

ANALIZA JAKOŚCI NAPIĘCIA ZASILAJĄCEGO GOSPODARSTWA WIEJSKIE

Małgorzata Trojanowska, Krzysztof Nęcka
Katedra Energetyki Rolniczej, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań jakości napięcia zasilającego odbiorców wiejskich na terenach Polski południowej, a w szczególności wyniki pomiarów wartości napięcia, niesymetrii napięć oraz odkształceń napięcia. Na badanych terenach wartości parametrów opisujących jakość napięcia przeważnie mieszczą się w granicach tolerancji przewidzianych w normie i przepisach. Jedynie w 2 procentach obwodów wartości napięcia zasilającego przekraczały wartości dopuszczalne. W najbliższej przyszłości może jednak nastąpić pogorszenie jakości dostarczanej energii, zwłaszcza w zakresie odkształcenia krzywej napięcia zasilającego, wskutek zmian w strukturze użytkowanych odbiorników elektrycznych.

Słowa kluczowe: energia elektryczna, jakość napięcia zasilającego

Wprowadzenie

Napięcie jest parametrem, którego cechy określają jakość energii elektrycznej. Należą do nich częstotliwość napięcia, wartość napięcia, zmiany i szybkie zmiany (wahania) napięcia, zapady napięcia, krótkie i długie przerwy w zasilaniu, przepięcia dorywcze i przejściowe, niesymetria napięć oraz harmoniczne napięcia. W przeszłości nie przywiązywano dużej wagi do jakości energii elektrycznej, gdyż użytkowane w tym czasie odbiorniki (żarówki, urządzenia grzejne, silniki) były mało wrażliwe na obniżoną jej jakość. Obecnie wśród odbiorników zaczynają dominować urządzenia o nieliniowych charakterystykach prądowo-napięciowych, zawierające elementy energoelektroniczne bardzo wrażliwe na jakość napięcia zasilającego, a które same niekiedy wprowadzają znaczne zakłócenia do sieci.

W warunkach krajowego systemu elektroenergetycznego brak jest obecnie kompleksowego rozpoznania stanu jakości zasilania w energię elektryczną odbiorców, głównie z powodu braku odpowiednich przyrządów pomiarowych. Odnosi się to również do odbiorców z terenów wiejskich, gdzie dotrzymanie wymaganej jakości energii elektrycznej może być szczególnie trudne ze względu na rozległość sieci, jej zużycie techniczne i nieprzystosowanie do bieżących potrzeb odbiorców [Barlik, Nowak 2005, Trojanowska 2004, 2005].

Ostatnio nastąpiły zmiany w aktach prawnych określających jakość energii elektrycznej. Wybrane parametry jakościowe napięcia zasilającego oraz dopuszczalne ich odchylenia, zgodnie z aktualnie obowiązującym *Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy* [Dz. U. 2005], przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wybrane parametry określające jakość napięcia zasilającego oraz dopuszczalne ich odchylenia od wartości znamionowej
 Table 1. Selected parameters describing quality of supply voltage and their permissible deviations from the rated value

Parametr	Zakres zmian	Warunki dodatkowe	
Częstotliwość napięcia	50 Hz± 1% 50 Hz+4%/-6%	przez 95% tygodnia przez 100% tygodnia	czas uśredniania 10 sek.
Wartość napięcia	400/230 V±10%	przez 95% czasu obserwacji	czas uśredniania 10 min.
Niesymetria napięć	$K_{2U}^{*}) < 2\%$	przez 95% tygodnia	czas uśredniania 10 min.
Harmoniczne napięcia	THD ^{**)} < 8%	przez 95% tygodnia	czas uśredniania 10 min.

^{*)} K_{2U} – współczynnik asymetrii napięciowej,

^{**)} THD - współczynnik odkształcenia harmonicznymi napięcia zasilającego.

Źródło: Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy [Dz. U. 2005]

Cel pracy

Celem pracy była analiza jakości napięcia zasilającego odbiorców wiejskich, z uwzględnieniem aktualnie obowiązujących wymagań prawnych. Cel pracy zrealizowano w oparciu o wyniki pomiarów parametrów charakteryzujących jakość napięcia na terenach wiejskich Polski południowej, znajdujących się w rejonie obsługi energetycznej wybranej spółki dystrybucyjnej. Odbiorcy wiejscy na tych terenach zużywają średnio w roku ok. 3 MWh energii elektrycznej, a zasilani są za pośrednictwem stacji transformatorowych 15/0,4 kV, których gęstość kształtuje się na poziomie 0,6 stacji w przeliczeniu na km² i linii niskiego napięcia o gęstości 1,1 km·km².

