

Arkadiusz DOBRZYCKI*

ANALIZA PARAMETRÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM BRANŻY ALUMINIOWEJ

Niniejsza praca przedstawia analizę parametrów sieci elektrycznej dla przykładowego przedsiębiorstwa branży aluminiowej. Przeanalizowane zostało wyposażenie zakładu jego charakter pracy oraz parametry sieci elektroenergetycznej. Pokazano zmienność parametrów czasie, przeprowadzono ich analizę statystyczną. Pokazano, że w zakładzie utrzymywane są parametry zasilania wymagana przez normy, jednakże odbiory charakteryzują się stosunkowo niskim współczynnikiem mocy. Wskazano potencjalne skutki jego poprawy, zarówno techniczne – kilkunastoprocentowe zmniejszenie wartości pobieranego z sieci prądu oraz podobnej wielkości zmniejszenie spadków napięć i strat mocy, jak i ekonomiczne – zlikwidowanie opłat za pobór mocy i energii biernej.

1. WPROWADZENIE

Istotnym zagadnieniem, zarówno dla dostawcy jak i dla użytkownika energii elektrycznej jest jej jakość. Dla dostawcy ważnym jest, aby urządzenia odbiorcze nie wprowadzały do sieci zakłóceń mogących negatywnie wpływać na jej funkcjonowanie. Stąd też przy zawieraniu umowy dostawca zobowiązuje odbiorcę do zachowania odpowiednich parametrów odbioru, np. odpowiedniej wartości współczynnika mocy. Z kolei na dostawcy energii ciąży obowiązek dotrzymania i warunków dostawy energii narzucony przez ustawę Prawo energetyczne [5].

Ponieważ niezachowanie odpowiednich parametrów zasilania może, w skrajnych przypadkach, powodować niepoprawną pracę urządzeń odbiorcy, a przesyłanie do sieci mocy biernej, czy też wyższych harmonicznych [1] może wpływać negatywnie na pracę tej sieci stąd zrozumiała jest dbałość obu stron o zachowanie jak najlepszych parametrów energii elektrycznej.

Odpowiednie uwarunkowania prawne, czyli norma PN-EN 50160 [6] oraz umowa zawierana między dostawcą a odbiorcą są narzędziami definiującymi istotne parametry zasilania i ich dopuszczalne wartości. Oprócz zapisów w powyższych regulacjach, konieczny jest odpowiedni monitoring tych parametrów. Część z nich np. $\text{tg}(\varphi)$ jest monitorowana przez dostawcę na bieżąco, natomiast pozostałe są sprawdzane okresowo, bądź wcale. Taki brak monitoringu,

* Politechnika Poznańska.

powszechny u odbiorców małej mocy, wynika często z niezajomości zagadnienia – w małych zakładach często nie ma specjalisty z branży elektroenergetycznej. A zainteresowanie pojawia się, w momencie znacznej zmiany kwot do zapłaty na rzecz przedsiębiorstwa energetycznego. Najczęstszym powodem nakładanych kar jest przekraczanie mocy umownej lub niezachowanie odpowiedniego $\text{tg}(\varphi)$.

Przeprowadzenie audytu może stanowić cenną informację o potrzebach i aktualnej gospodarce energetycznej przedsiębiorstwa. Audyt taki wykonywany jest niezmiernie rzadko ze względu na spodziewane koszty, a tymczasem ich wysokość, wg informacji uzyskanych w badanym przedsiębiorstwie, nie przekracza kilkuset złotych. [3]

2. ANALIZA PARAMETRÓW ZASILANIA – STUDIUM PRZYPADKU

2.1. Charakterystyka obiektu

Przedsiębiorstwo Atlanta Aluminium sp. z o.o. mieści się w powiecie Buk w województwie wielkopolskim i produkuje stolarkę oraz ślusarkę aluminiową. Większość prac jest wykonywana z użyciem specjalistycznych urządzeń, ale niektóre czynności wykonywane są ręcznie. Zaobserwowano, że prawdopodobieństwo jednoczesnego używania wielu maszyn jednocześnie jest znikome – z reguły pracują jedna lub dwie, a pozostali pracownicy wykonują prace manualne. Taki cykl pracy wymuszony jest specyfiką wyrobu. [3].

