

doi:10.15199/48.2019.11.26

Analiza energii elektrycznej pobieranej w obiektach użyteczności publicznej

Streszczenie. W artykule przedstawione zostały zagadnienia związane z analizą jakości energii elektrycznej w budynku użyteczności publicznej. Zwrócono uwagę na skutki związane z występowaniem zakłóceń w instalacji elektrycznej oraz przedstawiono korzyści wynikające z zastosowania systemu monitoringu energii. Przedstawiono wyniki pomiarów parametrów jakości energii elektrycznej dla wybranego obiektu użyteczności publicznej.

Abstract. The paper presents issues related to the analysis of electricity quality of in a public building. The effects related to the occurrence of disturbances in the electrical installation and the benefits of using a energy monitoring system were presented. The results of measurements of electric energy quality parameters for a selected public utility object are presented. (**Analysis of electrical energy consumption in a public utility buildings**).

Słowa kluczowe: jakość energii elektrycznej, instalacje elektryczne.
Keywords: electrical quality, electrical installation.

Wstęp

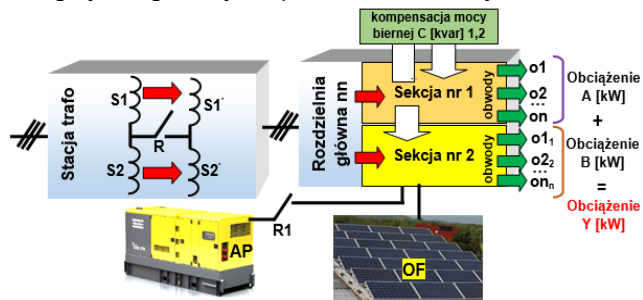
Podstawowym zadaniem instalacji elektrycznej jest dostawa energii elektrycznej do odbiorców w sposób zapewniający niezawodność zasilania, jakość energii, i spełnienie wymagań bezpieczeństwa. Celem monitoringu instalacji elektrycznej jest ocena stanu technicznego pod względem bezpieczeństwa użytkowników jak i również minimalizowanie kosztów związanych z eksploatacją i obsługą. W dzisiejszych czasach w budynkach coraz częściej instalowane są systemy których celem jest monitorowanie parametrów instalacji elektrycznej ze szczególnym uwzględnieniem aspektów jakości energii elektrycznej. Celem takiego monitoringu jest między innymi ocena poziomu jakości energii elektrycznej w instalacji, dzięki porównaniu wielkości mierzonych z wartościami dopuszczalnymi określonymi w obowiązujących przepisach [1-6]. Systemy eksperckie zawarte w systemach diagnostycznych funkcjonują też w wielu innych dziedzinach nauki. Przykładem takiej analizy jest system diagnostyczny do monitorowania parametrów centrów defektowych w materiałach półprzewodnikowych w którym identyfikacja danego centrum następuje po weryfikacji z bazą wiedzy dostępną w systemie [7].

Dodatkowo dzięki urządzeniom monitoringu istnieje możliwość bieżącej diagnostyki zaburzeń elektromagnetycznych występujących w instalacji na podstawie bieżących wyników pomiarów bądź widocznych skutków zakłóceń w pracy urządzeń, systemów elektrycznych i elektronicznych. Taki sposób diagnostyki umożliwia poznanie przyczyn i natury zaburzeń, w tym zakłóceń oraz umożliwia stosowanie odpowiednich środków do przeciwdziałania tym zaburzeniom. Należy zaznaczyć, iż w większości przypadków zagadnienia związane z monitoringiem jakości energii elektrycznej są bagatelizowane podczas eksploatacji budynków, co np. zwiększa koszty bieżące użytkowania budynku. Zwraca się na nie uwagę dopiero w przypadku znacznego wzrostu cen za energię elektryczną pobieraną w danych okresach rozliczeniowych lub w przypadku awarii urządzeń elektrycznych.

