

## BADANIE WSKAŹNIKÓW CHARAKTERYZUJĄCYCH JAKOŚĆ NAPIĘCIA W WIEJSKICH SIECIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

Małgorzata Trojanowska, Krzysztof Nęcka

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

**Streszczenie:** Na podstawie kryterium uniwersalności, zmienności oraz ważności zidentyfikowano wskaźniki, które dobrze charakteryzują jakość napięcia w wiejskich elektroenergetycznych sieciach rozdzielczych i są możliwe do wyznaczenia na podstawie danych aktualnie zbieranych w spółkach dystrybucyjnych. W oparciu o wybrane wskaźniki przeanalizowano, metodą porządkowania liniowego, zróżnicowanie jakości energii elektrycznej na obszarach wiejskich Polski południowej.

**Słowa kluczowe:** energia elektryczna, jakość napięcia zasilającego

### Wstęp

Decydujący wpływ na pracę odbiorników elektrycznych ma wartość skuteczna napięcia występującego długotrwale w danym punkcie sieci elektroenergetycznej, nazywana również poziomem napięcia. Na poziom napięcia mają wpływ zmiany obciążenia sieci, a o jego wartości decyduje przede wszystkim wielkość napięcia w źródle zasilania oraz spadki napięć w poszczególnych elementach sieci. Miarą stałości poziomu napięcia są odchylenia napięcia definiowane jako długotrwała różnica między napięciem zasilającym, a jego wartością znamionową [PN-EN 50160].

Odchylenia napięcia wykraczające poza dopuszczalne granice tolerancji tj.  $\pm 10\%$  napięcia znamionowego sieci [Dz.U. z 2004 nr 2, poz. 5 i 6] są szkodliwe dla wszystkich rodzajów odbiorników i powodują zakłócenia w ich pracy, do których można zaliczyć, obok trudności podczas rozruchu silników elektrycznych, przetężenia i związane z tym nadmierne przyrosty temperatury ich uzwojeń, niestabilną pracę lamp wyładowczych, zmniejszenie mocy biernej indukcyjnej generowanej do sieci przez kondensatory, jak również obniżenie wydajności urządzeń elektrotermicznych.

Niedotrzymanie wartości napięcia na poziomie określonym odpowiednimi przepisami może być przyczyną kar płaconych przez dostawcę odbiorcom energii elektrycznej. Aby zminimalizować straty z tym związane spółki dystrybucyjne muszą systematycznie analizować jakość napięcia zasilającego, do czego potrzebne są wskaźniki ją charakteryzujące.

## Cel, zakres i metoda pracy

Celem pracy było ustalenie wskaźników dobrze identyfikujących jakość napięcia zasilającego odbiorców wiejskich, możliwych do wyznaczenia na podstawie danych statystycznych gromadzonych przez spółki dystrybucyjne.

W pracy wyznaczono wskaźniki bezpośrednio lub pośrednio charakteryzujące jakość napięcia zasilającego odbiorców wiejskich, a ich przydatność do opisu jakości zasilania energią elektryczną ustalono przez utworzenie zbioru cech decyzyjnych, w oparciu o kryterium uniwersalności, zmienności oraz ważności.

Zidentyfikowane w taki sposób wskaźniki wykorzystano następnie do analizy terytorialnego zróżnicowania jakości napięcia w wiejskich elektroenergetycznych sieciach rozdzielczych na terenach Polski południowej, stosując metodę porządkowania liniowego.

Obliczenia i analizy wykonano w oparciu o dane uzyskane z 10 rejonów dystrybucyjnych, odpowiedzialnych za dostawę energii elektrycznej do blisko 447 tys. odbiorców wiejskich zasilanych za pośrednictwem ok. 22 tys. km linii niskiego napięcia (nN).

## Wyniki badań

W ramach prowadzonej od 2001 r. oceny stanu urządzeń elektrycznych, spółki dystrybucyjne zestawiają dane dotyczące poziomów napięcia na końcach obwodów nN. Dane takie uzyskują na podstawie wyrwykowych pomiarów prowadzonych głównie u odbiorców wnoszących skargi na złą jakość napięcia zasilającego. W związku z tym podawane przez przedsiębiorstwa energetyczne dane dotyczące liczby obwodów niskiego napięcia, na końcach których napięcie przekracza wartości dopuszczalne przez przepisy, mogą budzić wątpliwości.

