

Rozważania o jakości energii elektrycznej (I)

Zbigniew Hanzelka

Jakość to – wg Słownika języka polskiego PWN – zespół cech wyróżniających dany przedmiot, „stanowiących o tym, że jest on tym przedmiotem, a nie innym”. Czy to określenie można zastosować do energii elektrycznej? Budzi to niekiedy wątpliwość, energia bowiem jako kategoria fizyczna jest bytem obiektywnie istniejącym, nie podlegającym wartościowaniu. Jest lub jej nie ma, ma dużą lub małą wartość itp. Jeżeli jednak energię elektryczną potraktujemy jako towar, a jest nim bez wątpienia, to określenia dotyczące jej jakości nie budzą już zastrzeżeń. Energia elektryczna jest rezultatem procesu wytwórczego i jako produkt powinna podlegać ocenie i standaryzacji.

Już niedługo niemal wszyscy użytkownicy energii elektrycznej zetkną się z problemami związanymi z jej jakością, czerpiąc stąd satysfakcję zawodową i korzyści materialne lub doświadczając negatywnych skutków jej degradacji. Celem niniejszego artykułu, pierwszego z serii prezentującej szczegółowo tę tematykę, jest przekonanie Czytelników o słuszności tych twierdzeń i zapoczątkowanie dyskusji na ich temat.

Jeden z najważniejszych problemów elektrotechniki

Trudno jednak znaleźć polski dokument, który wyraźnie określałby energię elektryczną jako towar lub jako produkt. Przykładowo, europejska dyrektywa 85/374/EEC dotycząca regulacji prawnych i administracyjnych, zabezpieczających obywateli Unii Europejskiej przed wadliwymi produktami, w art. 1 mówi o odpowiedzialności producenta za uszkodzenia spowodowane wadą jego produktu, natomiast w art. 2 stwierdza jednoznacznie, że takim produktem jest również energia elektryczna. Przyjęta w Polsce filozofia (zawarta w ustawie Prawo energetyczne) przesądza o rynkowym traktowaniu energii elektrycznej, lecz przy poddaniu tego sektora działalności regulacyjnej Urzędu Regulacji Energii (URE).

W przypadku energii elektrycznej można w aspekcie jakości sformułować kilka stwierdzeń. Energia elektryczna to towar sprzedawany klientowi spodziewającemu się, że otrzymuje dobry produkt w formie odpowiadającej jego potrzebom, a charakteryzowanej zbiorem wyróżnionych właściwości. Jeżeli jest złej jakości, to może zagrażać własności użytkownika, jego zdrowiu, a nawet życiu.

Energia elektryczna ulega degradacji pod wpływem zaburzeń elektromagnetycznych, a więc zjawisk, które powodują, że wartości niektórych ilościowych wskaźników – parametrów jakości energii – różnią się od znamionowych, odniesionych do stanów ustalonych z przebiegami sinusoidalnie zmiennymi, występującymi w symetrycznych układach wielofazowych.

Tło historyczne

Jakość energii nie jest problemem nowym. W trwającym już kilkadziesiąt lat procesie intensywnego rozwoju tej dziedziny można wyróżnić trzy główne etapy charakteryzujące się różnym stopniem zainteresowania tym zagadnieniem.

● **Etap I** wiąże się z postacią C. P. Steinmetza (początek XX w.), który jest autorem tak oczywistego obecnie sposobu eliminacji prądów trzeciej harmonicznej (ogólnie harmonicznych o rzędach będących krotnością 3), polegającego na stosowaniu transformatorów

o uzwojeniach połączonych w trójkąt lub w gwiazdę bez przewodu neutralnego. Steinmetz jest również autorem koncepcji pozwalającej w układach trójfazowych symetryzować każdy jednoelementowy odbiornik za pomocą elementów pasywnych LC.

● **Etap II** obejmuje wzrost zainteresowania problematyką jakości energii w latach 30. dwudziestego wieku, gdy doświadczono negatywnych skutków wzajemnego sprzęgania się prowadzonych blisko siebie przewodów elektroenergetycznych (zasilających piece łukowe, prostowniki dużej mocy itp.) z przewodami telefonicznymi. Efekt – rozwój teorii wyższych harmonicznych (wh) oraz stosowanie na szeroką skalę pasywnych filtrów LC. Pojawienie się wówczas możliwości rejestracji stanów przejściowych napięć i prądów sprawiło, że w zbiorze zjawisk związanych z jakością energii znalazły się zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu.

● **Etap III** zaczął się na początku lat 50. ubiegłego wieku. Wzrostowi zawartości wh towarzyszyły zaburzenia o innym charakterze (głównie wahania napięcia i migotanie światła, również niesymetria), co dało początek współczesnemu rozumieniu pojęcia jakości energii.

