

ZASTOSOWANIE ANALIZATORÓW PARAMETRÓW SIECI W ROZPROSZONYCH SYSTEMACH MONITOROWANIA JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W gospodarce rynkowej dostarczanie energii elektrycznej do odbiorcy jest realizowane podobnie jak dostawa towarów o określonej wartości użytkowej. Dlatego też jakość energii elektrycznej najczęściej jest rozumiana jako zespół cech oferowanego "towaru". Wprowadzenie przepisów z zakresu Prawa Energetycznego spowodowało opracowanie dokumentów normatywnych wykonawczych m.in. dotyczących standardów jakościowych obsługi klientów (odbiorców), przy jednoczesnym ustaleniu metod oceny skutków ekonomicznych powodowanych niedotrzymywaniem parametrów jakościowych energii elektrycznej u dostawców, odbiorców i w całym systemie wytwórczo-przesyłowym. W referacie przedstawione zostaną produkowane w OBR ME "METROL" analizatory parametrów sieci AJE 1 i AJE2, należące do grupy przyrządów wielofunkcyjnych, które realizują pomiary wielkości elektrycznych, a także zapewniają ocenę kosztów dostawy oraz przegląd wyznaczonych parametrów sieci elektroenergetycznej odnoszących się do jakości dostarczanej energii elektrycznej. Podane zostaną ponadto przykładowe propozycje stosowania tych przyrządów przy wielokryterialnej ocenie odkształceń napięć i prądów oraz przy monitorowaniu sieci elektroenergetycznych niskiego i średniego napięcia w systemach rozproszonych.

1. WPROWADZENIE

System elektroenergetyczny jest zbiorem urządzeń przeznaczonych do wytwarzania, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej, połączonych ze sobą funkcjonalnie w celu realizacji procesu ciągłej dostawy energii elektrycznej do odbiorców. Podzbiorem systemu elektroenergetycznego jest **sieć elektroenergetyczna**, którą ze względu na wypełniane funkcje można podzielić na dwa rodzaje:

- **sieć przesyłową**, której elementami są linie i stacje elektroenergetyczne, pozwalające łączyć duże centra wytwórcze energii elektrycznej z dużymi rejonami odbiorczymi (sieci o napięciach znamionowych między 200 a 1000 kV),
- **sieć rozdzielczą**, której zadaniem jest doprowadzenie energii elektrycznej do odbiorców np. przemysłowych, bytowo-komunalnych (sieci 110 kV, średnich napięć - SN i niskiego napięcia – nn).

W systemie elektroenergetycznym obserwuje się ostatnio włączanie do użytkowania przez znaczne grupy odbiorców takich odbiorników, które wprowadzają zaburzenia przebiegów napięć i prądów sieci elektroenergetycznej. Ta praktyka eksploatacyjna sprawia, że szczególnego znaczenia nabierają zagadnienia **jakości energii elektrycznej**. Wymaga to m.in.: przetwarzania informacji wybranej z wielu parametrów określających jakość energii elektrycznej, a także właściwego wyboru zastosowanych przyrządów i metod pomiarowych dostosowanych do wymagań określonych dla rozproszonego systemu monitorowania. Stanowi to wraz z określonym oprogramowaniem rozwiązanie w pełni komplementarne, uwzględniające pomiary, diagnostykę odkształceń napięć i prądów w poszczególnych odbiorach oraz rejestrację zdarzeń występujących w warunkach zaburzeń sieci

elektroenergetycznej. W OBR ME "METROL" opracowano i wdrożono do produkcji dwa analizatory parametrów sieci elektroenergetycznej: AJE1 - wersję tablicową i AJE2 - wersję przenośną.

Opisując odkształcenia, pojawiające się jako zaburzenia przebiegów czasowych napięć i prądów w sieci elektroenergetycznej, należy stwierdzić, że są one jednym z podstawowych problemów, jaki wyłonił się w ostatnich latach w odniesieniu do wymagań stawianych monitorowaniu jakości energii elektrycznej obok analizy kosztów dostawy i pomiaru podstawowych wielkości elektrycznych z wykorzystaniem takich urządzeń pomiarowych jak analizatory parametrów sieci elektroenergetycznej. Wynikiem tego jest wymaganie pomiaru występujących zaburzeń, jako odkształceń napięć i prądów wyrażonych obecnością w przebiegach odkształconych harmonicznych i interharmonicznych w sieciach elektroenergetycznych. Harmonicznymi napięciami lub prądami nazywa się takie sinusoidalne przebiegi (napięcia lub prądy), których częstotliwości f_n są wyższe od częstotliwości podstawowej f_1 wg zależności:

$$f_n \gg f_1 \quad (1)$$

gdzie: f_1 – częstotliwość podstawowa przebiegów w sieci elektroenergetycznej np. 50 Hz
Numerem n harmonicznej napięcia lub prądu określa się całkowitą krotność częstotliwości określonego przebiegu harmonicznego, odniesioną w stosunku do częstotliwości podstawowego przebiegu sinusoidalnego, tzn.:

$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad (2)$$

Do wskaźników charakteryzujących kształt przebiegów napięć i prądów można zaliczyć podane niżej współczynniki [1]:

- Współczynnik kształtu

$$k_u = \frac{U}{U_s} \quad \text{lub} \quad k_i = \frac{I}{I_s} \quad (3)$$

gdzie: U, I – wartości skuteczne przebiegu napięcia i prądu
 U_s, I_s – wartości średnie przebiegu napięcia i prądu
- Współczynnik szczytu

$$s_u = \frac{U_m}{U} \quad \text{lub} \quad s_i = \frac{I_m}{I} \quad (4)$$

gdzie: U_m, I_m – wartości szczytowe przebiegu napięcia i prądu
- Współczynnik niesinusoidalności napięcia i prądu

$$h_{Du} = \frac{U_1}{U} = \frac{U_1}{\sqrt{U_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}} \quad \text{lub} \quad h_{Di} = \frac{I_1}{I} = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}} \quad (5)$$

gdzie: U_1, I_1 – wartości skuteczne podstawowej harmonicznej napięcia i prądu,
 U_n, I_n – wartości skuteczne harmonicznych napięcia i prądu dla $n \geq 2$
- Współczynniki zawartości harmonicznych przebiegu napięcia i prądu

$$h_{1u} = \text{THDu} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \cdot 100\% \quad \text{lub} \quad h_{1i} = \text{THDi} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \cdot 100\% \quad (6)$$

(THD – total harmonic distortion)

$$h_u = \text{TDF}_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U} \cdot 100\% \quad \text{lub} \quad h_i = \text{TDF}_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I} \cdot 100\% \quad (6a)$$

(TDF - total distortion factor)

gdzie: h_{1u} lub h_{1i} – współczynnik zawartości harmonicznych odniesiony do wartości skutecznej podstawowej harmonicznej, h_u lub h_i – współczynnik zawartości harmonicznych odniesiony do wartości skutecznej przebiegu odkształconego

- Współczynnik udziału poszczególnych harmonicznych napięcia i prądu

$$p_{nu} = \frac{U_n}{U_1} \quad \text{lub} \quad p_{ni} = \frac{I_n}{I_1} \quad (7)$$

