

Syntetyczne wskaźniki oceny jakości energii elektrycznej dla systemów generacji rozproszonej

Streszczenie. W artykule przedstawiono propozycję oceny jakości energii elektrycznej w oparciu o wskaźniki syntetyczne: globalne i obszarowe. Opracowanie obejmuje badania jakości energii w rozproszonych sieciach dystrybucyjnych. W pracy wykorzystano pomiary synchroniczne wykonywane w rzeczywistym układzie elektroenergetycznym współpracującym z elektrowniami wodnymi o mocach rzędu 1 MW. Parametry monitorowano w węzłach o różnym poziomie napięć w okresie pięciu lat od stycznia 2012 roku. Zaproponowane nowe wskaźniki syntetyczne wpisują się w aktualny temat inteligentnych sieci z generacją rozproszoną.

Abstract. The article proposes an evaluation process for the power quality. It is based on both global and local synthetic indices. The paper presents power quality studies in distribution networks. The work uses synchronous measurements realized in the real system, which includes several 1 MW hydroelectric power plants. Parameters were monitored at nodes with different voltage levels for five years from January 2012. The proposed new synthetic indices for power quality assessment are part of the current issue of smart distribution networks. (**Synthetic indices for power quality assessment for distributed generation**).

Słowa kluczowe: system elektroenergetyczny, systemy rozproszone, jakość energii elektrycznej, wskaźniki syntetyczne

Keywords: power system, distributed generation, power quality, synthetic indices

Wstęp

Struktura wewnętrzna nowoczesnych systemów elektroenergetycznych charakteryzuje się dużym stopniem złożoności. Przyczyną jest ciągły rozwój technologiczny zarówno urządzeń odbiorczych energii elektrycznej jak i urządzeń wytwórczych. W ostatnich latach można zauważyć tendencję intensywnego rozwoju ekologicznych technologii wytwarzania energii opartych na źródłach odnawialnych (OZE), które będą stymulować rozwój generacji rozproszonej (Distributed Generation). W praktyce, skuteczne sterowanie rozproszonym systemem zasilania wymaga gromadzenia i analizowania dużej liczby informacji dotyczących aktualnego stanu pracy sieci. Kluczowym wyzwaniem wydaje się opracowanie nowych metod i algorytmów analizy danych, umożliwiających efektywne określanie stanu systemu elektroenergetycznego w czasie rzeczywistym [1-3].

Zadanie to jest szczególnie ważne pod względem oceny jakości energii elektrycznej dostarczanej odbiorcy. Należy zwrócić uwagę, że energia elektryczna obecnie jest traktowana w relacji producent-konsument jak towar i stąd wynika konieczność zapewniania jej wysokiej jakości.

Z drugiej strony parametry jakościowe stanowią dla operatora ważne źródło informacji o aktualnym stanie urządzeń, a odpowiednie algorytmy predykcyjne i ekspertowe opierające się na rejestrowanych danych mogą odpowiednio wcześniej informować o potrzebach wykonywania zmian w systemie tak, aby uniknąć poważnych awarii i związanych z nimi strat.

Szczególnie wrażliwymi na utratę lub pogorszenie parametrów napięć są systemy elektroenergetyczne z udziałem generacji rozproszonej. Głównym powodem są stany dynamiczne związane z charakterem generacji ekologicznej. W publikacjach ostatnich lat autorzy przedstawiają nowe koncepcje wyznaczania wskaźników jakości energii. Motywacje takiego podejścia są różne. W pracy [4] autorzy dążą do utworzenia pojęcia klas jakości, które mają ułatwić analizę porównawczą pomiędzy wybranymi elementami systemu elektroenergetycznego. Badania opisane w pracy [5] dotyczą wprowadzenia motywującego systemu bonifikat taryfowych opartego na „całkowitym wskaźniku jakości energii” zdefiniowanym na zbiorze wskaźników tradycyjnych. Zastosowania metod statystycznych i teorii zbiorów rozmytych prowadzą do utworzenia ogólnego i unikalnego wskaźnika jakości napięcia w pracach [6,7,8].

W artykule proponuje się wykorzystanie do oceny jakości energii elektrycznej syntetycznych wskaźników łączących parametry napięcia rejestrowane synchronicznie w wielu punktach pomiarowych. Łączenie wskaźników może się odbywać zarówno w pojedynczych węzłach sieci, jak i w wielu punktach wybranego obszaru systemu elektroenergetycznego. Weryfikację proponowanej metody oceny jakości energii przeprowadzono przy wykorzystaniu pomiarów w rzeczywistym systemie elektroenergetycznym współpracującym z elektrowniami wodnymi o mocach rzędu 1 MW. Monitorowano parametry w węzłach systemu na poziomach napięć: WN 110 kV, SN 10/20 kV oraz nN 0,4 kV. Analizę przeprowadzono wykorzystując wskaźniki jakości energii rejestrowane przez pięć lat od stycznia 2012 roku. Zaproponowane nowe wskaźniki syntetyczne mogą stanowić uzupełnienie analiz zaburzeń w systemach dla potrzeb sieci inteligentnych.