Obecny, niezwykle intensywny rozwój elementów półprzewodnikowych dużej mocy i o dużych granicznych wartościach prądów, napięć i częstotliwości łączy stworzył nowy etap w dziedzinie jakości energii, a szczególnie w dziedzinie rozwiązań technicznych służących eliminacji źródeł złej jakości. Towarzyszący temu rozwój wyrafinowanych technik sterowania i rozwój teorii mocy w obwodach elektrycznych sprawił, że obecnie obserwujemy chyba najbardziej intensywny w historii tej dziedziny okres jej rozwoju. Jakość energii elektrycznej stała się nową gałęzią nauki i techniki o interdyscyplinarnym charakterze. Obejmuje bowiem takie dziedziny szczegółowe, jak np. modelowanie, metody i środki techniczne pomiaru wskaźników, źródła złej jakości energii, środki poprawy jakości, analizę skutków złej jakości, normalizację, taryfy, kontrakty itp.

Obecnie można zaobserwować także bardzo intensywny rozwój przyrządów do pomiaru parametrów jakości energii, wymuszony

techniczną i ekonomiczną potrzebą oraz postępowaniem w dziedzinie teorii i techniki przetwarzania sygnałów.

Definicja jakości energii elektrycznej

Problematyką jakości energii elektrycznej zajmuje się obecnie wiele różnych podmiotów. Zaskakujące jest to, że chociaż ich działania dotyczą w zasadzie tych samych zjawisk, wprowadza się niekiedy zupełnie inne definicje jakości energii (jeżeli w ogóle definicje takie istnieją). Wynika to m.in. z tego, że jakość energii to pojęcie interdyscyplinarne, trudne do ścisłego i jednoznacznego zdefiniowania. Jest rozważane w kategoriach technicznych (kryteria fizykotechniczne) i ekonomicznych (kryteria ekonomiczno-marketingowe).

Od kilku lat w Polsce, podobnie jak w wielu innych krajach, toczy się dyskusja nad definicją tego pojęcia, jednak nie opracowano jeszcze ostatecznego sformułowania. Za jedną z bardziej trafnych spośród dużej liczby różnych definicji można uznać następującą: **Jakość energii elektrycznej to zbiór parametrów opisujących właściwości procesu dostarczania energii do użytkownika w normalnych warunkach pracy, określających ciągłość zasilania (długie i krótkie przerwy w zasilaniu) oraz charakteryzujących napięcie zasilające (wartość, niesymetrię, częstotliwość, kształt przebiegu czasowego).**

Normalne warunki wykluczają sytuacje spowodowane siłami natury, ingerencją osób trzecich, działaniem władz administracyjnych itp.

Uwaga 1. Jakość energii wyraża się stopniem zadowolenia użytkownika z warunków zasilania.

Uwaga 2. Jakość energii zależy nie tylko od warunków zasilania, lecz także od rodzaju stosowanego sprzętu (jego odporności na zaburzenia i jego emisyjności) oraz od praktyki instalacyjnej.

Uwaga 1 jest ważna z praktycznego punktu widzenia. Jakość energii jest dobra, jeżeli jej liczbowe wskaźniki zawierają się w przedziałach określonych warunkami kontraktu na dostawę energii oraz jeżeli nie są zgłaszane skargi od użytkowników. Obecność zaburzeń elektromagnetycznych nie oznacza, że istnieją problemy z jakością energii. Pojawiają się one tylko wówczas, gdy wystąpią niekorzystne – z użytkowego punktu widzenia – zjawiska lub, jeżeli wystąpi wadliwa praca sprzętu lub instalacji.

Uwaga 2 podkreśla to, że odpowiedzialność za jakość energii spoczywa nie tylko na dostawcy (modernizacja warunków zasilania), lecz również ponosi ją producent sprzętu (przestrzeganie odpowiednich norm i przepisów dotyczących cech technicznych wyrobów) oraz użytkownik (respektowanie technicznych warunków przyłączenia).

Niekiedy jakość energii elektrycznej utożsamia się z jakością zasilania odbiorców, włączając do ogólnych cech jakościowych energii elektrycznej także niezawodność jej dostawy, a w szczególności przerwy w zasilaniu odbiorców oraz jakość świadczonych usług. Jest to dyskusyjny pogląd, ponieważ proces dostarczania towaru (energii elektrycznej) a jego cechy jakościowe (jakość energii elektrycznej) – to zupełnie odmienne kategorie pojęciowe.

W literaturze technicznej jest także często stosowany termin jakości napięcia (*voltage quality, qualité de la tension*) traktowany jako miara różnicy napięcia w stosunku do przebiegu idealnego. Ten ostatni jest przebiegiem sinusoidalnym o stałej częstotliwości i amplitudzie. Cechami jakości energii elektrycznej są wówczas wielkości odnoszące się tylko do napięcia.

Rodzaje zaburzeń elektromagnetycznych

Zaburzenia elektromagnetyczne związane z jakością energii elektrycznej można podzielić na losowe (np. wyładowania atmosferyczne) i zdeterminowane (rodzajem odbiornika, systemu zasilającego itp.). Charakter ich źródeł też może być różny. Można wyróżnić źródła naturalne i źródła wytworzone przez człowieka, a zlokalizowane w systemie zasilającym lub po stronie odbiorcy.