Podane wskaźniki charakteryzują odkształcenia przebiegów czasowych napięć i prądów występujące w sieciach elektroenergetycznych. Mogą być one wykorzystywane równolegle w diagnostyce zdarzeń towarzyszących pojawiającym się zaburzeniom. Jeśli rejestrujemy pojedyncze zdarzenie jako np. "zapad" napięcia sieci, czyli przekroczenia ustawionego dla napięcia minimalnego progu, to dysponujemy jedynie prostą informacją, że do tego doszło. Jednakże jednoczesna, a odnosząca się do kształtu przebiegów czasowych analiza wartości napięć i prądów, pozwala zdiagnozować, czym to zaburzenie zostało wywołane np.: włączeniem odbiornika dużej mocy lub też określić, że taki kształt mają przebiegi napięć w systemie zasilania. W stosowanych dotychczas jeszcze wymaganiach zawartych w wytycznych Instytutu Energetyki podano, że poziom odkształcenia napięcia dla normalnych warunków pracy wyrażony jest przez współczynnik zawartości harmonicznych h_{pd} (tj. THD_u). Podano tam, że zaleca się aby dla danego punktu sieci w czasie 90% doby nie przekraczać następujących jego wartości:

- w sieciach 110 kV $h_{pd} = 1,5\%$
- w sieciach rozdzielczych SN $h_{pd} = 5,0\%$
- w sieciach rozdzielczych nn $h_{pd} = 7,0\%$ (obecnie obowiązuje 8,0 %)

2. ZADANIA SYSTEMU MONITOROWANIA KOSZTÓW DOSTAWY, PARAMETRÓW SIECI I JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Zasilające sieci elektroenergetyczne stanowią ważną część systemu elektroenergetycznego, ponieważ ich podstawowe zadanie polega na przesyłaniu i dostarczaniu energii elektrycznej o odpowiedniej **jakości** od wytwórcy do użytkownika w sposób niezawodny i bezpieczny. Dostarczanie energii elektrycznej powinno być realizowane z zachowaniem wymagań dotyczących: dopuszczalnego poziomu napięcia, zmian jego częstotliwości oraz parametrów określających odkształcenia sinusoidalnych napięć i prądów. W Polsce, podobnie jak w innych krajach toczy się od kilku lat dyskusja dotycząca terminu: *jakość energii elektrycznej*. Obecnie za najbardziej trafną uważana jest taka definicja:

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

Ustalenie znaczących parametrów napięcia zasilającego w punkcie przekazywania energii do odbiorców, w publicznych sieciach niskiego i średniego napięcia dla normalnych warunków ruchowych określone zostało w normie PN-EN 50160. Opisane parametry napięcia zmieniają się w czasie normalnej pracy sieci na skutek zmian obciążenia oraz występujących zwarców spowodowanych wpływami zewnętrznymi. Wielu zjawisk mających wpływ na napięcie zasilające nie można przewidzieć, stąd też trudne jest podanie stałych

wartości wybranych parametrów. Dla niektórych parametrów np. wahań i przerw napięcia przyjęto, że zjawiska te w normie zostaną ujęte jako wartości odniesienia. Ponieważ, dostarczanie i odbiór energii elektrycznej za pośrednictwem wspólnej sieci elektroenergetycznej następuje na podstawie umowy pomiędzy dostawcą a użytkownikiem, to także w niej powinna być określona jakość i niezawodność dostarczanej energii oraz odpowiedzialność za niedotrzymanie warunków umowy. Wymaga to prowadzenia pomiarów i wyznaczania normatywnych parametrów jakości energii elektrycznej. Pomiary tych wybranych parametrów w monitorowanym obwodzie energetycznym przy przepływie energii pomiędzy źródłem, którym jest najczęściej sieć elektroenergetyczna, a odbiornikiem lub grupą odbiorników realizują analizatory jakości energii elektrycznej. Przyrządy te spełniają warunki optymalnego doboru *sprzętu pomiarowego i oprogramowania* dla rozproszonego systemu monitorowania jakości energii elektrycznej, dostosowanego do wybranych procedur diagnostycznych takich jak:

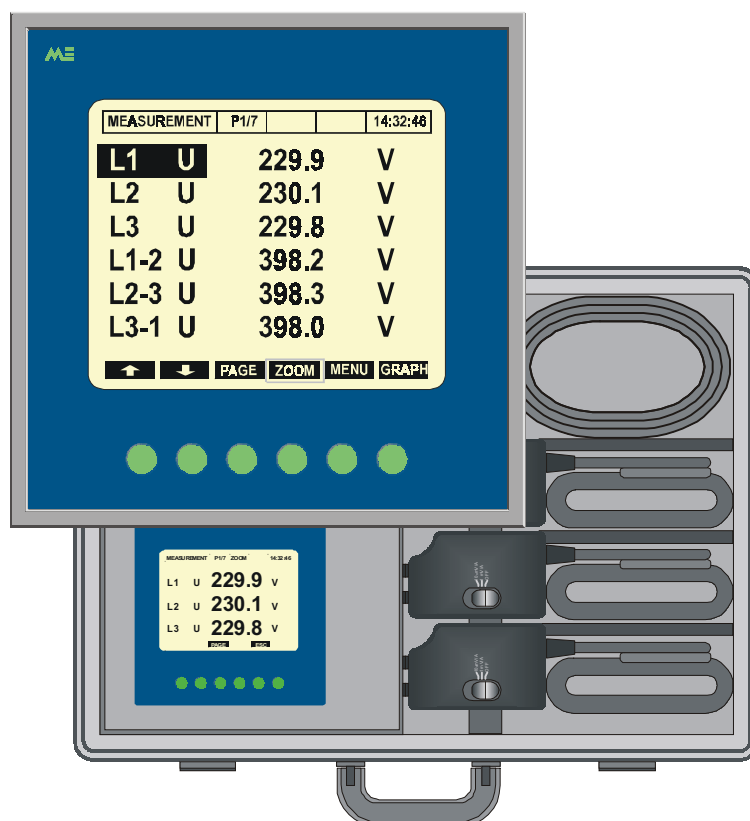
- pomiary wielkości charakteryzujących stan odbiorników energii elektrycznej w czasie rzeczywistym,
- archiwizowanie wielkości mierzonych i wyznaczanych parametrów,
- przetwarzanie zebranych wartości wielkości mierzonych, określających stany odbiornika lub grupy odbiorników energii elektrycznej,
- wizualizację mierzonych wielkości i prezentację graficzną wybranych parametrów.

Przykładem uwzględnienia wielu problemów praktycznych jest obowiązująca norma PN-EN 50160, która określa kształt krzywej napięcia, dopuszczalne napięcia, symetrię faz, częstotliwość itp. Za wartości graniczne parametrów uznaje się przy tym wartości, które są zachowane w 95% spodziewanego czasu pracy. Norma stawia określone wymagania dla sieci energetycznej niskiego i średniego napięcia, gdzie trzeba wykonywać pomiary wartości danego parametru przynajmniej przez tydzień. Zbiór takich wyników pozwala otrzymać uporządkowany wykres mierzonego parametru. Monitorowanie **kosztów dostawy** i jakości energii elektrycznej przez odbiorcę w ramach rozproszonego systemu jest niezbędne wszędzie tam, gdzie opłaty za energię elektryczną są głównym czynnikiem kosztów procesu technologicznego, a ich optymalizacja powinna być jednym z istotnych celów przedsiębiorstwa. Ponadto, korzystanie z rozbudowanej infrastruktury w zakresie najnowszych technologii informatycznych tj. telekomunikacji i przetwarzania danych wprowadza wysokie wymagania stawiane dostawcy, aby jakość dostarczanej energii elektrycznej była jak najwyższa. Obserwowany jest pewien trend wzrostu wymagań stawianych współczesnym układom zasilania odbiorców, gdzie istotne znaczenie ma wysoki współczynnik pewności zasilania. Rozproszone systemy monitorowania jakości energii elektrycznej i kosztów jej dostawy są niezwykle pomocnym narzędziem w ocenie możliwych do uzyskania efektów ekonomicznych przy gospodarowaniu dostarczaną energią elektryczną (w oparciu o wiarygodne i pełne dane w obszarach źródeł kosztów).

