

## WAHANIA NAPIĘCIA W WIEJSKICH SIĘCIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

Małgorzata Trojanowska, Krzysztof Nęcka

*Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** W oparciu o wyniki pomiarów prowadzonych w wiejskich stacjach transformatorowych 15/0,4 kV i na końcach linii niskiego napięcia zasilających odbiorców wiejskich z terenów Małopolski przeprowadzono analizę wahań napięcia pod kątem zgodności z obowiązującymi przepisami. Stwierdzono, że chociaż wartość napięcia zasilającego nie przekracza wartości dopuszczalnej, to warunki zasilania odbiorców wiejskich ze względu na wahania napięcia nie zawsze są prawidłowe. Odnosi się to w szczególności do odbiorców przyłączonych w pobliżu końców linii zasilających. Z przeprowadzonych badań wynika, że przeciętny odbiorca wiejski może się spodziewać w ciągu dnia ok. 8 wahań napięcia o amplitudzie przekraczającej 5% wartości napięcia znamionowego sieci, przy średnim czasie ich trwania 1,3 s.

**Słowa kluczowe:** wiejskie sieci elektroenergetyczne, wahanie napięcia

### Wstęp

Zaburzeniami szczególnie uciążliwymi dla odbiorców energii elektrycznej, zwłaszcza zasilanych z wiejskich sieci rozdzielczych, są wahania napięcia występujące w tych sieciach [Hanzelka 2004]. Wahania napięcia w międzynarodowym słowniku elektrotechnicznym [ICE 50(161)] oraz polskiej normie terminologicznej [PN-T-01030] definiuje się jako serię zmian wartości skutecznej lub obwiedni przebiegu czasowego napięcia zasilającego. Powodowane są one głównie pracą odbiorników o dużych mocach jednostkowych i zmiennym obciążeniu zwanych odbiornikami niespokojnymi, np. silników asynchronicznych podczas rozruchu, spawarek elektrycznych, bojlerów, pomp, kompresorów, itp.

Pomiaru wahań napięcia zasilającego można dokonać dwoma podstawowymi metodami. Pierwsza polega na ilościowej ocenie zjawiska na podstawie czasowej zmiany wartości skutecznej lub obwiedni napięcia zgodnie z klasycznymi wskaźnikami, którymi są amplituda wahań napięcia, częstość występowania (powtarzalność wahań) i czas trwania, ewentualnie energetyczna dawka wahań napięcia [Kowalski, Hanzelka 1997].

Druga metoda opiera się na pomiarze pośrednim zmian strumienia świetlnego będącego bezpośrednim skutkiem wahań napięcia za pomocą miernika migotania światła. Miernik taki wyznacza dwa statystyczne wskaźniki tj. krótkookresowego migotania światła mierzonego przez 10 minut oraz długookresowego migotania obliczanego na podstawie 12 kolejnych wartości wskaźnika krótkookresowego [Kujaszczyk 2004].

Zgodnie z wymaganiami [PN-EN 50160], amplituda wahań napięcia w normalnych warunkach pracy nie powinna być większa niż 5% napięcia znamionowego ( $U_N$ ). Dopuszcza

się jednak, aby w pewnych okolicznościach zmiany te osiągnęły kilka razy w ciągu dnia wartość do 10%  $U_N$ . Z kolei wartość wskaźnika długookresowego migotania nie powinna przekraczać wartości 1 przez 95% tygodnia pomiarów [Dz. U. z 2004 nr 2, poz. 5 i 6].

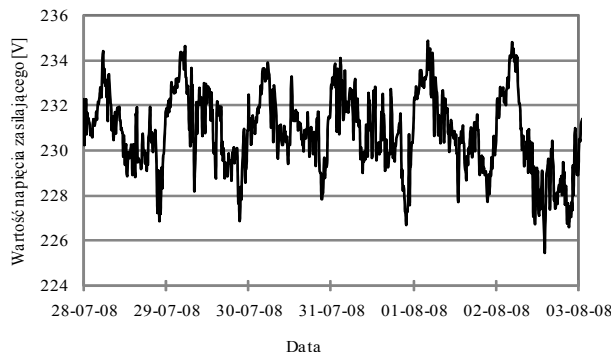
## Cel i przedmiot badań

Celem pracy była analiza wahań napięcia zasilającego odbiory na terenach wiejskich Małopolski, z uwzględnieniem aktualnie obowiązujących wymagań prawnych.