Jakość energii jest charakteryzowana zbiorem liczbowych wartości – parametrów jakości, które można podzielić na trzy grupy:

– parametry dotyczące normalnych warunków pracy systemu zasilającego – wartość napięcia wraz z przedziałem tolerancji, wolne zmiany napięcia, długie przerwy w napięciu (powyżej 1 min), wartość częstotliwości wraz z przedziałem tolerancji;

– parametry dotyczące zaburzonych warunków pracy systemu zasilającego – przepięcia, wahania i niesymetria napięcia;

– parametry dotyczące zaburzeń w przebiegu czasowym napięcia zasilającego – harmoniczne, interharmoniczne, załamania komutacyjne, przepięcia, zapady napięcia, krótkotrwałe wzrosty napięcia, krótkie przerwy w zasilaniu.

Przykłady najczęściej występujących zaburzeń elektromagnetycznych przedstawiono na rysunku.

Ogólne zasady rozwiązywania problemów jakości energii

W środowisku elektromagnetycznym, w którym pracuje urządzenie, instalacja, sprzęt, można wyróżnić trzy podstawowe elementy składowe istotne ze względu na jakość energii (ogólnie kompatybilność elektromagnetyczną) – źródło zaburzenia, układ sprzęgający, zakłócany odbiornik. Stąd, chcąc zredukować skutki złej jakości energii, możliwe są trzy drogi postępowania (najlepiej stosowane jednocześnie):

– **ograniczenie emisji źródła zaburzeń** wymuszone normami produktów lub warunkami technicznymi przyłączenia odbiorców, a realizowane dzięki stosowaniu przekształtników z korekcją współczynnika mocy, filtrów pasywnych lub aktywnych, kompensatorów mocy biernej, wejściowych interfejsów dla nieliniowych odbiorników, właściwą technikę uziemień i ekranowania itp.;

– **zredukowanie stopnia sprzężenia** źródła zaburzeń z odbiornikiem energii, np. przez przyłączenie odbiornika emitującego zaburzenia do punktów systemu o dużych mocach zwarcia, zasilanie odbiornika zaburzającego lub czulego na zaburzenia z wydzielonych, dedykowanych dla niego linii, rezygnację z dławikowania linii, stosowanie równoległych linii, pracę linii w pierścieniu, właściwe lokalizowanie kondensatorów, stosowanie autotransformatorów lub transformatorów z automatyczną zmianą odczepów itp. Są to również działania techniczne, które poprawiają jakość systemu zasilającego w sensie redukcji zaburzeń w nim powstających oraz zwiększają jego odporność na stany awaryjne w zasilaniu, np. przez większy udział linii kablowych w relacji do napowietrznych, odpowiednią praktykę eliminacji zwarc, stosowanie właściwych systemów ochrony przed przepięciami itp.;

– **zwiększenie odporności odbiorników** na zaburzenia wskutek np. stosowania odpowiednich współczynników bezpieczeństwa przy wymiarowaniu elementów półprzewodnikowych, wykorzystania filtrów wejściowych, zapewnienia odpowiedniej konstrukcji urządzeń, ekranowania, stosowania układów bezprzewodowego zasilania i stabilizatorów napięcia, właściwą technikę uziemień itp.

Bardziej szczegółowe omówienie sposobów redukcji skutków złej jakości energii elektrycznej jest możliwe w odniesieniu do konkretnych zaburzeń, wyróżnionych odbiorników, określonych technologii oraz ściśle zdefiniowanych warunków zasilania.

Za generalną zasadę należy przyjąć to, że koszt działań zmierzających do poprawy jakości energii jest z pewnością niższy niż koszt potencjalnych skutków wynikających ze złej jakości energii. Zawsze w takim przypadku powstaje jednak pytanie: kto te koszty powinien ponosić? W zasadzie są cztery możliwości stanowiące podstawę współczesnych rozwiązań stosowanych w różnych krajach:

– odbiorca (jeżeli stosuje urządzenia czule na zaburzenia lub emitujące zaburzenia),

– energetyka zawodowa,

– energetyka i odbiorca w ustalonych proporcjach,

– państwo z budżetu, jakość energii jest bowiem także problemem socjalnym.

Jeżeli mówimy o skutkach, nie sposób nie podkreślić, że występują dziedziny, których istnienie jest warunkowane dobrą jakością energii, a dla których koszty jej uzyskania są w wielu przypadkach zagadnieniem drugorzędym. Należą do nich z pewnością systemy podtrzymania życia, banki danych, szpitale, oddziały paramedyczne, formacje militarne, jednostki użyteczności publicznej, tj. elektrownie, gazownie, przedsiębiorstwa wodociągowe i kanalizacyjne, układy kontroli lotnisk, instytucje finansowych, banków, giełdy itp.

Partnerzy na rynku energii elektrycznej

W miejsce starego modelu: dostawca energii i jej odbiorca, w którym jakość energii była problemem dwóch partnerów, pojawił się nowy układ obejmujący co najmniej cztery wzajemnie zależne strony: odbiorcę i dostawcę energii, producenta sprzętu oraz konsultanta. Dostawca często stwierdza, że źródła złej jakości energii są po stronie użytkownika, podczas gdy ten ostatni skarży się na przyczyny zlokalizowane w sieci zasilającej. Zdarza się, że ich wzajemne dyskusje prowadzą do wspólnej konkluzji, że to sprzęt nie jest właściwie zaprojektowany do pracy w danym środowisku elektromagnetycznym.