3. ANALIZATORY PARAMETRÓW SIECI AJE1 I AJE2 - PODSTAWOWE FUNKCJE I PARAMETRY TECHNICZNE

Uwzględniając potrzebę wykonywania wieloparametrowych pomiarów wielkości określających jakość energii elektrycznej, zgodnie z przyjętymi i wprowadzanymi do stosowania normami oraz publikacjami (wg nowych postanowień prawnych), wyposażono dotychczas produkowane w OBR ME „METROL” analizatory parametrów sieci: **AJE1** - tablicowy i **AJE2** - przenośny, pracują w trybie przesyłania próbek mierzonych napięć i prądów odczytanych do mikrokomputera łączem interfejsowym. Pozwoliło to wykorzystać przesyłane dane w programie wizualizacyjnym przyrządowym METROL40 i znacznie rozszerzyć możliwości pomiarowe tych przyrządów. Jest to rozwiązanie komplementarne, uwzględniające pomiary, diagnostykę odczytanych napięć i prądów oraz rejestrację zdarzeń występujących w warunkach zaburzeń sieci elektroenergetycznej. Podstawowe parametry techniczne analizatorów parametrów sieci AJE1 i AJE2 przedstawiono poniżej.

Sygnały wejściowe:	
- prądy fazowe	1 A, 5 A (X/5 A)
- napięcia fazowe	100/√3 V (X/100/√3 V) 127 V, 230 V, 400 V
Zakresy mocy wybrane z ciągu liczbowego:	1; 1,2; 1,5; 2; 4; 5; 6; 8 W, kW, MW, var, kvar, Mvar, VA, kVA, MVA
Klasa dokładności:	
prąd, napięcie	0,5
moc czynna, bierna, pozorna	0,5
częstotliwość	0,1
współczynniki mocy oraz kąta przesunięcia fazowego	1
energii czynnej	1 wg IEC 1036
Pamięć wyników pomiarów	nieulotna
Pole odczytowe	wskaźnik graficzny LCD
Napięcie probiercze izolacji wg PN-IEC 1010	3 kV
Stopień ochrony obudowy wg PN/E-08106	IP54 od strony tablicy IP20 od strony zacisków
Zasilanie U_{zas}	220 V, 50 Hz
Pobór mocy w obwodzie zasilania	≤ 10 V·A
Wymiary gabarytowe:	AJE1 144 x 144 x 110 mm AJE2 385 x 490 x 144 mm



Rysunek 1. Analizatory parametrów sieci: AJE1 tablicowy, AJE2 przenośny

Podstawowe wielkości mierzone dla AJE1 i AJE2

Wielkości mierzone:

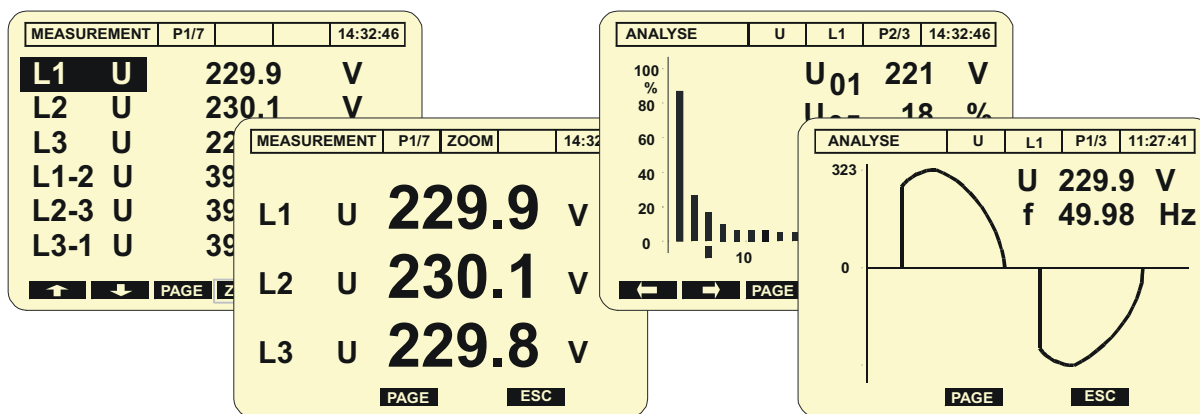
- napięcia fazowe	(<i>true RMS</i>)	U_1, U_2, U_3
- prądy fazowe	(<i>true RMS</i>)	I_1, I_2, I_3
- napięcia międzyfazowe		U_{12}, U_{23}, U_{31}
- moce czynne faz		P_1, P_2, P_3
- moc czynna trójfazowa		P
- moce bierne faz		Q_1, Q_2, Q_3
- moc bierna trójfazowa		Q
- moce pozorne faz		S_1, S_2, S_3
- moc pozorna trójfazowa		S
- moce czynne 15-min. faz		P_{S1}, P_{S2}, P_{S3}
- moc czynna 15-min. trójfazowa		P_S
- współczynniki mocy czynnej faz		PF_1, PF_2, PF_3
- współczynnik mocy czynnej		PF
- współczynniki mocy biernej faz		$\sin\varphi_1, \sin\varphi_2, \sin\varphi_3$
- współczynnik mocy biernej		$\sin\varphi$
- kąty przesunięć fazowych faz		$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$
- kąt przesunięcia fazowego		φ
- tangens kąta φ		$\text{tg}\varphi$
- wartości maksymalne napięć		U_{m1}, U_{m2}, U_{m3}
- wartości maksymalne prądów		I_{m1}, I_{m2}, I_{m3}
- częstotliwość		f
- energia mocy czynnej		AP
- energia mocy biernej		AQ

Wskaźniki charakteryzujące kształt, asymetrię oraz niezrównoważenie napięć i prądów:

- współczynniki szczytu napięć	ksu_1, ksu_2, ksu_3
- współczynniki szczytu prądów	ksi_1, ksi_2, ksi_3
- współczynniki kształtu napięć	kku_1, kku_2, kku_3
- współczynniki kształtu prądów	kki_1, kki_2, kki_3
- wartości skuteczne harmonicznymi napięcia	$U_k, k=1...40$
- wartości skuteczne harmonicznymi prądu	$I_k, k=1...40$
- współczynniki zawartości harmonicznymi napięcia	THD_u, TDF_u
- współczynniki zawartości harmonicznymi prądu	THD_i, TDF_i
- współczynnik niesymetrii napięć	K_u
- wskaźnik kolejności faz	

Współczynniki charakteryzujące wahania oraz odchylenia napięć i częstotliwości przy rejestracji zdarzeń:

- odchylenia napięcia	ΔU
- wahania napięcia	δU
- zapady napięcia	δU_z
- wahania częstotliwości	δf
- odchylenia częstotliwości	Δf



Na prezentowanych powyżej polach wyświetlacza graficznego LCD wskazywane są wybrane wielkości mierzone analizatorami parametrów sieci AJE1 i AJE2. Ich pełne zestawienie podano powyżej.