Cel pracy zrealizowano w oparciu o wyniki badań własnych przeprowadzonych w stacjach transformatorowych 15/0,4 kV i na końcach linii niskiego napięcia, za pośrednictwem których były zasilane głównie gospodarstwa domowe i rolne. Polegały one na równoczesnym pomiarze oraz rejestracji wartości napięć na początkach i końcach obwodów zasilających. Pomiary wykonywano całodobowo przy pomocy specjalistycznych mierników, tj. analizatorów parametrów sieci AS-3 plus wyprodukowanych przez firmę Twelve Electric.

## Wyniki pomiarów

Wyniki tygodniowych pomiarów napięcia wykonanych na końcu typowej linii zasilającej odbiorców wiejskich przedstawia rysunek 1.

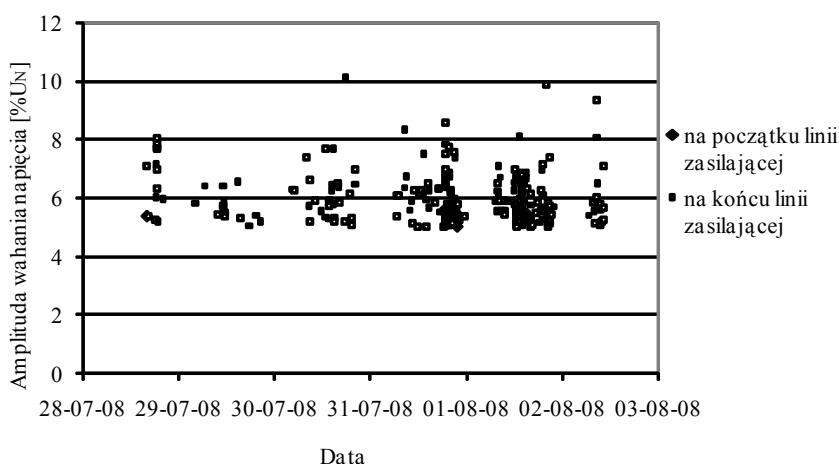


Rys. 1. Przebieg napięcia na końcu linii zasilającej odbiorców wiejskich  
Fig. 1. Voltage characteristics at the end of line supplying rural consumers

Jak z niego wynika w analizowanym okresie napięcie zasilające nie przekroczyło wartości  $230V \pm 10\%$ . Nie oznacza to jednak, że warunki zasilania odbiorców ze względu na wahania napięcia były prawidłowe. Na rysunku 2 pokazano zarejestrowane w tym samym czasie amplitudy wahań napięcia zasilającego przekraczające wartość dopuszczalną, co miało miejsce wielokrotnie w ciągu każdego dnia pomiarów. Na tym samym rysunku zaznaczono również amplitudy wahań napięcia przekraczające  $5\% U_N$  zarejestrowane na

## Wahania napięcia...

początku badanej linii. Z porównania wynika, że odbiorcy przyłączeni na końcu linii zasilającej w dużo większym stopniu odczuwają skutki pracy odbiorników niespokojnych niż przyłączeni w pobliżu jej początku.



Rys. 2. Amplitudy wahań napięcia przekraczające wartość dopuszczalną na początku i na końcu linii zasilającej odbiorców wiejskich

Fig. 2. Voltage fluctuation amplitudes exceeding admissible value at the beginning and at the end of line supplying rural consumers

Wahania napięcia wpływają szczególnie niekorzystnie na pracę odbiorników oświetleniowych, zwłaszcza żarowych źródeł światła. Wartość strumienia świetlnego  $\Phi$  jest bowiem proporcjonalna do napięcia  $U$  zgodnie z zależnością [Kowalski 2007]:

$$\Phi \sim U^\gamma \quad (1)$$

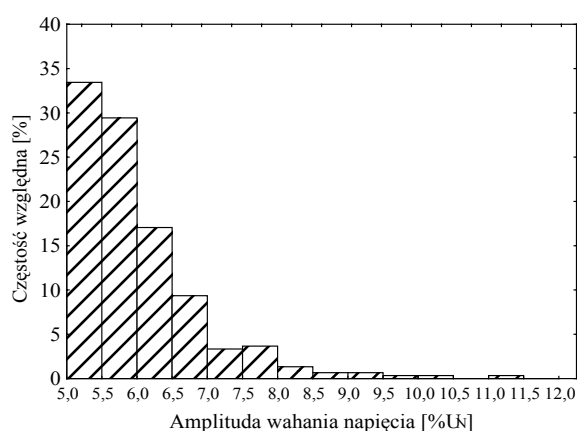
gdzie  $\gamma$  dla żarowych źródeł światła przyjmuje wartości z przedziału 3,1 – 3,7, a dla lamp fluoroscencyjnych od 1,5 do 1,8.

