

Wybrane aspekty oceny jakości energii elektrycznej wpływające na prace budynku handlowego

Streszczenie: *W artykule zaprezentowano przykładowe charakterystyki dla wybranego budynku handlowego. Podstawę służącą do oceny warunków zasilania stanowi Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Spośród wielu parametrów tej oceny podawanych zarówno przez stosowne Rozporządzenie Ministra Gospodarki jak i zawartych w normie PN-EN 50 160, do oceny jakości energii elektrycznej wykorzystano bliżej dwa: wartość skuteczną napięcia i harmoniczne napięcia zasilającego. Analizę przeprowadzono w oparciu o rzeczywiste pomiary wykonane rejestratorem jakości energii. Z przeprowadzonych pomiarów został wytypowany reprezentatywny okres dla prezentowanych przebiegów oraz wyznaczonych wskaźników jakości energii. Analiza wybranych parametrów jakości energii elektrycznej została przeprowadzona z wykorzystaniem narzędzi statystycznych.*

Słowa kluczowe: jakość energii elektrycznej, zapad napięcia, statystyka danych

Wprowadzenie

Jakość energii elektrycznej odgrywa bardzo ważną rolę w prawidłowej pracy urządzeń zarówno w budynkach mieszkalnych jak i w strefach przemysłowych. Dobrej jakości energia elektryczna zmniejsza straty oraz koszty eksploatacyjne maszyn i urządzeń działających aktywnie w sieci. Odbiorca poprzez zakup energii elektrycznej, która jest towarem w pewien sposób żąda od sprzedającego odpowiedniej jakości zakupionego produktu.

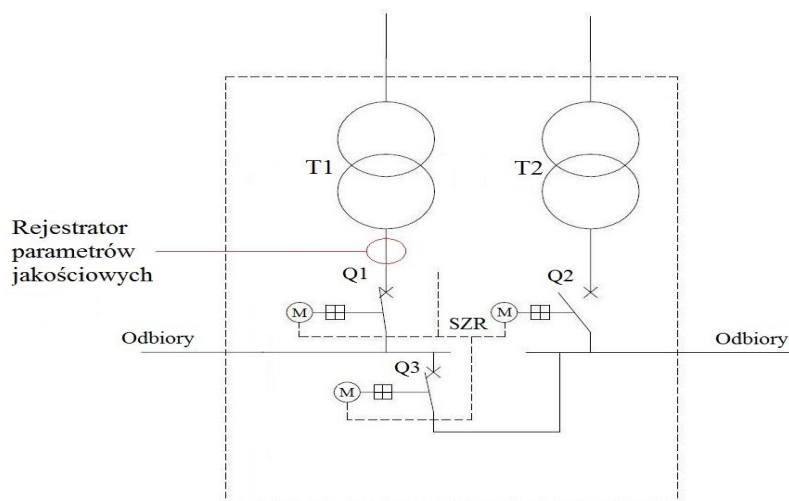
W Polskim systemie prawnym jakość energii elektrycznej dostarczana przez dostawców do odbiorców jest uregulowana prawnie przez Rozporządzenie ministra gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Rozporządzenie to jest oparte na normie PN-EN 50160 określające parametry jakości energii elektrycznej. Wyżej wymienione dokumenty określają w polskim systemie energetycznym parametry sprzedawanej przez dostawców energii, które muszą być spełnione do prawidłowej sprzedaży konsumentom.

Spośród około dziesięciu parametrów określonych w normie [4], wykorzystywanych do oceny jakości energii elektrycznej, w referacie omówiono bliżej jedynie dwa:

- wartość skuteczną napięcia,
- harmoniczne napięcia zasilającego.

Na ich przykładzie omówiono charakter zakłóceń, jakie występują w analizowanym obiekcie handlowym.

Na rysunku 1 przedstawiono ogólny ideowy schemat układu pomiarowego. Pomiary parametrów energii elektrycznej zasilającej budynek handlowy dokonano za pomocą rejestratora jakości energii firmy FLUKE model 1760. Okres pomiarowy wyniósł siedem dni i rozpoczął się w środę.



Rys. 1. Ogólny ideowy schemat układu pomiarowego.

