościowe energii elektrycznej, przedstawiono przyrządy do pomiarów i analizy jakości energii elektrycznej oraz kryteria i sposoby jej oceny. Opisano pomiary mocy w instalacjach z odbiornikami nieliniowymi oraz podano sposoby zmniejszenia wpływu czynników pogarszających jakość energii elektrycznej. Zasadniczą częścią pracy jest analiza jakości i zużycia energii elektrycznej na podstawie przeprowadzonych pomiarów na kilku obiektach i urządzeniach o różnym charakterze pracy.

Słowa kluczowe: jakość energii elektrycznej, pomiar paramentów energii elektrycznej, analiza jakości energii elektrycznej, poprawa jakości energii elektrycznej.

Wstęp

Energia elektryczna jest przedmiotem umowy pomiędzy jej dostawcą a odbiorcą i, jak każdy inny produkt, powinna spełniać odpowiednie wymagania jakościowe. Dostawca energii elektrycznej powinien zapewnić, aby parametry napięcia zasilającego na zaciskach przyłącza były równe znamionowym lub mieściły się w przedziałach dopuszczalnych odchyień i deformacji. Z kolei odbiorca nie powinien, poprzez swoje odbiorniki, wpływać negatywnie na sieć elektroenergetyczną. Natomiast jakość energii elektrycznej można określić na podstawie porównania jej określonych parametrów z wartościami dopuszczalnymi, które są zdefiniowane w odpowiednich uregulowaniach prawnych, między innymi w normie PN-EN 50160 *Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych*. Celem pracy było m.in. przeprowadzenie pomiarów jakości i zużycia energii elektrycznej w wybranych obiektach i urządzeniach oraz analiza uzyskanych wyników.

Parametry jakościowe energii elektrycznej oraz metody poprawy jakości energii elektrycznej

Norma PN-EN 50160 definiuje m.in. kilka niżej wymienionych parametrów jakościowych energii elektrycznej:

- wolne zmiany napięcia (odchylenia),
- wahania napięcia - współczynnik krótko i długoterminowy migotania światła,
- zapady napięcia i przerwy w zasilaniu,
- harmoniczne, interharmoniczne,
- współczynnik odkształcenia,
- asymetria napięcia,

VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

- zmiany częstotliwości zasilania (wahania i odchylenia),
- przepięcia.

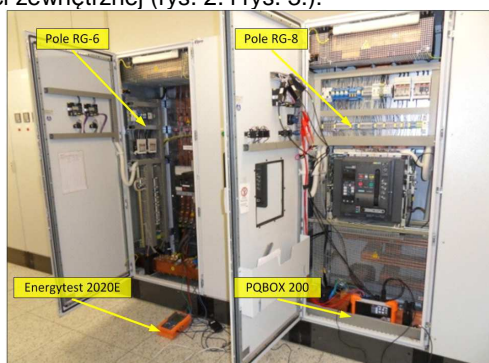
Poprawa jakości energii elektrycznej możliwa jest dopiero po zdiagnozowaniu i zdefiniowaniu przyczyn jej pogorszenia. Redukcja skutków złej jakości energii jest możliwa w odniesieniu do konkretnych zaburzeń, wybranych odbiorników, określonych technologii oraz ściśle zdefiniowanych warunków zasilania poprzez:

- ograniczenie emisji źródła zaburzeń,
- zredukowanie stopnia sprzężenia źródła zaburzeń z odbiornikiem energii,
- zwiększenie odporności odbiorników na zaburzenia.

Zwiększenie wymagań, co do stosowanego obecnie sprzętu elektronicznego, szczególnie teleinformatycznego w zakresie niezawodności i jakości zasilania, spowodowało zainteresowanie rozwiązaniami, które do tej pory ze względów technicznych i ekonomicznych nie były stosowane. Dlatego też coraz częściej projektuje i stosuje się kompleksowe układy zapewniające ograniczenie do minimum efektów obniżenia wielu parametrów jakości energii elektrycznej. Przykładami takich rozwiązań są układy bezprzerwowego zasilania UPS i filtry aktywne, np. Skalowalny Aktywny Filtr (SAFi). Jest to nowoczesne rozwiązanie aktywnego filtra harmonicznego o budowie modułowej, włączanego równolegle między źródło i odbiorniki. Taki sposób połączenia sprawia, że filtr ma możliwość korygowania parametrów prądu odbiornika, jednocześnie nie będąc dodatkowym urządzeniem pośredniczącym w przekazywaniu energii między źródłem a odbiornikami. Może filtrować harmoniczne, kompensować moc bierną a także zmniejszać asymetrię.