Problem badawczy i metoda badawcza

Problem badawczy związany był z nieprawidłowością działania instalacji elektrycznej w budynku użyteczności publicznej. Budynek ten wyposażono w elektroniczne systemy bezpieczeństwa (np. system telewizji dozorowej CCTV, system kontroli dostępu SKD, itd.) oraz systemy

automatyki budynkowej. Stosowanie nowoczesnych rozwiązań technicznych w zarządzaniu budynkiem tj. sterowanie zasobami ludzkimi i systemami automatyki, efektywne zarządzanie przestrzenią budynku wymaga zastosowania dużej liczby zintegrowanych systemów elektrycznych i elektronicznych. Z technicznego punktu widzenia taki obiekt budowlany można nazwać budynkiem inteligentnym. Budynek inteligentny to taki obiekt w którym wszystkie podsystemy (np. bezpieczeństwa technicznego, klimatyzacji, wentylacji i ogrzewania, oświetlenia, zasilania elektroenergetycznego, teleinformatycznego, itd.) współdziałają ze sobą tworząc przyjazne dla człowieka środowisko [8, 9, 10, 12]. Uproszczony schemat zasilania energetycznego budynku przedstawiono na rysunku 1.

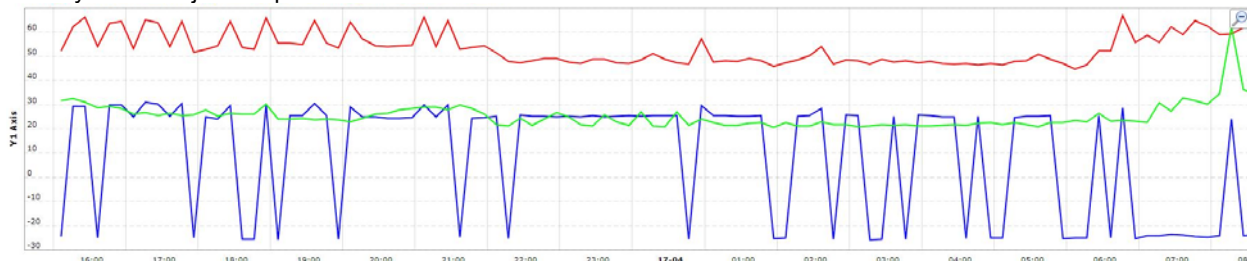


Rys. 1. Zasilanie energetyczne budynku użyteczności publicznej, oznaczenia na rys.: S1,S2 – sekcje zasilania, R,R1 – przełącznik rezerwy, S',S2' – rezerwa sekcji zasilania, o1,o2,...,on – obwody zasilania, AP – agregat prądowców, OF – ogniwa fotowoltaiczne

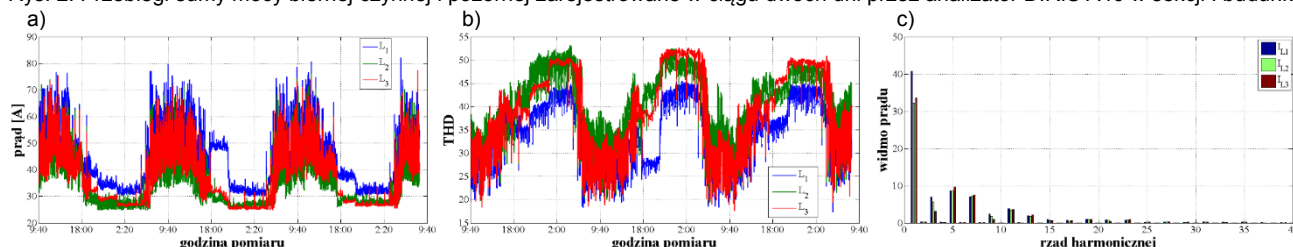
Badany budynek zasilany jest ze stacji transformatorowej. Rozdzielnia główna niskiego napięcia - 0,4 kV budynku składa się z dwóch sekcji (I i II) zasilanych z różnych sekcji w/w stacji transformatorowej. Każda z sekcji jest wzajemnie rezerwowana. Dodatkowo sekcja II jest rezerwowana agregatem prądowców o mocy równej 160 kVA. Do sekcji II dołączony został również system ogniw fotowoltaicznych umieszczonych na dachach budynku o łącznej mocy 21 kW. Projekt budynku przewiduje obciążenie na poziomie 1 630,5 kW (z uwzględnieniem 30 % rezerwy), w tym w sekcji I $P_1 = 818,8$ kW mocy zainstalowanej (łącznie z rezerwą) a w sekcji II $P_2 = 811,5$ kW. W każdej sekcji zainstalowane zostały statyczne baterie kondensatorów do kompensacji mocy biernej po $Q = 150$ kvar na każdą sekcję. Odbiorcami zainstalowanymi w każdej sekcji o największym poborze mocy są systemy wentylacji ($P_{k1} = 228$ kW w sekcji I oraz $P_{k2} = 255,5$ kW w sekcji II).