Dwusekcyjna rozdzielnica 20 kV zasila obiekt handlowy. Sekcja pierwsza i druga zasilana jest z dwóch rozdzielnic średniego napięcia. Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala na uzyskanie większej pewności zasilania. Każdy odbiorca zasilany jest z osobnej sekcji zasilania. Na każdej sekcji zamontowano pośredni układ pomiarowy energii elektrycznej.

Obydwie rozdzielnice niskiego napięcia posiadają po dwa transformatory zasilane z osobnych sekcji SN. Zastosowanie takiego rozwiązania zapewnia dodatkową pewność zasilania. Układ SZR znajduje się po stronie niskiego napięcia. W razie wystąpienia zaniku napięcia bądź awarii transformatora zasilanie obiektu handlowego przełączane jest na drugą sekcję.

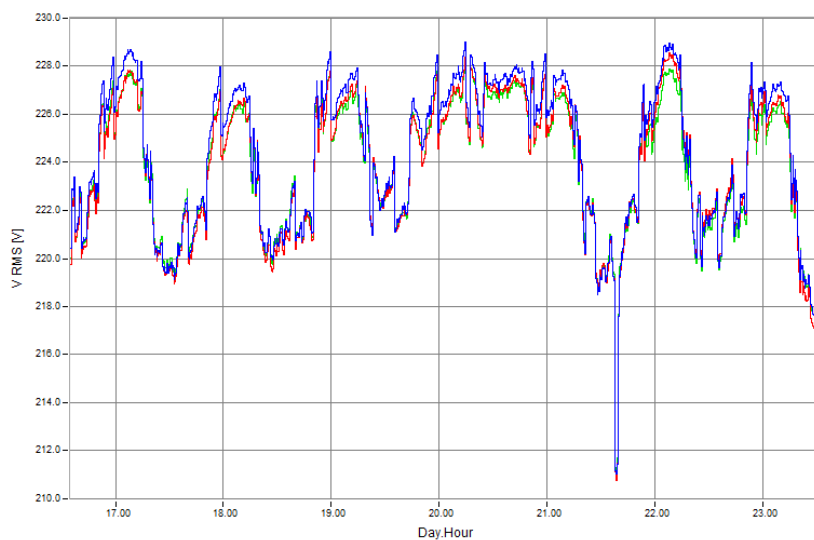
Wartość skuteczna napięcia

Napięcie zasilania jest definiowane jako wartość skuteczna. Pomiar odbywa się w miejscu dostarczenia napięcia u odbiorcy w określonym przedziale czasu. W normie PN-EN 50160, na której opiera się rozporządzenie ministra gospodarki z 4 maja 2007 r. jest określona wartość skuteczna napięcia równa 230V z dopuszczalnymi odchyleniami od wartości bazowej podczas tygodniowego pomiaru w 10 minutowych cyklach. Dopuszczalne odchylenia podczas pomiaru w 99,5% nie powinny przekraczać przedziału $230V \pm 10\%$, natomiast w 100% wykonanych pomiarów jest niedopuszczalne przekroczenie przedziału wartości napięcia z zakresu $230V \pm 15\%$.

Wyniki pomiarów przedstawione w pracy mają przede wszystkim na celu ilustrację typowych przebiegów wybranych parametrów jakości energii elektrycznej dla przykładowego obiektu handlowego. Na rysunku 2 przedstawiono zarejestrowane tygodniowe przebiegi wartości skutecznej napięcia.