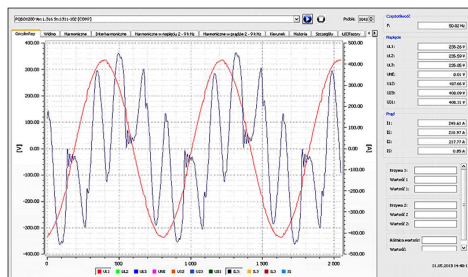
Pomiary w rozdzielni głównej oczyszczalni ścieków

Jako punkty pomiarowe w oczyszczalni wybrano pole wyłącznika głównego oznaczone RG-8 zasilane z transformatora nr 1 oraz pole RG-6 generatora prądu nr 2. Pomiary przeprowadzono jednocześnie dwoma przyrządami. W polu RG-8 podłączono analizator PQBOX 200, natomiast w polu RG-6 zamontowano analizator Energytest 2020E (rys. 1.). Rejestrację pomiarów prowadzono przez 4 dni, podczas pracy generatora na sieć oczyszczalni. Po analizie zarejestrowanych danych z obu przyrządów, stwierdzono występowanie bardzo dużych anomalii w sieci zasilającej oczyszczalnię, przede wszystkim podczas oddawania energii wytwarzanej przez generator G2 do sieci zewnętrznej (rys. 2. i rys. 3.).

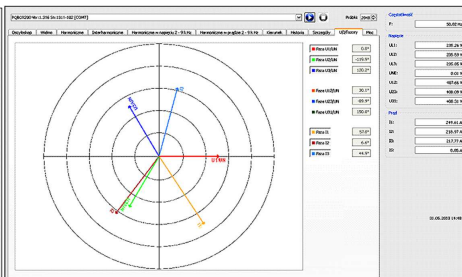


Rys. 1. Widok Rozdzielni Głównej podczas pomiarów

VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014



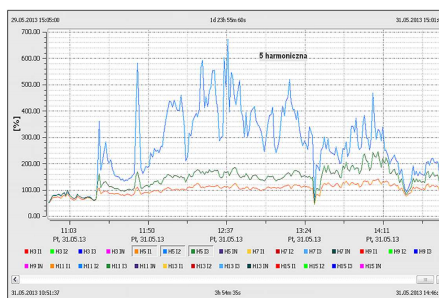
Rys. 2. Zniekształcony przebieg prądu transformatora T1



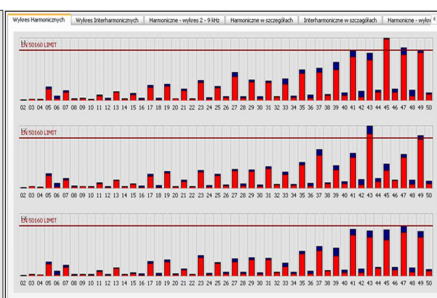
Rys. 3. Wykres wektorowy przedstawiający różnicę przesunięć fazowych

Zakłócenia na szynach zasilania z transformatora T1 objawiały się zwiększeniem zniekształcenia prądu obciążenia transformatora, szczególnie przez 5 harmoniczną prądu w fazie L2 (rys. 4.). Prąd generatora nie był zniekształcony, współczynnik THDi < 5%, wynika z tego, że harmoniczne prądu generowane były i zamykały się w obwodzie transformator – sieć zakładowa oczyszczalni, występowało prawdopodobnie zjawisko rezonansu, wzmacniającego składową prądu o $f = 250$ Hz (5 harmoniczna). Na rys. 5. przedstawiono ponadto rozkład harmonicznych napięć fazowych, na którym linią poziomą zaznaczono limit zdefiniowany w normie PN-EN 50160.

