

JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

CZEŚĆ 1: WCZORAJ, DZIŚ, JUTRO

Zbigniew Hanzelka

Akademia Górniczo-Hutnicza, 30-019 Kraków, Al. Mickiewicza 30
tel.: (012) 633 28 78; fax: (012) 633 22 84, e-mail: hanzel@uci.agh.edu.pl
Konsultant techniczny Twelve Electric.

***Streszczenie:** Jakość zasilania energią elektryczną staje się jednym z najważniejszych problemów współczesnej elektrotechniki. Już obecnie, a z całą pewnością w nieodległej przyszłości 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. Cel ten zostanie osiągnięty, jeżeli przekazane treści staną się początkiem dyskusji, do udziału w której, na łamach czasopisma autor artykułu i Redakcja serdecznie zapraszają.*

1. KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA

Jednym z podstawowych pojęć związanych z użytkowaniem energii elektrycznej jest pojęcie kompatybilności elektromagnetycznej (*EMC – Electromagnetic Compatibility*). Powstało ono w latach 60. w USA jako rezultat badań nad wojskowymi zastosowaniami elektroniki. W swoich początkach kompatybilność była raczej sztuką inżynierską niż dziedziną nauki. Uległo to obecnie zasadniczej zmianie.

Pierwsze definicje kompatybilności dał Departament Obrony USA w 1967 r. Wprowadzono wówczas pojęcia kompatybilności w ogóle, kompatybilności konstrukcyjnej i operacyjnej [Moroń, 1996]. Nie znalazły one międzynarodowego uznania i w 1973 r. Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna IEC¹ przyjęła własną definicję, której ostateczny kształt nadano w 1976 r. Zgodnie z tą definicją²:

***Kompatybilność elektromagnetyczna (między urządzeniem i jego otoczeniem lub między urządzeniami)** to zdolność urządzenia do prawidłowego funkcjonowania w sposób zadowalający w danym środowisku elektromagnetycznym bez wprowadzania nadmiernych zaburzeń³ do tego środowiska (lub do innych urządzeń).*

Wzajemne oddziaływanie pomiędzy środowiskiem elektromagnetycznym a rozważanym odbiornikiem może mieć charakter przewodzony (związany z galwanicznym połączeniem) lub promieniowany (związany ze sprzężeniami: indukcyjnym, pojemnościowym lub elektromagnetycznym). Obecnie - inaczej niż było to w przeszłości – pojęcie kompatybilności obejmuje nie tylko problemy związane z przesyłem informacji. Wchodzą w jego zakres również zagadnienia wzajemnych oddziaływań między urządzeniami i systemami

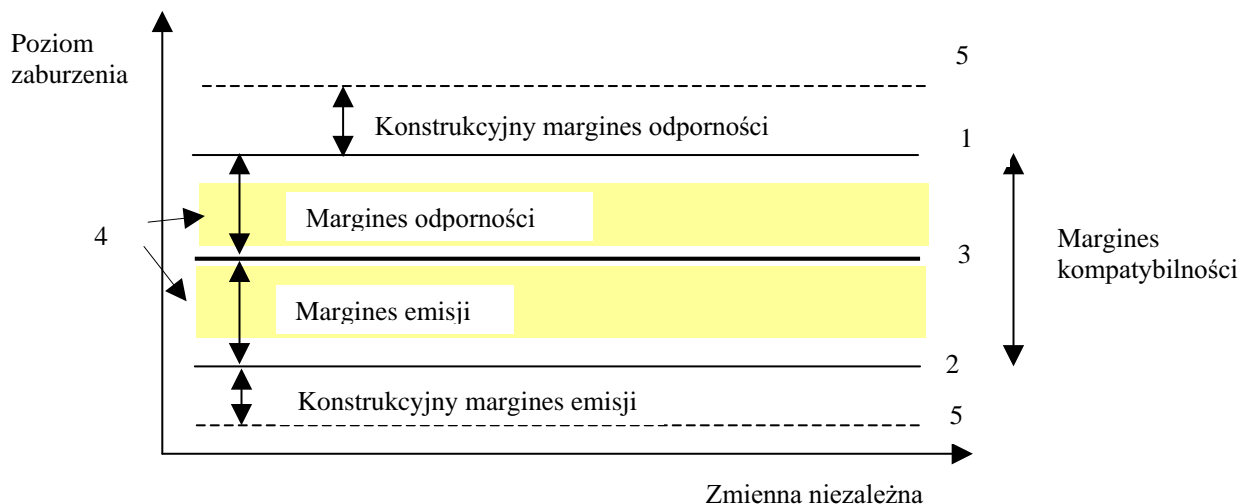
¹ *International Electrotechnical Commission.*

² Definicję tę znaleźć można także w normie IEC 61000-1-1: 1992 oraz PN-T-01030: 1996.

³ Zgodnie z PN-T-01030: 1996 termin „zaburzenie elektromagnetyczne” używany jest w znaczeniu przyczyny (zjawiska elektromagnetycznego), która może powodować „obniżenie jakości działania urządzenia lub systemu, albo niekorzystnie wpływać na materię żywą i nieżywą”. Natomiast terminem „zakłócenie elektromagnetyczne” norma określa skutek oddziaływania „zaburzenia”, czyli spowodowane przez nie „obniżenie jakości działania urządzenia lub systemu”.

wykorzystującymi zjawiska elektromagnetyczne do celów transmisji i przetwarzania energii, a także oddziaływania tych urządzeń i systemów na naturalne środowisko elektromagnetyczne i na biosferę, a więc wszelkie zjawiska jakiegokolwiek niezgodności elektromagnetycznej.

Wszystkie zagadnienia kompatybilnościowe, zgodnie z powyższą definicją, analizowane są w dwóch podstawowych aspektach. Są to: odporność⁴ systemu na zaburzenia elektromagnetyczne i emisja zaburzeń elektromagnetycznych. Wiążące się z tym poziomy⁵ emisyjności i odporności oraz przyjęte na wyrost poziomy konstrukcyjne umożliwiają wyznaczenie poziomu kompatybilności elektromagnetycznej systemu⁶ (rys.1).



Rys.1. Wzajemna relacja pomiędzy poszczególnymi poziomami zaburzeń: 1 - poziom odporności, 2 - poziom emisji, 3 - poziom kompatybilności, 4 – poziomy planowane, 5 – poziomy konstrukcyjne

Teraz, gdy elektronika jest obecna nieomal wszędzie, pojęcie kompatybilności jest też wszechogarniające. Stąd tak zdecydowana Dyrektywa Komisji Europejskiej dotycząca kompatybilności w krajach Unii (EMC Directive 89/336 EEC, ważna od 1 stycznia 1996 r.), która przestrzeganie jej czyni bezwzględnie obowiązującym. Warto przytoczyć dwa postanowienia dyrektywy:

- Stosowanie związanych z dyrektywą norm kompatybilnościowych jest obowiązkowe dla wszystkich państw/członków Unii oraz wszystkich nie należących do wspólnoty, którzy chcą wprowadzić swoje produkty na rynki Unii.
- Artykuł 10 mówi, że producent jest zobowiązany przeprowadzić badania sprawdzające zgodność jego wyrobu z normami (określającymi dopuszczalne poziomy emitowanych zaburzeń oraz poziomy odporności), podpisać deklarację zgodności (*Declaration of Conformity*) oraz oznaczyć swój wyrób europejskim znakiem zgodności (CE -

⁴ Odporność urządzenia na zaburzenia to zdolność pracującego urządzenia do zachowania swych właściwości poprawnego działania, przy oddziaływaniu określonych zaburzeń elektromagnetycznych lub umownego sygnału zaburzającego [PN-T-01030: 1996]. Należy pamiętać, że rezultat badań odporności sprzętu określany jest zawsze z pewnym prawdopodobieństwem, nie jest bowiem zasadne z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia zapewnienie w każdym przypadku odporności układu na zaburzenia, których wystąpienie jest mało prawdopodobne.

⁵ Poziom zaburzenia elektromagnetycznego – wartość wskaźnika opisującego rozważane zjawisko w sposób ilościowy, zmierzona w ściśle określony sposób [PN-T-01030: 1996].

⁶ Poziom kompatybilności elektromagnetycznej - przewidywany, maksymalny poziom zaburzenia elektromagnetycznego, które może oddziaływać na urządzenie lub system pracujący w zdefiniowanych warunkach, nie powodując utraty jego funkcji użytkowych. W praktyce przyjmuje się nie bezwzględną wartość maksymalną, lecz poziom, który może być przekroczony z małym prawdopodobieństwem (zwykle 5%) [PN-T-01030: 1996].

Communaute Europeenne – Wspólnota Europejska). Deklaracja zgodności może wynikać z teoretycznej analizy rozwiązania technicznego wyrobu lub z testów i pomiarów, przeprowadzonych przez akredytowane laboratoria zgodnie z określonymi procedurami. Znak CE stanowi zewnętrzny, widoczny symbol, informujący, że wyrób spełnia podstawowe wymagania określone we wszystkich przedmiotowych dyrektywach, również kompatybilnościowych. W przypadku, gdy producent ma swoją siedzibę poza terenem Unii, deklarację zgodności wystawia jego upoważniony pełnomocnik działający na terenie Unii.

Skutki tej dyrektywy mają z polskiej perspektywy pewien negatywny aspekt. Jej ostre wymagania powodują napływ na nasz rynek wielu zagranicznych produktów o wysokich poziomach emisji zaburzeń, nie dopuszczonych do sprzedaży na rynkach Unii. Pozytywnym skutkiem jest rozwój nowego sektora przemysłu i usług w dziedzinie testów i certyfikacji. Zjawisko to zaczyna występować również w Polsce, gdzie coraz częściej laboratoria certyfikacyjne stają się bardzo dobrymi inwestycjami.

Doświadczenia z trzech lat stosowania dyrektywy EMC wskazują na pilną potrzebę zmiany pewnych jej sformułowań w taki sposób, aby nadać im prostszą i bardziej jednoznaczną formę. Taki wniosek wysuneli eksperci działający na rzecz usprawnienia i koordynowania ustawodawstwa Unii w ramach zespołu SLIM (*Simpler Legislation for the Single Market*).

2. JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Jakość, zgodnie ze słownikiem języka polskiego PWN, oznacza zespół cech wyróżniających dany przedmiot, „stanowiących o tym, że jest on tym przedmiotem, a nie innym”⁷. Czy to określenie można zastosować do energii elektrycznej? Budzi to niekiedy wątpliwość, energia bowiem jako kategoria fizyczna jest bytem obiektywnie istniejącym, nie podlegającym wartościowaniu. Energia jest lub jej nie ma, ma dużą lub małą wartość itp. Jeżeli jednak energię elektryczną potraktujemy jako towar, a jest nim bez wątpienia, wówczas określenia dotyczące jej jakości nie budzą już zastrzeżeń. Trudno znaleźć polski dokument, który *explicite* określałby energię elektryczną nie jako powszechnie dostępne dobro publiczne, lecz jako towar lub jako produkt⁸. Energia elektryczna jest rezultatem procesu wytwórczego i jako produkt także winna podlegać ocenie i standaryzacji.

W odniesieniu do energii elektrycznej można sformułować kilka stwierdzeń determinujących sposób jej traktowania w zagadnieniach jakości. Energia elektryczna: (1) jest towarem, (2) który jest sprzedawany (3) klientowi spodziewającemu się, że otrzymuje dobry produkt (4) w formie odpowiadającej jego potrzebom a charakteryzowanej zbiorem wyróżnionych właściwości, (5) które, jeżeli są złej jakości, mogą zagrażać własności użytkownika, jego zdrowiu, a nawet życiu.

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

W literaturze technicznej często stosowany jest termin „jakość napięcia” (*voltage quality*, *qualite de la tension*) traktowany jako miara różnicy napięcia w stosunku do przebiegu

⁷ Według PN-ISO 8402/1996 *jakość* to ogół cech i właściwości wyrobu lub usług związanych z zaspokajaniem stwierdzonych i przewidywanych potrzeb.