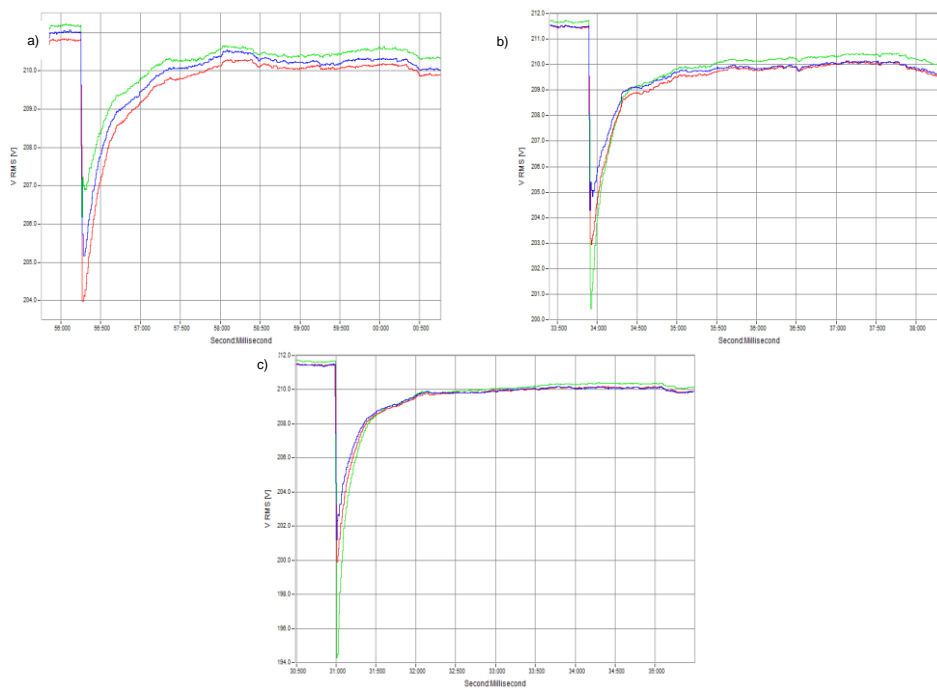
Przyglądając się przebiegowi czasowemu wartości skutecznej napięcia (rys. 2) widzimy cykliczne jego zmiany w odniesieniu do pory dnia. Maksymalne wartości wypadają w nocny - szczyt przed i po północy, natomiast minimalne wartości to dolina przedpołudniowa i popołudniowa, czyli w momencie największego obciążenia budynku handlowego. Największy spadek napięcia zaobserwowano w poniedziałek, natomiast najmniejszy w dzień wolny od pracy, czyli w niedzielę. Nie występuje wtedy wyróżnienie doliny przed i popołudniowej. Zaobserwowany największy spadek napięcia jest również zapadem napięcia.

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016



Rys. 2. Tygodniowe przebiegi wartości skutecznej napięcia.

Na występującym na rysunku 2 zdarzenie składają się trzy następujące po sobie zapady napięcia zaprezentowanych na rysunku 3.



Rys. 3. Zapad napięcia; a) zapad 1, b) zapad 2, c) zapad 3.

W tabeli 1 przedstawiono szczegółowe dane dotyczące zapadu napięcia.

Tab. 1. Charakterystyka zapadu napięcia.

opis/fazy	zapad 1	zapad 2	zapad 3
	L123-N	L123-N	L123-N
okno pomiarowe	15:20:55-15:21:00	15:36:33-15:36:38	15:50:30-15:50:35
minimalna wartość [V]	203,99	200,44	194,30
czas trwania [ms]	2,34	2,32	2,34

Wartość skuteczna napięcia

Harmoniczna napięcia jest definiowana, jako składowa przebiegu sinusoidalnego o częstotliwości będącej całkowitą krotnością częstotliwości składowej podstawowej. W określeniu wyższych harmonicznych sieci stosuje się współczynnik zawartości harmonicznych THD według wzoru (1):

$$(1) \quad \text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_k^2}}{U_1}$$

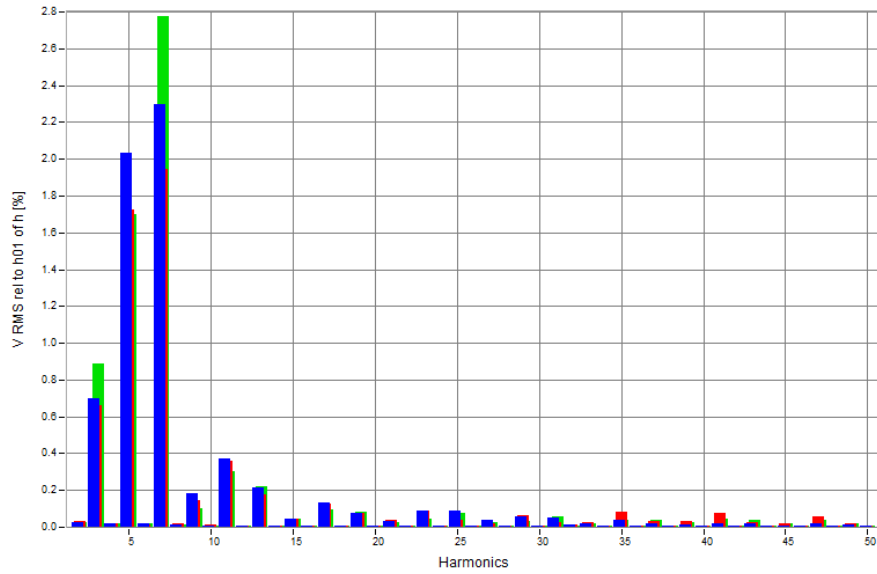
Pomiar harmonicznych napięcia w normalnych warunkach pracy sieci, powinien być równym wartością przedstawionym w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości dopuszczalne wyższych harmonicznych w sieci [4].