Migotanie światła, spowodowane wahaniami napięcia, wpływa istotnie na ograniczenie zdolności widzenia i zmęczenie organizmu, powodując pogorszenie samopoczucia i obniżenie jakości pracy. W skrajnych przypadkach może być bezpośrednią przyczyną wypadku przy pracy. Z przeprowadzonych badań wynika, że oko ludzkie ma charakter filtru pasmowego o paśmie 0,5–100 Hz [Hanzelka 2003]. Maksymalna czułość na zmiany strumienia świetlnego występuje dla częstotliwości 8–9 Hz i wtedy nawet bardzo małe amplitudy wahań mogą być uciążliwe. Dla żarowych źródeł światła odpowiada to wahanom napięcia o amplitudzie 0,3 % wartości średniej. Szczególnie uciążliwe są zmiany strumienia świetlnego dające krótki impuls świetlny, po którym występuje dłuższa przerwa.

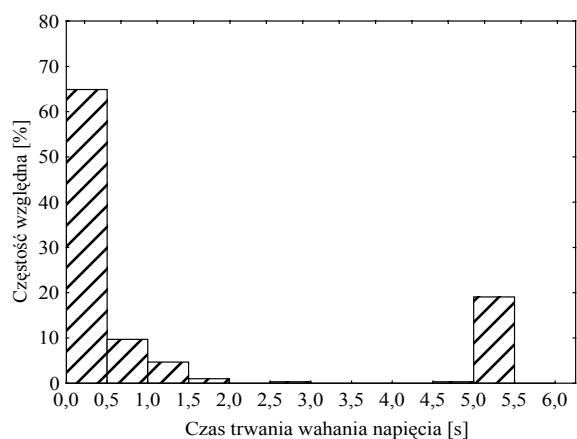
Do innych urządzeń wrażliwych na wahania napięcia należą radiodbiorniki, telewizory, precyzyjne urządzenia pomiarowe i kontrolne, komputery oraz elektroniczne układy zasilania.

Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że przeciętny odbiorca wiejski może spodziewać się w ciągu dnia ok. 8 wahań napięcia o amplitudzie przekraczającej wartości dopuszczalne. Na rysunku 3 przedstawiono histogram amplitud wahań napięcia zasilającego, których wartość przekroczyła 5% napięcia znamionowego, zarejestrowanych u odbiorców.

Na badanym terenie średni czas trwania wahań napięcia kształtował się na poziomie 1,3 s zmieniając się od 0,04 do 5,1 s. Na rysunku 4 przedstawiono histogram czasów trwania wahań napięcia o amplitudzie przekraczającej 5%  $U_N$ . Widoczna jest na nim dominacja wahań napięcia o bardzo krótkim czasie trwania (do 0,5 s) oraz prawie 20-procentowy udział wahań o czasie trwania powyżej 5 s.



Rys. 3. Histogram amplitud wahanja napięcia zasilającego  
 Fig. 3. Histogram showing supply voltage fluctuation amplitudes



Rys. 4. Histogram czasów trwania wahanja napięcia zasilającego  
 Fig. 4. Histogram showing values of supply voltage fluctuation duration

Amplituda wahań napięcia i czas jego trwania wpływają na energetyczną dawkę wahań napięcia zasilającego. Z obliczeń wynika, że na badanych terenach wiejskich jednostkowa energetyczna dawka wahań napięcia, którego amplituda przekraczała 5%  $U_N$  wynosiła średnio 36,8%<sup>2</sup> zmieniając się w przedziale od 25,1 do 125,2%<sup>2</sup>.

Skutki wahań napięcia zależą głównie od ich amplitudy oraz częstości występowania. O ile na amplitudę ma wpływ m. in. układ zasilający odbiorniki niespokojne, o tyle częstość występowania zależy od rodzaju odbiornika i charakteru jego pracy. Jak dotychczas w sieciach elektroenergetycznych stosuje się ograniczanie amplitudy wahań napięcia, rzadko ingerując w proces technologiczny [Strojny 2004].