Analizowany zakład produkcyjny jest zasilany z sieci SN poprzez transformator 15/0,4 kV, o mocy 160 kVA. Układ pomiarowy jest układem półpośrednim ze wskaźnikiem mocy szczytowej.

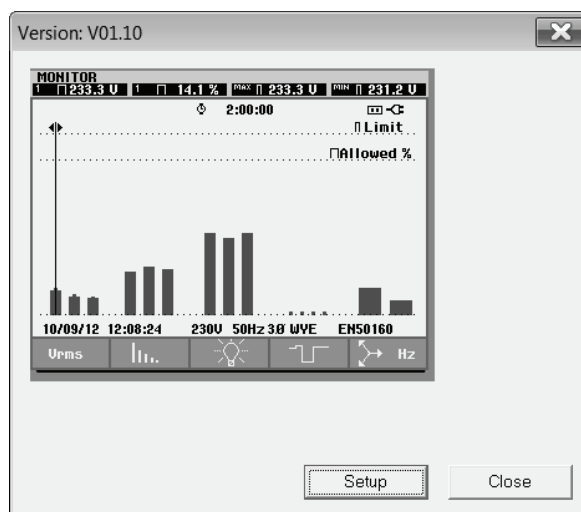
Natomiast wyposażenie elektryczne, z punktu widzenia mocy poszczególnych urządzeń przedstawia się następująco. Największy odbiorniki ma moc 30 kW, a moc pozostałych odbiorów nie przekracza kilku kW. Dominującymi urządzeniami są: kompresor zasilający urządzenia pneumatyczne, obrabiarki numeryczne, oświetlenie. Pozostałe wyposażenie obejmuje infrastrukturę informatyczną oraz sprzęt biurowy.

Pomiary wykonano podczas normalnej pracy zakładu, o różnych porach dnia i w różnych dniach tygodnia. Wykonano kilkanaście kilkugodzinnych pomiarów, aby uzyskać dużą rozdzielczość i znaleźć wartości średnie parametrów w przedziałach czasu nie dłuższych niż kilka sekund. Do pomiarów użyto analizatora parametrów sieci elektroenergetycznej Fluke 434 [4], natomiast do analizy wykorzystano oprogramowanie FlukeView oraz arkusz kalkulacyjny Excel.

2.2. Wyniki pomiarów

Badania parametrów jakości energii elektrycznej, a zwłaszcza ich zmienność w czasie przeprowadzono kilkakrotnie. Przedstawione poniżej wyniki są wartościami typowymi, charakterystycznymi dla rozpatrywanego przypadku.

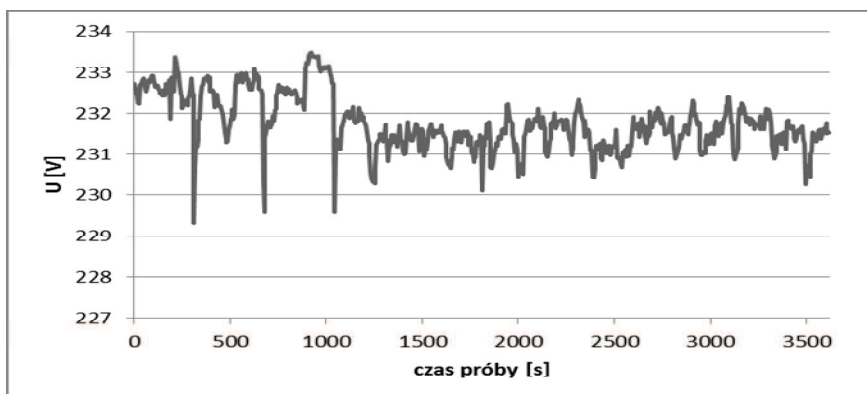
Rejestrowane parametry, mogą być prezentowane on-line w trakcie trwania próby, a ponadto po zakończeniu badania mogą być poddane szczegółowej analizie z wykorzystaniem specjalizowanego oprogramowania komputerowego FlukeView, lub zapisane w formacie csv, co pozwala na wykorzystanie innego niż dedykowane oprogramowania do analizy. Na rysunku 1 pokazane są wyniki pomiarów, pogrupowane wg badanego kryterium. Każda grupa przedstawia wartości dla poszczególnych faz. I tak odpowiedni od lewej przedstawione są: zmiany wartości skutecznej napięcia fazowego, sumaryczna wartość odkształceń harmonicznych, szybkie zmiany napięcia zasilani, zapady napięcia oraz sumaryczna niesymetria zasilania i odchylenia częstotliwości.