⁸ Przykładowo, europejska dyrektywa 85/374/EEC, określająca regulacje prawne i administracyjne, zabezpieczające obywateli Unii Europejskiej przed wadliwymi produktami, w artykule 1 mówi o odpowiedzialności producenta za uszkodzenia spowodowane wadą produktu, natomiast w artykule 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).

idealnego. Ten ostatni jest przebiegiem sinusoidalnym o stałej częstotliwości i amplitudzie. Cechami jakości energii elektrycznej są wówczas wielkości odnoszące się do napięcia. Ograniczeniem tej definicji jest jej wyłącznie techniczny charakter oraz pominięcie w rozważaniach dotyczących jakości przebiegu czasowego prądu.

2.1 Historia

Jakość energii nie jest problemem nowym. Początki tej dziedziny sięgają pierwszych lat naszego wieku i jak zawsze, również wówczas, dotyczyły realnych warunków pracy sprzętu elektrycznego. Wraz z upływem czasu i zmieniającymi się parametrami energii elektrycznej, zmieniało się również rozumienie jej jakości. Początkowo dotyczyło ono obwodów napięć i prądów stałych. W 1918 roku rozgorzała w Atlancie (USA) jedna z pierwszych dyskusji dotyczących jakości. Jej przyczyną było zastąpienie stałego napięcia zasilającego systemem napięć i prądów przemiennych. Podstawowym argumentem zwolenników starego rozwiązania była niezawodność zasilania. Tak więc jakość energii elektrycznej była w tym czasie utożsamiana głównie, zgodnie z potrzebami czasu, z niezawodnością zasilania. Wraz z rozwojem technologii ukierunkowano zainteresowania na przebiegi czasowe napięcia. Wprowadzenie źródeł prądów i napięć przemiennych pozwoliło, wraz z upływem czasu, wykształcić zbiór cech jakości w jego obecnym kształcie.

W tym trwającym już kilkadziesiąt lat procesie intensywnego rozwoju tej dziedziny można wyróżnić trzy główne etapy, znaczone różnym stopniem zainteresowania zagadnieniem.

Etap I

Wiąże się z bardzo znaczącą postacią w historii elektrotechniki – Charlsem Proteusem Steinmetzem⁹. To on właśnie jest autorem tak oczywistego obecnie sposobu eliminacji prądów trzeciej harmonicznej (ogólnie harmonicznych o rzędach będących krotnością trzech) 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 ¹⁰.

Etap II

Zainteresowanie problematyką jakości energii zintensyfikowało się ponownie w latach 30. obecnego wieku. W tym okresie doświadczono negatywnych skutków wzajemnego sprzęgania się biegnących blisko siebie przewodów energetycznych (zasilających piece łukowe, prostowniki dużej mocy itp.) z przewodami telefonicznymi. Efektem był rozwój teorii wyższych harmonicznych (wh) oraz stosowanie na szeroką skalę pasywnych filtrów energetycznych LC . Wraz z rozwojem pierwszych prostowników rtęciowych, z możliwością zmiany chwili zapłonu, powstały koncepcje, początkowo głównie teoretyczne, a później weryfikowane w praktyce, zastosowania tych elementów w układach kompensacji mocy biernej (Babata, Robkins, IEEE Journal 1938). Ograniczenia techniczne prostowników rtęciowych nie pozwoliły jednakże wyjść poza etap prób laboratoryjnych, o małym znaczeniu praktycznym. Rozpoczęto również pierwsze eksperymenty z równoległą pracą prostowników w celu redukcji zawartości wh w prądzie zasilającym (przekształtniki wielopulsowe).

Pojawienie się wówczas możliwości rejestracji stanów przejściowych napięć sprawiło, że w zbiorze zjawisk związanych z jakością energii znalazły się załamania napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu.

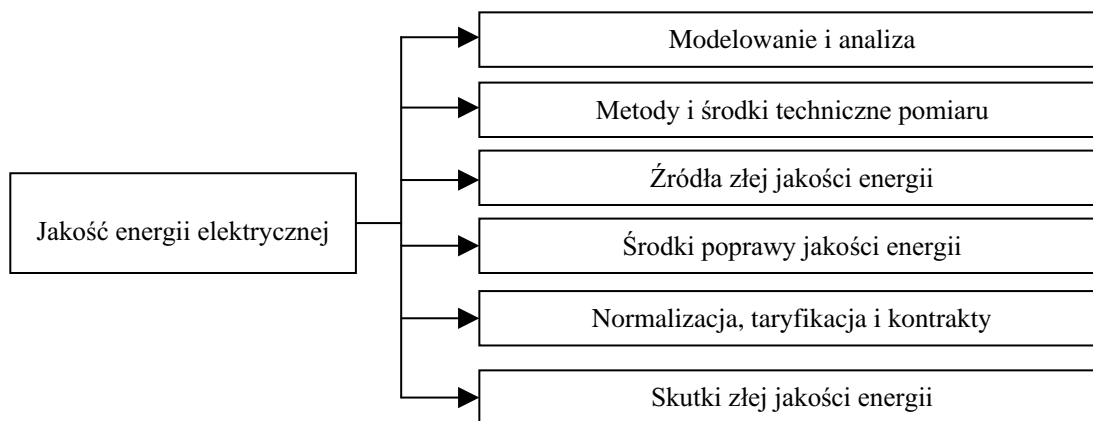
⁹ Ciekawostką jest, że urodził się we Wrocławiu.

¹⁰ Jest to podstawa działania współczesnych kompensatorów statycznych wyposażonych w możliwości symetryzacji, np. przeznaczonych do współpracy z piecami łukowymi.

Etap III

Zaczął się na początku lat 50. Wzrostowi zawartości wltowarzyszyły również 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. Towarzyszące temu powstawanie nowych, wyrafinowanych technik sterowania i teorii mocy w obwodach elektrycznych sprawiło, że obserwujemy obecnie chyba najbardziej intensywny w historii tej dziedziny okres jej rozwoju. Jakość energii elektrycznej stała się nową gałęzią nauki i techniki o interdyscyplinarnym charakterze (rys. 2).



Rys. 2. Dziedziny szczegółowe zawarte w ogólnej kategorii: jakość energii elektrycznej

Pojawia się także coraz więcej nowych przyrządów do pomiaru parametrów jakości energii, co wymusza techniczna i ekonomiczna potrzeba oraz postęp w dziedzinie teorii i techniki przetwarzania sygnałów.

W latach 60. podstawowe pytanie z dziedziny jakości energii brzmiało: Ile wystąpiło zaburzeń? W latach 70. nastąpiła jego modyfikacja: Czy przyczyną uszkodzenia sprzętu użytkownika były złe warunki zasilania gwarantowane przez dostawcę? W latach 80. pojawiły się pytania: Czy wystąpiło zaburzenie w zasilaniu? Jeżeli tak, to jaka była jego przyczyna? To stało się początkiem nowoczesnego podejścia do problemu polegającego na szukaniu odpowiedzi na pytania: Czy jakość energii spełnia założone wartości kryterialne? Co należy czynić, aby ją poprawić w przypadku, gdy jest to niezbędne? Te dwa ostatnie pytania to rezultat ogromnego postępu, jaki nastąpił w stosunkowo krótkim czasie powodując zmianę wagi problematyki dominujących w przeszłości aspektów czysto technicznych na celowe działania praktyczne podejmowane obecnie jedynie w przypadku ich ekonomicznej zasadności.

Problematyka jakości występuje na każdym etapie przepływu strugi energii elektrycznej: od wytwarzania, poprzez transmisję, rozdział i wykorzystanie u użytkownika końcowego, przy czym w tym ostatnim przypadku możemy mówić o odporności na zaburzenia zewnętrzne i emisji do otoczenia. W tej szeregowej strukturze ujawniają się zarówno pewne różnicowania w rozumieniu najbardziej istotnych cech jakości energii, w rozumieniu samego pojęcia „jakość energii” (jakość energii na poziomie transmisji to nie zawsze to samo, co na poziomie dystrybucji), jak i konfliktowe interesy uczestniczących w tym procesie podmiotów: dostawcy energii, użytkownika, producenta sprzętu itp.

Również dopuszczalne poziomy zaburzeń są różne dla różnych klas zasilania. Stąd pojęcie jakości zmienia się w sensie dopuszczalnych poziomów (ilościowej oceny), w zależności od rozważanego środowiska elektromagnetycznego (przemysłowe, komunalne, drobny przemysł i usługi itd.), poziomu napięcia itp. Inne są również metody i techniczne sposoby poprawy jakości energii.

Dystrybutorzy sprzedają energię wyrażoną w kWh, charakteryzując jej jakość wybranymi wskaźnikami liczbowymi. Niestety, nie może ona być w pełni kontrolowana przez wytwórcę oraz dostawcę i jest to jedna z zasadniczych różnic w relacji do innych produktów oferowanych na rynku, wskaźniki liczbowe jakości energii ulegają bowiem degradacji głównie pod wpływem odbiorców na drodze jej transmisji i dystrybucji.

2.2. Definicje jakości energii elektrycznej

Problematyką jakości energii elektrycznej zajmuje się obecnie wiele różnych podmiotów. Zaskakujące jest, iż mimo że ich działania dotyczą w zasadzie tych samych zjawisk, stosowane są niekiedy zupełnie inne definicje jakości energii (jeżeli w ogóle definicje takie istnieją). Wynika to między innymi z faktu, że jakość energii to pojęcie interdyscyplinarne i przez to trudne do ścisłego i jednoznacznego zdefiniowania. Powinno być rozważane w kategoriach technicznych (kryteria fizykotechniczne) i ekonomicznych (kryteria ekonomiczno-marketingowe).

Jakość energii elektrycznej ma wiele różnych znaczeń, zależnych między innymi od tego, kto podejmuje próbę jej zdefiniowania: dostawca energii, jej odbiorca czy też producent sprzętu. Uwzględniając, że to klient (odbiorca finalny) odczuwa głównie skutki złej jakości energii, jego rozumienie tego pojęcia ma pierwszorzędne znaczenie. W tym środowisku często funkcjonuje następująca definicja:

*Jakość energii wyraża się w napięciu i/lub w prądzie lub odchyleniu częstotliwości od jej wartości znamionowej, które powoduje w rezultacie uszkodzenie lub niewłaściwą pracę sprzętu odbiorcy energii.*¹¹

Producent sprzętu często definiuje jakość energii na podstawie charakterystyk (parametrów znamionowych) systemu zasilającego, które zmieniają się w zależności od dostawcy energii. Dla energetyki zawodowej problem sprowadza się obecnie głównie do niezawodności zasilania, dostawca energii będzie więc wyrażał jej jakość poprzez podanie statystycznego współczynnika będącego miarą przerw w zasilaniu¹². Ostateczna definicja winna obejmować całą różnorodność punktów widzenia.

¹¹ W IEEE Std. 1100-1992, jakość energii definiowana jest jako sposób zasilania i uziemienia czułego sprzętu, gwarantujący poprawność jego pracy.

¹² Prawdą jest, że jeszcze obecnie jakość zasilania sprowadza się w polskich warunkach do ciągłości zasilania i ewentualnie odkształcenia napięcia. Nie ma zrozumienia dla innych wskaźników, czego dowodem jest istniejące prawo energetyczne i projekty związanych z nim rozporządzeń wykonawczych.

W ankiecie przeprowadzonej przez Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej (PTPiREE) wszystkie ankietowane spółki określiły znaczenie jakości energii elektrycznej dla swoich klientów jako podstawowe lub istotne. Za najważniejsze parametry jakości energii elektrycznej większość ankietowanych uznała: zmiany częstotliwości, awaryjne przerwy w zasilaniu, odchylenia napięcia. W dalszej kolejności wymieniono migotanie światła i odkształcenie napięcia. Jak można wnioskować z liczby odpowiedzi, przerwy planowane nie są postrzegane przez większość jako parametry jakościowe [Leniarski 1997]. Podobne wyniki badań uzyskano w Holandii, gdzie dla 80% małych przedsiębiorstw (do 80A) najbardziej istotna jest ciągłość zasilania.