Generacja rozproszona

Współpraca generacji rozproszonej z siecią elektroenergetyczną obejmuje obecnie wszystkie zagadnienia ruchu i eksploatacji sieci oraz jej wpływu na warunki napięciowe, obciążalność torów prądowych, warunki zwarciowe, stabilność systemową oraz sposoby regulacji mocy w sytuacji zmian częstotliwości. Obecna definicja generacji rozproszonej oparta jest na raporcie CIGRE [9]. Polskie Prawo Energetyczne [10] sprowadza to pojęcie do maksymalnej mocy źródła, które w przypadku odnawialnych źródeł energii jest jednostką wytwórczą zwolnioną z opłat koncesyjnych. Generację rozproszoną dzieli się według kryterium mocy wytwarzanej na mikrogenerację (1 kW-5 kW), małą generację (5 kW-5 MW), średnią generację (5 MW-50 MW) oraz dużą generację (50 MW-150 MW). Innym kryterium podziału tego typu generacji jest technologia wykorzystywana w do wytwarzania energii elektrycznej [11]. Są to rozwiązania wykorzystujące spalanie biopaliw i biogazów przetwarzanie energii wiatru, wody i słońca. Klasycznym przykładem generacji rozproszonej są tzw. małe elektrownie wodne (MEW). W Polsce dla obiektów hydroenergetyki określono graniczną moc zainstalowaną na poziomie do 5 MW, wprowadzając dodatkową klasyfikację na: mikroenergetykę dla mocy do 70 kW, makroenergetykę dla mocy do 100 kW oraz małą energetykę dla mocy do 5 MW.

W publikacji [12] szczegółowo omówiono zagadnienia związane z generacją rozproszoną jako aktywnie rozwijaną

obecnie gałęzią energetyki i ocenę jakości energii elektrycznej, które są niezbędne do definiowania obszarowych wskaźników w systemie rozproszonym.

Standardowe wskaźniki jakości energii elektrycznej

Współczesny monitoring jakości energii wpisuje się w szeroką strategię oceny dostaw energii elektrycznej, w której wyróżnia się dwa główne aspekty, techniczny i handlowy. Rozpatrywane zagadnienia techniczne oscylują wokół tematów ciągłości dostaw, stabilności pracy systemu, zagrożeń dla bezpiecznej pracy elementów sieci oraz wokół tematów kompatybilności elektromagnetycznej. Natomiast zagadnienia ekonomiczne dotyczą rynku energii i relacji między odbiorcą i dostawcą energii.

Jakość energii określana jest przez zbiór parametrów technicznych zapewniających prawidłową pracę urządzeń. Przyjęta powszechnie norma PN-EN 50160 uznaje za podstawę oceny jakości energii w publicznych sieciach rozdzielczych parametry napięcia zasilającego. Techniki pomiarowe i obliczeniowe stosowane obecnie w tradycyjnej ocenie jakości energii elektrycznej oraz charakterystyki parametrów mające wpływ na ocenę jakości energii źródeł ujęte są w normach: PN-EN 61000-2-2, PN-EN 61000-2-4, PN-EN 61000-3-2, PN-EN 61000-3-12, PN-EN 61000-3-3, PN-EN 61000-3-11, IEC/TR 61000-3-15, PN-EN 61800-3:2008, PN-EN 50438. Do grupy ocenianych parametrów napięcia zalicza się częstotliwość, zmiany częstotliwości, zmiany amplitudy napięcia, powolne zmiany napięcia, poziom napięcia, wahania napięcia, wskaźnik migotania światła, nagłe zmiany napięcia, niesymetrię (asymetrię), harmoniczne, interharmoniczne, subharmoniczne, składową stałą, zdarzenia napięciowe (zapady, krótkie przerwy, długie przerwy, wzrost, szybkie stany przejściowe, oscylacyjne, impulsowe, załamanie komutacyjne). Wymienione powyższe grupy parametrów stanowią bazę do konstruowania wskaźników lokalnych jakości w zależności od potrzeb operatora systemu.