Harmoniczne nieparzyste				Harmoniczne parzyste	
Nie będące krotnością 3		Będące krotnością 3			
Rząd h	Względna amplituda U_h	Rząd h	Względna amplituda U_h	Rząd h	Względna amplituda U_h
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 ... 24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

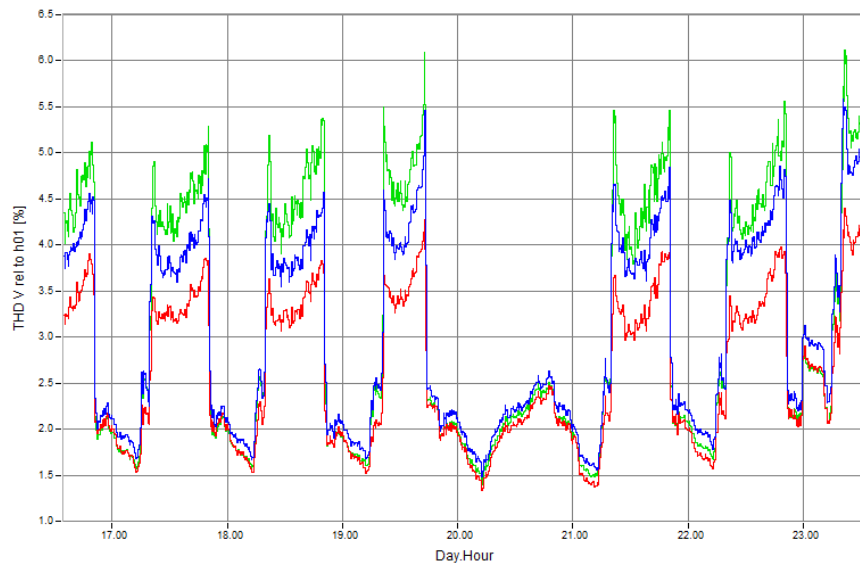
Z kolei na rysunku 4 zestawiono spektrum harmonicznych napięcia. Wykres ten przedstawia wszystkie harmoniczne napięcia (od harmonicznej drugiej h_2 , do pięćdziesiątej h_{50}). Wyraźnie widać, że wraz ze wzrostem numeru harmonicznej maleje jej udział w przebiegu napięcia zasilającego. Charakterystycznym dla obiektu handlowego jest udział 5 i 7 harmonicznej. Wartości wszystkich zmierzonych parametrów mieszczą się w zakresie dopuszczalnych poziomów określonych w [4,5].

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016



Rys. 4. Spektrum harmonicznego napięcia.

Na rysunku 5, przedstawiającym przebieg współczynnika THD napięcia zasilającego, można zauważyć zależność wynikającą z pracą obiektu. W dni robocze, tj. poniedziałek - sobota współczynnik osiąga większe wartości aniżeli w dni wolne, tj. niedziela.



Rys. 5. THD_U (względem harmonicznego podstawowej h1).