Wg prognoz stworzonych w ramach programu ESKOM (Południowa Afryka) podstawowymi zaburzeniami w najbliższej przyszłości będą w kolejności ich znaczenia:

- dla odbiorców przemysłowych - załamania napięcia, przerwy w zasilaniu, wartość napięcia, przepięcia, niesymetria, harmoniczne, wahania napięcia, częstotliwość

Od kilku lat w Polsce, podobnie jak w wielu innych krajach, toczy się dyskusja nad definicją tego pojęcia, jednakże nie opracowano jeszcze ostatecznego sformułowania. Za jedną z bardziej trafnych, spośród dużej liczby różnych definicji, można uznać następującą¹³:

Jakość energii elektrycznej to zbiór parametrów opisujących właściwości procesu dostarczania energii do użytkownika w normalnych warunkach pracy¹⁴, określających ciągłość zasilania (długie i krótkie przerwy w zasilaniu) oraz charakteryzujących napięcie zasilające (wartość, niesymetrię, częstotliwość, kształt przebiegu czasowego).

UWAGA 1: *Jakość energii wyraża się stopniem zadowolenia użytkownika z warunków zasilania.*¹⁵

UWAGA 2: *Jakość energii zależna jest nie tylko od warunków zasilania, lecz także od rodzaju stosowanego sprzętu (jego odporności na zaburzenia i jego emisyjności) oraz 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 różnego rodzaju zaburzeń nie oznacza, że istnieją problemy z jakością energii. One pojawią się tylko wówczas, jeżeli wystąpią niekorzystne, z użytkowego punktu widzenia, zjawiska lub, jeżeli wystąpi wadliwa praca sprzętu lub instalacji.

Uwaga 2 podkreśla fakt, że odpowiedzialność za jakość energii spoczywa nie tylko po stronie 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).

W tym miejscu należy podkreślić, że kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) oraz jakość energii elektrycznej są dwoma różnymi koncepcjami (wg IEC), zgodnie z którymi EMC dotyczy wyłącznie odporności i emisyjności urządzeń/sprzętu i systemów oraz zaburzeń [Goldberg 1998]. Kompatybilność elektromagnetyczna może być rozważana jako część składowa znacznie większej problematyki, jaką jest jakość energii, która prócz sprzętu i zaburzeń dotyczy również stanu systemu elektroenergetycznego. Oczywiście pomiędzy nimi istnieją ścisłe związki, jako że, przykładowo, parametry napięcia zależą od emisji przewodzonych zaburzeń i ich ograniczeń. Jest to źródłem częstego traktowania tych pojęć wymiennie. W tym kontekście wartości dopuszczalne określone w dziedzinie jakości energii elektrycznej nie powinny być mylone z poziomami kompatybilności. Te ostatnie dotyczą szczególnych zaburzeń występujących w określonym środowisku elektromagnetycznym i pełnią rolę wartości referencyjnych dla koordynacji poziomów emisji i wymagań odpornościowych w celu uzyskania kompatybilności EMC. Poziomy kompatybilności dotyczą głównie projektowania sprzętu lub systemu, poziomy jakości energii - opisu rzeczywistego stanu sieci zasilającej. Występujące często nieporozumienia w rozumieniu tych

-
- dla małych przedsiębiorstw i usług - przerwy w zasilaniu, wartość napięcia, załamania napięcia, przepięcia, niesymetria, harmoniczne, wahania napięcia, częstotliwość
 - dla odbiorców komunalnych – wartość napięcia, wahania napięcia, przerwy w zasilaniu, załamania napięcia, przepięcia, harmoniczne, niesymetria, częstotliwość

¹³ Definicja ta została zaproponowana przez *Advisory Committee on Electromagnetic Compatibility* (ACEC) IEC. Wiele narodowych komitetów normalizacyjnych wyraziło dezaprobatę wobec tego sformułowania.

¹⁴ Normalne warunki wykluczają sytuacje spowodowane siłami natury, ingerencją osób trzecich, działaniem władz administracyjnych itp.

¹⁵ Ten punkt widzenia jest preferowany głównie przez energetykę francuską.

dwóch pojęć, tj. EMC i jakości energii, wynikają z faktu, że pojęcie kompatybilności elektromagnetycznej jest stosowane w dwóch różnych znaczeniach:

- w obszarze normalizacji EMC jest stosowane w szerszym sensie – tu celem jest zapewnienie kompatybilności poprzez właściwą koordynację poziomów odporności i poziomów emisyjności odbiorników, zakresem objęte są wszystkie elektromagnetyczne zjawiska zaburzające;
- w języku potocznym EMC i jakość energii są niekiedy traktowane jako dwa różne obszary znaczeniowe wymagające różnych metod analizy, różnych technik redukcji zaburzeń itp., z pewnym tylko niewielkim obszarem wspólnym; w tym rozumieniu EMC dotyczy zaburzeń wielkiej częstotliwości o charakterze promieniowanym i przewodzonych przez ziemię, podczas gdy jakość energii dotyczy zjawisk małej częstotliwości rozchodzących się przez system zasilający.

W latach 1996-97 w ramach IEC podjęto dyskusję dotyczącą celowości prowadzenia odrębnych działań normalizacyjnych w dziedzinie jakości energii elektrycznej. Ostatecznie zdecydowano, że dokumenty takie będą wydawane w serii „kompatybilnościowej” 61000. W ramach komitetu IEC 77A, grupa robocza WG 09¹⁶ kontynuuje prace zmierzające do opracowania pierwszej normy dotyczącej tej problematyki dla sieci nn i ŚN: *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 4: Metody testowania i pomiarów - Arkusz 30: Pomiary parametrów jakości energii elektrycznej*¹⁷.

W niektórych pracach jakość energii elektrycznej utożsamia się z jakością zasilania odbiorców¹⁸, 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.

Z przedstawionych powyżej informacji można wyciągnąć ogólny wniosek, że dotychczas nie została w zadowalający i jednoznaczny sposób określona definicja jakości energii elektrycznej. Szeroki zasięg działań związanych z jej wytwarzaniem, przesyłem i użytkowaniem oraz towarzyszące temu problemy techniczne i ekonomiczne wymagają pilnego – w międzynarodowej skali – opracowania pełnej i jednoznacznej definicji.

3. ŹRÓDŁA ZŁEJ JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Mogą być nimi zarówno odbiorniki energii elektrycznej (przekształtniki statyczne, regulowane napędy elektryczne, UPS, zasilacze impulsowe, piece indukcyjne i łukowe,

¹⁶ Working Group 09 - Power Quality Measurements.

¹⁷ Odpowiednikiem tego dokumentu w USA jest IEEE Std. 1159-1995: *IEEE recommended practice for monitoring electrical power quality*. Wprowadzenie tej normy, nad którą trwają bardzo intensywne prace, spowoduje duże zmiany w metodach pomiaru. Dokument ten będzie określał wymagania w odniesieniu do trzech rodzajów przyrządów (dla dwóch klas dokładności): (a) przyrządów do rozliczeń kontraktowych; (b) przyrządów do obróbki statystycznej wyników pomiarów; (c) przyrządów do identyfikacji przyczyn zaburzeń w systemie elektroenergetycznym. Projekt normy obejmuje dwanaście zjawisk, które zdaniem jego twórców składają się na współczesne rozumienie jakości energii elektrycznej.

¹⁸ Według [*Glossary of terms ...*] problemem związanym z jakością energii jest każda zmiana w warunkach dostawy energii elektrycznej dająca w rezultacie nieprawidłowe działanie lub uszkodzenie sprzętu, tj. załamanie napięcia, wzrost napięcia, stany przejściowe w napięciu lub jego odkształcenie. Pierwsza część definicji pozornie utożsamia jakość energii z jakością zasilania, druga część natomiast wydaje się ograniczać jakość energii do jakości napięcia. Wielu specjalistów podziela ten pogląd.

W dokumentach UNPEDE występuje również pojęcie jakości obsługi, na którą składa się: (a) dostępność zasilania (mierzona czasem i liczbą wyłączeń w ciągu roku, a więc jakość technicznej usługi świadczonej przez energetykę zawodową); (b) jakość napięcia (wskaźniki techniczne); (c) aspekty wzajemnej relacji pomiędzy podmiotami rynkowego obrotu energią, w tym również jakość obsługi finalnego odbiorcy energii.

klimatyzacja, fluorescencyjne i gazowo-wyładowcze oświetlenie, nasycone obwody magnetyczne itp.), jak i sam system elektroenergetyczny.

Jedną z najistotniejszych przyczyn złej jakości energii w grupie odbiorników są urządzenia energoelektroniczne, ze względu na nieliniową charakterystykę prądowo-napięciową elementów półprzewodnikowych oraz coraz większą powszechność ich stosowania. Układy energoelektroniczne są stosowane na każdym poziomie napięcia, od np. małych zasilaczy komputerowych do odbiorników bardzo dużej mocy tj. układy napędowe maszyn wyciągowych itp. Występują w każdym środowisku elektromagnetycznym: komunalnym, usługowo-handlowym, przemysłowym¹⁹ itp.

Bardzo znaczącą rolę w zagadnieniach jakości energii odgrywa także praktyka uziemienia²⁰. Niewłaściwie wykonany uziom może być przyczyną ogromnej liczby problemów związanych z jakością zasilania. Stany przejściowe inicjowane w systemie, przenikają, praktycznie nie tłumione, poprzez układ uziemiający i docierają np. do czułego sprzętu elektronicznego stając się przyczynami realnych zagrożeń.

4. RODZAJE ZABURZEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH ZWIĄZANYCH Z JAKOŚCIĄ ENERGII

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

Ze względu na skutek występowania można je podzielić na:

- zaburzenia wywołujące skutki natychmiastowe związane wyłącznie z faktem wystąpienia zjawiska, a nie z czasem jego trwania, np. błędne działanie układów zabezpieczeń, urządzeń sterujących i regulacyjnych, telekomunikacyjnych itp.,
- zaburzenia wywołujące skutki długotrwałe, związane z wartością zaburzenia i czasem jego trwania, np. przyspieszenie procesu starzenia się izolacji maszyn elektrycznych i kabli, dodatkowe straty mocy w torach prądowych, przeciążenie elementów sieci elektroenergetycznej itp.

Jakość energii charakteryzowana jest zbiorem liczbowych wartości – parametrami 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 1min), wartość częstotliwości wraz z przedziałem tolerancji, wolne zmiany częstotliwości;
- *parametry dotyczące zaburzonych warunków pracy systemu zasilającego* – przepięcia, szybkie zmiany napięcia, wahania napięcia, migotanie światła, niesymetria napięcia;
- *parametry dotyczące zaburzeń w przebiegu czasowym napięcia zasilającego* – harmoniczne, interharmoniczne, sygnały do transmisji informacji nałożone na napięcie zasilające, załamania komutacyjne, przejściowe przepięcia, zapady napięcia, krótkotrwałe wzrosty napięcia, krótkie przerwy w zasilaniu.

¹⁹ Korzystną cechą środowiska przemysłowego jest występująca z reguły koncentracja źródeł zaburzeń, co zasadniczo ułatwia stosowanie środków poprawy jakości zasilania.

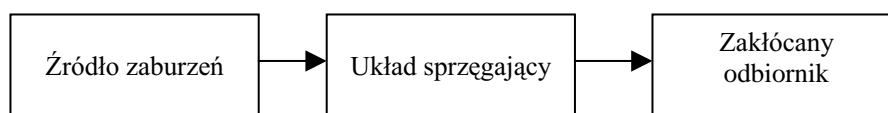
²⁰ Wg Domijana badania przeprowadzone w USA w przedsiębiorstwach energetycznych wykazały, że ponad 80% problemów związanych z jakością energii było spowodowanych niewłaściwym uziemieniem.

Powszechną zasadą przyjętą przez producentów jest określanie w danych technicznych urządzeń/instalacji przedziału dopuszczalnych zmian wartości skutecznej napięcia²¹ wyrażonych w procentach znamionowego²² lub deklarowanego²³ napięcia.

W zakresie małych częstotliwości zaburzenia w sieciach nn pojawiają się i rozprzestrzeniają przede wszystkim na skutek bezpośredniego przewodzenia, a także, w mniejszym stopniu, w wyniku sprzężeń konduktancyjnych, pojemnościowych oraz indukowania w przewodach. Natomiast w zakresie wyższych częstotliwości główną drogą rozprzestrzeniania się zaburzeń jest ich promieniowanie.

5. OGÓLNE ZASADY ROZWIĄZYWANIA PROBLEMÓW JAKOŚCI ENERGII

W środowisku elektromagnetycznym, w którym pracuje urządzenie/instalacja/sprzęt można wyróżnić trzy podstawowe elementy składowe istotne z punktu widzenia jakości energii (kompatybilności elektromagnetycznej) – źródło zaburzenia, układ sprzęgający, zakłócany odbiornik (rysunek 3).