Prace normalizacyjne IEC (International Electrotechnical Commission) klasyfikują zagadnienia jakości energii w kategorii zaburzeń kompatybilności elektromagnetycznej o niskiej częstotliwości tj. do 9 kHz. Mają one charakter głównie zaburzeń przewodzonych na skutek sprzężenia pomiędzy obwodami źródła zaburzenia i obiektu zakłócanego (sprzężenia galwaniczne, pojemnościowe i indukcyjne). Uwzględniane są także zaburzenia, które docierają do odbiorników w postaci fali elektromagnetycznej i powodują indukowanie się napięć i prądów stanowiących zagrożenie. W artykule [13] przedstawiono ogólne klasy zaburzeń EMC oraz typowe parametry zakłóceń jakości energii i ich kategoryzację ze względu na czas trwania.

Syntetyczne wskaźniki jakości energii elektrycznej

Mając do dyspozycji rejestrowane synchronicznie wskaźniki jakości energii elektrycznej w wielu punktach sieci można poprzez odpowiednie skalowanie i łączenie wskaźników utworzyć wskaźniki syntetyczne. Wskaźniki takie są łączone w punktach (wskaźniki globalne) lub w obszarach sieci (wskaźniki obszarowe). Dodatkowo takie podejście umożliwia prostą wizualizację zmian wybranych wskaźników, co może stanowić dla operatora systemu efektywne źródło informacji o aktualnym stanie pracy sieci a dzięki temu umożliwiać przewidywanie zakłóceń i awarii w oparciu o obserwowane zmiany parametrów w czasie.

Podczas analizy jakości napięcia ma się do czynienia z obiektem, który jest charakteryzowany przez wiele parametrów. Typowy analizator jakości energii rejestruje kilkadziesiąt wskaźników w jednym punkcie pomiarowym. Zazwyczaj wartości parametrów wyrażone są w różnych jednostkach miary, co bardzo utrudnia ich porównanie, a

nawet, gdy pewne parametry wyrażone są tymi samymi jednostkami miary, ich bezpośrednie porównanie może nie być możliwe z uwagi na różne wartości oczekiwane definiowane np. przez normy. Do oceny jakości różnych obiektów lub do oceny zmian jakościowych tego samego obiektu w czasie, istnieje potrzeba zagregowania wartości wielu parametrów za pomocą jednego wskaźnika. Jednym z podstawowych problemów przy konstruowaniu syntetycznych wskaźników jakości jest sprowadzenie wartości parametrów obiektu wyrażonych w różnych jednostkach miar do takiej samej skali względnej [14].

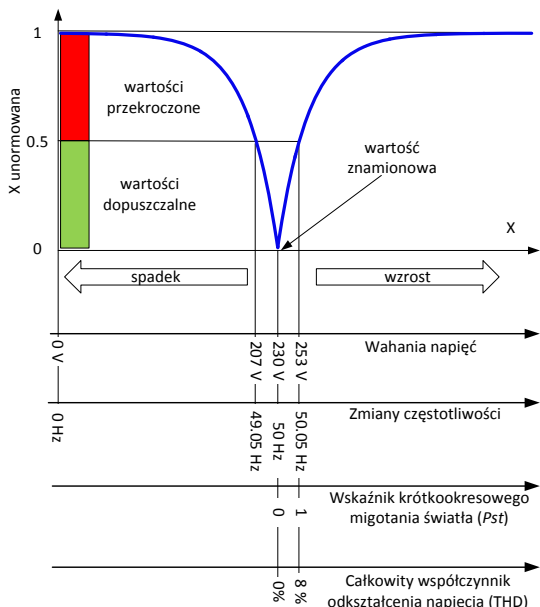
Postuluje się aby syntetyczny wskaźnik opisywał jakość energii za pomocą jednej liczby pochodzącej z przedziału zmienności $\langle 0;1 \rangle$, gdzie 0 oznacza pełną zgodność wartości parametrów napięcia z wymaganiami jakości (jakość idealna), zaś 1 zupełny brak zgodności. Wartości pośrednie oznaczają częściową zgodność z wymaganiami, tym większą im wskaźnik syntetyczny ma wartość bliższą 0.

Proponuje się wykładnicze skalowanie wskaźników jakości energii zgodnie z zależnością (1):

$$(1) \quad \hat{x}_i = 1 - \exp\left(\frac{\ln(1 - \Delta X) \cdot |(X_Z - x_i)|}{X_O}\right)$$

gdzie: \hat{x}_i - unormowana wartość i -tego elementu parametru X , x_i - wartość i -tego elementu parametru X przed unormowaniem, X_Z - zakładana wartość idealna parametru X (np. wartość znamionowa napięcia), X_O - dopuszczalne odchylenie od wartości idealnej parametru X (np. dopuszczalne odchylenie wartości skutecznej napięcia wg normy PN-EN 50160), ΔX - względne odchylenie od wartości granicznej rozdzielającej przedział wartości unormowanych na dopuszczalne i przekroczenia (np.: 0,5 w przedziale $\langle 0;1 \rangle$).