Na wejściu każdej sekcji jest zainstalowany system monitoringu energii elektrycznej (Analizator DIRIS A40). Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów z przebiegami zarejestrowanymi w sekcji I budynku B. Przebiegi sumy mocy czynnej P (linia czerwona), biernej Q (linia niebieska) i pozornej S (linia zielona) zarejestrowane zostały od godziny 16 dnia 16 kwietnia do godziny 8 dnia 17 kwietnia (dzień powszedni eksploatacji budynku). Przedstawione wyniki pomiarów służą do określenia wartości średniej wyznaczonej z 10 minut rejestrowanych parametrów. Średnia wartość napięć wszystkich faz w analizowanym czasie jest na poziomie $U = 239$ V. Wartość

średnia prądu fazy L1 była równa $I_1 = 39$ A, natomiast w fazach L2 oraz L3 $I_{2,3} = 33$ A. Wartość średnia mocy czynnej pobranej przez wszystkie fazy między godziną 23 a 6 była równa $P = 41$ kW. Na uwagę zasługuje fakt występowania w rejestrowanych przebiegach mocy biernej o wartościach ujemnych, co mogłoby świadczyć o przekompensowaniu instalacji przez baterię kondensatorów. W przypadku przekompensowania dystrybutor energii nałoży dla użytkownika danego budynku.



Rys. 2. Przebiegi sumy mocy biernej, czynnej i pozornej zarejestrowane w ciągu dwóch dni przez analizator DIRIS A40 w sekcji I budynku.



Rys. 3. Zarejestrowane przebiegi prądów w poszczególnych fazach a), współczynnik zawartości wyższych harmonicznych b) oraz wartości skuteczne prądów poszczególnych harmonicznych c). Pomiary zrealizowane analizatorem jakości energii PQM 707 firmy Sonel

Z uwagi na fakt występowania ujemnych wartości mocy biernej postanowiono przeprowadzić dodatkowe pomiary parametrów jakości energii, wykorzystując w tym celu miernik PQM 707 firmy Sonel. Miernik został podłączony do sieci energetycznej budynku inteligentnego 23 kwietnia o godzinie 9.39, a pomiary zostały zakończone w dniu 26 kwietnia o godzinie 11.12. Za pomocą miernika dokonano pomiaru następujących parametrów: wartości skutecznej napięć wszystkich faz, wartości skutecznej prądów wszystkich faz, częstotliwości, współczynnika mocy odbiorników, mocy czynnej, biernej i pozornej wszystkich faz, współczynnika zawartości wyższych harmonicznych prądu i napięcia oraz harmonicznych w napięciu oraz prądzie.

Dokonując analizy zarejestrowanych przebiegów stwierdzono że pomiary napięć mieszczą się w przedziale $\pm 10\%$ napięcia znamionowego i są zgodne z obowiązującymi przepisami dotyczącymi parametrów jakości energii elektrycznej. Pomiary współczynnika odkształcenia wyższymi harmonicznymi napięcia wykazały że nie przekraczał on 2 % w analizowanym okresie (przepisy dopuszczają odkształcenia na poziomie 8%). Częstotliwość napięcia zasilającego mieściła się w przedziale 50 Hz $\pm 1\%$.