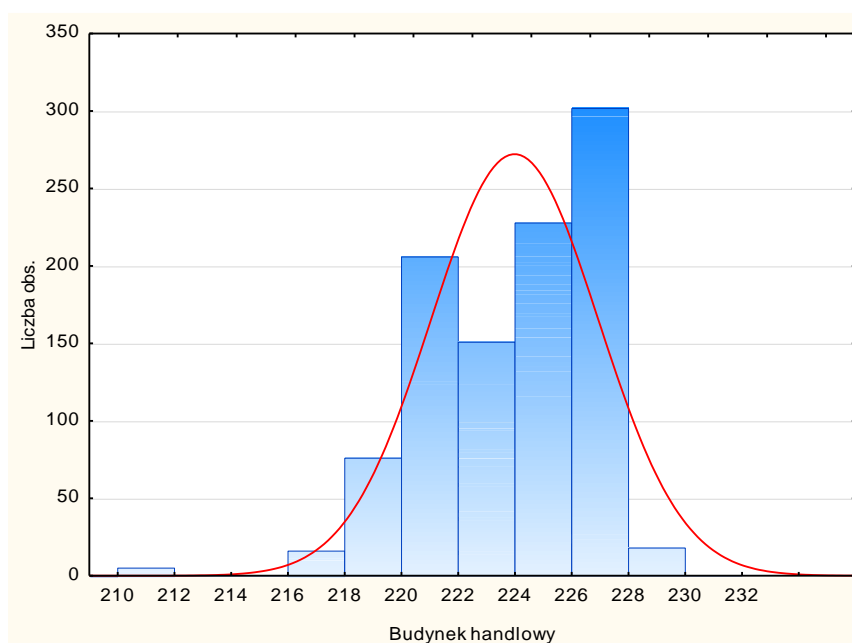
Analogicznie sytuacja wygląda rozpatrując wartości osiągnięte w dzień i noc - w dzień całkowity współczynnik odkształcenia napięcia THD jest kilkakrotnie większy niż wartości osiągnięte w nocy.

Analiza statystyczna

W celu zobrazowania danych wejściowych w artykule zaprezentowano histogram, wykres rozrzutu oraz wykres kwantyli Q-Q wartości skutecznej napięcia.

Analiza statystyczna została zrealizowana z wykorzystaniem narzędzia programowego STATISTICA.

W celu zobrazowania danych wejściowych na rysunku 6 przedstawiono histogram wartości skutecznej napięcia.



Rys. 6. Histogram wartości skutecznej napięcia (oś odciętych - przedziały klasowe, oś rzędnych - liczba obserwacji)

Zaprezentowany histogram (rys. 6) charakteryzuje się niewielką asymetrią pozytywnie skośną. Charakter przebiegu zmian otrzymanych wartości jest zbliżony do rozkładu normalnego.

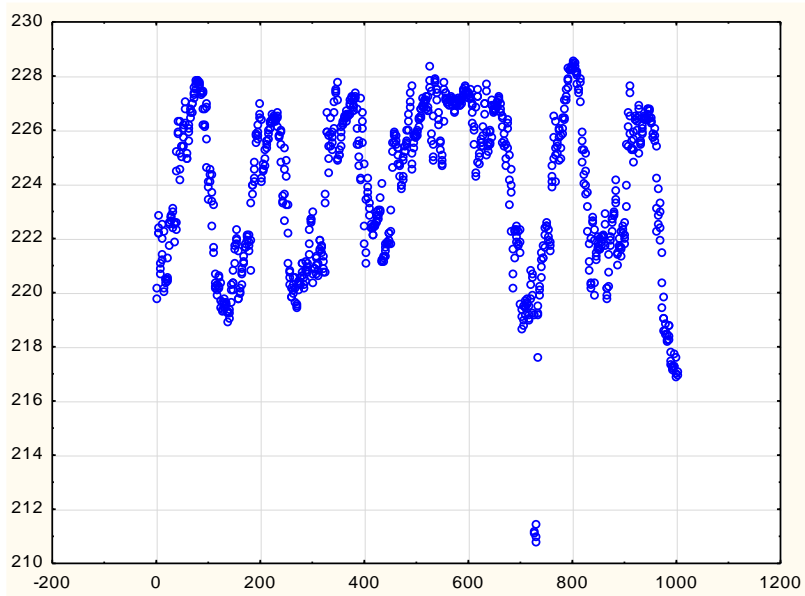
Można zauważyć, zależność między momentem wystąpienia zapadu napięcia a zaprezentowanym histogramem. Wartości napięcia, dla których występował zapad są odsunięte od pozostałych wielkości.

Wykres korelacji (rys. 7) wskazuje na zależność między zmiennymi. Im rozrzut jest większy, tym bardziej te wartości odchylają się od tendencji centralnej. Wykres rozrzutu wskazuje zróżnicowanie zaobserwowanych wartości zmiennej.