Czy relacje pomiędzy wyróżnionymi stronami mają charakter antagonistyczny? Niekiedy tak, lecz jest to układ wzajemnej koegzystencji i współpracy, który nie ma alternatywy. Problemem pozostaje jedynie ściśle zdefiniowanie własnych obszarów działań i wzajemnej odpowiedzialności, czyli ustalenie swoich pozycji na rynku energii elektrycznej. Czynnikiem ustalającym reguły tej gry są obecnie:

– prawo energetyczne i jego akty wykonawcze,

– proces przystosowywania gospodarki do wymagań Unii Europejskiej, w szczególności do jej przepisów prawnych i norm,

– rozpoczynający działalność w Polsce rynek energii elektrycznej i jego reguły organizacyjne.

Odbiorca energii elektrycznej a jej jakość

● Szczególną cechą energii elektrycznej jest to, że jej jakość uzależniona jest w ogromnym stopniu od odbiorcy finalnego. Badania wykazują, że zdecydowana większość wszystkich przyczyn złej jakości energii ma swoje źródło u odbiorcy. Dlatego wzajemna relacja między dostawcą a odbiorcą jest podstawowym czynnikiem determinującym jakość energii.

● Z ekonomicznego i technicznego punktu widzenia problemy złej jakości energii korzystnie jest rozwiązywać bezpośrednio u odbiorcy, czyli u źródła zaburzeń i jednocześnie w najbliższym otoczeniu elementu systemu, który jest szczególnie czuły na te zaburzenia.

● Odbiorca domaga się, aby instalacja oraz sprzęt przez niego zakupione działały prawidłowo i aby środowisko elektromagnetyczne nie wpływało na nie destrukcyjnie. Oczekuje, że korzystną cechą tego sprzętu będzie również jego energooszczędność (w wielu przypadkach źródło zwiększonej emisji i obniżonego poziomu odporności na zaburzenia). Zależy mu również na tym, aby nie ponosił opłat karnych z tytułu przyłączenia sprzętu lub instalacji.

● Nowym elementem w obecnej sytuacji jest to, że konsumentami energii elektrycznej o dużych wymaganiach jakościowych są w coraz większym stopniu odbiorcy małej mocy, występujący jednak w dużej liczbie.

● W coraz większym stopniu odbiorca finalny ma poczucie własnej siły. Jest przekonany, że może żądać, ponosi bowiem koszty

01/00475-01

Twelve Electric
Kompensacja Mocy Biernej
Rozdział Energii
Monitoring Jakości Sieci
Osprzęt Elektrotechniczny

ANALIZATOR PARAMETRÓW SIECI AS-3

REGULATOR MOCY BIERNEJ MRM-12 CS

Po pełną wersję artykułu prof. Z. Hanzelki dzwoń:
(22) 872-20-20

JEEN 2000
Im. K. Szpotńskiego
INSTALEKTRA
Bydgoszcz 2000

ZŁOTA ISKRA
ELEKTROEXPO
Warszawa 2000

ZŁOTY MEDAL
INSTALEKTRA
Bydgoszcz 2000

MEDAL PREZESA SEP
ELEKTROINSTALACJE
Gdańsk 2000

TWELVE ELECTRIC 04-994 Warszawa, ul. Poezji 19
tel. (22) 872 20 20, fax (22) 612 79 49
www.twelveE.com.pl

w postaci opłat. Wymagania klienta, również w relacji do jakości zasilania, rosną wraz ze wzrostem wartości kupowanej energii. Są dwie tego przyczyny:

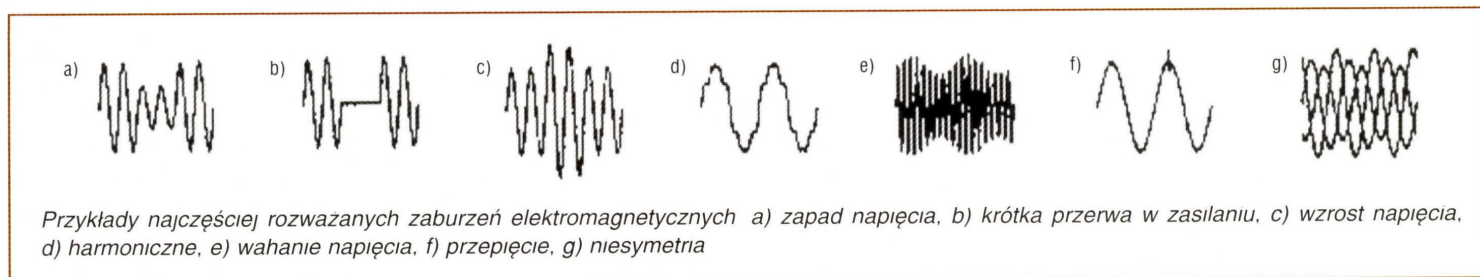
- duży odbiorca to z reguły znaczące ekonomiczne konsekwencje wystąpienia zaburzeń,
- większa opłata za energię to większe poczucie „nadmiernej ceny przy niewspółmiernej jakości zakupionego towaru”.