Zjawisko obciążenia transformatora harmonicznymi jest niebezpieczne, może spowodować skrócenie czasu jego eksploatacji i uszkodzenie izolacji, ze względu na zwiększenie strat. Do oceny wpływu harmonicznych na obciążenie transformatora posłużono się opcją programu analizatora do wyliczenia współczynnika K podającego zdolność akumulacji ciepła w porównaniu z typowym transformatorem, któremu odpowiada współczynnik $K = 1$. Biorąc pod uwagę wyniki, transformator powinien mieć współczynnik większy od $K = 4$, a przy współpracy z generatorem większy od $K = 20$.



Rys. 4. Dominująca 5. harmoniczna

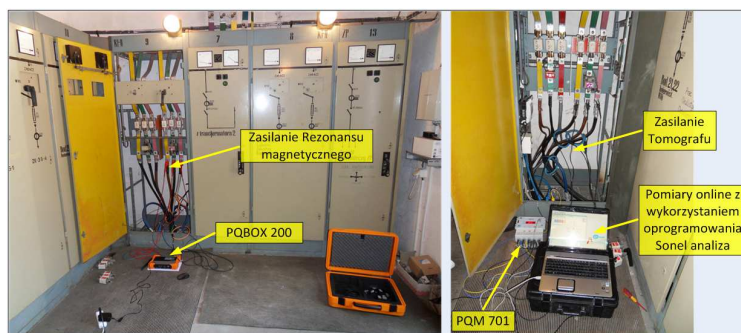


Rys. 5. Wartości harmonicznych napięcia

Prace badawcze w szpitalu publicznym

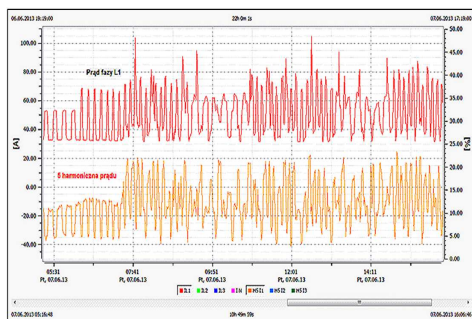
Szpital, wyposażony jest w nowoczesny sprzęt diagnostyczny. Między innymi w tomograf komputerowy, rezonans magnetyczny i angiograf. Każde urządzenie wraz z wyposażeniem zasilane jest osobną linią kablową z rozdzielni głównej (RG). Tomograf i angiograf zasilane są z transformatora TR1, rezonans magnetyczny z TR2. Urządzenia pracują okresowo. Do pomiarów wykorzystano dwa analizatory umieszczone w RG. W punkcie zasilania tomografu i angiografu podłączono analizator PQM 701. Natomiast w obwodzie zasilania rezonansu magnetycznego zainstalowano analizator PQBOX 200 (rys. 6.). Pomiar prądu przeprowadzono także w przewodzie PEN.

VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

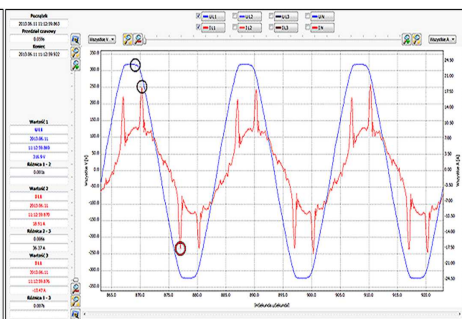


Rys. 6. Widok rozdzielni głównej szpitala

Analizując wykres wartości prądu fazy L1 i piątej harmonicznej prądu zasilania Rezonansu magnetycznego (rys. 7.), widać odwrotnie proporcjonalną zależność wielkości harmonicznej od wartości prądu. Przy małym prądzie 5. harmoniczna osiąga 48% harmonicznej podstawowej, by zmaleć do 5% przy dużym obciążeniu. Harmoniczna ta występuje w układach energoelektronicznych, mostkach prostowniczych 6-pulsowych, zatem z wykresów wynika, że urządzenie posiada prostownik sterowalny, przy którym zawartość harmonicznych, np. 5. i 7., jest uzależniona od kąta wysterowania elementów energoelektronicznych, dlatego przy małym kącie wysterowania (mały pobór prądu) ich wartość rośnie. Natomiast rozważając wykresy z rysunku 8 należy stwierdzić, że impulsowy pobór prądu przez urządzenie angiografu, skutkuje powstaniem licznych harmonicznych prądu i napięcia.