4. ZDALNY ODCZYT, PREZENTACJA WYNIKÓW POMIARÓW I PARAMETRÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Zadanie kompleksowego zarządzania jakością energii elektrycznej lub inaczej jakością napięcia zasilania jest pojęciem obejmującym zarówno pomiar, wizualizację i rejestrację poszczególnych parametrów sieci elektroenergetycznej, jak i pełną ocenę skutków występowania przekroczeń, poprzez ocenę wpływu odpowiednich działań zmierzających do ustalenia przyczyn ich wystąpienia. Wymaga to odpowiedniego wyposażenia technicznego np. poprzez dobór wymaganych do tego celu przyrządów pomiarowych (analizatorów jakości energii elektrycznej) oraz elementów wykonawczych, do których można zaliczyć: zespoły baterii kondensatorów (do kompensacji mocy biernej), filtry wyższych harmonicznnych, filtry aktywne lub generatory zasilania rezerwowego. W wielu przypadkach są to elementy już występujące i użytkowane w obiektach przemysłowych jako urządzenia autonomiczne, lecz niepowiązane w ramach systemu zarządzania jakością energii elektrycznej. Dlatego też w zarządzaniu jakością energii elektrycznej (jakością napięcia zasilania) podstawowym celem jest zbieranie niezbędnych informacji w procesie pomiaru i kontroli zmian poszczególnych parametrów sieci elektroenergetycznej oraz rejestracja występujących zdarzeń w celu późniejszej analizy. Ten bezpośredni dostęp do wyników pomiarów oraz wypracowanych w przyrządach danych, a także czytelna ich prezentacja mogą przyspieszyć podejmowanie niezbędnych działań.

Istotną cechą instalowanych na obiektach energetycznych przyrządów pomiarowych np. analizatorów parametrów sieci jest z punktu widzenia zarządzania jakością zasilania dostępność do zebranych wyników pomiarów i informacji oraz czytelna ich prezentacja. Ponieważ standardem jest obecnie wyposażanie analizatorów parametrów sieci w łącza komunikacji szeregowej np. RS-485 i wszelkiego rodzaju możliwości połączeń do systemu informatycznego, to wraz z oprogramowaniem zapewniającym wizualizację wszystkich niezbędnych wyników w wybranym punkcie pomiarowym użytkownik otrzymuje możliwości analizowania na bieżąco wybranych parametrów poprzez odczyt na odległość. Nie mniej ważna jest także czytelna prezentacja dużej liczby parametrów, jakie narzucają warunki zarządzania jakością energii elektrycznej w miejscu zainstalowania takiego wielofunkcyjnego przyrządu z wykorzystaniem wyświetlacza np. w podłączonym na odbiorze analizatorze parametrów sieci, chociaż należy to raczej traktować jako funkcję pomocniczą w bieżącej ocenie wyników. Stosowane są najczęściej do tego celu wyświetlacze graficzne LCD, które umożliwiają wyświetlanie wartości liczbowych lub prezentacji graficznych wyników w postaci wykresów, histogramów, oscylogramu wartości chwilowych, listy zdarzeń z filtracją itp. W takie możliwości wyposażono właśnie analizatory parametrów sieci AJE1 i AJE2 produkowane w OBR ME "METROL", gdzie zastosowano wyświetlacz graficzny wyposażony

w funkcję podświetlania na określony czas odczytu. Ponieważ jakość energii elektrycznej odnoszącej się do zasilania urządzeń (lub krócej - jakości napięcia zasilania) jest określana wieloma parametrami, to w celu ujednoczenia znaczeń i wartości poszczególnych parametrów wprowadzane zostały i są stosowane odpowiednie dokumenty w postaci norm i rozporządzeń, w których określenie cech jakościowych jest podstawowym wymaganiem. Sporządzane w ten sposób wyniki pomiarów, przygotowane w odpowiedni sposób do prezentacji np. z wykorzystaniem odpowiedniego programu wizualizacyjnego odgrywają coraz większą rolę w procesie diagnostycznym kontrolowanego obiektu i ułatwiają zlokalizowanie przyczyny powstawania zaburzeń w sieci elektroenergetycznej. Wynika stąd, że kompleksowe zarządzanie jakością energii elektrycznej przy jak dużej liczbie przepływających i zależnych od siebie informacji oraz szybki dostęp do wyników pomiarów i danych są możliwe tylko dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu - przyrządowemu lub zarządzającemu w ramach rozproszonego systemu monitorowania.

5. OPROGRAMOWANIE WIZUALIZACYJNE PRZYRZĄDOWE

Jesteśmy uczestnikami ciągłego rozwoju technicznego w zakresie wytwarzania, przesyłu i użytkowania energii elektrycznej, ale jednocześnie stosowanie nowych rozwiązań technicznych jest ograniczane warunkami zastosowań technologicznych, głównie w odniesieniu do elementów przełączających duże moce, których koszty wymiany lub, modernizacji w systemie elektroenergetycznym są wysokie. Tak więc nie same tylko warunki techniczne, ale przede wszystkim ograniczenia ekonomiczne (optymalizacji kosztów wytwarzania, przesyłu i użytkowania energii elektrycznej) powodują, że często są stosowane rozwiązania tańsze, wprowadzające jednak w praktyce eksploatacyjnej więcej skutków ubocznych, co z kolei wymusza konieczność zainstalowania dodatkowego sprzętu do ich ograniczania. Coraz ważniejsza jest też jakość dostarczanej energii elektrycznej do odbiorcy, gdy wpływa ona na poprawność działania i niezawodność pracy użytkowanych urządzeń elektrycznych w procesie technologicznym oraz na warunki ich wzajemnego oddziaływania. Jednym z czynników mającym stymulować zachowanie wymaganych parametrów określających jakość energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym jest wprowadzenie wymagań jakościowych i norm, które definiując poszczególne charakterystyczne parametry, wartości znamionowe i dopuszczalne zakresy wahań tych parametrów ustalają standardy "towaru", jakim jest energia elektryczna. Wiele parametrów związanych z jakością napięcia zasilania czy kompatybilnością elektromagnetyczną znajdują swój opis w normach. Podstawowe parametry opisujące jakość energii elektrycznej określone w/w normami to:

- częstotliwość sieci, jej napięcie znamionowe U_n oraz asymetria napięć,
- współczynnik zawartości harmonicznych THD (dla napięć i prądów) określający odkształcenia przebiegów sygnałów w sieci elektroenergetycznej,
- poszczególne składowe harmoniczne napięć i prądów oraz interharmoniczne,
- współczynnik mocy $\text{tg}\varphi$ lub $\text{cos}\varphi$,

Zaburzenia występujące w sieci elektroenergetycznej to najczęściej:

- przysiady lub wzrosty napięcia oraz zaniki napięcia,
- wahania napięcia objawiające się zjawiskiem migotania,
- szybkie zmiany napięcia i zjawiska przepięć,
- asymetria napięcia,
- przerwy w zasilaniu,
- przekroczenia współczynnika mocy i mocy zamówionej,
- przekroczenie zawartości poszczególnych harmonicznych oraz współczynnika THD,

Ważnym zagadnieniem w kontroli parametrów sieci energetycznej jest zarządzanie tak dużą ilością danych, wykonywaniem ich archiwizacji, prowadzenie wizualizacji oraz raportowania. Jest to możliwe do osiągnięcia dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu instalowanemu na komputerach klasy PC, które jest oprogramowaniem przyrządowym.