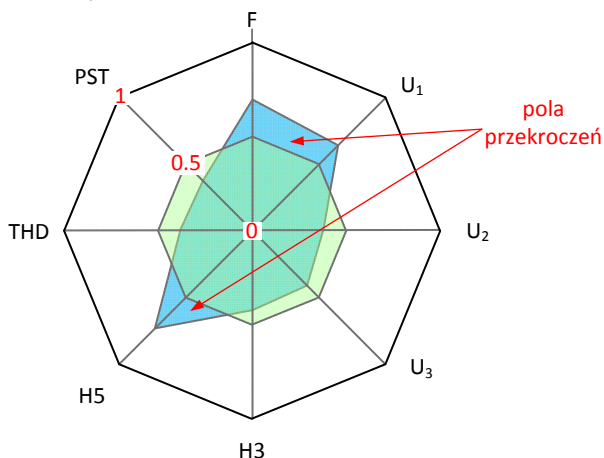
Skalowanie rejestrowanych lokalnych wskaźników jakości napięcia według zależności (1) zapewnia postulowaną zmienność wszystkich wskaźników w przedziale liczbowym $\langle 0;1 \rangle$, przy czym wartość dokładna (znamionowa) przyjmuje wartość 0. Wybrano wartość graniczną 0,5, która rozdziela przedział $\langle 0;1 \rangle$ na wartości dopuszczalne $\langle 0;0,5 \rangle$ oraz przekraczające wartości dopuszczalne $(0,5;1 \rangle$. Tak przyjęta zależność skalująca ma dodatkowe zalety. Ciekawą właściwością funkcji skalującej jest asymptota pozioma równa 1, dzięki której żadne wartości po unitaryzacji nie przekroczą 1, ale będą mogły być dowolnie bliskie jedności. Dzięki temu skalowanie zmniejszy wpływ zbyt dużych przekroczeń np. błędnych rejestracji. Inna własność skalowania dotyczy tzw. „efektu lupy” dla wartości bliskich granicznemu. Nieliniowy charakter skalowania powoduje, że nawet zmiany parametrów na granicy wartości dopuszczalnych będą uwydatnione. Ma to szczególne znaczenie w przypadkach gdy analizuje się zmienność wskaźników jakościowych w czasie w celu określenia zmian jakości obserwowanych punktów lub obszarów. Na rysunku 1 przedstawiono zasadę skalowania wybranych wskaźników zgodnie z zależnością (1). Na wykresie oznaczono przyjętą wartość graniczną w przedziale $\langle 0;1 \rangle$ równą 0,5 oraz oznaczono przedziały dopuszczalne oraz przekroczenia wskaźników. Należy zaznaczyć, że wartości graniczne dla poszczególnych wskaźników jakości regulują normy, jednak prowadząc analizy jakości napięcia wartości te nie muszą być obligatoryjne. W przypadkach gdy analizy mają na celu obserwowanie zmian w czasie, należy wybierać wartości graniczne bliskie aktualnie osiąganym przez poszczególne wskaźniki.



Rys. 1. Przykład skalowania wskaźników oceny jakości energii

Synteza wskaźników w punkcie pomiarowym

Dzięki skalowaniu parametrów napięcia możliwe jest łączenie różnych wskaźników rejestrowanych w punkcie pomiarowym. Dzięki temu otrzymuje się jeden wskaźnik syntetyczny opisujący jakość energii w danym punkcie. Proponowane łączenie wskaźników wykorzystuje metodę graficzną opartą na tzw. wykresach radarowych. Wykres radarowy jest sposobem prezentacji wartości wielu zmiennych na wykresie dwuwymiarowym, przy czym każde ramię wykresu przedstawia inną zmienną. Wartości danych naniesione na każde ramię połączone ze sobą linią tworzą wielokąt. Każdy wielokąt reprezentuje pojedynczy pomiar jakości w czasie. Jako łączony wskaźnik oceny jakości w punkcie pomiarowym (wskaźnik globalny) przyjęto sumę pól powierzchni definiowanych jako pola przekroczeń. Są to pola trójkątów lub czworoboków jakie powstają w wyniku przecięć dwóch wieloboków, tj. figury opisującej wartości graniczne i figury opisującej skalowane wskaźniki jakości dla pojedynczego pomiaru. Na rysunku 2 pokazano metodę wyznaczenia wskaźnika syntetycznego dla wybranych wskaźników rejestrowanych w jednym punkcie pomiarowym.



