

## KORPORACYJNE SYSTEMY MONITOROWANIA JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Wiesław GIL<sup>1</sup>, Przemysław WRONEK<sup>2</sup>

Mikronika, ul. Wykopy 2/4 60-001 Poznań

1. tel.: 61 66 55 623; e-mail:wieslaw@mikronika.com.pl

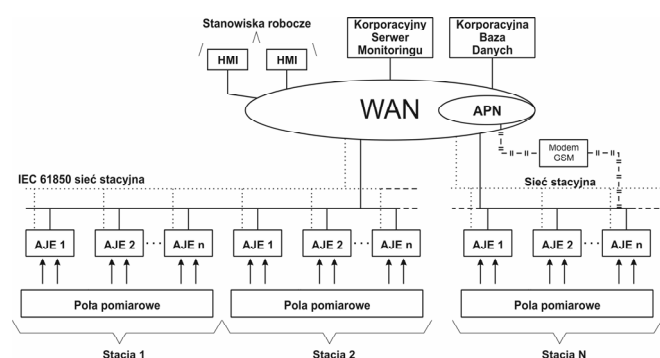
2. tel.: 61 66 55 609; e-mail:wronek@mikronika.com.pl

**Streszczenie:** Omówiono korporacyjne systemy oceny jakości energii elektrycznej (KSMJEE), których rozwój jest obecnie stymulowany wprowadzaniem technologii SMART GRID. Wskazano na problemy związane z certyfikacją urządzeń pomiarowych oraz ograniczenia spowodowane istnieniem swoistych monopolów technologicznych, wynikających z braku standaryzacji wymiany danych. Podkreślono celowość integracji urządzeń pomiarowych z systemami stacyjnymi i konieczność zapewnienia bezpieczeństwa informatycznego.

**Słowa kluczowe:** ocena jakości energii elektrycznej, systemy korporacyjne, klasa A.

### 1. STRUKTURA SYSTEMU KORPORACYJNEGO (KSMJEE)

Wdrażanie urządzeń i systemów do monitorowania jakości energii elektrycznej (SMJEE) jest obecnie intensyfikowane wymaganiami dotyczącymi stabilności pracy sieci, wynikającymi z rozwoju źródeł energii odnawialnej i energetyki prokonsumenckiej. Niewystarczające stają się urządzenia do pomiaru w trybie dorywczym. Coraz szerzej są wdrażane rozwiązania oparte o urządzenia stacjonarne, przesyłające dane *on-line*, które są łączone w KSMJEE. Tego typu system, pokazany na rys. 1, musi zbierać wymagane dane z bardzo wielu punktów pomiarowych, koncentrować je w bazie danych oraz wykonywać ocenę jakości energii elektrycznej.



Rys. 1. Schemat korporacyjnego SMJEE

Zabezpieczenia i sterowniki polowe nie mogą być źródłem danych dla oceny JEE gdyż nie agregują danych zgodnie z wymaganiami norm i mają odmienne zakresy pomiarowe. Podstawową warstwę SMJEE tworzą zatem specjalizowane mierniki i analizatory jakości energii (AJE), funkcjonujące zgodnie z klasą A [1].

Warstwa komunikacyjna jest zbudowana z łączy dostępnych na stacji energetycznej oraz rozległych struktur komunikacyjnych WAN. W jej skład wchodzi istniejące przełączniki sieciowe, routery komunikacyjne, łącza GPRS, nadajniki radiowe. Z reguły nie buduje się wydzielonej sieci komunikacyjnej dla SMJEE.

Warstwa nadrzędna korporacyjnego SMJEE to serwery, bazy danych oraz stanowiska robocze HMI. W serwerach działa oprogramowanie zbierające dane z urządzeń pomiarowych i przetwarzające je w informacje, dotyczące jakości energii oraz wspierające prezentację danych. Z poziomu serwerów administruje się także konfiguracjami poszczególnych urządzeń oraz oprogramowaniem testującym

### 2. CHARAKTERYSTYKA URZĄDZEŃ

#### 2.1. Pomiary i obliczenia

AJE wyznaczają parametry JEE zgodnie z normą [1] i zwykle mierzą dodatkowe wielkości, takie jak natężenie prądu, harmoniczne i interharmoniczne prądu, wartości mocy, napięcie międzyfazowe, współczynnik mocy, energie. Wynika to z opracowanych standardów, na przykład przez PSE Operator [2].

Przekładniki prądowe i napięciowe, stosowane w obwodach pomiarowych AJE, powinny posiadać jak najlepszą klasę, np. 0.2. Urządzenia powinny mieć możliwość wyboru prądu znamionowego 1 A lub 5 A, z uwagi na przekładniki o takich prądach. Przebieżalność obwodów pomiarowych AJE musi być dostosowana do charakterystyki przenoszenia przekładników.

Do analizy zaburzeń pracy sieci w farmach wiatrowych, parkach solarnych oraz instalacjach, w których są stosowane przekształtniki tyrystorowe, są przydatne rejestracje ultraszybkich przebiegów nieustalonych (*transients*). Do tego celu wymagane są urządzenia pomiarowe o częstotliwości próbkowania kilku MHz.