Poziom napięcia zasilającego na końcu obwodu niskiego napięcia zależy od jego impedancji i obciążenia. Przedsiębiorstwa dystrybucyjne gromadzą i systematycznie aktualizują dane dotyczące długości i przekroju przewodów obwodów nN, które mają wpływ na ich impedancję oraz dane dotyczące stopnia wykorzystania obciążalności dopuszczalnej (przepustowości) obwodów. Wydaje się więc, że w/w dane mogą być z powodzeniem wykorzystywane przy ocenie jakości napięcia zasilającego.

Akceptowany poziom napięcia zasilającego dostawca energii elektrycznej może bowiem zapewnić m. in. poprzez utrzymanie na właściwym poziomie długości i przekrojów przewodów obwodów niskiego napięcia oraz stopnia wykorzystania ich obciążalności dopuszczalnej. Powszechnie uważa się, że ze względu na spadki napięcia i skuteczność ochrony przeciwporażeniowej długość obwodu nN nie powinna być większa niż 500 m, dochodząc w wyjątkowych przypadkach do 1 km, zaś przekroje przewodów obwodów niskiego napięcia nie mniejsze niż 50 mm<sup>2</sup>.

Na podstawie aktualnie zbieranych przez spółki dystrybucyjne danych dotyczących stanu urządzeń elektrycznych można wyznaczać wskaźniki, bezpośrednio lub pośrednio charakteryzujące jakość napięcia zasilającego, takie jak:

- procentowy udział obwodów o napięciu niedopuszczalnym (PPB),
- procentowy udział obwodów o długości poniżej 500 m (PPL<sub>500</sub>),
- procentowy udział obwodów o długości powyżej 1000 m (PPL<sub>1000</sub>),

## Badanie wskaźników...

- procentowy udział obwodów o przekroju przewodów poniżej 50 mm<sup>2</sup>(PPS<sub>50</sub>),
  - procentowy udział obwodów o wykorzystaniu przepustowości poniżej 49% (PPL<sub>49</sub>),
  - procentowy udział obwodów o wykorzystaniu przepustowości powyżej 70% (PPL<sub>70</sub>),
  - procentowy udział obwodów o wykorzystaniu przepustowości powyżej 90% (PPL<sub>90</sub>).
- Charakterystyczne ich wartości, uzyskane na podstawie pomiarów prowadzonych w 2007 r., zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wskaźniki charakteryzujące jakość napięcia zasilającego odbiorców wiejskich Polski południowej oraz ich zmienność  $\varepsilon$

Table 1. Indicators characterising the quality of supply voltage for recipients in rural areas of southern Poland and their variability  $\varepsilon$

Wskaźnik	Wartość			$\varepsilon$ [%]
	minimalna	maksymalna	średnia	
PPB [%]	0,0	11,4	1,6	202,7
PPL <sub>500</sub> [%]	21,9	78,9	45,9	43,3
PPL <sub>1000</sub> [%]	3,5	19,5	12,0	36,4
PPS <sub>50</sub> [mm <sup>2</sup> ]	34,4	61,2	46,3	18,78
PPL <sub>49</sub> [%]	2,3	98,9	69,2	49,6
PPL <sub>70</sub> [%]	0,0	57,3	10,3	164,5
PPL <sub>90</sub> [%]	0,0	8,1	1,3	197,3

*Źródło: obliczenia własne autorów na podstawie statystyk rejonów dystrybucyjnych z roku 2007*

Jak wynika z tabeli 1 jakość napięcia w wiejskich sieciach nN na terenach Polski południowej budzi w niektórych rejonach szereg zastrzeżeń. Udział obwodów zasilanych napięciem przekraczającym dopuszczalne wartości osiąga lokalnie 11%. Dzieje się tak gdyż występują rejon, w których blisko 20% obwodów nN jest o długości powyżej 1 km, ponad połowa ma przekroje przewodów mniejsze niż 50 mm<sup>2</sup>, a w 8% obwodów stopień wykorzystania obciążalności dopuszczalnej przekracza 90%.