Rys. 3. Model środowiska elektromagnetycznego

Chcąc zredukować skutki złej jakości energii należy stosować trzy drogi postępowania (najlepiej jednocześnie):

- **ograniczenie emisji źródła zaburzeń** (wymuszane normami produktów lub zasadami wydawania warunków technicznych przyłączenia odbiorców, a uzyskiwane poprzez stosowanie np. 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. poprzez przyłączenie odbiornika emitującego zaburzenia do punktów systemu o dużych mocach zwarcia, zasilenie odbiornika zaburzającego lub czułego 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 powstających w nim zaburzeń, oraz zwiększają jego odporność; np. poprzez większy udział linii kablowych w relacji do

²¹ Zmiana napięcia (wg IEC) – wzrost lub obniżenie napięcia zwykle spowodowane zmianą całkowitego obciążenia systemu lub jego części. Zmiany mogą być proste (jeden stopień zmiany) lub złożone (np. napięcie maleje w dwu lub więcej stopniach). Mogą dotyczyć jednej lub większej liczby faz. Stosowane jest również pojęcie szybkiej zmiany napięcia. Jest to pojedyncza zmiana wartości skutecznej napięcia następująca w krótkim czasie, pomiędzy dwoma kolejnymi poziomami przyjmowanymi przez skończony lecz nieokreślony czas. W amerykańskim dokumencie IEEE 1159 wyróżniono krótkie (*voltage variation, short duration*) i długie (*voltage variation, long duration*) zmiany wartości skutecznej napięcia.

²² Napięcie znamionowe jest napięciem, dla którego system jest zaprojektowany lub poprzez które system jest identyfikowany. Zwykle jest ono równe deklarowanemu napięciu.

²³ Napięcie deklarowane to zwykle napięcie znamionowe systemu. Jeżeli w efekcie porozumienia pomiędzy dostawcą i odbiorcą energii napięcie różni się od znamionowego, wówczas jest ono deklarowanym napięciem zasilania. Innym stosowanym pojęciem jest tzw. napięcie referencyjne. Jest ono najczęściej deklarowanym napięciem w systemach WN i ŚN i znamionowym napięciem w systemie nn.

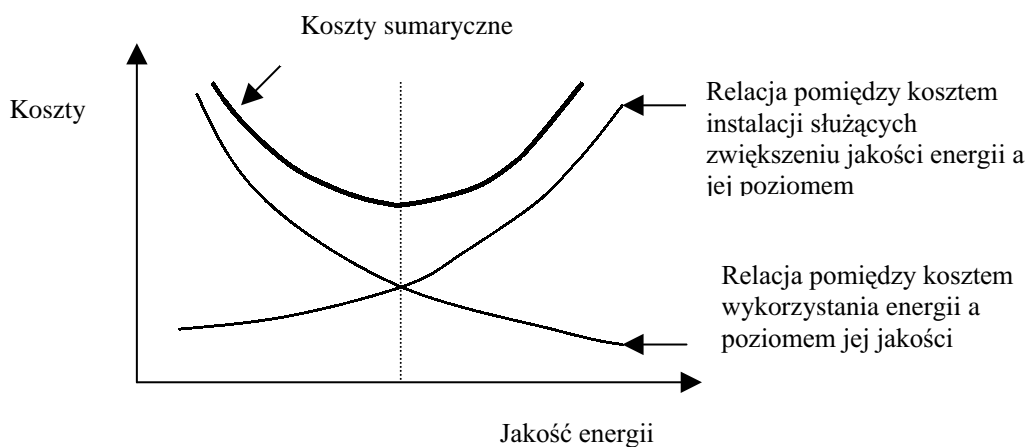
napowietrznych, odpowiednią praktykę eliminacji zwarć, stosowanie właściwych systemów ochrony przepięciowej itp.;

- **zwiększenie odporności odbiorników** na zaburzenia, poprzez np. stosowanie odpowiednich współczynników bezpieczeństwa przy wymiarowaniu urządzeń, stosowanie filtrów wejściowych, odpowiednią konstrukcję urządzeń, ekranowanie, stosowanie układów bezprzerwowego zasilania i stabilizatorów napięcia, właściwy dobór urządzeń do danych warunków zasilania, właściwą technikę uziemień itp.

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

Końcowym efektem realizacji powyższej procedury postępowania jest lista możliwych rozwiązań oraz wycena kosztów ich realizacji. Jeżeli propozycja obejmuje stosowanie równocześnie kilku sposobów, zarówno w sieci publicznej, jak i wewnątrzzakładowej oraz w samym sprzęcie, to rozwiązanie powinno być przedyskutowane z dystrybutorem energii, producentem sprzętu oraz finalnym odbiorcą. 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 energii²⁴. Zawsze w takim przypadku powstaje jednakże pytanie: kto te koszty powinien ponosić? W zasadzie są cztery możliwości stanowiące podstawę współczesnych rozwiązań stosowanych w wielu krajach – koszty ponosi: (1) odbiorca (jeżeli stosuje urządzenia czułe na zaburzenia lub emitujące zaburzenia, (2) energetyka zawodowa, (3) energetyka i odbiorca w ustalonych proporcjach, (4) państwo z budżetu jakoś energii jest bowiem także problemem socjalnym.

Jeżeli mówimy o skutkach, nie sposób nie podkreślić, że są instytucje, 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, militarne, jednostki użyteczności publicznej, tj. elektrownie, gazownie, przedsiębiorstwa wodociągowe i kanalizacyjne, układy sterowania lotnisk, instytucji finansowych, banków, giełdy itp.



Rys. 4. Jakościowe relacje pomiędzy kosztem energii elektrycznej a jej jakością

²⁴ Wg [Wagner 1992] przykładowy koszt jednej minuty niepożądanego przerwy w pracy w głównym centrum danych może kosztować do 10 000 \$US. Utrata kontroli nad układem sterowania na dużym lotnisku to około 15 000 \$US/min. Krótka przerwa to nie tylko zanik napięcia. To także najczęściej wielokrotnie dłuższy czas potrzebny na ponowne uruchomienie instalacji. Problemem jest nie tylko zapewnienie ciągłości zasilania urządzeń informatycznych. Szacowanie kosztów złej jakości energii jest mało precyzyjne. W maju 1992 roku „Wall Street Journal” oszacował je na 12 bilionów \$US rocznie (wg artykułu wstępnego na konferencję jakości energii w Atlancie USA w 1992 roku). Kwota ta budzi wątpliwości co do metody leżącej u podstaw tego szacunku. Bez odpowiedzi pozostaje szereg zasadniczych dla sprawy pytań.

Sieć zasilająca „czysta”, bez zaburzeń, jest oczywistą utopią z ekonomicznego oraz technicznego punktu widzenia. Istotne jest jednakże wyznaczenie granic kompatybilności, które zagwarantują wystarczający poziom zadowolenia klienta/odbiorcy energii. Tu leży kompromis pomiędzy jakością energii gwarantowaną przez dostawcę i sprzętem odbiorcy.

Inwestowanie w rozwój systemu energetycznego powoduje wzrost jakości zasilania. Poprawa jakości nie jest jednakże proporcjonalna do wartości inwestycji, koszty wzrastają szybciej niż poziom jakości zasilania jak na charakterystyce przedstawionej na rysunku 4. Efektem musi być wzrost ceny energii. W rzeczywistości będzie to rodzina charakterystyk dotycząca różnych rodzajów sieci, różnych poziomów napięć i wreszcie różnych zaburzeń, lecz o podobnym przebiegu w sensie jakościowym.

Im wyższa jest jakość energii, w tym większym stopniu maleją koszty eksploatacji systemu zasilającego oraz koszty stosowania energii elektrycznej (mniejsza liczba awarii, wzrost sprzedanej energii, redukcja kosztów u odbiorcy, związanych z zaburzeniami elektromagnetycznymi itp.). Przykładową relację pomiędzy całkowitymi kosztami stosowania energii elektrycznej a jej jakością przedstawiono na rysunku 4. W rzeczywistości jest to rodzina charakterystyk dla różnych wielkości przyjętych jako parametr (np. rodzaj zaburzenia, rodzaj odbiorcy itp.). Koszt sumaryczny ma pewne minimum odpowiadające optymalnej (nie maksymalnej) – z punktu widzenia minimalizacji kosztów - jakości energii.

6. 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. Nie jest to łatwe. Reguły tej gry ustalają 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.

6.1. Odbiorca energii elektrycznej a jej jakość

1. Szczególną cechą energii elektrycznej jest fakt, że jej jakość uzależniona jest w ogromnym stopniu od odbiorcy finalnego. Badania wykazują, że ponad 80% wszystkich przyczyn złej jakości energii ma swoje źródło u odbiorcy. Stąd wzajemna relacja pomiędzy dostawcą i odbiorcą jest podstawowym czynnikiem determinującym jakość energii.
2. 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. Nie jest uzasadniona budowa sieci zasilającej gwarantującej najwyższe parametry zasilania, nie każdy odbiornik wymaga bowiem energii elektrycznej o najwyższej jakości. W niektórych przypadkach korzystniejsze jest zwiększenie

odporności sprzętu na zaburzenia, ponieważ takie działanie ma charakter selektywny, a dzięki temu jest ekonomicznie zasadne.

3. Odbiorca domaga się, aby instalacja/sprzęt przez niego zakupione działały prawidłowo i aby środowisko elektromagnetyczne nie wpływało na nie destrukcyjnie. Oczekuje, że korzystną cechą 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.

Coraz częściej przy instalowaniu nowych urządzeń odbiorca będzie zmuszony porównać ich odporność na krytyczny rodzaj zaburzenia z jakością zasilania w punkcie planowanego przyłączenia. Informacje o czułości sprzętu może i powinien uzyskać od producenta (nie zawsze jest to łatwe). Informacje o jakości zasilania powinien uzyskać od dostawcy energii.

4. Nowym elementem w obecnej sytuacji jest fakt, że konsumentami energii elektrycznej o wysokich wymaganiach jakościowych są w coraz większym stopniu odbiorcy małej mocy, występujący jednakże w dużej liczbie²⁵.
5. W coraz większym stopniu odbiorca finalny ma poczucie własnej siły. Jest przekonany, że może żądać, ponosi bowiem koszty w postaci opłat. Badania wykazują, że wymagania klienta, również w relacji do jakości zasilania, rosną wraz ze wzrostem wartości kupowanej energii. Są dwie tego przyczyny: (1) duży odbiorca to z reguły znaczące ekonomicznie konsekwencje wystąpienia zaburzeń oraz (2) większa opłata za energię to większe poczucie „nadmiernej ceny przy niewspółmiernej jakości zakupionego towaru” (Knijp J. 1997).

Parametry dostarczanej energii podlegają w coraz większym stopniu standaryzacji, stając się formalną podstawą żądań i kontraktów na dostawę energii zawieranych pomiędzy 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, a będzie to z pewnością czynił w jeszcze większym stopniu w przyszłości, wiąże z jakością energii.

Duży odbiorca uzyska prawo wyboru dostawcy energii kierując się przy podejmowaniu tej decyzji głównie ceną i jakością obsługi klienta. Stan ten wymaga bardzo precyzyjnego zdefiniowania standardu jakości energii elektrycznej, będzie on bowiem podstawą zawieranych kontraktów pomiędzy stronami.

6. Wiedza odbiorcy w zakresie jakości energii nie jest duża. Przez wielu zaburzenia elektromagnetyczne są postrzegane jako mityczne przypadki rozumiane tylko przez niewielu specjalistów. Niesłusznie, są to bowiem zjawiska zgodne z prawami fizyki, które mogą być w większości rozwiązywane na podstawie podstawowej wiedzy inżynierskiej.