Na rys 3. przedstawiono zmierzone wartości współczynnika zawartości wyższych harmonicznych prądów w poszczególnych fazach a) oraz wartości skuteczne prądów poszczególnych harmonicznych b). Analiza tych przebiegów wskazuje że współczynnik zawartości wyższych harmonicznych prądu przekracza dopuszczalne wartości wskazane w odpowiednich normowaniach - PN-EN 61000-3-12 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 3-12: Dopuszczalne poziomy - Dopuszczalne poziomy harmonicznych prądów powodowanych działaniem odbiorników, które mają być przyłączone do publicznej sieci

zasilającej niskiego napięcia z fazowym prądem zasilającym odbiornika większym niż 16 A i mniejszym lub równym 75 A. Dopuszczalna wartość nie powinna przekraczać wartości 23 %. Prawdopodobnie głównym źródłem wyższych harmonicznych prądu są zasilacze impulsowe oraz przetworniki energii.

Analiza korzyści związanych z instalacją systemu stałego monitoringu parametrów jakości energii elektrycznej

W związku z tym, iż zakłócenia stanowią rosnący problem w zarządzaniu systemami elektrycznymi i elektronicznymi które są użytkowane w budynku należy wspomnieć o źródłach ich powstawania. Harmoniczne występują od samego początku w branży energetycznej i są powodowane przez nieliniowe odbiorniki i elementy sieci. Dodatkowo w instalacjach elektrycznych oprócz odbiorników dużej mocy pojawiły się nieliniowe odbiorniki, których moc jednostkowa jest niewielka, ale ich ogromna liczba sprawia, że negatywny efekt sumaryczny jest bardzo znaczący, a rozproszona ich instalacja utrudnia jego redukcję. Należy również zaznaczyć iż zakłócenia w instalacjach elektrycznych są wywołane pracą nowoczesnych energooszczędnych źródeł światła. Ponadto, urządzenia energoelektroniczne wykorzystuje się częściej z uwagi na ich możliwości precyzyjnego sterowania procesami i korzyści wynikające z oszczędności energii. Jednak powodują one generację harmonicznych w elektrycznych systemach dystrybucyjnych. Harmoniczne generowane przez nieliniowe odbiorniki podłączone do systemu dystrybucyjnego „przeptywają” przez impedancje systemu i powodują również odkształcanie napięcia źródła zasilania.

Jednym z wskaźników jakości energii elektrycznej są zakłócenia związane z występowaniem wyższych

harmonicznych. Obecność wyższych harmonicznych w przebiegach czasowych prądów i napięć ma duży wpływ na negatywne skutki ekonomiczne oraz powoduje zmniejszenie sprawności systemu energetycznego budynku. Ich przepływ w sieci zasilającej może być przyczyną:

- przeciążenia sieci spowodowanego wzrostem wartości skutecznej prądu, a tym samym zwiększeniem strat w elementach rezystancyjnych. Ten parametr szczególnie powiązany jest z impulsowym charakterem przebiegu prądu. Prąd taki występuje np. w układach z powszechnie stosowanymi zasilaczami impulsowymi (zasilacze elektronicznych systemów bezpieczeństwa, komputerów, ładowarki telefonów komórkowych, itp.), a także energooszczędnymi świetłówkami kompaktowymi. Pomimo niewielkiej wartości średniej, może charakteryzować się znaczną wartością skuteczną, co jest przyczyną zwiększenia się strat energii oraz przegrzewania się elementów. Straty te mogą być nawet kilkanaście razy większe od strat w układzie z przebiegami sinusoidalnymi,
- przeciążenia przewodów neutralnych w układach trójfazowych spowodowane sumowaniem się harmonicznych rzędu trzeciego wywołanych przez odbiorniki jednofazowe. Duża część instalacji nie została zaprojektowana do tego rodzaju obciążenia (przekroje przewodów neutralnych są zgodne, a czasami nawet mniejsze od przekroju przewodu fazowego). W skrajnym przypadku może dojść nawet do uszkodzenia przewodu neutralnego, a tym samym odłączenia wszystkich odbiorników jednofazowych od sieci zasilającej,
- przeciążenia, wibracje oraz przedwczesne starzenia się generatorów, transformatorów, silników, zwiększony poziom hałasu, itd.,
- dodatkowe momenty hamujące występujące w pracy silników elektrycznych wykorzystywanych w napędach budynku inteligentnego – np. klimatyzacja,
- przeciążenia oraz przedwczesne starzenia się lokalnej baterii kondensatorów przeznaczonych do korekcji współczynnika mocy biernej budynku inteligentnego,
- odkształcenia napięcia zasilającego, powodującego zakłócenia w pracy wrażliwych odbiorników. Szczególnie podatnymi na tego rodzaju zakłócenia odbiornikami są elektroniczne układy sterowania. W wyniku obecności wyższych harmonicznych urządzenia te mają tendencje do błędnego działania,
- przedwczesnego starzenia się izolacji (wyższe harmoniczne mogą być przyczyną przegrzewania oraz powstawania mikropęknięć w strukturze izolacji np. przewodów energetycznych i uzwojeń silników),
- groźnych awarii będących następstwem występowania zjawisk rezonansowych wywołanych wyższymi harmonicznymi. Pasożytnicze zjawiska rezonansowe mogą być przyczyną przepływu dużych prądów przez sieć zasilającą oraz mogą powodować indukowanie się napięć znacznie wyższych niż napięcie sieci zasilającej,
- nierównomiernego przepływu prądu w przewodzie na skutek zjawiska naskórkowości oraz związanych z tym efektów cieplnych,
- niewłaściwej pracy wyłączników instalacyjnych – zmniejszenie zdolności łączeniowej w czasie przerywania łuku czy niewłaściwe samoczynne wyłączenie zasilania.