Śród wymienionych siedmiu wskaźników (tab. 1) do oceny jakości energii elektrycznej postanowiono wybrać tylko te, które spełniają kryteria: uniwersalności (powinny mieć uznanie znaczenie), zmienności (nie powinny być podobne do siebie w sensie informacji o obiektach, przy czym wysoką zdolność dyskryminacji mają cechy charakteryzujące się dużą zmiennością) oraz ważności (trudno osiągnąć wysokie wartości).

W pracy do oceny zmienności przestrzennej wskaźników wykorzystano współczynnik zmienności  $\varepsilon$ , wyznaczany jako stosunek odchylenia standardowego badanego parametru do jego wartości średniej i wymagano, by miał on wartość wyższą od 10% [Ostasiewicz 1999]. Oceny ważności cech dokonano z kolei na podstawie wypukłości dystrybucyjnej zgodnie z algorytmem przedstawionym w pracy Ostasiewicza [1999]. W efekcie do zbioru cech decyzyjnych charakteryzujących jakość napięcia zasilającego zaliczono następujące wskaźniki: udział obwodów nN o napięciu niedopuszczalnym (PPB), o długości poniżej 500 m (PPL<sub>500</sub>) i przekroju przewodów poniżej 50 mm<sup>2</sup> (PPS<sub>50</sub>) oraz obwody o stopniu wykorzystania przepustowości powyżej 70% (PPL<sub>70</sub>).

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wskaźniki charakteryzujące jakość napięcia w sieciach niskiego napięcia, wyznaczone oddzielnie dla terenów wiejskich obsługiwanych przez poszczególne rejony energetyczne, różnią się znacznie między sobą, o czym świadczą wysokie wartości współczynników zmienności wskaźników przekraczające nawet 200%. Do oceny terytorialnego zróżnicowania jakości energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom wiejskim na analizowanych terenach Polski południowej posłużono się metodą porządkowania liniowego, stosując procedury oparte na zmiennej syntetycznej.

Charakterystyczne dla mierników syntetycznych jest to, że zastępując opis obiektów za pomocą wielu cech cechą syntetyczną, umożliwiają ich klasyfikację tylko według jednej zmiennej. Istnieje wiele metod tworzenia zmiennych syntetycznych. Jako pierwszy taką zmienną zastosował Hellwig [1968]. Zmienna syntetyczna zaproponowana przez Hellwiga jest nazywana miarą Hellwiga i powszechnie stosowana w praktyce.

W pracy syntetyczna miara jakości napięcia zasilającego dla każdego analizowanego rejonu energetycznego została opisana wzorem [Krakowiak-Bal 2005]:

$$d_i = 1 - \frac{c_{io}}{c_o} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

gdzie:

- $d_i$  – miara Hellwiga,
- $c_{io}$  – odległość euklidesowa każdej standaryzowanej cechy o charakterze stymulanty  $z_{ij}$  od wartości maksymalnej  $z_{oj}$  ze zbioru cech (wzorca),
- $c_o$  – krytyczna (graniczna) odległość danej cechy od wzorca.

Wykorzystywane we wzorze (1) wielkości określone są zależnościami:

$$c_{io} = \left[ \sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_{oj})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

oraz

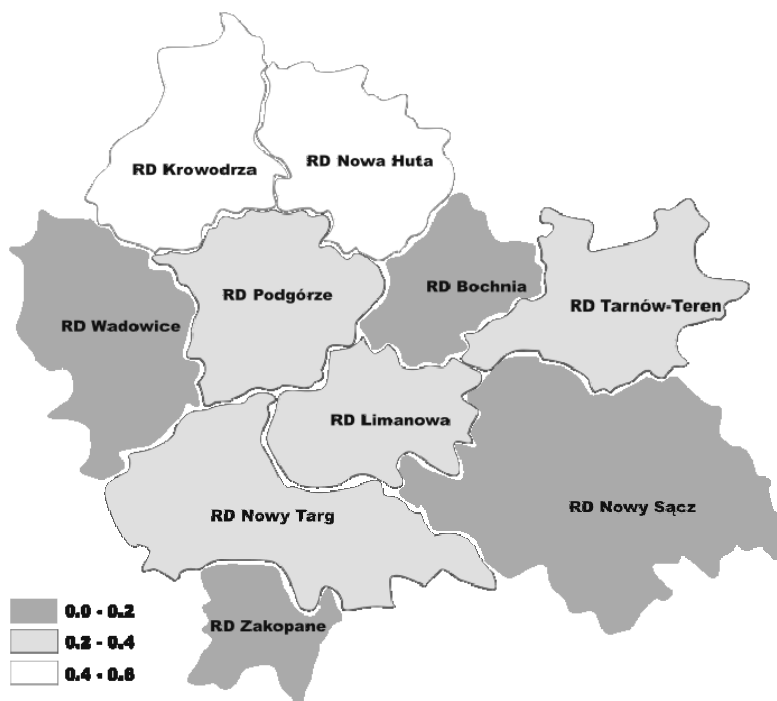
$$c_o = \bar{c}_o + 2 \cdot s_d \quad \bar{c}_o = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{io} \quad (3)$$