Parametry dostarczanej energii podlegają w coraz większym stopniu standaryzacji, stając się formalną podstawą żądań i kontraktów na dostawę energii zawieranych między stronami. Rozwijający się rynek energii i związana z tym konkurencja sprawi, że klient stanie się jeszcze bardziej wymagający niż obecnie, a swoje oczekiwania już teraz (będzie to z pewnością czynił w jeszcze większym stopniu w przyszłości) kieruje w stronę jakości energii.

● Wiedza odbiorcy o jakości energii nie jest duża. Często zaburzenia elektromagnetyczne są postrzegane jako mityczne przypadki rozumiane tylko przez niewielu specjalistów. Niestosownie, są to bowiem zjawiska zgodne z prawami fizyki, które mogą być w większości rozwiązywane dzięki podstawowej wiedzy inżynierskiej.

przeciętnego stanu wiedzy o naturze elektryczności, czystą abstrakcją. Energia elektryczna sama w sobie (wyrażona w kWh) jest dla jej nabywcy, szczególnie komunalnego, jedynie środkiem do realizacji celu i w swej fizycznej istocie nie reprezentuje dla niego żadnej wartości. Jest tą wartością natomiast dla pewnej kategorii odbiorców odpowiedni komfort i standard życia (oświetlenie, stopień schłodzenia lub nagrzania, wykonanie pracy itp.), a dla innych (odbiorców przemysłowych) jest podstawowym elementem realizacji produkcji. Jest oczywiste, że rynek energii elektrycznej zmienia dotychczasową relację między dostawcą a odbiorcą energii. Kreuje postawę dostawcy w znacznie większym stopniu zorientowaną na odbiorcę-klienta.

Dostawca energii elektrycznej w warunkach funkcjonującego rynku chce sprzedać jej możliwie jak najwięcej i nie chce mieć żadnych spraw spornych z odbiorcami, również tych, które mogą być spowodowane złą jakością oferowanego towaru – energii elektrycznej. Ze względów technicznych i ekonomicznych chce dostarczać tę energię w dziedzinie podstawowej harmonicznej, starając się często przejąć odpowiedzialność za jej złą jakość na odbiorców.



Inną postawę przyjmuje odbiorca przemysłowy, gdyż może on zawsze skorzystać z pomocy doradcy technicznego w zakresie np. wyboru środków zaradczych, uzgadniania wspólnych działań z energetyką, reprezentowania interesu przedsiębiorstwa. Ten mechanizm postępowania wykreował na rynku usług aktywność nowego, do niedawna praktycznie nieobecnego partnera-konsultanta.

● Odbiorca działa według pewnego schematu. Gdy występuje problem w funkcjonowaniu sprzętu lub instalacji, często trudny do wyjaśnienia, winą stara się obarczyć w pierwszej kolejności producenta lub dostawcę urządzenia, a dopiero w następnej – dostawcę energii elektrycznej. Przyjmuje wówczas postawę agresywną wobec obydwu partnerów, których postrzega jako dostawcę wadliwego produktu – urządzenia lub energii elektrycznej.

Z drugiej strony odbiorca chętnie widziałby w energetyce przyznanego doradcę i wykonawcę wielu usług z dziedziny jakości energii. Jeżeli energetyka zawodowa nie podejmie takich zadań, będzie tracić bardzo dla niej korzystny rynek na rzecz innych, nie zawsze kompetentnych konkurentów.

● Odbiorca podlega ograniczeniom dotyczącym dopuszczalnej emisji zaburzeń.

● Można przypuszczać, że w wielu przypadkach odbiorcy energii uzyskają na podstawie wprowadzonych przepisów i norm prawo do negocjowania jej ceny z tytułu niedotrzymania standardów jakościowych.

● Z pewnością będzie rosła liczba odbiorców wymagających wysokiej i bardzo wysokiej jakości zasilania, za którą to jakość będą skłonni lub zmuszeni dużo zapłacić. Dotyczy to szczególnie sektora bankowego, informatycznego, firm działających w obszarze *high-tech* (parki technologiczne, inteligentne budynki itp.), systemów zarządzania i bezpieczeństwa, telekomunikacji, wojska itp. Powstaje bardzo atrakcyjny (lecz jednocześnie bardzo wymagający) element rynku, w który warto inwestować.

Dostawca energii elektrycznej a jej jakość

Niecelowe, bo chyba mało skuteczne, jest promowanie energii elektrycznej jako towaru, gdyż dla jej odbiorców jest ona, wobec

Energetyka zawodowa sama doświadcza skutków złej jakości energii zarówno w zwiększonej awaryjności systemu zasilającego i własnych urządzeń, jak i w stratach finansowych z tytułu niedostarczonej energii. Coraz częściej napotyka odbiorców wymagających i czujących na zaburzenia, u których przez lata wytworzyło się przekonanie o ciągłości dostawy energii.