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

7. Odbiorca działa według pewnego schematu. Gdy występuje problem w funkcjonowaniu sprzętu lub instalacji, często trudny do wyjaśnienia, winą za ten fakt stara się obarczyć w pierwszej kolejności producenta lub dostawcę urządzenia, a w następnej dostawcę energii

²⁵ Odbiorcy komunalni stają się coraz bardziej widocznymi w pozytywnym i negatywnym znaczeniu tego słowa. Rejestracje odkształceń na poziomie wysokiego napięcia wykazują maksymalne, o znaczącej wartości, odkształcenie w porze wieczornego szczytu obciążeniowego (około godziny 20:00 w czasie największej oglądalności telewizyjnej).

elektrycznej²⁶. Przyjmuje wówczas często postawę agresywną wobec obydwu partnerów, których postrzega jako dostawcę wadliwego produktu – urządzenia lub energii elektrycznej. Faktem jest, że znacznie częściej dyskusję dotyczącą jakości energii inicjuje odbiorca, u niego bowiem występuje problem lub chce on od energetyki zawodowej uzyskać zgodę na przyłączenie swoich urządzeń. Jest to sytuacja niewłaściwa.

Równocześnie odbiorca chętnie widziałby w energetyce przyjaznego 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.

8. Odbiorca podlega ograniczeniom w zakresie dopuszczalnej emisji zaburzeń (normy, rozporządzenia itp.). Jego siła przetargowa w sporze z dostawcą rośnie wraz ze wzrostem pobieranej energii, kto bowiem obecnie w Polsce zdecyduje się na karne wyłączenie huty, kopalni, dużego zakładu, nawet w przypadku, gdy poziom emitowanych zaburzeń przekracza dopuszczalne wartości?
9. 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 równocześnie bardzo wymagający) element rynku, w który warto inwestować.

Jednym z podstawowych sektorów, który już dzisiaj nakręca koniunkturę, a będzie to czynił w jeszcze większym stopniu w przyszłości, jest telekomunikacja (rozwój usług internetowych, komunikacji satelitarnej itp.), której wymagania dotyczące wartości dostarczanej energii i jakości zasilania drastycznie rosną w ostatnich latach (wymagany stopień dostępności zasilania osiągnął już poziom 0,9999999%²⁷, dopuszczalny roczny czas przerwy w zasilaniu wynosi 0,03s²⁸ (EDF/EPRI 2000)). Można przypuszczać, że ze względu na ogromnie kosztowne skutki zaburzeń i już zaangażowane fundusze, wartość czynionych tu inwestycji w dziedzinie zagwarantowania jakości zasilania, będzie w przyszłości szczególnie wysoka. Jest to równocześnie ten rodzaj świadomego zagrożenia odbiorcy, który może i chce zapłacić bardzo duże pieniądze za spełnienie jego oczekiwań dotyczących jakości zasilania. Sytuacja jest w tym przypadku również szczególnie z jeszcze jednego punktu widzenia. Rozwój sprzętu w tej dziedzinie pociąga za sobą zmniejszenie odporności urządzeń na zaburzenia (wzrasta współczynnik koncentracji mocy w przeliczeniu na jednostkę powierzchni – ponad 600W/m² powierzchni biurowej, zmniejszeniu ulega wartość napięcia pracy tych urządzeń z 5V na 2,2V, następuje redukcja ich wymiarów itp.).

6.2 Dostawca energii elektrycznej a jej jakość

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

²⁶ Wg badań przeprowadzonych w Holandii (Knijp, 1997) 75% klientów zakładów energetycznych uważa, że przyczyny awarii leżą po stronie dostawcy energii.

²⁷ Dostępność zasilania = $\frac{8760 - \lambda r}{8760}$

gdzie: λ - liczba zaburzeń w ciągu roku
 r - średni czas usuwania awarii (h).

²⁸ Dla porównania, analogiczne dane szacowane dla: odbiorców komunalnych – 0,9%, 8,8h; szpitali i lotnisk – 0,99%, 53 min. (wg. EDF/EPRI 2000)

reprezentuje dla niego żadnej wartości. Jest nią natomiast dla pewnej kategorii odbiorców – jednym zapewnia odpowiedni komfort i standard życia (oświetlenie, stopień schłodzenia lub nagrzania, wykonanie pracy itp.), a dla innych (odbiorców przemysłowych) jest podstawowym elementem realizacji produkcji. To spostrzeżenie jest podstawą programów DSM.

Równocześnie oczywiste jest, że rynek energii elektrycznej zmienia dotychczasową relację pomiędzy dostawcą i odbiorcą energii. Kreuje postawę dystrybutora 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 powodowane złą jakością oferowanego towaru – energii elektrycznej. Ze względów technicznych i ekonomicznych chce dostarczać tę energię w dziedzinie podstawowej harmonicznej starając się często przenieść odpowiedzialność za jej złą jakość na odbiorców (co oczywiście nie zawsze jest możliwe). Stąd między innymi wynikają taryfowe wartości współczynnika mocy oraz ograniczenia wartości zaburzeń generowanych przez odbiorców.

Energetyka zawodowa sama doświadcza skutków złej jakości energii, zarówno w zwiększonej awaryjności systemu zasilającego i własnych urządzeń, jak i w stratach finansowych z tytułu nie dostarczonej energii. Coraz częściej staje wobec wymagających i czułych na zaburzenia odbiorców, u których przez lata wytworzyło się przekonanie o ciągłości dostawy energii. Równocześnie ci sami odbiorcy emitują zaburzenia prowadząc w konsekwencji do degradacji jej jakości.

Można przypuszczać, że w wielu przypadkach odbiorcy energii uzyskają na podstawie wprowadzanych przepisów i norm prawo do negocjowania jej ceny z tytułu niedotrzymania standardów jakościowych²⁹.

Jakość i niezawodność zasilania staje się w praktyce w coraz większym stopniu obowiązkiem dostawcy energii³⁰. Podejmuje on działania będące kompromisem pomiędzy dążeniem do uzyskania możliwie wysokiej jakości zasilania a swymi możliwościami finansowymi. Energetyka zawodowa w Polsce stanie wkrótce wobec trudnych do spełnienia wymagań przekraczających jej aktualne możliwości techniczne, jak również prawdopodobnie

²⁹ Obecnie praktycznie jedynie przerwy w zasilaniu i trudne do wyegzekwowania zmiany napięcia są w dużym stopniu teoretycznie podstawą upustów cenowych lub zwrotu kosztów za nie dostarczoną energię.

Energetyka francuska (EDF) płaci odbiorcom za niedotrzymanie standardów jakościowych (głównie za niedotrzymanie ciągłości zasilania), odbiorcy są jednakże zobowiązani do podejmowania działań minimalizujących skutki przerw w zasilaniu.

W Hiszpanii cena energii jest uzależniona od wartości napięcia (w relacji do napięcia deklarowanego) oraz od dotrzymania gwarantowanej ciągłości zasilania.

³⁰ W wielu krajach (głównie w USA) w procesach przeciw energetyce zawodowej zapadają wyroki przyznające odbiorcom odszkodowanie za zaistniałe u nich skutki złej jakości energii elektrycznej. Typowym i zarazem jednym z pierwszych przykładów jest zasądzenie w 1993 przez sąd w Kalifornii odszkodowania w wysokości 5,5 mln \$US na rzecz producenta pieczarek za straty z tytułu niedotrzymania ciągłości zasilania w następstwie uszkodzenia transformatora przez wyładowanie atmosferyczne. Uzasadnieniem wyroku było traktowanie energii elektrycznej jako normalnego produktu podlegającego odpowiedzialności dostawcy. Stwierdzono, że producent i/lub dostawca powinien poprawić cechy jakościowe energii (w tym przypadku pewność zasilania) lub ponosić odpowiedzialność za złą jakość sprzedawanego towaru. Podstawą tego i podobnych werdyktów są dwie różne konstrukcje prawne:

1. Skarga na niekompetencję energetyki, która nie przewidziała, że istniejące warunki zasilania u odbiorcy wytworzą okoliczności sprzyjające awarii o poważnych następstwach. Wytwórca energii i/lub jej sprzedawca nie jest zwolniony z odpowiedzialności nawet wówczas, gdy podjął działania w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa awarii. Jeżeli awaria wystąpiła, to działania były niewystarczające, a więc niekompetentne.
2. Dostawca energii jest prawnie odpowiedzialny za dostarczanie takiej usługi energetycznej, która gwarantuje bezpieczeństwo, komfort, nie zagraża własności i zdrowiu klienta itp.

możliwości w dającej się przewidzieć przyszłości. Zastosowanie bardzo wysokich standardów zasilania wymaga bardzo drogiej inwestycji. Gdzieś musi być kompromis, ale w tym celu trzeba wiedzieć, jakie są oczekiwania jakościowe i poziom akceptacji cenowej klientów. Już obecnie w wielu krajach (np. Holandia, Knijp, 1997, program ESCOM w Południowej Afryce itp.) prowadzone są badania dotyczące bieżącej pozycji energetyki w relacji do jej klientów. Koncentrują się one na relacji: jakość świadzonej usługi-cena za energię. Badania *image* dostawcy energii to obecnie jedno z podstawowych działań prowadzonych w tym sektorze³¹. Badania te wykazały także, że energetyka niekiedy nie walczy ze „złym *image*”, lecz z brakiem *image*. Odbiorca przypomina sobie o dostawcy dopiero wówczas, gdy wystąpi awaria. W wielu krajach właśnie jakość dostawy energii uznano za czynnik zmiany tego stanu. Na podstawie tych samych badań wykazano, że uruchamianie programów jakości energii przez zakłady energetyczne wynikało nie zawsze z bieżących potrzeb odbiorcy, lecz z chęci wzbogacenia oferty (do której w tym przypadku trzeba klienta wcześniej przygotować, wyedukować), poprawy rynkowego wizerunku i wreszcie chęci sprzedania większej ilości energii. Te programy były często ważniejsze dla działu marketingowego niż dla technicznego, celem działań zawodowej energetyki nie jest bowiem wypełnienie wymagań technicznych, lecz coś znacznie większego – spełnienie potrzeb konsumenta. W tym kontekście jakość energii jest jedynie częścią znacznie większego pakietu różnych ofert przedstawianych przez energetykę swojemu odbiorcy.

Taka sytuacja jest także dużą szansą na bardzo „głęboki” rynek usług. W przypadku problemów odbiorca postrzega jeszcze obecnie dostawcę energii jako swego głównego partnera dla ich rozwiązania. Podjęcie tej roli będzie w zasadniczy sposób kształtowało wizerunek marketingowy dostawcy w nowych rynkowych warunkach. Dostawca energii powinien już teraz kształtować swoją aktywną postawę wobec problemu. Czas jest tu bardzo istotnym czynnikiem. Życie nie toleruje próżni, konkurenci mogą szybko wykorzystać nadążającą się okazję. Ten proces można już w Polsce obserwować. To właśnie małe, prywatne firmy są najbardziej aktywne i widoczne na tym polu.

W działalności dostawcy energii należałoby wyróżnić trzy postawy:

- **bierną**, polegającą na opracowaniu strategii postępowania w odpowiedzi na zgłoszony przez odbiorcę problem, stworzeniu właściwej struktury organizacyjnej, przygotowaniu odpowiedniej kadry do rozwiązywania problemów o różnym stopniu złożoności (edukacja pracowników i ciągłe doskonalenie), zagwarantowaniu odpowiedniego sprzętu i oprogramowania, ciągłych testach i stałym monitoringu sieci, tworzeniu modeli komputerowych i symulacyjnych systemu, uczestniczeniu w różnych działaniach tematycznie związanych z problemem, zagwarantowaniu dostępu do aktualnej informacji technicznej, udziale w projektach badawczych itp.;
- **aktywną**, ukierunkowaną na potrzeby odbiorcy, w bezpośrednim z nim kontakcie, a realizowaną poprzez rozeznanie jego dotychczasowych doświadczeń związanych z jakością energii, poznanie jego technologii, potencjalnych zagrożeń, edukowanie go, konsultacje energetyki świadczone na rzecz klientów, ścisłą współpracę z przemysłem itp. - są to działania przygotowujące klienta do kolejnego, trzeciego obszaru działalności dostawcy energii;
- **produkcja urządzeń, montaż i serwis.**

Nową sytuację dla dostawcy stworzy wzrost liczby lokalnych źródeł energii (elektrownie wiatrowe, biogeneracja, źródła fotoelektryczne, produkcja w skojarzeniu itp.). W wielu

³¹ Ciekawostką prac holenderskich (Knijp, 1997) było stwierdzenie, że odbiorcy (głównie małe przedsiębiorstwa) ponoszone opłaty za energię nie traktują jako cenę, lecz jako swoje „stałe koszty”. Stąd redukcja tej ceny miała mniejszy wpływ na *image* energetyki niż np. podniesienie jakości dostawy energii, w tym również jakości jej technicznych wskaźników. Bardzo korzystnie odbierano np. wcześniejsze powiadomienia o wyłączeniach zasilania lub wyjaśnianie zaistniałych stanów awaryjnych.

krajach procentowy udział tych źródeł w całkowitej produkcji energii zaczyna znaczyć w ogólnym bilansie (np. Dania około 7%) i wpływ ich pracy na lokalną jakość energii (głównie wartość napięcia) musi być brany pod uwagę.