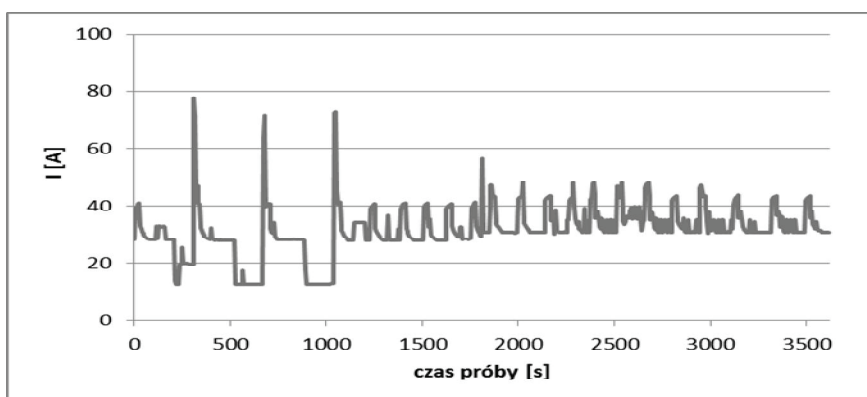
Rys. 1. Wyniki badania parametrów sieci elektroenergetycznej

Jak można zauważyć wszystkie z przedstawionych powyżej parametrów mieszczą się w zakresie wartości dopuszczalnych.

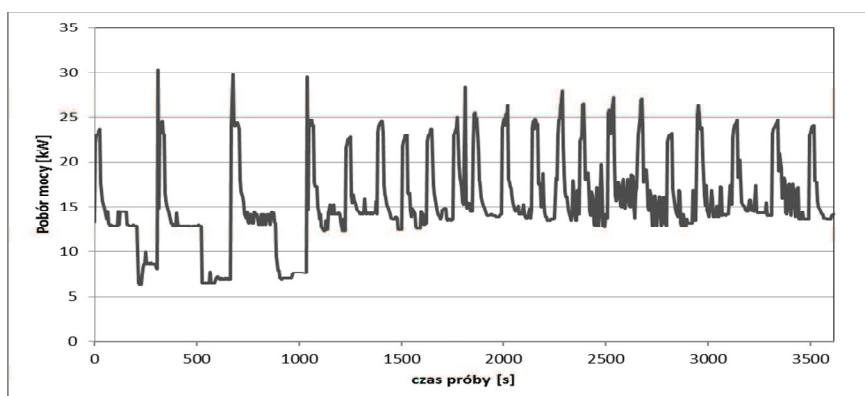
Na rys. 2÷5 przedstawiono zmiany w czasie wybranych parametrów sieci. Celem pokazania okresowości tych zmian prezentowane są wyniki dla jednogodzinnych przedziałów czasowych. I tak rysunki prezentują odpowiednio zmiany w czasie: wartości skutecznej napięcia fazowego dla jednej z faz, wartości skutecznej prądu fazowego jednej z faz, poboru mocy czynnej, współczynnika mocy całego zakładu oraz udział poszczególnych harmonicznych napięcia.



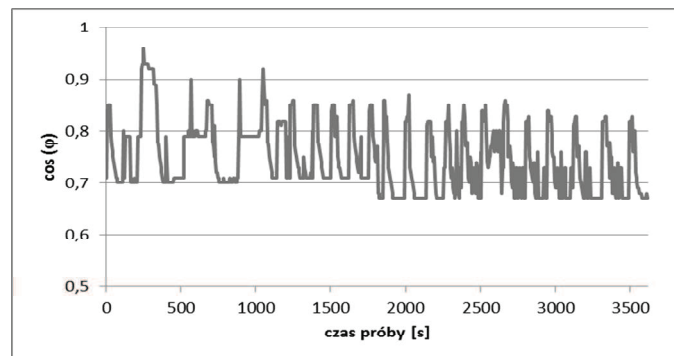
Rys. 2. Przykładowe zmiany wartości skutecznej napięcia fazowego w czasie