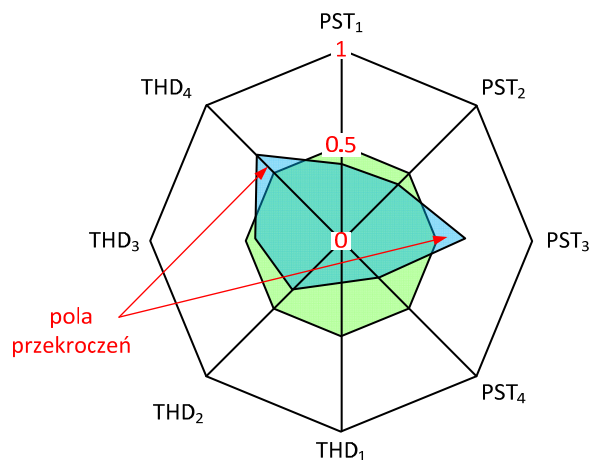
Rys. 2. Łączenie różnych wskaźników jakości rejestrowanych w jednym w punkcie pomiarowym

Rejestrowane wskaźniki są to wartości częstotliwości, napięć fazowych, udziały trzeciej i piątej harmonicznej, współczynnik zniekształcenia i współczynnik migotania.

Wynikiem przekroczenia wartości dopuszczalnych przez dowolny wskaźnik jest niezerowa wartość pola przekroczeń. Metoda ta umożliwia skonstruowanie osobnych wskaźników syntetycznych dla dowolnego typu i liczby parametrów napięcia i założonych wartości granicznych.

Synteza wskaźników w obszarze sieci

Analogicznie wyznaczany jest syntetyczny wskaźnik jakości energii obejmujący wiele punktów pomiarowych (wskaźnik obszarowy). Warunkiem niezbędnym jest dostęp do danych rejestrowanych synchronicznie w wybranym obszarze sieci. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy wykres radarowy skonstruowany dla syntetycznego wskaźnika obszarowego śledzącego zmiany współczynnika zniekształceń i migotania światła w czterech punktach pomiarowych. Suma pól trójkątów lub czworoboków jakie powstają w wyniku przecięć wieloboków (wartości granicznych i mierzonych wskaźników) określana jako pole przekroczeń charakteryzuje jakość energii w wybranym obszarze sieci.

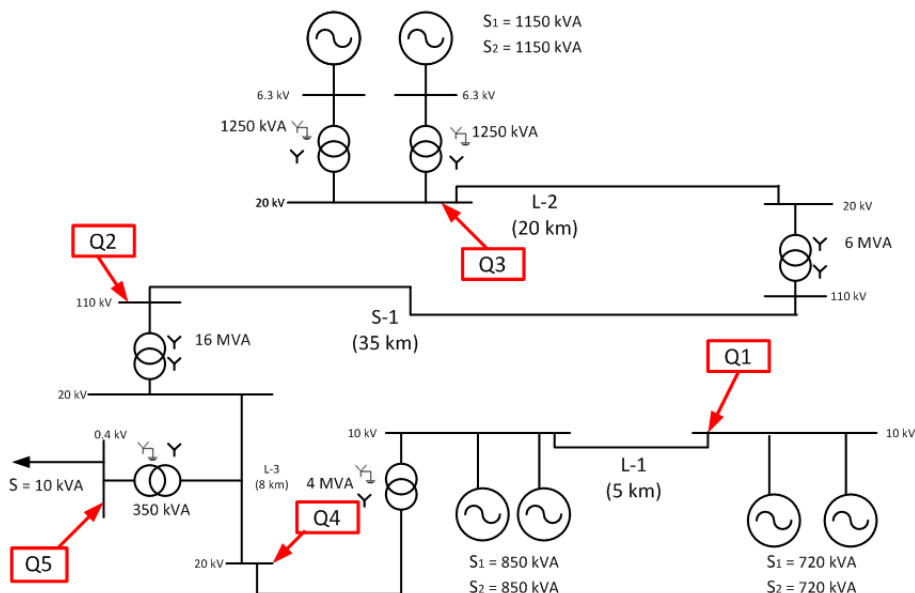


Rys. 3. Synteza wskaźników rejestrowanych obszarze sieci

Obszarowy system monitorowania jakości energii

Artykuł nawiązuje do przedstawionego w publikacji [15] stanowiska badawczego wraz infrastrukturą teleinformatyczną zlokalizowanego na terenie Politechniki Wrocławskiej oraz w stacjach elektroenergetycznych operatora regionalnego. Kompleksowy system rejestracji, archiwizacji i przetwarzania danych oparty jest na zsynchronizowanych czasowo analizatorach jakości. Monitoring dotyczy wytwórców energii oraz znaczących, bliskich węzłów sieci dystrybucyjnej.