W działalności dostawcy energii należałoby wyróżnić trzy postawy:

- bierną, polegającą na opracowaniu strategii postępowania w odpowiedzi na zgłoszony przez odbiorcę problem;
- aktywną, ukierunkowaną na potrzeby odbiorcy, a realizowaną dzięki rozeznaniu jego dotychczasowych doświadczeń związanych z jakością energii, poznaniu jego technologii, potencjalnych zagrożeń, edukowaniu odbiorcy, konsultacji świadczonych na rzecz klientów, ścisłej współpracy z przemysłem itp. Są to działania przygotowujące klienta do kolejnego, trzeciego obszaru działalności dostawcy energii;
- produkcję urządzeń, montaż i serwis.

Nową sytuację dla dostawcy stworzy wzrost liczby lokalnych źródeł energii (elektrownie wiatrowe, biogeneracja, źródła fotowoltaiczne, produkcja w skojarzeniu itp.). W wielu krajach procentowy udział tych źródeł w całkowitej produkcji energii jest widoczny w ogólnym bilansie (np. w Danii ok. 7%) i wpływ ich pracy na lokalną jakość energii (głównie wartość napięcia) musi być brany pod uwagę.

Słuszną wydaje się koncepcja, zgodnie z którą dostawca energii elektrycznej powinien zdefiniować co najmniej dwa lub trzy poziomy jakości zasilania:

– **poziom pierwszy** – podstawowy standard jakości gwarantowany przez dostawcę energii wszystkim odbiorcom i w większości przypadków całkowicie ich satysfakcjonujący. Jego istnienie jest niezbędne dla producentów urządzeń, którzy muszą nadać swoim produktom odpowiedni poziom odporności. Jego brak utrudnia odbiorcy właściwy – z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia – dobór sprzętu dla danego środowiska elektromagnetycznego. Dostawcy energii uniemożliwia sprzedaż droższego, lecz o wyższej jakości produktu (energii elektrycznej). Podstawą do ustalenia tego standar-

du, oprócz istniejących międzynarodowych i europejskich norm, powinny być głównie pomiary przeprowadzone kompleksowo i w dłuższej skali czasu;

– **poziom drugi** – podwyższony głównie w zakresie pewności zasilania, osiągniętej tradycyjnymi środkami technicznymi (zmiana konfiguracji sieci, dodatkowe zasilanie itp.); oznacza podwyższone opłaty ponoszone przez odbiorcę;

– **poziom trzeci** – „superjakość” będąca przedmiotem indywidualnych negocjacji z odbiorcą. Nie wymaga on definiowania, parametry jakości zależą wyłącznie od indywidualnych oczekiwań odbiorcy. Jakość uzyskiwana jest w efekcie zastosowania specjalnych środków technicznych instalowanych zarówno po stronie dostawcy, jak i odbiorcy energii na warunkach określonych kontraktem.

Producent urządzeń a jakość energii

Wytwórca urządzeń może przyjąć jedną z dwóch krańcowych postaw:

– produkować sprzęt o wysokim stopniu odporności na zaburzenia i niskim poziomie emisyjności. Większość produkowanych urządzeń tego samego rodzaju cechuje podobny lub wręcz jednakowy poziom funkcjonalny. Aby spośród wielu takich samych produktów wybrać jeden, należy go czymś wyróżnić. Tą wyróżniającą cechą może być właśnie jego „przyjazność” dla środowiska elektromagnetycznego, a więc jego mniejsze szkodliwe oddziaływanie na to środowisko. Atut ten już obecnie funkcjonuje w walce konkurencyjnej producentów. Coraz częściej jakość energii staje się elementem marketingu, w którym producent widzi swą szansę na komercyjny sukces. Jest to bardzo nośny argument, stosunkowo łatwo oddziałujący na rozbudzone ekologicznie społeczeństwa – hasło „czystości” środowiska, w tym również środowiska elektromagnetycznego;

– redukować koszty produkcji urządzeń za cenę ich zmniejszonej odporności i zwiększonej generacji zaburzeń. Wielu producentów wymaga dla swego produktu warunków zasilania dobrej jakości, często nie informując o tym potencjalnych nabywców. Producenci ci, wobec silnej konkurencji, nie podnoszą cen swoich produktów kosztem rezygnacji z tych elementów konstrukcyjnych, które służą zwiększeniu odporności urządzenia na zaburzenia (np. filtry wejściowe) oraz zmniejszeniu ich emisyjności.

Rozwój problematyki jakości energii oznacza również rozwój techniki i produkcji na bardzo dużą skalę. Dotyczy to także, a może przede wszystkim, odbiorców komunalnych. Trzeba ich przekonać do zakupu np. nowego telewizora, nowego elektrotechnicznego sprzętu domowego, chociaż stary jeszcze dobrze funkcjonuje. To sprawia, że sami producenci są zainteresowani zwiększeniem znaczenia tej problematyki jako nakręcającej koniunkturę i stwarzającej szansę na wykreowanie nowych atrakcyjnych produktów stanowiących ofertę dla bardzo „głębokiego” rynku.