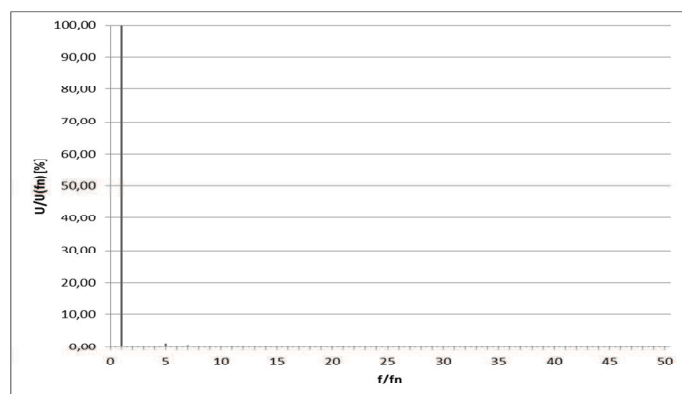
Rys. 3. Przykładowe zmiany wartości skutecznej prądu fazowego w czasie



Rys. 4. Przykładowe zmiany poboru mocy czynnej w czasie



Rys. 5. Przykładowe zmiany współczynnika mocy w czasie



Rys. 6. Przykładowy udział poszczególnych harmonicznych w czasie próby

O ile wartości napięcia zasilającego ulegają niewielkim wahaniom – rzędu kilku woltów, o tyle zmiany wartości prądu i współczynnika mocy są znaczne, w przypadku prądu wartość maksymalna jest około cztery razy większa od minimalnej, natomiast maksymalna wartość współczynnika mocy jest około półtorej razy większa od jego wartości minimalnej. Podobnie dużą dynamiką cechują się zmiany pobieranej mocy czynnej – w tym przypadku wartość maksymalna jest około trzykrotnie większa od minimalnej.

W przypadku odkształceń harmoniczných, udział poszczególnych składowych widma w stosunku do podstawowej jest pomijalnie mały.

Poniżej przedstawiona zostanie analiza statystyczna otrzymanych przebiegów czasowych. Analizowanymi parametrami będą: wartość minimalna, maksymalna, średnia, mediana, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, a także przedstawiony zostanie przedział ufności dla prawdopodobieństwa równego 99%. Przy obliczeniach założono, że rozkład wartości jest rozkładem normalnym, a próba jest próbą liczną [2].

Tabela 1. Analiza statystyczna wyników pomiarów

Wielkość mierzona	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia	Mediana	Odchylenie standardowe	Granice dla przedziału ufności równego 99%		Współczynnik zmienności [%]
						dolna	górna	
U [V]	229,32	233,79	231,95	231,84	0,65	230,27	233,63	0,28
I [A]	12,40	77,63	30,43	30,71	7,75	10,47	50,40	25,47
P [kW]	6,2	30,3	14,8	14,1	4,3	3,5	26,0	29,40
$\cos(\varphi)$ [-]	0,59	0,96	0,74	0,71	0,06	0,57	0,90	8,62

Wyniki analizy statystycznej wskazują, że względnie stałą wartością jest napięcie zasilające, jego współczynnik zmienności wskazuje, że odchylenie od wartości średniej nie przekracza 0,28 %. Z kolei największe wahania tego wskaźnika dotyczą pobieranego prądu $V_I = 25,47$ % oraz mocy $V_P = 29,40$ %. Z kolei zmiany współczynnika mocy są na średnim poziomie $V_{\cos(\varphi)} = 8,62$ %. Jednakże dla tego współczynnika istotniejsze są granice przedziału ufności, 99% zmierzonych wartości jest mniejsze od 0,90. Zmiany pobieranego prądu i mocy związane są z charakterem odbioru, natomiast niska wartość współczynnika mocy wynika z samych odbiorników. W związku z powyższym, wydaje się, że najważniejszym problemem do rozwiązania jest poprawa współczynnika. Optymalizacja, czyli wyrównanie poboru mocy jest w rozpatrywanym zakładzie bardzo trudne ze względu na jeden dominujący odbiornik.

3. ANALIZA SKUTKÓW POPRAWY WSPÓŁCZYNNIKA MOCY

Zbyt niski współczynnik mocy zakładu, oprócz dodatkowych spadków napięć, strat mocy i konieczności przewymiarowania instalacji pociąga za sobą również konsekwencje ekonomiczne. W analizowanym zakładzie, jak w większości, warunki przyłączeniowe wymagają aby $\text{tg}(\varphi)$ utrzymywany był na poziomie poniżej 0,4 [3] co implikuje $\cos(\varphi) > 0,93$. W efekcie przedsiębiorstwo jest regularnie obciążane karą za niedotrzymywanie parametrów odbioru [3]. Wg wskazań układu pomiarowego (dane za 6 m-cy), średnie wartości mocy szczytowej piętnastominutowej wynoszą ok. 19 kW, a $\text{tg}(\varphi)$ średnio 0,67.