natomiast

$$s_d = \left[ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (c_{io} - \bar{c}_o)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Miara  $d_i$  została skonstruowana w ten sposób, że im jej wartości są bliższe jedności, tym dany obiekt jest mniej oddalony od określonego wzorca, zwanego też biegunem górnym zbioru obiektów.

Zastosowana metoda pozwoliła wyodrębnić, ze względu na jakość energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom wiejskim, trzy grupy rejonów (rys. 1).



Źródło: obliczenia własne autorów na podstawie statystyk rejonów dystrybucyjnych z roku 2007

Rys. 1. Terytorialne zróżnicowanie jakości napięcia zasilającego na terenach wiejskich Polski południowej

Fig. 1. Territorial differentiation of the quality of supply voltage in rural areas of southern Poland

Do pierwszej grupy, charakteryzującej się najlepszą jakością napięcia zasilającego, zaliczone zostały rejon dystrybucyjne Kraków-Nowa Huta i Kraków-Krowodrza. Natomiast najgorsza jakość energii elektrycznej występuje na terenach wiejskich obsługiwanych przez rejon energetyczne w Bochni, Nowym Sączu, Wadowicach i Zakopanem.

## Wnioski

1. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że jakość napięcia zasilającego odbiorców wiejskich z sieci nN dobrze charakteryzują takie wskaźniki jak: udział obwodów o napięciu niedopuszczalnym (PPB), o długości poniżej 500 m ( $PPL_{500}$ ) i przekroju przewodów poniżej  $50 \text{ mm}^2$  ( $PPS_{50}$ ) oraz udział obwodów o stopniu wykorzystania obciążalności dopuszczalnej powyżej 70% ( $PPL_{70}$ ). Są to wskaźniki bezpośrednio lub pośrednio opisujące jakość energii elektrycznej, możliwe do wyznaczenia na podstawie pomiarów eksploatacyjnych prowadzonych przez polskie przedsiębiorstwa energetyczne.

2. Ze względu na wymagania prawne [Dz.U. z 2004 nr 2, poz. 5 i 6], pomiary i analizy prowadzone w spółkach energetycznych powinny być poszerzone o pozostałe parametry charakteryzujące jakość energii elektrycznej, tj. wahania napięcia, asymetrię napięć czy ich odkształcenia.
3. Obliczenia wykonane w oparciu o zidentyfikowane wskaźniki potwierdziły sygnalizowaną wcześniej niezadowalającą jakość energii elektrycznej na przeważającym obszarze terenów wiejskich Polski południowej.

## Bibliografia

- Hellwig Z. 1968. Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kadr. *Przegląd Statystyczny* 4.
- Krakowiak-Bal A. 2005. Wykorzystanie wybranych miar syntetycznych do budowy miary rozwoju infrastruktury technicznej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 3. s. 71-82.
- Ostasiewicz W. (red). 1999. *Statystyczne metody analizy danych*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu. Wrocław. ISBN 83-7011-320-6.
- Polska Norma PN-EN 50160. Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych. PKN 1998.
- 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.

## ANALYSIS OF INDICATORS CHARACTERISING THE QUALITY OF VOLTAGE IN RURAL POWER NETWORKS

**Abstract.** The criterion of universality, variability and importance became a basis for the identification of indicators that characterise well the quality of voltage in rural power distribution networks and can be determined on the basis of data being collected in distribution companies. On the basis of selected indicators, the differentiation of the quality of electric power in rural areas of southern Poland was analysed using the linear ordering method.

**Key words:** electric power, quality of supply voltage

### 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