Program przyrządowy METROL40, wspomagający w pełni analizatory parametrów sieci AJE1 i AJE2 realizuje takie zadania. Oprogramowanie to stanowi niezbędne uzupełnienie tych wielofunkcyjnych przyrządów pomiarowych i w bardzo istotny sposób wpływa na ich funkcjonalność w odniesieniu do całego systemu.

Program METROL 40 jest programem przeznaczonym do współpracy z analizatorami jakości energii serii AJE i miernikami parametrów sieci MPS. Urządzenia te wyposażone są w porty komunikacyjne przeznaczone do współpracy z komputerem realizując przesyłanie danych z wykorzystaniem protokołów OBRBUS lub MODBUS. Rozwiązania zastosowane zarówno w urządzeniach pomiarowych (analizatorach parametrów sieci) jak też w oprogramowaniu pozwoliły na wykonanie zestawu mającego duże możliwości w kontrolowaniu parametrów jakości energii elektrycznej pod względem jej zgodności z normą PN-EN 50160. Program został tak zaprojektowany, aby można było go stosować zarówno w jednorazowych (przez określony czas) badaniach parametrów sieci elektroenergetycznej jak i ciągłych. Wszystkie wyniki pomiarów są rejestrowane w bazie danych i możliwa jest ich pełna analiza. Można je zaprezentować w postaci tabeli danych jak i w postaci graficznej (wykresów) o rozbudowanych możliwościach analizy przebiegów. Wszystkie wyniki analiz można wydrukować w postaci raportów. Dodatkowo program METROL 40 został wyposażony w elementy służące diagnostyce systemu monitorowania parametrów jakości energii elektrycznej. Do tego celu wykorzystana została sygnalizacja transmisji w postaci czerwonego i zielonego prostokąta znajdującego się w linii statusu. Dodatkowo, dla informowania użytkownika o występujących problemach w komunikacji, wszystkie działania zarówno prawidłowe jak i nieprawidłowe są rejestrowane w oknie alarmów. W celu łatwego korzystania z programu wizualizacyjnego przyrządowego METROL 40 zastosowano system słupków narzędziowych, które pozwalają w bardzo prosty sposób poruszać się pomiędzy poszczególnymi opcjami programu.

Opcja programu	OPIS
Wizualizacja wyników	WIZUALIZACJA WYNIKÓW BEZPOŚREDNIO ODCZYTANYCH Z URZĄDZEŃ I ANALIZA HARMONICZNYCH ON-LINE
Pobieranie danych z bufora urządzenia	POBIERANIE ZAREJESTROWANYCH DANYCH Z MIERNIKA MPS (PO ZAKOŃCZENIU PRZEZ NIEGO REJESTRACJI DANYCH) PRACUJĄCEGO W TRYBIE AUTONOMICZNEGO REJESTRATORA PARAMETRÓW ENERGETYCZNYCH
Pobieranie zdarzeń sieci energetycznej	POBRANIE ZDARZEŃ SIECI ENERGETYCZNEJ Z ANALIZATORA AJE, KTÓRY PRACOWAŁ, JAKO REJESTRATOR ZDARZEŃ SIECI ENERGETYCZNEJ
Raporty	ZAWIERA WYKAZ WSZYSTKICH BADAŃ WRAZ Z WYKAZEM ICH CZASU ROZPOCZĘCIA I ZAKOŃCZENIA. Z ZEBRANYCH DANYCH MOŻLIWE JEST GENEROWANIE RAPORTÓW Z UWZGLĘDNIENIEM POTRZEB UŻYTKOWNIKA
Ustawienia programu	W RAMACH USTAWIEŃ NALEŻY WYRÓŻNIĆ USTAWIENIA DOTYCZĄCE WSPÓŁPRACUJĄCEGO PRZYRZĄDU (PRĘDKOŚĆ TRANSMISJI, ADRES PRZYRZĄDU ITD.) ORAZ USTAWIENIA PROGRAMU (ZAKRESY ALARMOWE DLA POSZCZEGÓLNYCH WIELKOŚCI LUB HARMONICZNYCH I INTERWAŁ CZASOWY REJESTRACJI DANYCH)

Dla programu wizualizacyjnego przyrządowego METROL 40 przyjęto wprowadzenie realizowanych funkcji zgodne z obowiązującymi normami, a odnoszącymi się do kompatybilności elektromagnetycznej w takim zakresie, aby "zestaw pomiarowy" złożony z analizatora parametrów sieci serii AJE i programu METROL 40 umożliwiał sprawdzenie wszystkich wymaganych parametrów sieci elektroenergetycznej.

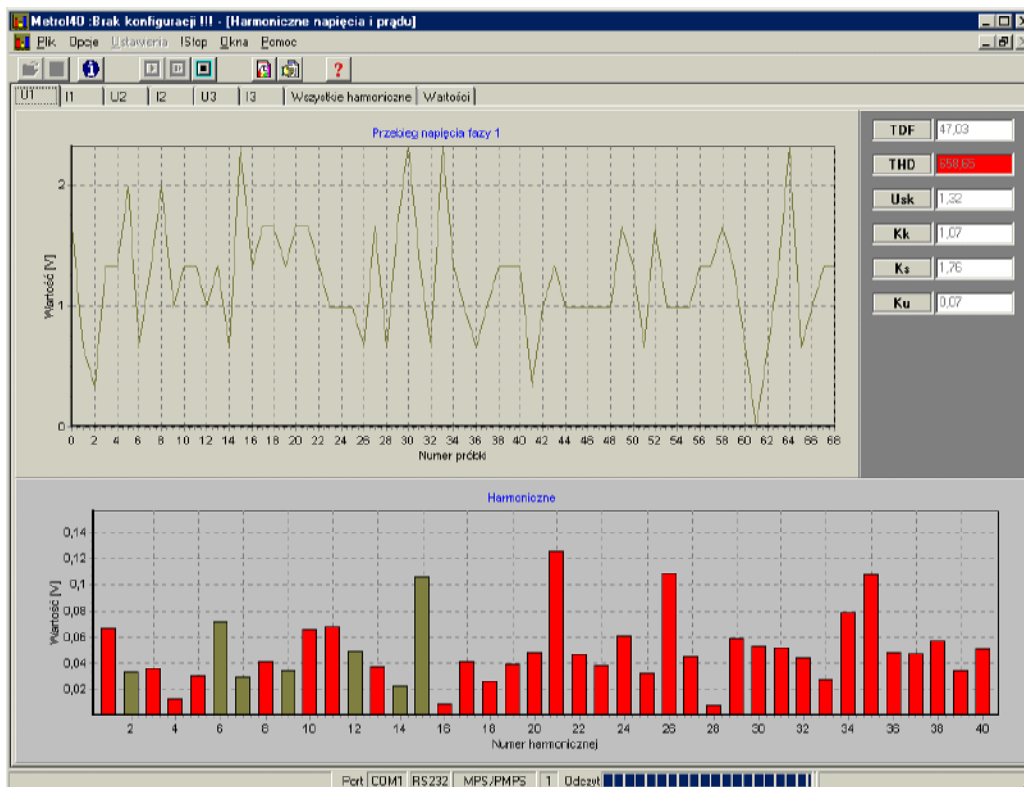
Tabela 1. Wykaz norm

Norma	Dotyczy
PN-EN 50160	Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych
IEC 61000-2-2	Graniczne wartości przy pomiarze harmonicznych
IEC 61000-2-4	Kompatybilność elektromagnetyczna. Środowisko – poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych
IEC 61000-3-2	Kompatybilność elektromagnetyczna. Dopuszczalne poziomy. Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający ≤ 16 A)
IEC 61000-3-3	Kompatybilność elektromagnetyczna. Dopuszczalne poziomy. Ograniczenia wahań napięcia i migotania światła powodowanych przez odbiorniki prądzie znam. ≤ 16 A. W sieciach zasilania nn.
PN-IEC 1000-3-3	

Przykładowe funkcje, odnoszące się do wizualizacji wyników dla przebiegów prądów i napięć w sieci elektroenergetycznej w programie METROL 40 pokazano na rysunku 2 Po rozpoczęciu rejestracji wyniki pomiarów analizatora parametrów sieci serii AJE można podejrzeć na panelu wizualizacyjnym, gdzie przedstawione są przebiegi napięć i prądów dla poszczególnych faz. Na wykresach można również otrzymać harmoniczne napięć i prądów.