Słuszną wydaje się filozofia, zgodnie z którą dostawca energii powinien wyróżnić co najmniej dwa lub trzy poziomy jakości zasilania:

- **Poziom pierwszy** - podstawowy standard jakości gwarantowany wszystkim odbiorcom przez dostawcę energii i w większości przypadków całkowicie ich satysfakcjonujący. Jego istnienie jest niezbędne dla producentów urządzeń, którzy muszą zapewnić 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 standardu, prócz 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 zasilania, itp.) - oznacza podwyższone opłaty ponoszone przez odbiorcę.
- **Poziom trzeci** - „super-jakość” (*premium power*) 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. W tym przypadku dostawa energii powinna obejmować także jako usługę ciągły monitoring jej parametrów.

6.3 Producent urządzeń a jakość energii

Wytwórca urządzeń może przyjąć jedną z dwóch krańcowych postaw:

1. *Produkować sprzęt o wysokim stopniu odporności na zaburzenia i niskim poziomie emisyjności.* Większość produkowanych urządzeń tego samego rodzaju cechuje podobny lub wręcz identyczny 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 oddziaływający na rozbudzone ekologicznie społeczeństwa – hasło „czystości” środowiska, w tym również środowiska elektromagnetycznego. Dobrym przykładem mogą być załamania napięcia. Jeszcze 10 lat temu były one rejestrowane wyłącznie ze względów technicznych. Obecnie, mimo że ich znaczenie techniczne nie zmalało, zostały wykreowane, również względami marketingowymi, jako jedno z najważniejszych zaburzeń elektromagnetycznych.

Producent nie chce ponosić kosztów napraw gwarancyjnych. Oferuje coraz częściej specjalistyczny sprzęt o rosnącej odporności na zaburzenia, ale za zasadniczo większą cenę³². Powstaje nowy duży rynek urządzeń przyjaznych dla sieci oraz o zwiększonym stopniu odporności za zaburzenia elektromagnetyczne. To duża szansa dla producentów.

Coraz częściej głoszony jest pogląd, że po stronie dostawcy energii leży rozwiązanie problemów jakości energii. Możliwości dostawcy, mimo że są znaczące,

³² Wg informacji uzyskanych u producenta, dodatkowe elementy konstrukcyjne zwiększające odporność na zaburzenia stosowane w miernikach firmy Dranetz stanowią ponad 30% kosztów całego urządzenia.

są ograniczone losowością i nieprzewidywalnością pewnych zdarzeń w systemie. Producent sprzętu będzie więc zobowiązany dostarczyć urządzenie kompatybilne z danym, ściśle zdefiniowanym środowiskiem elektromagnetycznym w którym ma pracować. Reszta jest już tylko sprawą ceny. Trend ten widać wyraźnie na przykładzie załamań napięcia. Zamawiane są coraz częściej urządzenia odporne na załamania o określonym czasie trwania i określonej amplitudzie.

2. *Redukować koszty produkcji urządzeń za cenę ich zmniejszonej odporności i zwiększonej generacji zaburzeń.* Wielu producentów wymaga dla swego sprzętu zasilania wysokiej 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 emisyjności³³. Prawdą jest również, że w przypadku wielu trudnych do wyjaśnienia uszkodzeń winą obarcza się często bliżej nie zdefiniowaną złą jakość zasilania. Staje się ona kluczem do wszystkiego, „kozłem ofiarnym” mającym przenieść winę z producenta „bezawaryjnego” sprzętu na dostawcę energii.

Rozwój problematyki jakości energii to 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 itp., mimo że 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.

Wzrasta moc sumaryczna rozproszonych odbiorców energii, o małych mocach jednostkowych, lecz występujących w bardzo dużej liczbie. Ich instalacja odbywa się poza kontrolą dostawcy energii, a sumaryczny negatywny wpływ na system zasilający może być bardzo znaczący. W sieci publicznej ścisła koordynacja pomiędzy różnymi użytkownikami nie jest możliwa. Jedyną dostępną metodą kontroli emisji ich zaburzeń jest pewność, że sprzęt jest zaprojektowany przez producenta zgodnie z odpowiednimi znormalizowanymi wartościami granicznymi.. Wartości te z pewnością będą coraz bardziej ostre (*vide* postanowienia normy PN EN 61000-3-2).

6.4. Konsultant a jakość energii elektrycznej

Nowa sytuacja niekiedy antagonistycznych relacji pomiędzy dostawcą i odbiorcą energii oraz producentem sprzętu wykreowała nowego bardzo ważnego partnera – konsultanta. Pełni on często rolę arbitra w nieuniknionych sporach pomiędzy 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 dla nowej formy usługi.

W warunkach rynkowego zarządzania energią pojawią się także nowi partnerzy, których rola i stopień aktywności są dopiero kształtowane. Są to:

- operator systemu elektroenergetycznego,
- Urząd Regulacji Energetyki,
- inwestorzy,
- dostawcy usług energetycznych,
- samorządy lokalne, federacje konsumentów itp.

³³ Przykładowo, dążąc do obniżenia ceny urządzeń w większości regulowanych napędów, szczególnie małej i średniej mocy, stosuje się na wejściu nie sterowane prostowniki. Uwzględniając powszechność ich stosowania ma to zasadniczy wpływ na jakość energii.

7. PRZYCZYNY WZROSTU ZAINTERESOWANIA JAKOŚCIĄ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

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

1. **Rosnąca świadomość, że energia elektryczna jest towarem** i to, co nazywamy jakością energii jest w swej istocie określeniem 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.
2. **Wzrost liczby i mocy jednostkowej niespokojnych, nieliniowych, niekiedy również niesymetrycznych odbiorników.** Istnieje coraz większa liczba technologii będących potencjalnym źródłem zaburzeń elektromagnetycznych (napędy o regulowanej prędkości³⁴, kompensatory statyczne – SVC, systemy przesyłu energii prądem stałym – HVDC, piece łukowe prądu stałego i przemiennego itp.). Sieć 50Hz jest w coraz większym stopniu traktowana jako źródło energii pierwotnej. Pomiędzy nią i odbiorami finalnymi instalowane są układy przetwarzania tej energii w inne bardziej użyteczne formy³⁵. 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 jednakże często okupione wzrostem zaburzeń wprowadzanych do sieci zasilającej. Równocześnie energoelektronika, która była i jest nadal jednym z najbardziej dominujących źródeł zaburzeń niskiej częstotliwości, staje się coraz doskonalszym środkiem technicznym stosowanym do ich eliminacji.

Generalnie można postawić tezę, że wzrost produkcji oraz rozwój coraz bardziej wyrafinowanych jej form nierozzerwalnie wiąże się ze wzrostem znaczenia zagadnień jakości energii.

3. **Zmniejszenie odporności odbiorników na zaburzenia elektromagnetyczne.** Współczesne odbiorniki są bardzo czułe na zaburzenia. Coraz większa liczba odbiorców energii skarży się na jej złą jakość, utrudniającą lub często wręcz uniemożliwiającą pracę tych urządzeń. Jako szczególnie czuły należy wymienić sprzęt informatyczny. Jego rozwój i redukcja gabarytów została w dużym stopniu okupiona obniżeniem odporności na zaburzenia. Jak łatwo obecnie zakłócić pracę urządzeń elektronicznych obrazuje wielkość energii niezbędnej do trwałego uszkodzenia elementów układu. Dla przekaźników 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 (Moroń 1996)³⁶. Występujące obecnie dążenie do redukcji mocy zainstalowanej w urządzeniach, tym samym redukcji kosztów ich produkcji,

³⁴ Przykładowo, w latach 80. w USA liczba napędów o regulowanej prędkości uległa podwojeniu (wg *Inverter Market Report on Variable Speed Drives*, 1991). Ocenia się, że w USA napędy elektryczne zużywają ponad 30% całkowitej energii konsumowanej w tym kraju. Autor artykułu nie dysponuje analogicznymi informacjami w odniesieniu do polskich warunków.

³⁵ Według prognoz w bieżącym roku ponad 50% wszystkich odbiorników stanowiąc będą elektroniczne przetworniki energii. Źródła amerykańskie podają, że już obecnie w krajach wysoko uprzemysłowionych wartość ta przekroczyła 60%. [Frank 1997 (również Baleriaux)]. Wg badań COST 302 liczba samochodów o napędzie elektrycznym lub hybrydowym może osiągnąć wkrótce w państwach Unii poziom 7% całkowitej liczby pojazdów, czyli około 6 mln. Układy ładowania akumulatorów mogą stworzyć nową jakość w odkształceniu napięcia, jeżeli nie rozwinie się w wystarczającym stopniu produkcja przekształtników „przyjaznych” dla sieci zasilającej (tzw. *PFC converters*).

³⁶ Nieco inne wartości (również dla większej liczby elementów), obrazujące ten sam trend zmian, znaleźć można w pracy [Pałczyńska 2000].

sprawia, że tranzystory mocy w wielu układach napędowych ulegają uszkodzeniu już przy napięciu chwilowym wynoszącym 110-130% znamionowej wartości szczytowej³⁷.

4. **Rosnący koszt awarii.** Dla wielu końcowych odbiorców energii jej jakość wiąże się nie tyle z jakością produkcji, lecz przede wszystkim z wielkością produkcji w określonym czasie, a w konsekwencji, w przypadku przerwy w produkcji, z ogromnymi stratami. Ekonomiczne skutki zaburzeń elektromagnetycznych są wymierne i niekiedy bardzo wysokie³⁸.
5. **Wzrost efektywności przetwarzania energii.** Coraz popularniejsze stają się energooszczędne produkty oferowane w ramach programów DSM, np. energooszczędne w eksploatacji i materiałooszczędne na etapie produkcji silniki elektryczne³⁹, energooszczędne źródła światła itp. Mimo ich niewątpliwych zalet są one bardzo często źródłem zwiększonej emisji zaburzeń i produktami o zmniejszonym poziomie odporności, co można uznać za cenę poprawy efektywności przetwarzania energii. W coraz większej liczbie przypadków racjonalizacja i oszczędność zużycia energii elektrycznej wywołuje jako skutek wzrost problemów z jej jakością.

Rosnące wymagania dotyczące efektywności pracy systemu zasilającego jako całości powodują wzrost liczby technologii, które poprawiając jeden aspekt pracy systemu negatywnie wpływają na inne. Przykładem mogą być baterie kondensatorów do kompensacji mocy biernej, których obecność zmienia charakterystykę częstotliwościową w punkcie ich przyłączenia i wywołuje zjawiska rezonansowe dla coraz niższych częstotliwości (w miarę wzrostu mocy baterii).

W energetyce zawodowej w uprzemysłowionych krajach świata maleje poziom nowych inwestycji. Istniejące systemy zasilające i urządzenia wytwórcze podlegają modernizacji polepszającej ich sprawności przetwarzania (transmisji i rozdziału) oraz cechy funkcjonalne. Pociąga to za sobą zwiększoną liczbę urządzeń energoelektronicznych i elektronicznych. Urządzenia te w wielu przypadkach wprowadzają znaczące zaburzenia elektromagnetyczne, np. SVC.

6. **Ekologia elektromagnetyczna.** Jakość energii to element większej całości – jakości życia. Promowane są obecnie wszelkie przedsięwzięcia służące zachowaniu „czystości” środowiska, także elektromagnetycznego. Równocześnie rośnie świadomość rangi technicznych i ekonomicznych problemów, które niesie ze sobą energia elektryczna złej jakości. Istnieje coraz powszechniejsze przekonanie, że te zagadnienia to problem, którego nie można nie zauważać. Nie można czekać z jego rozwiązaniem, aż pojawią się negatywne skutki. Trzeba go analizować i rozwiązywać na każdym etapie technicznych działań. Wymiernym dowodem takiego rozumienia problemu jest w Polsce prawo energetyczne i związane z nim rozporządzenia wykonawcze, w których to dokumentach zagadnienia jakości energii zostały zauważone (szkoda, że w tak niedoskonałej formie).