Konsultant a jakość energii elektrycznej

Nowa sytuacja niekiedy antagonistycznych relacji między dostawcą a odbiorcą energii oraz producentem sprzętu wykreowała nowego bardzo ważnego partnera-konsultanta. Pełni on często funkcję arbitra w nieuniknionych sporach między stronami, lecz przede wszystkim jest kompetentnym doradcą, specjalistą na etapie identyfikacji problemu, szukaniu jego rozwiązania, redagowaniu kontraktów itp. Jego rola wzrasta szczególnie w warunkach rynku energii elektrycznej. To duża szansa tej nowej formy usługi.

Zainteresowanie jakością energii

Istnieją racjonalne przyczyny uzasadniające występowanie właśnie obecnie tak ogromnego zainteresowania tą dziedziną. Należą do nich:

● **Rosnąca świadomość, że energia elektryczna jest towarem** i to, co nazywamy jakością energii jest w swej istocie określe-

niem cech oferowanego towaru, sprecyzowaniem jego wartości użytkowej. Jednoznaczne zdefiniowanie liczbowych wskaźników jakości energii jest szczególnie istotne w przypadku „łamania” monopolu dostawcy, a więc w okresie tworzenia rynku energii elektrycznej.

● **Wzrost liczby i mocy jednostkowej niespokojnych, nieliniowych, niekiedy również niesymetrycznych odbiorników.** Istnieje coraz większa liczba technologii będących potencjalnym źródłem zaburzeń elektromagnetycznych (napędy o regulowanej prędkości, kompensatory statyczne, systemy przesyłu energii prądem stałym – HVDC, piece łukowe prądu stałego i przemiennego itp.). Sieć 50 Hz jest w coraz większym stopniu traktowana jako źródło energii pierwotnej. Między nią a odbiorami finalnymi są instalowane układy przetwarzania tej energii w inne bardziej użyteczne formy. W następstwie rozwoju technologii elementów półprzewodnikowych dużej mocy oraz rewolucji mikroprocesorowej umożliwiającej realizację coraz bardziej wyrafinowanych algorytmów sterowania, wszechobecna staje się energoelektronika. Korzyści wynikające z jej rozwoju są jednak często okupione wzrostem zaburzeń wprowadzanych do sieci zasilającej. Jednocześnie energoelektronika, która była i jest nadal jednym z najbardziej dominujących źródeł zaburzeń, staje się obecnie coraz doskonalszym środkiem technicznym stosowanym do ich eliminacji.

● **Zmniejszenie odporności odbiorników na zaburzenia elektromagnetyczne.** Coraz większa liczba odbiorców energii skarży się na złą jej jakość utrudniającą lub często wręcz uniemożliwiającą pracę tych urządzeń. Jako szczególnie czuły należy wymienić sprzęt informatyczny. Jego rozwój i mniejsze wymiary zostały w dużym stopniu okupione obniżeniem odporności na zaburzenia. Jak łatwo obecnie zakłócić pracę urządzeń elektronicznych obrazuje wartość energii niezbędnej do trwałego uszkodzenia elementów układu. Przykładowo dla przełączników i lamp elektronowych było to 10^{-3} Ws, dla tranzystorów jest to rząd 10^{-6} Ws, a dla układów scalonych już 10^{-8} – 10^{-7} Ws [1].

● **Rosnący koszt awarii.** Dla wielu końcowych odbiorców energii jej jakość wiąże się nie tyle z jakością produkcji, ile przede wszystkim z wielkością produkcji w określonym czasie, a w konsekwencji – z ogromnymi stratami w przypadku przerwy w produkcji.

● **Wzrost efektywności przetwarzania energii.** Coraz popularniejsze stają się energooszczędne produkty oferowane w ramach programów DSM, np. energooszczędne w eksploatacji i materiałoozczędne na etapie produkcji silniki elektryczne, energooszczędne źródła światła. Mimo ich niewątpliwych zalet są one bardzo często źródłem zwiększonej emisji zaburzeń i produktami o obniżonym poziomie odporności, co można uznać za cenę poprawy efektywności przetwarzania energii.

● **Ekologia elektromagnetyczna.** Jakość energii to element większej całości – jakości życia. Obecnie promowane są wszelkie przedsięwzięcia służące zachowaniu „czystości” środowiska, także elektromagnetycznego. Jednocześnie wzrasta świadomość rangi technicznych i ekonomicznych problemów, które niesie ze sobą energia elektryczna złej jakości. Istnieje coraz powszechniejsze przekonanie, że tych zagadnień, a szerzej kompatybilności elektromagnetycznej nie można nie zauważać. Trzeba je analizować i rozwiązywać na każdym etapie działań technicznych.

● **Restrukturyzacja sektora energetycznego** wytwarza nowe rynkowe postawy u uczestników. Jakość zasilania staje się w coraz większym stopniu kategorią marketingową.

● **Rozwój metod i środków technicznych służących do pomiaru** różnych, niekiedy bardzo złożonych w swej definicji, wskaźników jakości energii. To, co jeszcze niedawno było niemierzalne, obecnie może podlegać rejestracji i być podstawą kontraktu. Sprzęt pomiarowy jest powszechnie dostępny, jego cena maleje, a to sprawia, że praktycznie wszyscy uczestnicy gry rynkowej mają możliwość kontrolowania warunków zasilania.