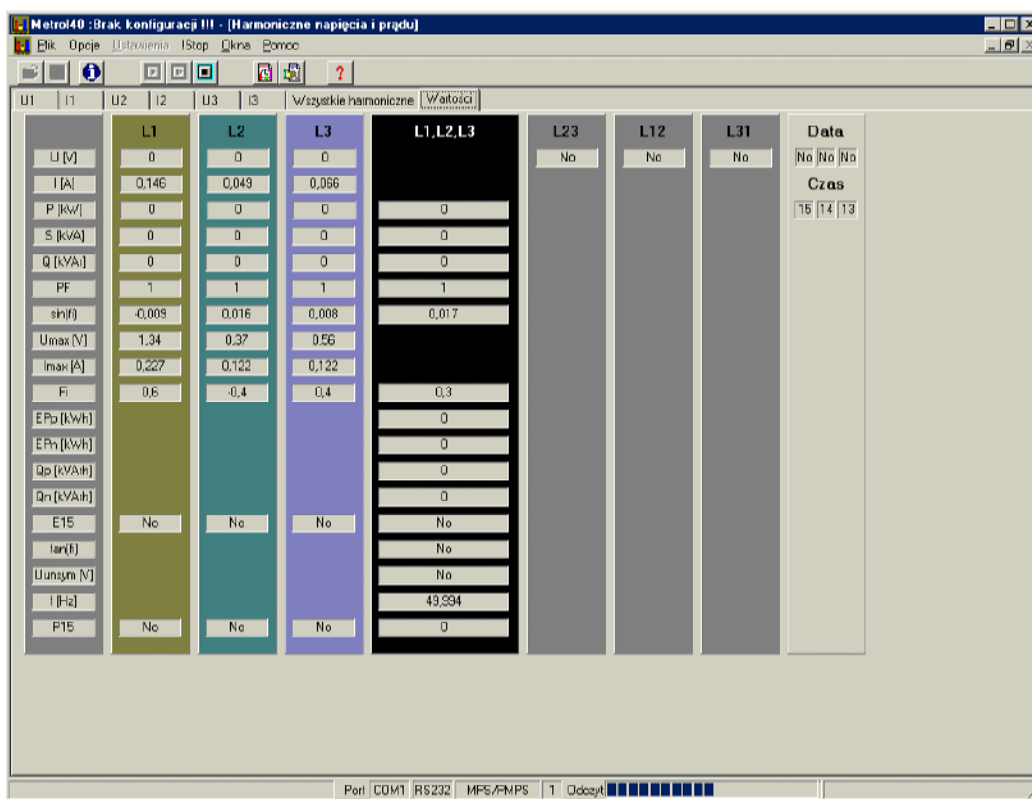
Panel wizualizacji wyników został podzielony na zakładki:

- Napięcia i prądy z przebiegami harmonicznymi dla poszczególnych faz w sieci,
- Wykaz wartości wszystkich zmiennych.



Rysunek 2. Wizualizacja wyników dla przebiegów prądów i napięć w sieci elektroenergetycznej

Wizualizacja wyników pomiarów w programie METROL 40 umożliwia użytkownikowi dostarczenie bieżącej informacji o parametrach sieci elektroenergetycznej. Przekroczenie wartości granicznych przez jakąkolwiek z harmonicznych powoduje sygnalizację w postaci zmiany koloru na czerwony.



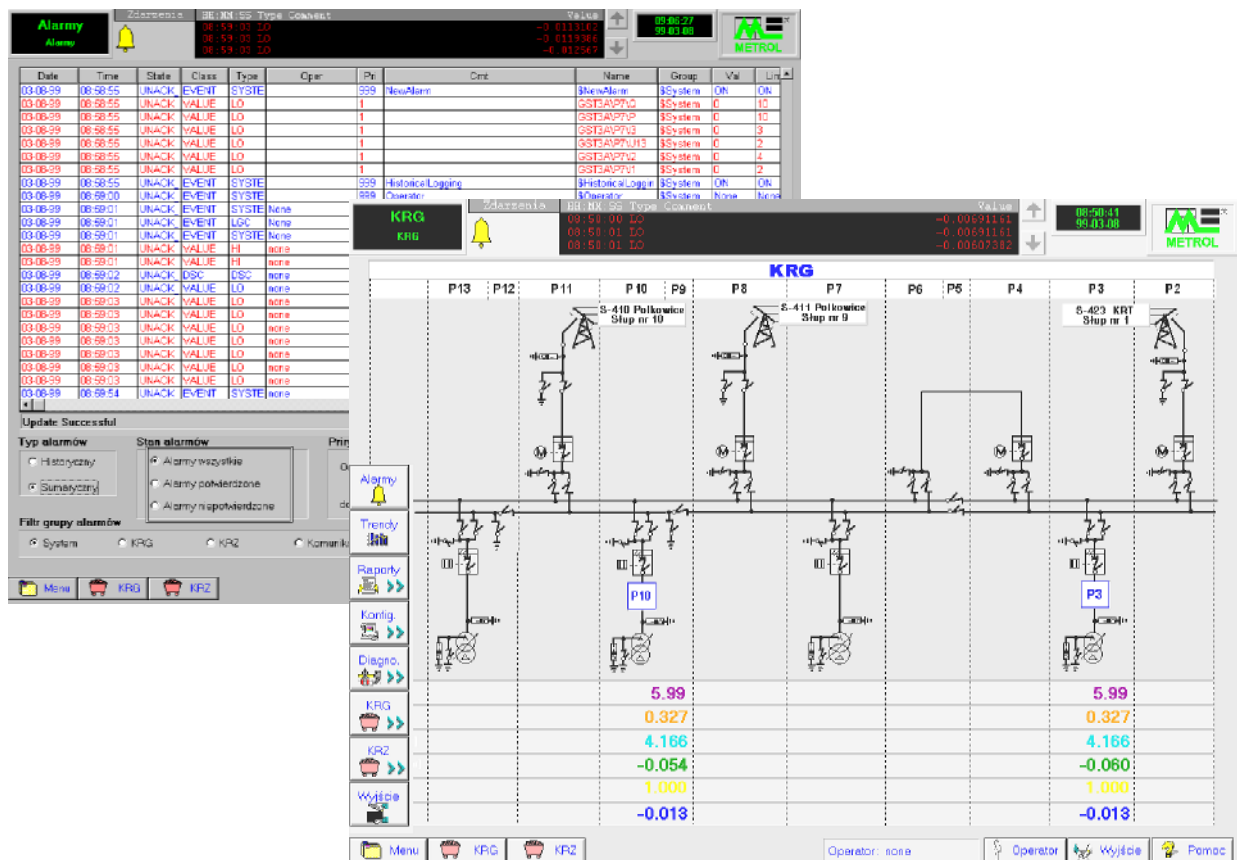
Rysunek 3. Okno główne programu METROL 40 (wizualizacja wyników pomiarów)