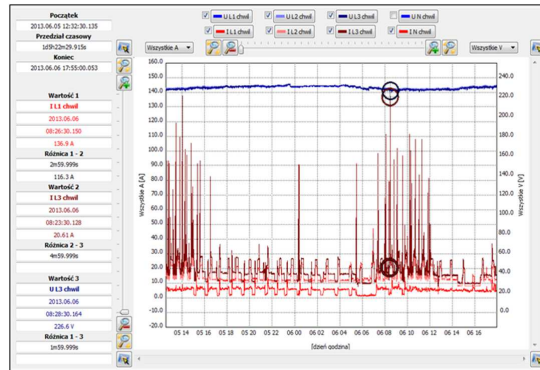
Rys. 7. Wykres wartości prądu fazy L1 i jego 5. harmonicznej przy zasilaniu rezonansu magnetycznego



Rys. 8. Przebieg oscyloskopowy prądu i napięcia fazowego podczas działania angiografu

Na rysunku 9 przedstawiono wykresy prądu i napięcia chwilowego w punkcie zasilania tomografu. Zmierzone zużycie energii przez urządzenie w ciągu doby pozwoliło wyliczyć $\text{tg}\varphi = 0,49$, który jest większy od zalecanej wartości 0,4. Spowodowane jest okresowym zwiększeniem poboru mocy biernej przez to urządzenie.

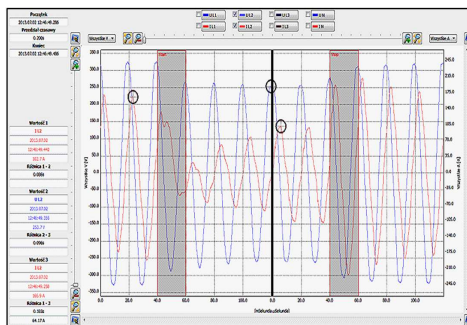
VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014



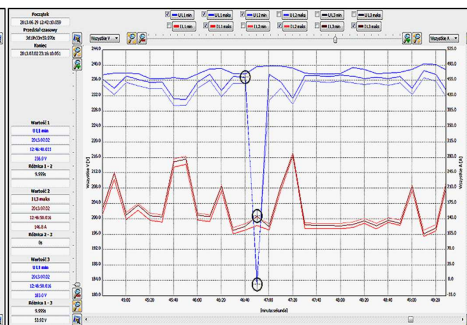
Rys. 9. Wykres czasowy prądu i napięcia chwilowego podczas działania tomografu

Pomiary w zakładzie usług remontowych

Zasilanie pewnego zakładu remontowego odbywa się z wewnętrznej sieci rozdzielczej niskiego napięcia typu TN-C. Do pomiarów wykorzystano analizator PQM 701. Analizator podłączono w punkcie zasilania rozdzielniczy głównej, został on skonfigurowany do rejestracji krótkotrwałych zakłóceń parametrów jakościowych energii. Pierwszym zdarzeniem był zapad napięcia w fazie L1 do około 180 V (rys. 10. i rys. 11.). Stwierdzono, że nie był on wynikiem zwiększonego poboru prądu od strony odbiorcy, ale pojawił się od strony zasilania, na co wskazuje krótki czas jego trwania, mógł być spowodowany zwarcim i szybkim zadziałaniem zabezpieczeń w zewnętrznej sieci rozdzielczej. Kolejnym zdarzeniem była duża wartość współczynników migotania światła (rys. 12.), przekroczyły one znacznie dopuszczalne wartości. Wykres przedstawia relacje między prądem, napięciem fazowym i krótkotrwałym współczynnikiem migotania światła, na jego podstawie można stwierdzić, że wahania napięcia wywołujące efekt migotania światła były wynikiem dużej zmienności poboru prądu po stronie odbiorcy. Większość odbiorów stanowią obrabiarki z silnikami asynchronicznymi klatkowymi o rozruchu bezpośrednim i to one głównie były powodem wahań napięcia. Ponadto stwierdzono niską wartość współczynnika mocy, bowiem średnia wartość nie przekroczyła 0,5, co odpowiada współczynnikowi $\tan \varphi = \sqrt{3}$. Zatem ilość pobranej energii biernej jest większa od zużytej mocy czynnej.