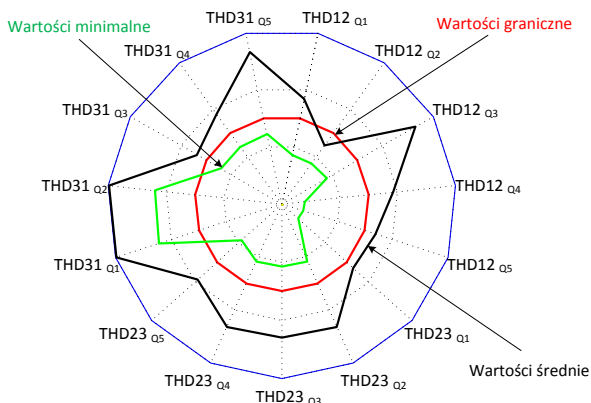
Obszar pomiarowy obejmuje elektrownie wodne o mocach rzędu 1 MW, linię WN 110 kV oraz odbiorców po stronie niskiego napięcia. Na rysunku 4 przedstawiono schemat lokalizacji punktów pomiarowych: Q1: SN 10 kV, pole liniowe L-1; Q2: WN 110 kV, pole liniowe S-1; Q3: SN 20 kV, pole liniowe L-2; Q4: SN 20 kV, pole liniowe L-3; Q5: nN 0.4 kV, stacja PT 20/0.4 kV w ciągu liniowym L-3. W wybranym obszarze pracują elektrownie wodne w punktach pomiarowych: Q1, Q3 i Q4. W bazie danych systemu monitoringu, która agreguje dane rejestrowane przez analizatory umieszczone w obiektach systemu elektroenergetycznego, zapisywane są wskaźniki jakościowe napięć i prądów. Opracowany algorytm współpracujący z bazą danych pozwala na wybór okresu analizy, liczby analizowanych punktów pomiarowych oraz liczby i typu wskaźników jakości napięcia. Dzięki synchronizacji czasowej mierzonych danych prowadzona jest analiza jakościowa w obszarze systemu elektroenergetycznego objętym monitorowaniem.



Rys.4. Fragment sieci dystrybucyjnej z udziałem generacji rozproszonej objęty monitoringiem

Pomiary i weryfikacja metody

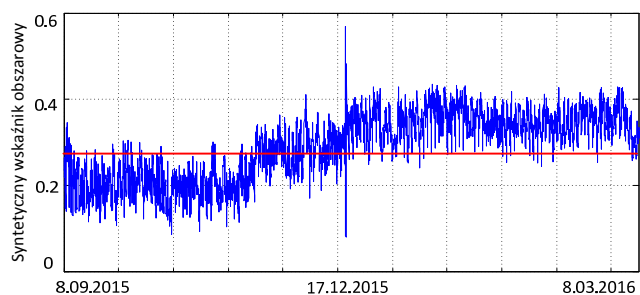
W oparciu o dane rejestrowane w rzeczywistym systemie elektroenergetycznym z udziałem generacji rozproszonej przeprowadzono badania jakości energii elektrycznej wykorzystując opracowane wskaźniki syntetyczne. Przykładem może być analiza zniekształceń napięcia w badanym obszarze sieci na podstawie rejestrowanych wskaźników zniekształceń THD. Wszystkie przekroczenia wartości dopuszczalnych generowały niezerowe wartości tego wskaźnika. Skonstruowano syntetyczny wskaźnik obszarowy oparty na wykresie radarowym pokazanym na rysunku 5. Wartości graniczne dla poszczególnych wskaźników standardowych przyjęto zgodnie z normą PN-EN 50160. Na wykresie oprócz wartości granicznych, które po unormowaniu przyjmują wartość 0.5 zaznaczono minimalne i średnie wartości współczynników THD unormowane zgodnie z zależnością (1).



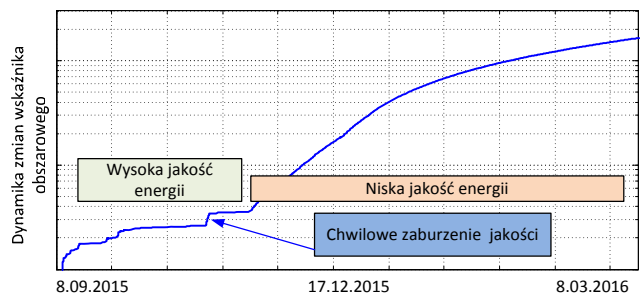
Rys.5. Wykres radarowy wskaźników THD w punktach i w obszarze sieci

Rysunek 6 przedstawia przebieg zmian syntetycznego wskaźnika jakości w okresie sześciu miesięcy. Ocena dotyczy monitorowanego obszaru sieci. Można zauważyć, że zmiana wartości wskaźnika wskazuje na znaczne pogorszenie jakości napięć w analizowanym obszarze.