Tabela 2. Opcje menu dla wizualizacji wyników pomiarów - menu główne *Opcje*

Opcja menu	Ustawienie	Komentarz
Podświetlanie wartości ->	Przez zaznaczenie	Podświetlanie wartości harmonicznej po kliknięciu na niej myszką
	Automatyczne	Podświetlanie automatyczne wartości po zatrzymaniu na słupku myszki
	Wszystkie	Wyświetlenie wartości harmonicznych
Rodzaj widma	Amplitudowe	Wyświetlanie wartości amplitud poszczególnych harmonicznych
	Fazowe	Wyświetlanie widma fazowego
	Amplitudowe %	Wyświetlanie widma harmonicznych (% wartości harmonicznych w odniesieniu do harmonicznej podstawowej)
Ilość harmonicznych		Ilość wartości harmonicznych min 10 do maks. 40
Bez pierwszej harmonicznej		Wyświetlenie harmonicznych bez pierwszej harmonicznej
Wykresy 3D		Wyświetlanie widma w postaci trójwymiarowych słupków

6. OPROGRAMOWANIE ZARZĄDZAJĄCE W ROZPROSZONYM SYSTEMIE MONITOROWANIA

Ważnym zagadnieniem w kontroli parametrów jakości energii elektrycznej w ramach rozproszonych systemów monitorowa jest zarządzanie dużą ilością danych, archiwizacją wyników pomiarów, czytelną wizualizacją oraz dostępnością wymaganych raportów za określony czas obserwacji sieci elektroenergetycznej. Umożliwia to oprogramowanie zarządzające monitorowania kosztów i jakości energii elektrycznej, które obok dostarczania danych wielu użytkownikom powinno zagwarantować także, aby system monitorowania był wiarygodny, niezawodny, optymalnie zestawiony i kompleksowy. Na jego wiarygodność składa się gwarancja jednoznacznego wykrywania zaburzeń i awarii w odniesieniu do określonego punktu pomiarowego, autoryzowana kontrola dostępu do danych, dokumentowanie zmian systemowych (konfiguracji i nastaw), synchronizacji czasowej i realizacji funkcji autodiagnostycznych co do jego stanu. Podstawą każdego systemu monitorowania jakości energii elektrycznej są pomiary pozyskiwane z wyznaczonych punktów w układzie zasilania, których lokalizacja wynika z wcześniej opracowanej koncepcji. Jest oczywiste, że w pierwszej kolejności należy monitorować wszystkie punkty dostawca-odbiorca energii elektrycznej. W następnej kolejności to punkty podłączeń wytypowane wg przyjętej koncepcji analizy kosztów i wspomaganie diagnostycznego. Wdrożona zgodnie z określoną koncepcją konfiguracja systemu monitorowania jakości energii elektrycznej umożliwia zebranie i dostęp do rzeczywistych danych, co pozwala na wykonanie wiarygodnej oceny całego systemu zasilania i przyjęcia racjonalnych warunków zarządzania gospodarką energetyczną monitorowanego obiektu. Realizację tych zadań zapewnia opracowana w OBR ME "METROL" grupa programów wizualizacyjnych dostosowanych do wielu obiektów przemysłowych. Przedstawicielem, który może mieć szersze zastosowanie w gospodarce energią elektryczną i monitorowaniem podstawowych parametrów jakościowych jest program wizualizacyjny METROL 65. Przykładowe okna programu przedstawiono na rysunku 4.

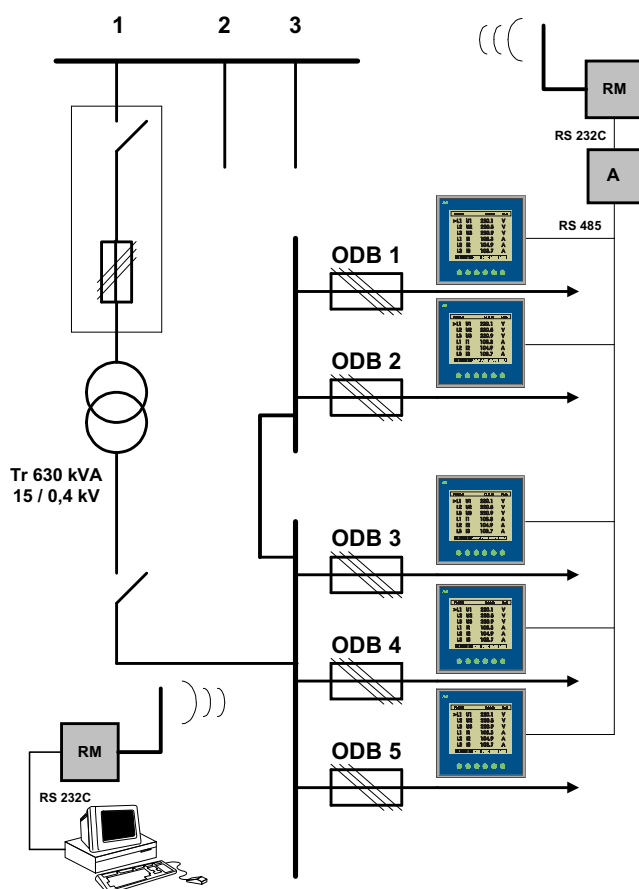


Rysunek 4. Okna programu METROL 65 (wizualizacja wyników pomiarów)
Podstawowe funkcje realizowane w programie wizualizacyjnym METROL 65:

- optymalizacja zamówień mocy ,
- minimalizacja kosztów,
- pomoc w lokalizacji awarii,
- rozliczanie wydziałów pomiędzy sobą,
- stały nadzór mocy pobieranej "strażnik mocy",
- wspomaganie w zakresie gospodarowania energią bierną,
- wizualizacja struktury pomiarowej,
- metody raportowania dostosowane do potrzeb użytkownika,
- dyscyplinowanie służb dyżurnych (dyspozytorów mocy),
- archiwizacja danych,
- bilansowanie mocy i energii,
- pomiar i rejestracja parametrów sieci energetycznej,
- rejestracja zdarzeń w sieci elektroenergetycznej,
- analiza energochłonności wydziałów produkcyjnych,
- udostępnianie danych innym użytkownikom.