Zastosowanie podsystemu diagnostycznego związanego z monitoringiem najważniejszych parametrów sieci energetycznej, w tym systemów sterowania i bezpieczeństwa w budynku umożliwia właściwą

eksploatację pod względem technicznym (odpowiednia wartość np. częstotliwości i napięcia zasilającego, itd.) oraz bezpieczeństwa (pożarowego – system sygnalizacji pożarowej, nadzoru nad ruchem osobowym – SKD, reagowanie na sytuacje niebezpieczne CCTV, itd.) wszystkich urządzeń technicznych które zlokalizowane są w budynku [8,11,12].

Korzyści instalacji systemu monitoringu jakości energii elektrycznej to:

1. Obecność specjalisty w obiekcie jest ograniczona w czasie i nie zawsze możliwa jest obserwacja wszystkich możliwych sytuacji w czasie bieżącym – on line. Tylko kilka pomiarów w różnych punktach instalacji i w odpowiednio długim okresie (jeden tydzień do miesiąca) zapewni ogólny obraz pracy wszystkich systemów technicznych które są użytkowane w budynku. Wówczas brane są pod uwagę wszystkie sytuacje, które mogą wystąpić po:

- wahaniach – zmianach napięcia źródła zasilania,
- zmianach w pracy instalacji energetycznej budynku (np. zwarcia, przerwy, zmiana impedancji obciążenia, itd.),
- dodaniu (rozbudowa lub modernizacja) nowych systemów technicznych w wyposażeniu instalacji energetycznej budynku .

2. Urządzenia pomiarowe zainstalowane w odpowiednich punktach instalacji energetycznej mogą być materiałem pomocniczym dla diagnostyki określającego stan instalacji, tym samym zmniejszając liczbę i czas trwania ich wizyt.

3. Stałe urządzenia pomiarowe wykrywają wszelkie nowe zakłócenia w sieci energetycznej powstałe po instalacji nowego sprzętu, wdrożeniu nowych trybów pracy lub wahaniami w sieci zasilania.

4. W przypadku ogólnej oceny statusu sieci (analiza zapobiegawcza), pozwala to uniknąć:

- dodatkowego wynajmowania specjalistycznego sprzętu pomiarowego do określenia parametrów sieci energetycznej budynku inteligentnego,
- ograniczenia kosztów pracy specjalistów którzy nadzorują sieć energetyczną budynku inteligentnego,
- konieczności podłączenia i odłączenia dodatkowego sprzętu pomiarowego energetycznej sieci budynku inteligentnego.