Inny sposób obserwacji zmian wskaźników syntetycznych pokazano na rysunku 7. W skali logarymicznej przedstawiono dynamikę wzrostu pól przekroczeń.



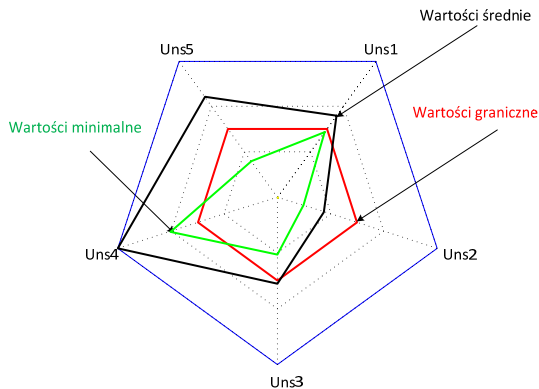
Rys.6. Zmiana wartości unormowanego syntetycznego wskaźnika (w zakresie od 0 do 1) opartego na pomiarach THD (pola przekroczeń) w okresie 6 miesięcy



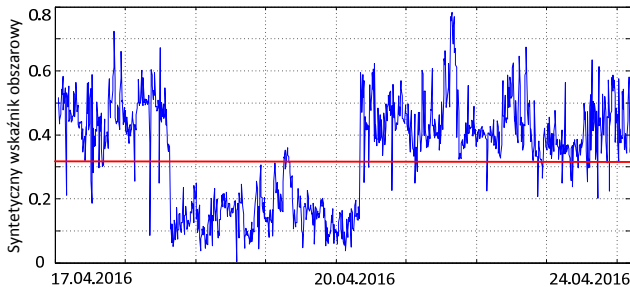
Rys.7. Dynamika wzrostu wskaźnika syntetycznego opartego na pomiarach THD w badanym obszarze sieci w okresie 6 miesięcy

Na wykresie można wyszczególnić obszary bez wzrostu wartości wskaźnika świadczące o braku przekroczeń wartości granicznych, czyli dopuszczalnej (wysokiej) jakości energii, skokowe zmiany, które są wynikiem chwilowych, przemijających zaburzeń jakości oraz obszary ciągłego wzrostu informujące o permanentnym przekraczaniu przez parametry napięcia wymaganych norm jakościowych.

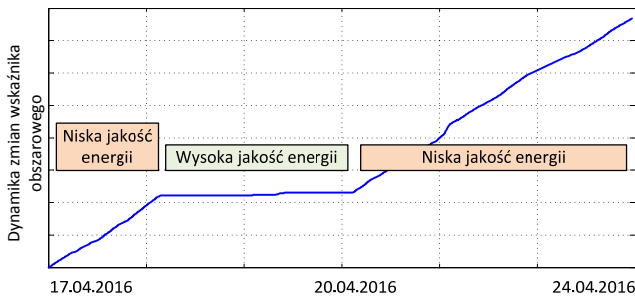
Innym przykładem jest analiza niesymetrii w obszarze sieci, gdzie wskaźnik syntetyczny oparto na pomiarach współczynników niesymetrii w kilku punktach systemu elektroenergetycznego. Na rysunkach 8-10 analogicznie jak w poprzednim przykładzie przedstawiono konstrukcję wskaźnika syntetycznego, przebieg zmian tego wskaźnika w okresie analizy i wykres dynamiki zmian wskaźnika obszarowego w czasie.



Rys.8. Łączenie wskaźników niesymetrii w obszarze sieci



Rys.9. Zmiana wartości unormowanego syntetycznego wskaźnika (w zakresie od 0 do 1) opartego na pomiarach niesymetrii (pola przekroczeń) w okresie 7 dni



Rys.10. Dynamika wzrostu wskaźnika syntetycznego opartego na pomiarach niesymetrii w badanym obszarze sieci w okresie 7 dni

Przebieg zmian syntetycznego wskaźnika obszarowego pokazany na rysunku 9 wskazuje na pogorszenie jakości napięcia w monitorowanym obszarze sieci w określonych przedziałach czasu, natomiast wykres dynamiki zmian wskaźnika obszarowego przedstawiony na rysunku 10 informuje o ciągłym utrzymywaniu się przekroczeń parametrów jakości energii w długich przedziałach czasu.