³⁷ W 1959 roku NEAMA Standard wprowadził wymóg, aby elementy półprzewodnikowe stosowane w układach przekształtnikowych były zdolne wytrzymać bez uszkodzenia, w stanie blokowania, napięcie chwilowe o wartości nie mniejszej niż 250% wartości szczytowej znamionowego napięcia zasilania (nie dotyczyło to wszystkich urządzeń energoelektronicznych) [IEEE Trans. IA-27, 4].

³⁸ Przykładowo stwierdzono, że w 1989 roku w Niemczech, 28,7% awarii o charakterze elektrycznym było spowodowanych zaburzeniami elektromagnetycznymi (Knapp, 1994). Wg. [Märtel 1996] średnie koszty przerw w zasilaniu wynoszą w Niemczech około 10 DM za 1kWh. Roczne koszty związane z przerwami w zasilaniu ocenia się na 146 mln. DM, natomiast roczne koszty energetyki związane z inwestycjami w sieciach zasilających i rozdzielczych w ostatnich latach wynosiły średnio 7 mld. DM rocznie, przy czym większość tych inwestycji służyła zwiększeniu pewności zasilania, zwłaszcza w landach zachodnich. Szacuje się, że roczne straty fabryk samochodowych w USA spowodowane zakłóceniami napięcia sięgają 10 mln USD [Douglas 1994].

³⁹ Wg Domijana około 76% energii w USA zużywana jest przez silniki elektryczne. Tak masowy produkt może wywierać ogromny negatywny wpływ na sieć zasilającą.

7. **Restrukturyzacja sektora energetycznego** wytwarza nowe rynkowe postawy u uczestników. Jakość zasilania staje się w coraz większym stopniu kategorią marketingową. Równocześnie w nowo tworzonych warunkach nie do końca jest jeszcze oczywiste, kto i w jakim zakresie ma odpowiadać za poszczególne aspekty jakości zasilania.
8. **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 w coraz większym stopniu ulega redukcji, co sprawia, że praktycznie wszyscy uczestnicy rynkowej gry mają możliwość kontrolowania warunków zasilania.
9. **Jakość energii to również ogromne pieniądze.** Przykładowo w USA, szacuje się, że około 45% całkowitych kosztów inwestycyjnych dotyczących centralnych instalacji komputerowych związanych jest z jakością energii. Produkcja i serwis urządzeń służących poprawie jakości energii to tylko w USA rynek wielu bilionów \$USA (Douglas, 1994)⁴⁰.

8. GDZIE JESTEŚMY DZIŚ?

Problem jakości dostawy energii elektrycznej staje się w Polsce, podobnie jak w wielu innych krajach, w których dokonano lub dokonuje się prywatyzacji sektora energetycznego, kategorią nie tylko techniczną, lecz również, a może głównie, ekonomiczną. Zrezygnowanie z systemu wspólnych elektrowni, wspólnych sieci transmisyjnych i rozdzielczych na rzecz różnych konkurujących ze sobą producentów energii, wspólnej sieci wyłącznie do przesyłu energii i regulowanego prawami rynku sposobu rozliczania się sprzedawcy z pośrednikiem i klientem (tzn. przyjęcie komercyjnego oddzielenia energii elektrycznej jako produktu od jej transmisji traktowanej jako usługa) stworzyło problem rekonstrukcji taryf za energię i gwarancji jakości energii oraz związanych z tym kosztów jej pogorszenia.

Nie powstał dotychczas w Polsce dokument przedstawiający w sposób kompleksowy stan jakości energii w kraju⁴¹, można więc zgodzić się z poglądem wyrażonym w [Lenarski 1997], że obecnie nie wiadomo, czy energetyka polska jest przygotowana do przyjęcia nowych przepisów międzynarodowych. W przypadku ich 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 kraju oraz brak należytej reakcji na przyłączania do sieci odbiorców pogarszających jakość energii, można przypuszczać, iż występują obszary, na których lokalnie jej jakość jest zła. Poprawa w takich przypadkach będzie następowała prawdopodobnie w wyniku wielokrotnych skarg i monitów, co może trwać nawet kilka lat.

⁴⁰ Wg [Hof 1991] koszt problemów związanych z zasilaniem wynosi w USA około 26 bilionów \$ rocznie. Bardzo liczne informacje o podobnym charakterze znaleźć można w technicznej literaturze, szczególnie amerykańskiej (nie tylko).

⁴¹ Komisja Europejska przedstawiła projekt dyrektywy, który został opublikowany przez odpowiedni organ zarządzający rynkiem energii elektrycznej. Zgodnie z tym projektem operator systemu ma obowiązek sporządzania i publikowania corocznego raportu na temat jakości zasilania oraz jakości usług energetycznych. W tym celu opracowane będą odpowiednie zalecenia dotyczące zawartości takiego raportu, które uczynią go spójnym z innymi dokumentami Unii [European Commission ...]. Reakcją na tę propozycję było powołanie przez UNIPEDÉ grupy ekspertów DISQUAL, która w swym opracowaniu [Draft report ...] proponuje, aby raport ten zawierał głównie informacje o długich przerwach w zasilaniu (> 3 min) ujęte w postaci trzech wskaźników: (a) częstotliwość przerw (liczba przerw w roku dla odbiorcy); (b) niedostępność zasilania (liczba minut bez zasilania w roku dla odbiorcy); (c) średni czas przerwy. Przykładowo IEEE stosuje pięć wskaźników opisujących przerwy w zasilaniu [Dugan 1996].

W 1994 r. przyjęto założenia rozwoju branży energetycznej w Polsce do 2010 roku. Mówi się w nich o trzech zasadniczych kierunkach rozwoju tego sektora: (a) nastawieniu się na potrzeby klienta; (b) zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego krajowi; (c) szczególnej trosce o środowisko naturalne. Każdy z tych celów wiąże się, w mniejszym lub większym stopniu, z problemem jakości dostawy energii elektrycznej.

Obecna sytuacja w polskiej energetyce jest szczególna, nie tylko z punktu widzenia jakości energii. Zaczęło funkcjonować prawo energetyczne, które jest nowym narzędziem regulującym na poziomie państwowym funkcje różnych podmiotów gospodarczych i ich wzajemne powiązania oraz zasady finansowych rozliczeń. Ustawa funkcjonuje w dynamicznej sytuacji zmieniających się struktur zarządzania, uruchamianiu mechanizmów konkurencyjności i prywatyzacji oraz niezbędnych, a zaspokajanych w niewystarczającym stopniu, potrzeb inwestycyjnych w energetyce.

W ustawie o prawie energetycznym pojawiły się sformułowania o obowiązku przedsiębiorstwa sieciowego przestrzegania wymagań jakościowych (p. 4.1), określanych w kontrakcie (p. 5.1), oraz obowiązku Urzędu Regulacji Energii kontrolowania parametrów jakościowych (p. 23.1).

Prawo energetyczne funkcjonuje wraz z całym szeregiem dokumentów wykonawczych – przedmiotowych rozporządzeń. Ich celem jest między innymi stworzenie podstaw prawnych gwarantujących: zapewnienie właściwych parametrów jakości energii elektrycznej odbiorcom finalnym zasilanym z sieci dostawcy, ochronę sieci dostawcy przed nadmiernym negatywnym oddziaływaniem na nią odbiorników zainstalowanych u odbiorców oraz określenie wymagań w zakresie ciągłości dostawy energii elektrycznej.

Ukazanie się „Rozporządzenia ministra gospodarki [...] w sprawie [...] standardów jakościowych obsługi odbiorców” (podlegającego obecnie modyfikacji) nie rozwiązało prawnych problemów związanych z jakością energii w Polsce. Wręcz przeciwnie, zrodziło wiele nowych pytań i stworzyło nową trudną sytuację⁴².

9. 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, zdaniem autora artykułu, należy: (1) określić parametry jakości energii elektrycznej, które powinny być w pierwszej kolejności objęte standaryzacją (nie ograniczą się one tylko do tych, które są w rozporządzeniu do prawa energetycznego⁴³, np. wartość napięcia, harmoniczne, niesymetria, wahania, załamania i wzrosty napięcia, niezawodność dostawy); (2) określić dopuszczalne wartości odchyłeń tych parametrów, które można uznać za dopuszczalne (podstawa kontraktów); (3) zdefiniować protokół pomiaru parametrów jakości energii; (4) określić precyzyjnie odpowiedzialność dostawcy za

⁴² Prawa dotyczące odpowiedzialności dostawcy energii obowiązują także w innych krajach. W niektórych z nich występuje zasadnicza rozbieżność pomiędzy deklaracyjnością postanowień (analogicznie jak w polskich propozycjach) a praktyką dnia codziennego, jest to bowiem, w odniesieniu do energii elektrycznej, bardzo skomplikowany i trudny problem z prawnego punktu widzenia - wymaga zdefiniowania jakości energii w kategoriach prawnych. Praktyka pokazuje, że powstaje szereg pytań, zasadniczych dla tej kwestii, na które trudno odpowiedzieć. Na przykład, jaki winien być zbiór gwarantowanych parametrów jakości energii, kto i według jakiej procedury ma dokonywać pomiaru ich wartości, jaka prawna procedura jest uruchamiana - z urzędu, czy w następstwie skargi, jak wyceniać skutki złej jakości energii, kto ma wykonywać tę wycenę, jakie środki podwyższające poziom odporności powinni odbiorcy stosować itp. Pytań jest bardzo wiele i wiele spośród nich jeszcze obecnie, nie tylko w Polsce, pozostaje bez odpowiedzi. Przynajmniej część z nich powinna być jednakże rozstrzygnięta w rozporządzeniu. Niestety, nie ma w jego dotychczasowych wersjach takich informacji.

⁴³ W ten sposób należy zdefiniować standard jakości gwarantowany przez dostawcę. Wszystko to, co jest ponad te gwarancje, stanowić będzie przedmiot negocjacji odbiorcy z dostawcą, które znajdą swój finał w kontrakcie na dostawę energii.

niedotrzymanie ww. parametrów jakościowych energii elektrycznej, a odbiorcy - za wprowadzanie zaburzeń do sieci zasilającej; (5) uzupełnić cennik opłat za energię elektryczną w zakresie upustów i dopłat, związanych z wymaganiami jakościowymi energii elektrycznej; (6) wyposażyć zakłady energetyczne i wyspecjalizowane firmy, a także placówki naukowo-badawcze w specjalistyczną aparaturę pomiarową; (7) powołać instytucję upoważnioną do bieżącej kontroli poszczególnych parametrów, określić tryb odszkodowań oraz zasady rozstrzygania sporów⁴⁴. Ponadto warto:

- **Kontynuować prace związane z terminologią w dziedzinie jakości energii**, istnieje bowiem nadal duża dowolność określeń i niewystarczająca precyzja w definicjach. Ukazanie się polskiej normy terminologicznej z dziedziny kompatybilności elektromagnetycznej - PN-T-01030 - rzecz o ogromnym znaczeniu - nie rozwiązało ostatecznie problemu. Zbiór zawartych w niej pojęć trudno uznać za kompletny i nadal budzi on wiele kontrowersji i wzniewa dyskusje (podobnie jak i w innych krajach).
- **Uruchomić w Polsce wieloletni program oceny jakości energii**, wzorem nieomal wszystkich państw europejskich⁴⁵. Za niewystarczające można uznać wykonane dotychczas pomiary parametrów jakości energii realizowane bez całościowej koncepcji, za pomocą różnej aparatury pomiarowej, bardzo ograniczone w czasie i dotyczące niewielu punktów pomiarowych. Tylko kompleksowy program, konsekwentnie realizowany, pozwoli zinwentaryzować istniejący stan jakości energii w sieciach rozdzielczych i przesyłowych⁴⁶. Warto odnotować realizowany obecnie program naukowo-badawczy EPRI/PSE służący między innymi ocenie jakości energii w sieciach transmisyjnych.

⁴⁴ Warto skorzystać w tym przypadku z doświadczeń Południowej Afryki: dokument NRS-048 i program ESKOM.