● **Jakość energii to również ogromne pieniądze.** Przykładowo w USA szacuje się, że ok. 45% całkowitych kosztów inwestycyjnych

dotyczących centralnych instalacji komputerowych jest związanych z jakością energii. Produkcja i serwis urządzeń służących poprawie jakości energii to tylko w USA rynek wielu miliardów dolarów [2].

Gdzie jesteśmy dziś?

Nie powstał dotychczas w Polsce dokument przedstawiający w sposób kompleksowy stan jakości energii elektrycznej w kraju, można więc zgodzić się z wyrażonym często poglądem [3], że obecnie nie jest wiadome, czy polska elektroenergetyka jest przygotowana do przyjęcia międzynarodowych przepisów w tej dziedzinie. W przypadku ich szybkiego wdrożenia odbiorca (szczególnie duży, przemysłowy) nie wyeliminuje szybko szkodliwej emisji swoich instalacji ani też od razu nie zainstaluje urządzeń do jej redukcji. Są co najmniej trzy przyczyny tego stanu: duże koszty, brak jednoznacznych uregulowań prawnych i brak wystarczającej liczby specjalistów w tej dziedzinie. Ze względu na kilkudziesięcioletnie zaniedbania inwestycyjne w Polsce oraz brak należytej reakcji na przyłączania do sieci odbiorców pogarszających jakość energii można przypuszczać, że występują obszary, w których jakość energii jest zła. Poprawa w takich przypadkach będzie następowała prawdopodobnie w wyniku wielokrotnych skarg i monitów, co może trwać nawet kilka lat.

Dokąd zmierzamy?

Natychmiastowa poprawa jakości energii i ciągłości jej dostawy nie jest możliwa – wymaga przedsięwzięć organizacyjnych i technicznych oraz znaczących nakładów finansowych. W najbliższym czasie należałoby:

- określić parametry jakości energii elektrycznej, które powinny być w pierwszej kolejności objęte standaryzacją (nie powinny one ograniczać się tylko do tych, które są podane w rozporządzeniu do Prawa energetycznego;
- określić dopuszczalne wartości odchyień tych parametrów, które można uznać za dopuszczalne (podstawa kontraktów);
- zdefiniować protokół pomiaru parametrów jakości energii;
- określić precyzyjnie odpowiedzialność dostawcy za niedotrzymanie ww. parametrów jakości energii elektrycznej, a odbiorcy – za wprowadzanie zaburzeń do sieci zasilającej;
- uzupełnić cennik opłat za energię elektryczną w zakresie upustów i dopłat związanych z wymaganiami jakościowymi energii elektrycznej;
- wyposażyć zakłady energetyczne i wyspecjalizowane firmy, a także placówki naukowo-badawcze w specjalistyczną aparaturę pomiarową;
- powołać instytucję upoważnioną do bieżącej kontroli poszczególnych parametrów, określić tryb odszkodowań oraz zasady rozstrzygnięcia sporów.

Ponadto warto uruchomić w Polsce wieloletni program oceny jakości energii wzorem nieomal wszystkich państw europejskich.

Za niewystarczające można uznać wykonane dotychczas pomiary realizowane bez całościowej koncepcji, za pomocą różnej aparatury pomiarowej, bardzo ograniczone w czasie i dotyczące niewielu punktów pomiarowych.

Program taki wprowadziłby także pewną unifikację w dziedzinie przyrządów pomiarowych służących ocenie jakości zasilania. Obecnie wiele zakładów energetycznych i przemysłowych dokonuje zakupu tego specjalistycznego i niekiedy bardzo drogiego sprzętu kierując się różnymi, nie zawsze technicznymi kryteriami. Skutkiem będzie znacząca liczba przyrządów o ograniczonym stopniu przydatności. Różnice w algorytmach pomiarowych, a ogólnie różnice cech metrologicznych tych przyrządów, powodują bowiem brak kompletności ich wskazań.

Ogromne, rosące zainteresowanie problematyką jakości energii nie jest polską specyfiką. Występuje w większości krajów. W niektórych z nich nastąpiło to znacznie wcześniej i tam wypracowano wiele wzorcowych rozwiązań, z których należy korzystać. W świecie istnieje duża liczba organizacji, instytucji, stowarzyszeń itp. zajmujących się tymi zagadnieniami. Może nastąpić czas, aby w Polsce połączyć rozproszone siły i środki oraz stworzyć podstawy organizacyjne krajowego forum jakości energii.

206



Dr hab. inż. Zbigniew Hanzelka

– profesor Akademii Górniczo-Hutniczej
Konsultant ds. technicznych firmy TWELVE

LITERATURA

1. MOROŃ W.. Kompatybilność elektromagnetyczna – geneza i ewolucja. JUEE 1996, 2, 2.
2. DOUGLAS J.: Power Quality solutions. IEEE Power Eng. Rev. 1994, 14, 3, 3–7.
3. LENIARSKI W., OBARA R., SZPRENGIEL Z.: Standaryzacja jakości energii elektrycznej. PTPiREE Poznań, 1997.