Wyniki badań

Prowadzone badania [Hanzelka 2004] wykazały, że spośród zaburzeń napięcia za najbardziej uciążliwe dla odbiorców wiejskich można uznać wartość napięcia, asymetrię napięć oraz odkształcenia napięcia. W celu oceny wielkości tych zaburzeń prowadzono całodobowe pomiary w losowo wybranych wiejskich stacjach transformatorowych oraz wyrzykowe pomiary na końcach obwodów zasilających wiejskie gospodarstwa. Pomiary zostały wykonane przy użyciu specjalistycznych analizatorów parametrów sieci *AS-3 plus* wyprodukowanych przez warszawską firmę Twelve Electric. Są to urządzenia mikroprocesorowe przeznaczone do ciągłego pomiaru i rejestracji danych obrazujących parametry jakościowe sieci elektroenergetycznej.

Wartość napięcia

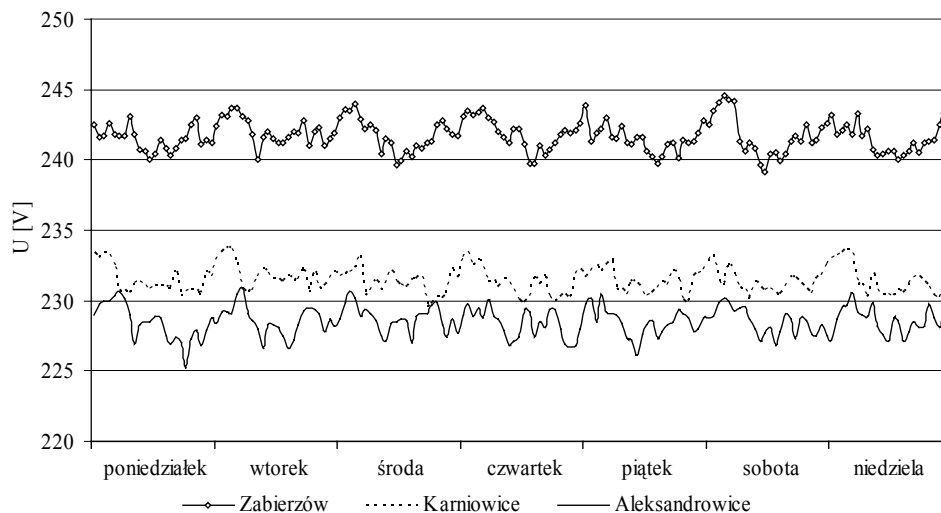
Decydujący wpływ na pracę odbiorników ma wartość napięcia zasilającego występująca długotrwale na zaciskach pracujących odbiorników. Poziom napięcia jest zdarzeniem losowym i nie ma możliwości, aby napięcie w każdym punkcie sieci było równe znamio-

nowemu. Nie powinno ono jednak przekraczać wartości dopuszczalnych przez normę i przepisy. Miarą stałości poziomu napięcia są jego odchylenia definiowane jako długotrwała różnica między napięciem zasilającym U , a jego wartością znamionową U_n [EN-PN-50160]:

$$\delta U_{\%} = \frac{|U - U_n|}{U_n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

przy czym zmiany wartości napięcia dokonują się stosunkowo wolno, wolniej niż $0,02 U_n$ na sekundę.

Przykłady tygodniowej zmienności napięcia zasilającego w wybranych wiejskich stacjach transformatorowych przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Tygodniowa zmienność napięcia U

Fig. 1. Weekly variations of voltage U

Z przeprowadzonej analizy wynika, że we wszystkich badanych stacjach napięcie mieściło się w dopuszczalnych granicach. Inaczej przedstawiały się warunki napięciowe na końcach obwodów zasilających odbiorców wiejskich. Stwierdzono, że w 2 procentach obwodów odchylenia napięcia przekraczały 10% napięcia znamionowego. Tak duże odchylenia napięcia są następstwem znacznych spadków napięć w wiejskich liniach zasilających wywołanych m. in. nadmierną długością obwodów i zbyt małymi przekrojami przewodów. Na badanym terenie bowiem jedna piąta obwodów zasilających odbiorców wiejskich ma długości przekraczające 500 m i jednocześnie blisko połowa linii wykonanych jest przewodami o przekroju nie większym niż 35 mm^2 .