⁴⁵ Spośród najlepiej znanych warto wymienić:

- (1) EPRI Distribution Power Quality (DPQ) Project - rozpoczęty w 1989 roku dwuletni program amerykański, w ramach którego monitorowano 276 punktów w 24 rejonach energetycznych w celu oceny stanu jakości energii w sieciach dystrybucyjnych.
- (2) Program monitorowania jakości energii w dziewięciu krajach Europy realizowany pod patronatem *The International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy* (UNIPED) w 1985 r.
- (3) Francuski program badań nad jakością energii (EDF, 1985-1995). Postawiono wówczas trzy główne cele: (i) podniesienie średniego standardu obsługi klienta; (ii) zapewnienie jakości zasilania i bezpieczeństwa dostawy energii we wszystkich dużych miastach; (iii) spełnienie wymagań klientów szczególnie czułych na jakość energii poprzez oferowanie indywidualnych warunków zasilania, których koszt był wspólnie finansowany przez dostawcę i odbiorcę energii. Rezultatem tego programu jest przodująca pozycja energetyki francuskiej w zakresie jakości energii w Europie. Kontrakt EMERAUDE stosowany dla odbiorców ŚN i WN jest wzorem dla wielu analogicznych dokumentów w świecie. W końcu lat 90. uzyskano stan jakości satysfakcjonujący większość odbiorców, przykładowo znaczącą redukcję średniego czasu przerwy w zasilaniu. Uruchomiono również: FIABELEC - dodatkowy program zwiększonej jakości obsługi przeznaczony dla odbiorców przemysłowych i komunalnych. W ramach tego programu wstępna ocena jakości zasilania w punkcie odbiorcy wykonywana jest bezpłatnie przez dostawcę energii, natomiast szczegółowa analiza, proponowanie rozwiązań, instalowanie i obsługa urządzeń służących poprawie jakości zasilania itp. stanowią odpłatną usługę wykonywaną przez wyspecjalizowane służby działające w ramach programu; PREVENANCE – pełna informacja o prowadzonych i planowanych pracach w systemie zasilania (z możliwością negocjowania terminów prac itp.); ECHO RESEAU – informacja o jakości energii w ostatnich latach w obszarze zasilania interesującym odbiorcę.
- (4) Trzyletni program oceny jakości energii w 550 miejscowościach realizowany przez *Canadian Electrical Association, Montreal*.
- (5) Projekt zrealizowany w Norwegii przez *Norwegian Electric Power Research Institute* w Trondheim itp. Dodatkowe informacje na temat tych i innych programów znaleźć można także w: Hughes 1993; Door 1995, Bieth 1992, Gunther 1992, Bergeron 1993, Kuipers 1994, Deflandre 1994, itp.

⁴⁶ Taki projekt powinien zawierać trzy zasadnicze części: długotrwały pomiar oraz porównanie wyników z wybranymi dokumentami normalizacyjnymi (po uprzednim wyborze punktów pomiarowych i wyborze sprzętu pomiarowego), badania modelowe i symulacyjne oraz ich weryfikacja z wynikami pomiarów (proponując narzędzi symulacyjnych, programów komputerowych itp.), transfer technologii (szkolenia, seminaria).

Umożliwi on uzyskanie przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne wiedzy istotnej na etapie zawierania kontraktów ze spółkami dystrybucyjnymi. Te ostatnie mogą znaleźć się w pozycji słabszego partnera, jeżeli nie będą dysponować wystarczającą znajomością istniejących, rzeczywistych warunków zasilania.

Duże zróżnicowanie struktury odbiorców poszczególnych spółek dystrybucyjnych pozwala przypuszczać, że istnieją znaczące różnice w jakości energii elektrycznej na terenie kraju. Ten stan faktyczny powinna uwzględniać standaryzacja wprowadzająca jednakowe wymagania wobec wszystkich spółek dystrybucyjnych. Raport o stanie energii elektrycznej, który mógłby powstać jako skutek realizacji programu, byłby podstawą oceny przydatności zagranicznych rozwiązań w zakresie normalizacji jakości energii elektrycznej w warunkach polskich. Byłaby to również podstawa oceny krajowych rozwiązań dotyczących normalizacji jakości energii powstałych jako dokumenty związane z nowym prawem energetycznym.

Program, gdyby został rozpoczęty, wprowadziłby 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 komplementarności ich wskazań.

- **Promować urządzenia i instalacje przyjazne dla sieci zasilającej.**
- **Uwzględnić problematykę jakości energii w programach nauczania** na różnych szczeblach edukacji, w szczególności na wyższych uczelniach technicznych, studiach podyplomowych itp. W wielu krajach jest to oddzielna specjalność na wydziałach elektrycznych.
- **Stworzyć zespoły monitorujące w sposób ciągły stan jakości energii elektrycznej w Polsce.**

Ogromne, rosnące zainteresowanie problematyką jakości energii nie jest polską specyfiką. Występuje w większości krajów. W niektórych pojawiło się znacznie wcześniej i stąd wypracowano tam szereg wzorcowych rozwiązań, z których warto i należy korzystać. Na całym świecie istnieje duża liczba organizacji, instytucji, stowarzyszeń itp. zajmujących się tymi zagadnieniami. We wrześniu br. miało miejsce pierwsze europejskie robocze spotkanie specjalistów jakości energii (z inicjatywy EPRI i EDF). Może nastał czas, aby w Polsce połączyć rozproszone siły i środki, i stworzyć podstawy organizacyjne krajowego forum jakości energii?

LITERATURA

1. Babata, Robkins, IEEE Journal 1938
2. Bergeron R.: *A measurement protocol for power quality coordination* (Canadian Electrical Association, Project 220D711) 1993.
3. Bieth J., Olivier D., Lachaume J., Meunier M.: *Harmonic disturbances on the French network – state of play-analysis-trends*. 36-205 CIGRE Session, 1992
4. Clemmensen J.M., IEEE Spectrum, June 1993, 40-41.
5. Deflandre T., Le Bitoux M.: *Impact of harmonics on the French public networks*. PQA 1994
6. Domijan A.: *Formation of strategy for energy development and utilization with power electronic conversion technologies: a southeast USA regional approach*. 91 SM 328-5EC
7. Door D.S.: *Point of utilization power quality study results*. IEEE Trans. on Ind. Appl. 1995, 31, 4.
8. Douglas J.: *Power quality solutions*. IEEE Power Eng. Rev. 1994, 14, 3, 3-7.
9. Doullet A.: *EDF quality perspectives*. Proceedings of 2nd International Conf. on Power Quality - PQA '92, Atlanta, Georgia, Sep. 28-30, 1992.
10. *Draft report of the group of experts DIASQUAL on availability of supply indices*. UNIPEDE, DISQUAL 44, May 1996.
11. Dugan R.C., McGranaghan M.F.: *Electrical power system quality*. McGraw-Hill, New York 1996
12. *Dyrektywy dotyczące niskiego napięcia i kompatybilności elektromagnetycznej. Wprowadzanie wyrobów na rynek Unii Europejskiej. Wymagania techniczne*. Fundusz Współpracy, Warszawa 1997.
13. *EDF&EPRI, First European Power Quality Interest Group*, Paris Sep. 4-5, 2000
14. European Commission: *Amended proposal for a European Parliament and Council Directive concerning common rules for the internal market in electricity*. Official Journal of European Communities, no C 123, 4.5.94
15. Frank J.M.: *Origin, development and design of K-factor transformers*. IEEE Ind. Applications Magazin, 1991 Sep./Oct. 1997 (również Baleriaux).
16. Gellings C.: *Power quality. EPRI perspective*. Proceedings of 2nd International Conf. on Power Quality - PQA '92, Atlanta, Georgia, Sep. 28-30, 1992.
17. *Glossary of terms and definitions concerning electric power transmission system access and wheeling*. IEEE Power Engineering Society, 96 TP 110-0.
18. Goldberg G.: *Power quality*. International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC '98, Wrocław 1998.
19. Gulachenski E. M.: *New England electric's power quality research study*. PQA'92.
20. Gunther E.W., Mehta H.: *Monitoring power quality on distribution systems in USA*. CIGRE 500-09: Symposium Lausanne 1993.
21. Hanzelka Z., Kowalski Z.: *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) i jakość energii elektrycznej w dokumentach normalizacyjnych*. JUEE, 1999, 5, 1, 93-109
22. Hof R. D.: *The "dirty power" clogging industry's pipeline*. Business Week, April 8, 1991
23. Hughes B.M., Chan J.S., Koval D.O.: *Distribution customer power quality experience*. IEEE Trans. on Ind. Appl., 1993, 29, 6.
24. IEC 50 (161): 1990 - *International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 161: Electromagnetic Compatibility*.
25. IEC 1000-1-1: 1992 - *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1- Application and interpretation of fundamental definitions and terms*.
26. *IEEE recommended practice for powering and grounding sensitive electronic equipment*. (IEEE Std. 1100-1992).
27. IEEE Trans. IA-27, 4, 645-651
28. Joos H., Dussart M.: *Cost aspects of power quality in a distribution network*. PQ'92.
29. Kaendler G.: *Voltage distortion in high voltage networks caused by switched mode power supplies*. Power Quality Conf. Brema, Nov. 7-9, 1995.
30. Knapp P., Ari N.: *Electromagnetic compatibility in industrial plants - requirements and planning*. ABB Review, 1994, 1.
31. Knijp J., de Zwart T.: *Improving customers satisfaction*. EPQ'97, Stockholm.
32. Kuipers J. A.: *The Dutch utilities R & D programme on power quality*. PQA 1994.
33. Kupiec M.: *Power quality: consequences and perspectives in Europa*. Proceedings of 2nd International Conf. on Power Quality - PQA '92, Atlanta, Georgia, Sep. 28-30, 1992.
34. Lenarski W., Obara R., Szprengiel Z.: *Standaryzacja jakości energii elektrycznej*. PTPi REE Poznań 1997.
35. Märtel P., Wellssow W.H.: *Die Qualität der Versorgung mit elektrischer Energie. Elektrizitätswirtschaft* 1996, 25, 1685-1689.

36. Mendes A.: *Electricity: a product*. Proceedings of 2nd International Conf. on Power Quality - PQA '92, Atlanta, Georgia, Sep. 28-30, 1992.
37. Moroń W.: *Kompatybilność elektromagnetyczna - geneza i ewolucja*. JUEE 1996, 2, 2.
38. Mueller D.: *Electrical utilities implement power - quality programs*. Electric Light & Power, 1, 1, Jan. 1994.
39. Pałczyńska B., Spiralski L., Turczyński J.: *Charakterystyka zakłóceń w energetycznych liniach zasilania niskiego napięcia*. Elektronizacja, 2000, 7-8.
40. Price K.: *Practices for solving end-user power quality problems*. IEEE Trans. on Ind. Appl. 1993, 29, 6.
41. PN-EN 50160: 1998 - *Charakterystyki napięcia w publicznych sieciach rozdzielczych*.
42. PN-ISO 8402/1996.
43. PN-T-01030: 1996 - *Kompatybilność elektromagnetyczna – terminologia oraz projekt zmiany A1*.
44. Prawo energetyczne. Dz. U. nr 54, poz. 348.
45. Robert A.: *Supply quality issues at the interface between power system and industrial consumers*. 0-7803-5105-3/98 IEEE.
46. *Rozporządzenie ministra gospodarki z dnia 21 października 1998 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, pokrywania kosztów przyłączenia, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców*. Dz. U. 1998, nr 135, poz. 881.
47. *Rozporządzenie ministra gospodarki z dnia 3 grudnia 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz zasad rozliczeń w obrocie energią elektryczną, w tym rozliczeń z indywidualnymi odbiorcami w lokalach*. Dz. U. 1998, nr 153, poz. 1002.
48. Sabin D. D., Sundaram A.: *Quality enhances reliability*. IEEE Spectrum, Feb. 1996.
49. *Słownik języka polskiego*. PWN, Warszawa 1983.
50. UNIPED - *Quality of service and its cost*. 91, en 50.3, 1991.
51. Wagnier J. P.: *The cost of power quality in the ITE industry*. Proceedings of 2nd International Conf. on Power Quality - PQA '92, Atlanta, Georgia, Sep. 28-30, 1992
52. *When the Juice gets loose*. Power Quality Assurance, Feb. 1993, 14.