Amplitudę wahań napięcia zasilającego można ograniczyć poprzez zwiększenie mocy zwarciowej w punkcie przyłączenia odbiornika niespokojnego. Osiąga się to poprzez podłączanie odbiorników zakłócających do szyn o wyższym napięciu znamionowym, wydzielaniu specjalnych linii bezpośrednio z sieci wysokiego napięcia lub zwiększaniu mocy transformatorów (sposoby naturalne). Ze względu na specyfikę odbiorców wiejskich realizacja pierwszych dwóch sposobów w sieciach rozdzielczych jest bardzo utrudniona.

Innym sposobem ograniczania wahań napięcia jest zmniejszenie zmian mocy biernej w sieci zasilającej poprzez zastosowanie kompensatorów/stabilizatorów statycznych, dynamicznych lub układów z nasycenymi dławikami.

## Podsumowanie

1. Przeprowadzona w pracy analiza wahań napięcia zasilającego odbiorców z terenów wiejskich Małopolski wykazała, że średnio 8 razy w ciągu doby w przeliczeniu na odbiorcę można spodziewać się wahań napięcia, które przekraczają wartość dopuszczalną. Średni czas ich trwania wynosi 1,3 s, przy czym ok. 65% stanowią wahań napięcia trwające krócej niż 0,5 s.
2. Skutki eksploatacji odbiorników niespokojnych najbardziej odczuwają odbiorcy wiejscy przyłączeni w pobliżu końców linii zasilających. Oni też wymagają szczególnej troski ze strony dostawców energii elektrycznej, polegającej m. in. na okresowych pomiarach jakości napięcia w punkcie ich przyłączenia. W przypadku stwierdzenia odstępstw od wymagań normatywnych powinno się stosować naturalne sposoby ograniczania wahań napięcia, a przy braku skuteczności tych sposobów specjalne środki techniczne takie jak stabilizatory dynamiczne.

## Bibliografia

- Hanzelka Z.** 2003. Wahania napięcia. [online]. [Dostęp 15-03-2008]. Dostępny w Internecie: <http://www.miedz.org.pl/doc/lpqisn11.pdf>.
- Hanzelka Z.** 2004. Jakość energii elektrycznej w środowisku wiejskim – analiza wybranych przypadków. Materiały II Ogólnopolskiej Konferencji ETW. s. 22-28.
- Kowalski Z.** 2007. Jakość energii elektrycznej. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź. ISBN 978-83-7283-232-0.
- Kowalski Z., Hanzelka Z.** 1997. Dopuszczalne wahań napięcia. Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej Tom 3, Zeszyt 1. s. 23-27.

- Kujarczyk S.** (red.) 2004. Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze. Tom 2. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa. ISBN 83-7207-506-9.
- Strojny J.** (red.) 2004. Vademecum elektryka. Biblioteka Nosiw SEP. Warszawa. ISBN 83-89008-5-5.
- ICE 50(161). International Vocabulary (IEV)–Chapter 161. Electromagnetic compatibility.
- PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych. PKN 1998.
- PN-T-01030. Kompatybilność elektromagnetyczna – Terminologia.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców. Dz.U. z 2004 r. nr 2, poz. 5 i 6.

## VOLTAGE FLUCTUATIONS IN RURAL ELECTRIC POWER NETWORKS

**Abstract.** Results of measurements carried out at rural transformer stations 15/0.4 kV and at ends of low-voltage lines supplying rural consumers in Małopolska Province have been used to analyse voltage fluctuations from point of view of compliance with applicable regulations. It has been observed that although supply voltage value does not exceed admissible value, power supply conditions for rural consumers are not always correct due to voltage fluctuations. In particular, this applies to consumers connected to the network near ends of supply lines. Completed research proves that every day average rural consumer may expect approximately 8 voltage fluctuations with amplitude exceeding 5% of network rated voltage value, at their average duration 1.3 s.

**Key words:** rural electric power networks, voltage fluctuation

**Adres do korespondencji:**

Małgorzata Trojanowska; e-mail: malgorzata.trojanowska@ur.krakow.pl  
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 116B  
30-149 Kraków