W przepisach jest zapis, który pozwala Operatorowi Systemu Dystrybucyjnego na nałożenie kar finansowych, a w ostateczności na odłączenie danego podmiotu od sieci w przypadku stwierdzenia wpływu użytkownika budynku na bezpieczeństwo innych publicznych użytkowników sieci energetycznej. Zakład energetyczny na bieżąco dokonuje pomiaru mocy dostarczonej oraz współczynnika mocy tgφ na podstawie których wystawiana jest faktura za dostarczoną energię elektryczną. Te dwa parametry decydują o wysokości rachunku za energię elektryczną. O nieprawidłowościach pracy systemu energetycznej budynku inteligentnego dowiadujemy się z miesięcznym opóźnieniem na podstawie analizy faktury za energię elektryczną. Do korzyści związanych z pracą monitoringu energii elektrycznej bez wątpienia zaliczymy oszczędności z tytułu wcześniejszego wykrycia zagrożenia oraz minimalizacji skutków awarii. System monitoringu z pewnością spowoduje minimalizację kar nakładanych na przedsiębiorstwo w przypadku ponad umownego poboru mocy czynnej oraz mocy biernej indukcyjnej i pojemnościowej.

Jedną z zalet instalacji systemu monitoringu energii elektrycznej jest możliwość kontrolowania zgodności parametrów dostarczanej energii z normami i obowiązującymi przepisami. Operator systemu monitoringu dysponując odpowiednimi danymi będzie z pewnością równoprawnym partnerem w negocjacjach z dostawcą

energii elektrycznej na temat rabatów czy upustów. Może też kontrolować działania dostawcy energii rejestrując nieplanowane wyłączenia zasilania, zaniki czy zapady napięcia (ogólnie – występujące zaburzenia pracy sieci energetycznej budynku inteligentnego). Równoprawny partner dostawcy energii jest świadomym swoich praw odbiorcą, który dysponuje wiarygodnymi i konkretnymi argumentami oraz potrafi określić swoje wymagania oraz cele. Trzeba również pamiętać, że zgodnie z obowiązującymi przepisami tylko raz w roku można dokonać zmian niektórych zapisów w umowie z dostawcą energii elektrycznej, a zmiany umowy po wyznaczonym terminie są albo niemożliwe albo bardzo kosztowne.

W przypadku obiektów w których zainstalowane są odnawialne źródła energii warto wiedzieć że operator Systemu Dystrybucyjnego w warunkach przyłączeniowych instalacji OZE bezpośrednio nie wymaga zastosowania analizatorów jakości energii elektrycznej, lecz w umowach dystrybucyjnych jako „Zobowiązanie stron” wymaga utrzymania odpowiednich standardów jakości energii elektrycznej wprowadzonej do sieci. Wymaga między innymi nieprzekraczania zawartości harmonicznych napięcia wprowadzonego do sieci, zgodnie z wytycznymi określonymi w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (THD nie większe niż 8%). W celu spełnienia zobowiązań umownych Wytwórca powinien posiadać urządzenia pomiarowe klasy A do pomiarów i analizy jakości energii elektrycznej.

Podsumowanie

System monitoringu parametrów instalacji elektrycznej jest niezbędny w funkcjonowaniu wielu obiektów (w tym sieci energetycznej budynku inteligentnego) oraz przedsiębiorstw i świadczy o ich innowacyjności. Zaletą takiego systemu byłaby dodatkowa możliwość automatycznej kontroli mocy umownej i wyłączenia mało ważnych odbiorów w przypadku jej przekroczenia. Są wtedy minimalizowane koszty tzw. kar związanych z przekroczeniem mocy 15 minutowej. Podobnie jest w przypadku analizy mocy biernej. Dochodzi tu również zjawisko przekompensowania wynikające z niewłaściwego doboru nastaw regulatora bądź nawet niewłaściwego doboru sposobu kompensacji. Rzeczywista eksploatacja kompensacji mocy biernej to także możliwość wystąpienia innego zjawiska które może mieć wpływ na jakość energii elektrycznej. W trakcie eksploatacji baterii kondensatorów może dojść, w wyniku chwilowego przeciążenia prądami wyższych harmonicznych, do zadziałania bezpiecznika topikowego wyłączającego konkretny stopień baterii. W przypadku baterii dławikowych stosuje się zabezpieczenia przed przegrzaniem termicznym dławika, które odłączają go od zasilania. Ponieważ zjawiska te mogą wystąpić w sposób nieoczekiwany, a mają wpływ na skutki finansowe, często są widoczne dopiero po dłuższym czasie, natomiast w systemie monitorowania mogą być zauważone natychmiast. Jeżeli proces kontroli przepływu mocy średnich zostanie przeprowadzony w rozbiciu na poszczególne fazy, może okazać się, że rzeczywista asymetria obciążeń jest zdecydowanie większa, a konfiguracja uproszczonego pomiaru napięć i prądów do kompensacji mocy biernej była nieoptymalna.