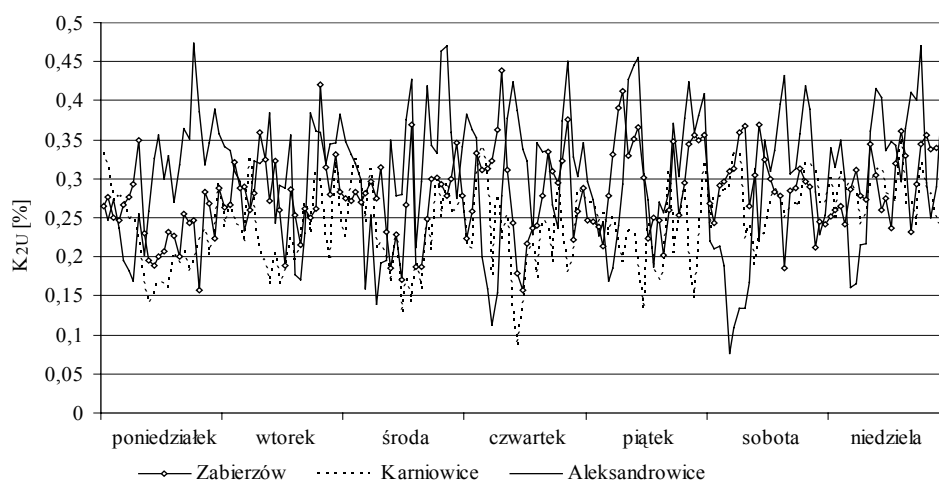
Przy odchyleniach napięcia przekraczających 10% wartości znamionowej bywają odczuwalne skutki nieprawidłowej pracy odbiorników, do których można zaliczyć, obok trudności podczas rozruchu silników, przetężenia i związane z tym nadmierne przyrosty

temperatury uzwojeń silników, niestabilną pracę lamp wyładowczych, zmniejszenie mocy biernej indukcyjnej generowanej do sieci przez kondensatory, jak również obniżenie wydajności urządzeń elektrotermicznych [Markiewicz 2002; Markiewicz, Klajn 2001].

Niesymetria napięć

Większość odbiorników użytkowanych na terenach wiejskich wykonana jest jako jednofazowe. Praca takich odbiorników w sieci trójfazowej prowadzi do asymetrii prądów obciążenia, co powoduje asymetrię spadków napięć, a w konsekwencji asymetrię napięć zasilających. Niesymetria napięć i prądów w układzie trójfazowym wpływa niekorzystnie na pracę sieci oraz przyłączonych do niej odbiorników. Szczególnie wrażliwe na ten rodzaj zaburzeń są silniki asynchroniczne, w których asymetria napięć zasilających powoduje dodatkowy przyrost temperatury uzwojeń oraz powstanie przeciwnie skierowanego momentu pomniejszającego moment użyteczny [Markiewicz, Klajn 2001]. Niesymetria napięć wpływa niekorzystnie również na pracę urządzeń jednofazowych, ponieważ część z nich jest zasilana napięciem wyższym, a część niższym od znamionowego ze wszystkimi wpływającymi stąd konsekwencjami.

Niesymetrię układu trójfazowego charakteryzuje współczynnik asymetrii K_{2U} , będący ilorzędem składowej symetrycznej przeciwnej i zgodnej napięcia. Przebiegi tygodniowej zmienności współczynnika K_{2U} w wybranych stacjach transformatorowych przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Tygodniowa zmienność współczynnika asymetrii napięć K_{2U}

Fig. 2. Weekly variations of voltage asymmetry factor K_{2U}

Największe wartości tego współczynnika, bo przekraczające o przeszło 30% wartości średnie, rejestrowano w godzinach wieczornych, kiedy to włączana jest do sieci największa liczba odbiorników gospodarstwa domowego, będących zazwyczaj odbiornikami jednofa-

zowymi. Analiza wykazała, że na badanych terenach wartości współczynnika asymetrii napięciowej wahały się w granicach od 0,08 do 0,47%, nie przekraczając ani w stacjach transformatorowych, ani na końcach obwodów zasilających wartości dopuszczalnej przez przepisy.