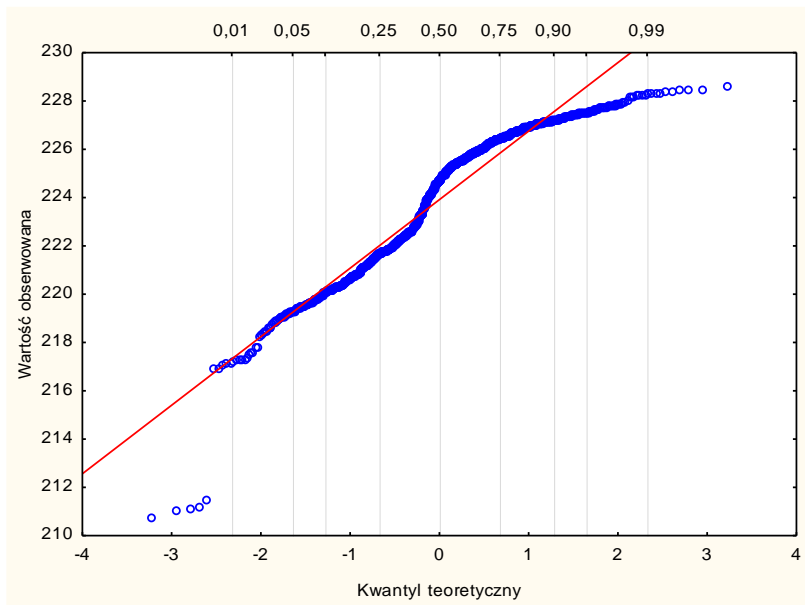
Wartości, dla których wystąpił zapad napięcia odbiegają od tendencji rozrzutu i świadczą o brak korelacji (nie istnieje widoczna zależność pomiędzy wartościami).

Wykres kwantyli Q-Q wartości skutecznej napięcia przybliżony rozkładem Gaussa został zamieszczony na rysunku 8.

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016



Rys. 7. Wykres rozrzutu wartości skutecznej napięcia (oś odciętych - obserwacja, oś rzędnych – wartość skuteczna napięcia).



Rys. 8. Wykres kwantyli Q-Q wartości skutecznej napięcia.

Wykres kwantyli Q-Q (rys. 8) wskazuje, że rozkład empiryczny jest niezupełnie zgodny z rozkładem teoretycznym z większymi odchyleniami dla granicznych wartości rozpatrywanych danych. Prawa i lewa strona wykreślonych wartości znajduje się pod linią, co może świadczyć o niewielkich wąskich ogonach rozkładu.

Podsumowanie

Badania i ocena jakości energii elektrycznej są coraz powszechniejsze i mają na celu zwiększenie niezawodności oraz bezpieczeństwa pracy od strony instalacji elektrycznych obiektów zasilanych w energię elektryczną.

W niniejszej pracy główna uwaga została zwrócona na aspekty techniczne związane z jakością energii a dokładniej mówiąc na jakości napięcia zasilającego obiekt handlowy.

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić:

- wartości wyższych harmonicznych oraz współczynnika odkształcenia napięcia (THD_U) są zgodne z wymaganiami,
- spektrum wyższych harmonicznych analizowanym obiekcie handlowym charakteryzuje się dominującym udziałem harmonicznych rzędów 5, 7,
- szóstego dnia pomiaru od godz. ok.15:20 zaobserwowano zapad napięcia który mógł być spowodowany wprowadzeniem do obwodu dodatkowego obciążenia,
- na zaprezentowanym przebiegu THD_U widoczne są charakterystyczne zmiany współczynnika, które świadczy o specyfice badanego obiektu handlowego,
- zaprezentowany histogram zbliżony jest do rozkładu normalnego, co świadczy o dobrze wytypowanym okresie pomiarowym,
- wykres rozrzutu dowodzi o brak korelacji w trakcie trwania zarejestrowanego zapadu napięcia.

Literatura

1. Bień A., *Metrologia jakości energii elektrycznej w obszarze niskoczęstotliwościowych zaburzeń napięcia sieci*, AGH, Uczelniane Wydawnictwa naukowo-Dydaktyczne, Kraków, 2003.
2. Dobosz M., *Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
3. Hanzelka Z., *Jakość Energii Elektrycznej, Część 3: Wahania napięcia*, Wydawnictwo AGH.
4. PN-EN 50160: 2010. Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych.
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. z dnia 29 maja 2007, poz. 623).

Autor: dr inż. Marta Bątkiewicz-Pantula; Politechnika Wroclawska, Wydział Elektryczny, Katedra Energoelektryki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: marta.batkiewicz-pantula@pwr.edu.pl