Dodatkowego znaczenia nabiera monitoring w instalacji budynku wyposażonego we własne źródła energii (np.

systemy fotowoltaiczne) w których zakłócenia mogą doprowadzić do nieprawidłowości ich pracy albo prowadzić do uszkodzeń. Niepodważalną zaletą systemu monitoringu energii elektrycznej jest możliwość stałego zdalnego nadzoru pracy układów elektroenergetycznych, czyli posiadanie narzędzia które może automatycznie zaalarmować odpowiednie osoby o konieczności podjęcia działań zaradczych, które to następnie mogą przystąpić do lokalizacji źródła zakłóceń, unikając tym samym powstaniu awarii.

Autorzy: dr inż. Marek Suproniuk, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00 – 908 Warszawa 49, E-mail: marek.suproniuk@wat.edu.pl; dr hab. inż. Jacek Paś, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00 – 908 Warszawa 49, E-mail: jacek.pas@wat.edu.pl;

LITERATURA

- [1] Ustawa „Prawo Budowlane” z dn. 7 – 07 – 1994 r. z późn. zm.
- [2] Norma PN-EN 61000-4-30 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-30: Metody badań i pomiarów. Metody pomiaru jakości energii.
- [3] Norma PN - EN 61000 – 4 – 7; Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) -- Część 4-7: Metody badań i pomiarów -- Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmonicznych i interharmonicznych oraz przyrządów pomiarowych, dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń
- [4] Norma PN - EN 61000 – 4 – 11; Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) -- Część 4-11: Metody badań i pomiarów -- Badania odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia
- [5] Norma PN-EN 61000-4-14; Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) -- Część 4-14: Metody badań i pomiarów -- Badanie odporności na wahania napięcia
- [6] Norma PN-EN 61000- 4 – 15; Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) -- Część 4-15: Metody badań i pomiarów -- Miernik migotania światła -- Specyfikacja funkcjonalna i projektowa
- [7] M. Suproniuk, P. Kamiński, M. Miczuga, M. Pawłowski, C. Longeaud, J. Kleider: Inteligentny system diagnostyczny do badania półprzewodników wysokorozdzielczywnych metodą niestacjonarnej spektroskopii fotoprądowej PITS, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 86 (2009), pp. 93 – 98,
- [8] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: The basic of the exploitation of transport electronic systems. Technical University of Radom, Radom 2011.
- [9] Corsi, S.: Voltage Control and Protection in Electrical Power Systems, Springer-Verlag, 2015.
- [10] Krzykowski M., Paś J., Rosiński A.: Assessment of the level of reliability of power supplies of the objects of critical infrastructure, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 214 (2019), pp. 1-9. DOI:10.1088/1755-1315/214/1/012018.
- [11] Klimczak T., Paś J.: Analysis of solution of a fire signaling system for a choice railway building, Biuletyn WAT, Warszawa 2018, Tom 67, Nr 4: pp. 195-205; ISSN: 1234-5865, DOI: 10.5604/01.3001.0012.8515 2018.
- [12] Duer S., Scaticailov S., Paś J., Duer R., Bernatowicz D.: Taking decisions in the diagnostic intelligent systems on the basis information from an artificial neural network, 22nd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy - IManE&E 2018, MATEC Web of Conferences 178, 07003 (2018), <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817807003>; IManE&E 2018; pp.1-6; MATEC Web Conf.; Volume 178.