Odształcenie napięcia

Powszechnie przyjętą miarą odształcenia przebiegów czasowych napięć jest wartość współczynnika THD (total harmonic distortion), określająca względną zawartość w napięciu wyższych harmonicznych, według zależności:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n U_h^2}}{U_1}, \quad (2)$$

gdzie:

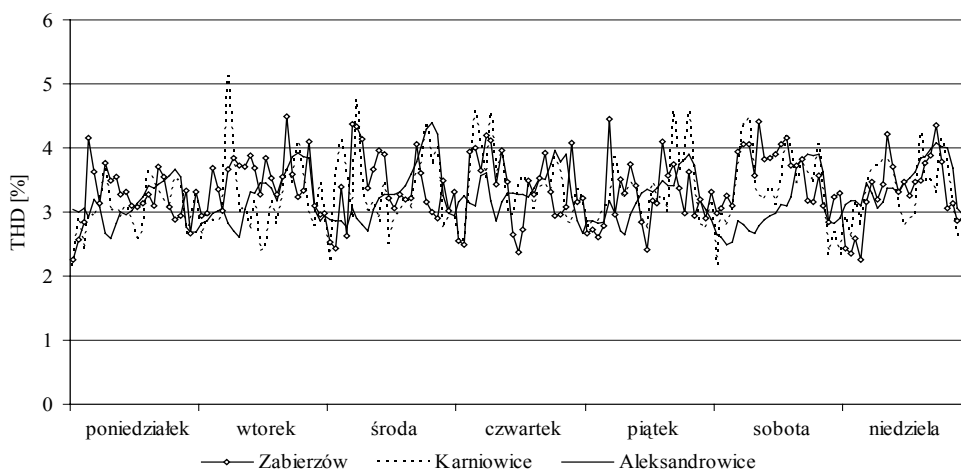
- U_h – wartość skuteczna h-tej harmonicznej napięcia,
- U_1 – wartość skuteczna 1-szej harmonicznej napięcia.

Wyższe harmoniczne oddziałują w różnym stopniu szkodliwie na pracę poszczególnych odbiorników. Odbiornikami szczególnie wrażliwymi na występowanie wyższych harmonicznych w napięciu są silniki i kondensatory. Wyższe harmoniczne powodują powstanie momentów pasożytniczych w uzwojeniach silnika, co może utrudnić lub wręcz uniemożliwić jego rozruch i prawidłową pracę. W pracy kondensatorów odształcone napięcie wywołuje natomiast intensywne ich nagrzewanie, przyspieszając zużywanie się izolacji. Wyższe harmoniczne są również przyczyną powstawania w sieci dodatkowych strat mocy czynnej, migotania światła w lampach wyładowczych, skrócenia czasu eksploatacji żarowych źródeł światła, uszkodzenia elementów elektronicznych i energoelektronicznych, nieselektywnego działania niektórych zabezpieczeń i wielu innych negatywnych skutków [Markiewicz 2002, Markiewicz, Klajn 2001].

Tygodniowe przebiegi zmienności współczynnika THD w wybranych wiejskich stacjach transformatorowych przedstawiono na rysunku 3. We wszystkich badanych obiektach zawartość wyższych harmonicznych napięcia kształtowała się na podobnym poziomie, a współczynnik THD zmieniał się od 2,2 do 5,1%, nie przekraczając prawnie dopuszczalnego poziomu.