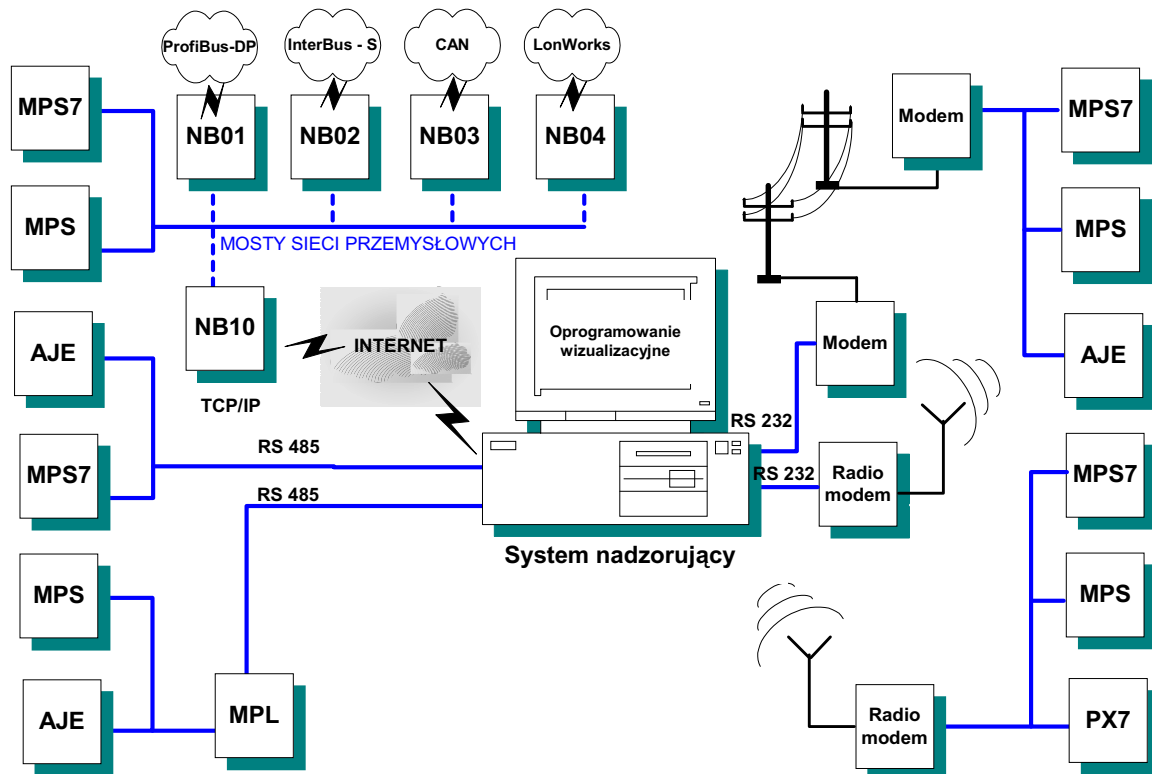
7. ROZPROSZONE SYSTEMY MONITOROWANIA PARAMETRÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ - PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ AJE1

Rozproszone systemy monitorowania parametrów jakości energii elektrycznej z wykorzystaniem analizatorów parametrów sieci serii AJE w koncepcji ogólnej przedstawiono na rysunku 5



Rysunek 5. Rozproszony system monitorowania jakości energii elektrycznej - koncepcja ogólna

Kompleksowe rozwiązanie w zakresie budowy rozproszonego systemu monitorowania jakości energii elektrycznej z wykorzystaniem analizatorów parametrów sieci serii AJE oraz innych przyrządów pomiarowych produkowanych przez OBR ME "METROL" przedstawiono na rysunku 6.



Rysunek 6. Rozproszony system monitorowania jakości energii elektrycznej - rozwiązanie kompleksowe z wykorzystaniem analizatorów parametrów sieci serii AJE oraz innych przyrządów produkowanych w OBR ME "METROL"

8. PODSUMOWANIE

Wymagania stawiane współczesnym układom zasilania dotyczą głównie wysokiego poziomu pewności zasilania i stale wzrastają. Popyt na takie systemy zwiększa się i wzbogaćana jest oferta sprzętowa oraz programowa do ich budowy. Wiele firm wykorzystuje najnowsze technologie z zakresu telekomunikacji, przetwarzania danych, prowadzenia komunikacji satelitarnej oraz wielu usług internetowych i zużywa coraz więcej energii elektrycznej, przy jednoczesnym wymaganiu od dostawcy, aby jej jakość była jak najwyższa. Obecnie jednym z głównych czynników kosztowych są w wielu przedsiębiorstwach opłaty za energię elektryczną. Stąd też niezwykle ważną, ale chyba jeszcze niedocenianą cechą systemu monitorowania jakości energii elektrycznej jest jego przydatność diagnostyczna. System taki, wyposażony w takie przyrządy pomiarowe wielofunkcyjne jak analizatory parametrów sieci serii AJE pozwala poznać, na podstawie gromadzonych wyników pomiarów dysponować informacjami o przebiegu zjawisk zaburzających poprawną pracę układu zasilania i umożliwia zrozumienie przyczyn ich powstawania. Pozwala to także opracować plan działań zapobiegawczych, a tym samym w uzasadniony ekonomicznie sposób nie dopuścić do wystąpienia poważnych awarii, których skutki finansowe niejednokrotnie mogą być znacznie wyższe od kosztów zainstalowania rozproszonego systemu monitorowania jakości energii elektrycznej.

9. LITERATURA

1. Ustawa z dnia 4 kwietnia 1997 r. „Prawo energetyczne”. Dziennik Ustaw Nr 54 z dnia 4 czerwca 1997 r. poz. 348.
2. Kowalski, Z., Hanzelka, Z.: Kompatybilność elektromagnetyczna w dokumentach normalizacyjnych. Materiały IV Szkoły – Konferencji EPN'98. Zielona Góra 1998.
3. European Standard EN 50160: Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1994.
4. Mieński, R., Pawełek, R., Wasiak I.: Badania jakości energii elektrycznej w warunkach przemysłowych. Materiały IV Szkoły – Konferencji EPN'98. Zielona Góra 1998.
5. Maciejewski Z.: Dziś i jutro krajowego systemu przesyłowego NN. Materiały IV Szkoły – Konferencji EPN'98. Zielona Góra 1998.
6. Kuśmierk Z.: Pomiar energii elektrycznej w warunkach odkształcenia napięcia i prądu. Materiały IV Szkoły – Konferencji EPN'98. Zielona Góra 1998.
7. Kuśmierk Z., Korczyński J.: Odkształcenia napięć i prądów w sieciach lokalnych niskiego napięcia wywołane odbiornikami nieliniowymi. Materiały IV Szkoły – Konferencji EPN'98. Zielona Góra 1998.
8. Kowalski Z.: Cechy i parametry jakościowe energii elektrycznej. Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej. Tom I, zeszyt 1, 1995.
9. Polaczek, A., Geppart, A., Smajek L.: Aktualny stan normalizacji jakości energii elektrycznej w Polsce. Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej. Tom I, zeszyt 1, 1995.
10. Białkiewicz Z., Maciejewski Z.: Problem odkształcenia napięcia w krajowym systemie elektroenergetycznym. II Konferencja "Elektrotechnika Prądów Niesinusoidalnych - EPN'95" Zielona Góra 1995.
11. Kuśmierk Z.: Zastosowanie komputerowych technik pomiarowych do badania jakości energii elektrycznej. Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej. Tom I, zeszyt 1, 1995.
12. Kuśmierk Z.: Pomiary mocy i energii w układach elektroenergetycznych. WNT. Warszawa 1994.
13. Domijan A., Embriz-Santander E., Lamer C., Stiles C., Gilani A., Williams C.W.: Watthour Meter Accuracy Under Controlled Unbalanced Harmonic Voltage and Current Conditions. IEEE Trans. Power Delivery, vol. 11, No 1, 1996.
14. Dacko G.: Pomiar energii prądu odkształconego. Przegląd Elektrotechniczny, nr 1, 1997.
15. Reta-Hernandez M., Karady G.G., Ahmad R., Cochran R.A.: Effects of Harmonics Mixture on Single Phase Induction Watthour Meters. International Conference on Harmonics and Quality of Power. Las Vegas, USA, 1996.
16. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 1998 roku. Dz.U. Nr 135, poz. 881.