Wnioski

W artykule przedstawiono propozycję oceny jakości energii elektrycznej w oparciu o syntetyczne wskaźniki określone jako globalne, gdy są konstruowane w jednym punkcie pomiarowym systemu elektroenergetycznego oraz syntetyczne wskaźniki obszarowe konstruowane na podstawie rejestracji w wielu punktach pomiarowych. Weryfikację proponowanej koncepcji prowadzono w oparciu o pomiary wykonywane w rzeczywistej sieci dystrybucyjnej zawierającej źródła rozproszone. Systemem monitorowania i akwizycji danych objętych było pięć punktów zlokalizowanych w obszarze obejmującym elektrownie wodne oraz linie WN, SN oraz odbiorcę niskiego napięcia. Zaproponowane wskaźniki syntetyczne łączące standardowe wskaźniki jakości opisane w normach mogą być wykorzystane do efektywnej oceny zmian jakości napięcia w rozproszonym systemie generacji i stanowić

uzupełnienie analiz zaburzeń zachodzących w systemach elektroenergetycznych.

Autorzy: dr inż. Adam Gubański, Politechnika Wroclawska, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50 - 370 Wrocław, E-mail: adam.gubanski@pwr.edu.pl; dr inż. Paweł Kostyla, Politechnika Wroclawska, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50 - 370 Wrocław, E-mail: pawel.kostyla@pwr.edu.pl; dr hab. inż. Jacek Rezmer, Politechnika Wroclawska, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50 - 370 Wrocław, E-mail: jacek.rezmer@pwr.edu.pl; doc. dr inż. Jarosław Szymańda, Politechnika Wroclawska, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50 - 370 Wrocław, E-mail: jaroslaw.szymanda@pwr.edu.pl

LITERATURA

- [1] Dugan R.C., Walling R.A. et al, Summary of Distributed Resources Impact on Power Delivery Systems, *IEEE Transactions on power delivery*, 23 (2008), n.3
- [2] Bollen M., Hassan F., Integration of distributed generation in the power systems, *Wiley and IEEE Press*, 2011
- [3] Freris L., Infield D., Renewable energy in power systems, *John Wiley & Sons*, 2010
- [4] Hanzelka Z., Błajszczak G., Syntetyczne miary jakości napięcia, *Automatyka Elektryka Zakłócenia*, 3 (2012), nr 4 (10)
- [5] Hanzelka Z., Błajszczak G., Bonifikaty za obniżoną jakość napięcia – koncepcja rozwiązań taryfowych, *Rynek Energii*, nr 08.2011
- [6] Yonghai Xu, Lei Chen, Xiangning Xiao, Synthetic quantitative assessment of power quality in competition market environment, *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific*, 2005
- [7] Gosbell, VJ, Perera, BS & Herath, HM, Unified power quality index (UPQI) for continuous disturbances, *10th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, 6-9 October 2002, Vol 1, pp.316-321
- [8] Zhao Xia, Zhao Chengyong, Jia Xiufang, Fuzzy synthetic evaluation of power quality based on changeable weight, *Power System Technology*, vol. 29, 2005 pp. 11-16
- [9] CIGRE: Task Force C6.04.01: Connection criteria at the distribution network for distributed generation, *Brochure 313*, February 2007
- [10] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. - Prawo energetyczne (Dz. U. z 1997, nr 54, poz. 348) z późniejszymi zmianami (jednolity tekst ustawy - Dz. U. 2006 nr 89 poz. 625, oraz ostatnie zmiany: Dz. U. z 2007 r. Nr 21, poz. 124, Dz. U. z 2007 r. Nr 52, poz. 343, Dz. U. z 2007r. Nr 115, poz. 790, Dz. U. z 2007 r. Nr 130, poz. 905).
- [11] Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015r. (jednolity tekst ustawy - Dz. U. z dnia 3.04.2015r., poz. 478) oraz ustawa z dnia 22 czerwca 2016 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw, *Dziennik Ustaw*, (2016), pozycja: 925
- [12] Gubański A., Kostyla P., Rezmer J., Szymańda J.M., Logistyka identyfikacji i lokalizacji zdarzeń awaryjnych w systemie elektroenergetycznym, *Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering*, 86 (2016), s.21-31
- [13] Sikorski T., Kostyla P., Detection of power system transients disturbances in distributed generation systems using Hilbert transform and signal decomposition, *18th Power Systems Computation Conference, PSCC 2014*, August 18-22, 2014, Wrocław, IEEE, pp. 1-7
- [14] Grzegorz G., Normowanie wartości właściwości inherentnych w konstruowaniu syntetycznych wskaźników jakości, *Annales Universitatis Mariae E Curie-Skłodowska*, XIV (2011), sekcja H
- [15] Masoum M.A.S., Jamali S., Ghaffarzadeh N., Detection and classification of power quality disturbances using discrete wavelet transform and wavelet networks, *IET Science Measurement & Technology*, 4 (2010), n.4, Jul., pp. 193-205.