Pomimo tego wydaje się, że w najbliższej przyszłości odształcenia napięć zasilających mogą stać się na terenach wiejskich znaczącym problemem. Źródłem wyższych harmonicznych są odbiorniki nieliniowe. Należą do nich m. in. obok silników elektrycznych, sprzęt RTV, komputery, świetlówki standardowe, świetlówki kompaktowe, lampy o sterowanym poborze mocy, sprzęt gospodarstwa domowego sterowany fazowo tj. kuchnie elektryczne, odkurzacze, miksery, różnego rodzaju energooszczędne odbiorniki energii elektrycznej zawierające przekształtniki energoelektroniczne. Liczba tego typu urządzeń na terenach wiejskich szybko wzrasta. Przykładowo obecnie co dziesiąte gospodarstwo wiejskie wyposażone jest w pojedyncze świetlówki kompaktowe, ale ok. 35% gospodarstw przewiduje ich zakup w najbliższym czasie. Komputery posiada aktualnie 16% gospo-

darstw, kolejnych 16% planuje zakup sprzętu komputerowego. Wymienione odbiorniki są źródłem 3 i 5 harmonicznej o znacznych wartościach. W prądzie pobieranym przez świetlówki kompaktowe i komputery zawartość 3-ciej harmonicznej przekracza 80%, a 5-tej jest rzędu 50%.



Rys. 3. Tygodniowa zmienność współczynnika odkształcenia napięcia THD
Fig. 3. Weekly variations of voltage deformation factor THD

Podsumowanie

Pojawienie się na rynku mikroprocesorowej aparatury kontrolno-pomiarowej umożliwiło prowadzenie ciągłych badań jakości energii elektrycznej w dowolnie długim okresie czasu. Nowoczesna aparatura daje możliwość gromadzenia danych pomiarowych w pamięci wewnętrznej oraz przesyłanie ich do specjalistycznych programów statystycznych, pozwalających na analizę poszczególnych parametrów charakteryzujących jakość energii elektrycznej.

Na badanych terenach wiejskich wartości parametrów określających jakość napięcia zasilającego przeważnie mieszczą się w granicach tolerancji przewidzianych w normie i przepisach. Mając jednak na uwadze wzrastające obciążenie sieci elektroenergetycznych i zmiany w strukturze użytkowanych odbiorników elektrycznych można spodziewać się w niedalekiej przyszłości pogorszenia jakości energii elektrycznej, zwłaszcza w zakresie odkształcenia krzywej napięcia zasilającego, jeżeli spółka dystrybucyjna zawczasu nie podejmie działań mających na celu jej poprawę.

Bibliografia

- Barlik R., Nowak M.** 2005. Jakość energii elektrycznej – stan obecny i perspektywy. Przegląd Elektrotechniczny 7-8. s. 4-7.
- Hanzelka Z.** 2004. Jakość zasilania energią elektryczną – wybrane przykłady. II Ogólnopolska Konferencja ETW 2004 „Elektroenergetyka na terenach wiejskich”. s. 22-28.
- Markiewicz H.** 2002. Niezawodność dostaw i jakość energii elektrycznej jako kryterium wyznaczające sposoby zasilania odbiorców i wykonania instalacji elektrycznych. PCPM 19/11. s.1-26.
- Markiewicz H., Klajn A.** 2001. Wpływ zmian parametrów określających jakość energii elektrycznej na pracę odbiorników. Wyd. Polskiego Centrum Promocji Miedzi 02/03. s. 3-20.
- Trojanowska M.** 2004. Jakość energii na terenach wiejskich. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2. s. 125-131.
- Trojanowska M.** 2005. Analiza statystyczna stanu wiejskich sieci elektroenergetycznych niskiego napięcia w Polsce. Международная Конференция *Энергообеспечение и безопасность*. s. 33-37.
- PN-EN 50160:2002 – Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci. Dz. U. 2005, Nr 2, poz. 6.

ANALYSIS OF POWER SUPPLY VOLTAGE QUALITY IN RURAL FARMS

Summary. Results of line supply voltage quality measurements in rural farms located in the southern Poland were presented. They included in particular voltage levels, unsymmetrical voltages and voltage deformation measurements. Values of those parameters that describe line supply quality were found within the range of tolerance determined in both standards and regulations. The line supply voltage values exceeded permissible levels only in 2% of cases. It is however expected that the line supply may deteriorate in the near future, in particular due to deformation of the voltage characteristic curve caused by changes in structure of the utilized electric receivers.

Key words: electric power, quality of supply voltage

Adres do korespondencji:

Małgorzata Trojanowska; e-mail: trojanowska@ar.krakow.pl
Katedra Energetyki Rolniczej
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 116B
31-149 Kraków