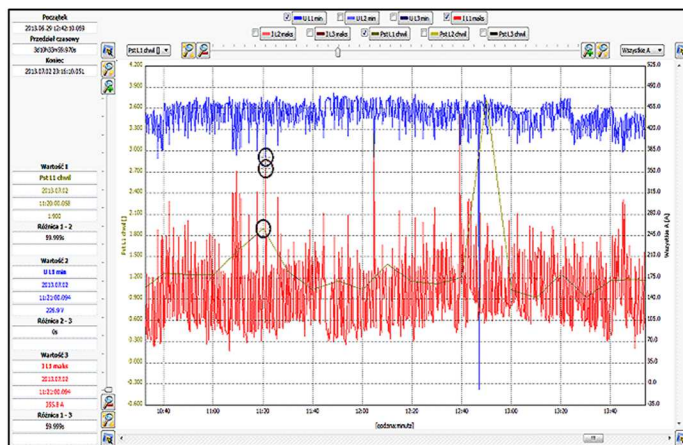


Rys. 10. Przebieg prądu i napięcia fazowego podczas zapadu napięcia



Rys. 11. Wykres czasowy prądów i napięć fazowych podczas zapadu napięcia

VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014



Rys. 12. Wykres prądu, napięcia i współczynnika migotania światła podczas zapadu

Wnioski

Ze wszystkich przedstawionych przebiegów wynika, że we współczesnych instalacjach elektrycznych występuje wiele niekorzystnych zjawisk, które wynikają z coraz częstszego występowania urządzeń o nieliniowym charakterze pracy.

Podsumowując wyniki analizy przeprowadzonych pomiarów, można stwierdzić, że w każdym przypadku, w mniejszym lub większym stopniu, stwierdzono występowanie pogorszenia parametrów jakościowych energii elektrycznej. W pracy, ze względu na jej ograniczoną objętość, przedstawiono wybrane i najciekawsze pod względem występujących zakłóceń wyniki analizy.

Literatura

1. Henryk Markiewicz Antoni Klajn, Podręcznik INPE Zeszyt 14 Jakość energii i niezawodność zasilania w instalacjach elektrycznych. Bełchatów: SEP-COSiW, 2007
2. Andrzej Pawłęga, Konspekty do wykładów: Jakość energii elektrycznej w układach elektroenergetycznych, Instytut Elektroenergetyki PW.
3. Europejski Instytut Miedzi. (2007) Leonardo Power Quality Initiative. www.lpqj.org
4. Wojciech Pierzgalski, "Standaryzacja Metod Pomiarowych Grupy Przyrządów Przeznaczonych Do Wyznaczania Wskazników Jakości Energii Elektrycznej," Prace Instytutu Elektrotechniki zeszyt 232, 2007.
5. Leszek S. Czarnecki, Moce w obwodach elektrycznych z niesinusoidalnymi przebiegami prądów i napięć.: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005.

Autorzy: dr inż. Marcin Wardach e-mail: Marcin.Wardach@zut.edu.pl; dr inż. Piotr Cierzniewski e-mail: Piotr.Cierzniewski@zut.edu.pl; dr inż. Tomasz Zarebski-mail: Tomasz.Zarebski@zut.edu.pl; Katedra Elektroenergetyki i Napędu Elektrycznego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, Oddział Szczeciński Stowarzyszenia Elektryków Polskich, al. Wojska Polskiego 67, 70-478 Szczecin, mgr inż. Andrzej Kiryłuk, przedsiębiorca, właściciel firmy „Akel – Usługi Elektryczne Automatyka Andrzej Kiryłuk”, e-mail: Akelservis@interia.pl.