Ponadto wykonane pomiary mocy biernej wykazały, że jej wartość zmienia się w zakresie od 1 do 15 kVar. W związku z powyższym zasadne jest zastosowanie urządzeń kompensujących (kompensatorów lub regulowanych baterii kondensatorów) o takiej właśnie zmienności mocy biernej pojemnościowej.

Analizując wskazania licznika, będącego podstawą rozliczeń między odbiorcą, a zakładem energetycznym obliczony prąd pobierany z sieci jest zbliżony do obliczonej wartości średniej i wynosi 31 A. Doprowadzenie współczynnika mocy

do wymaganego umową poziomu, pociąga za sobą konieczność zastosowania kompensatora o mocy 1÷12 kVar. Zastosowanie takiego rozwiązania nie tylko uchroniłoby zakład od karnych opłat, ale również skutkuje zmniejszeniem prądu pobieranego z sieci do wartości 28A, czyli o 10%.

4. PODSUMOWANIE

Problematyka analizy parametrów energii elektrycznej u odbiorców niewielkich mocy, rzędu kilkunastu, kilkudziesięciu kW jest często zanedbywana. Zauważa się ją najczęściej w momentach trudnych dla firmy, np. czasy kryzysu, kiedy to szuka się możliwych oszczędności, lub w przypadkach nieprawidłowej pracy urządzeń wrażliwych na parametry zasilania.

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie wniosków, mogących być wskazówką dla osób odpowiadających za gospodarkę energetyczną przedsiębiorstw:

- monitorowanie parametrów zasilania może służyć do obserwacji i weryfikacji stanu poszczególnych urządzeń oraz instalacji,
- znajomość zmienności obciążenia pozwala na optymalny dobór mocy zapotrzebowanej,
- pomiary współczynnika mocy i pobieranej mocy biernej oraz analiza faktur mogą skutkować właściwym doбором urządzeń kompensujących i w efekcie unikaniem dodatkowych obciążeń finansowych,
- znajomość pobieranego prądu i mocy jest cenną informacją w przypadku zmiany wyposażenia (zwiększenia poboru mocy).

Podsumowując, znajomość stanu instalacji oraz szczegółowych parametrów odbioru wymaga wykonania pomiarów, gdyż obliczane zapotrzebowanie na moc dla zakładów branży aluminiowej jest obarczone błędem (zwykle są to wartości zawyżone). Ponadto koniecznym wydaje się okresowa analiza parametrów sieci szczególnie w przypadku przewidywanej zmiany wyposażenia lub nagłej, znacznej zmiany obciążeń finansowych związanych z kosztami energii elektrycznej.

LITERATURA

- [1] 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*, No 12b, 2012, s. 236-239.
- [2] Ignatczyk W., Chromińska M., *Statystyka. Teoria i zastosowanie*, Wydawnictwo WSB (Wyższa Szkoła Bankowa), Poznań, 2004.
- [3] Materiały uzyskane w miejscu pomiaru (np. warunki przyłączeniowe, faktury za energię elektryczną).
- [4] Mierniki jakości energii elektrycznej, www.fluke.com, dostęp: 20.11.2012.

- [5] PN-EN 50160, Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych.
- [6] Ustawa Prawo energetyczne, Dz.U. 1997 Nr 54 poz. 348 z późn. zmianami.

THE ANALYSIS OF PARAMETERS OF ELECTRICITY IN THE ALUMINUM INDUSTRY COMPANY

This paper presents the analysis of the electrical parameters of a typical aluminum industry company. Factory equipment has been analyzed the nature of the work, and the parameters of the grid. Variability time is shown, was carried out the statistical analysis. It was shown that the plant is held power parameters required by the standards, but the receivers are characterized by relatively low power factor. Indicated the potential impact of its improvement, both technical - a double-digit decrease in consumption from the mains supply and the reduction of a similar size voltage drops and power losses, as well as economic - the elimination of charges for reactive power consumption