#### 2.2. Klasa „A”

Mimo powszechnie formułowanych wymogów o konieczności wykonywania pomiarów w klasie A, zgodnie z normą [1], do tej pory brak możliwości zweryfikowania w jednym akredytowanym laboratorium badawczym lub wzorcującym posiadania tej klasy przez AJE. Ta sytuacja powinna być jak najszybciej uregulowana, być może poprzez zorganizowanie stosownego laboratorium przez niezależny ośrodek państwowy.

### 2.3. Udostępnianie wyników

Dane są przekazywane do serwera JEE poprzez stałe łącza kablowe lub w technologii GPRS/LTE. AJE mogą udostępniać wyniki za pomocą mechanizmu tak zwanych „zdarzeń”, jak i godzinowych plików COMTRADE, transmitowanych poprzez wbudowany serwer. Z tego punktu widzenia AJE działa jak rejestrator zakłóceń.

Jednym z trendów jest integracja AJE z urządzeniami systemu automatyki stacyjnej (SAS). Coraz częściej pojawiają się aplikacje, w których wybrane pomiary oraz informacje o zdarzeniach są równolegle przesyłane do systemu sterowania i nadzoru. W tym celu tworzy się lokalny sprzęg z systemem stacyjnym. Efektywną integrację w tym zakresie umożliwia standard IEC 61850 [3], w którym są zdefiniowane węzły logiczne dotyczące jakości energii.

Wraz z plikami są wysyłane z AJE dane pomiarowe, częstokroć osobnym kanałem komunikacyjnym. Zwykle są to wartości wskaźników JEE, ale często także wartości mocy i energii. Jest to tak zwana „funkcja miernika”, wykorzystywana na przykład do współpracy z układami DCS (Digital Control System). W tabeli 1 zestawiono parametry przekazywane w trybie on-line do układu sterowania pracą generatorów w jednej z farm wiatrowych w północnej Polsce.

Tablica 1. Dane przesyłane z analizatora w trybie on-line do systemu DCS farmy wiatrowej

Lp	Wielkość	Lp	Wielkość
1	Active power L1	12	Voltage zero-seq comp.
2	Active power L2	13	Ph.-to-ph. voltage V12
3	Active power L3	14	Ph.-to-ph. voltage V23
4	Reactive power L1	15	Ph.-to-ph. voltage V32
5	Reactive power L2	16	Current L1
6	Reactive Power L3	17	Current L2
7	Power factor L1	18	Current L3
8	Power factor L2	19	Frequency
9	Power factor L3	20	Total active power
10	Voltage pos-seq comp.	21	Total reactive power
11	Voltage neg-seq comp.	22	Total voltage ( V )

Trudno sobie wyobrazić, aby system korporacyjny tworzyły urządzenia jednego producenta, udostępniające dane w niestandardowym protokole. Udostępnianie danych powinno być ściśle zestandaryzowane. **Zagadnienia te stają się coraz bardziej istotne wobec wprowadzania swoistych „monopoli technologicznych” przez niektóre grupy dostawców, posługujących się w swych rozwiązaniach specyficznymi protokołami transmisji i niestandardową kompresją danych. Dodatkowym narzędziem takiej polityki bywa system licencji na funkcjonalności, które musi wykupić użytkownik systemu !**

Problem rozwiązałoby przyjęcie standardu COMTRADE dla plików udostępnianych z AJE, stosowanego w zabezpieczeniach i rejestratorach zakłóceń. Dla systemów SCADA dane powinny być udostępniane zgodnie z PN-EN 870-5-104, a dla systemów SAS lub DCS odpowiedni jest standard PN-EN 61850 [3].

### 2.4. Warunki środowiskowe

AJEE montuje się w rozdzielniach, polach nastawni lub w szafkach, umieszczonych na słupach energetycznych. Urządzenia pomiarowe i osprzęt komunikacyjny, stosowany w tego typu aplikacjach, musi nadawać się do pracy w trudnych warunkach stacyjnych. Zasadne jest zatem

zwiększenie wymagań wobec AJE, poprzez stosowanie grupy norm PN-EN 60255, pierwotnie przeznaczonych dla zabezpieczeń, do weryfikacji ich odporności środowiskowej i kompatybilności elektromagnetycznej.

### 3. ŁĄCZA KOMUNIKACYJNE

W KSMJEE sprawdza się bezpośrednia komunikacja w sieci IP poprzez odporne na zakłócenia interfejsy światłowodowe. Zaletą jest zasadniczo brak ograniczeń w ilości przesyłanych danych, a wadą – wysoki koszt montażu. Alternatywą są połączenia GPRS/LTE w korporacyjnym APN.

Gdy nie jest możliwa bezpośrednia transmisja do serwera korporacyjnego, instaluje się lokalny serwer. Podłącza się do niego wszystkie analizatory, korzystając z lokalnej sieci. Do komunikacji między korporacyjnym, a lokalnym serwerem można zastosować modemy działające w APN sieci korporacyjnej. Rezygnuje się z przesyłania plików „3 sekundowych”. Przykładowo, transmisja modemem GPRS/LTE to 40MB danych przesyłanych do serwera i około 3 MB danych odbieranych przez jedno urządzenie w ciągu doby. W takim przypadku limit miesięczny dla karty SIM, dla jednego urządzenia, nie może być mniejszy niż 2 GB.

Dobre wyniki przynosi kompresja przesyłanych plików i odpowiednia konfiguracja pytań wysyłanych przez serwer. W przypadku dużej liczby urządzeń, odczyt może następować nawet raz na kilka godzin.

### 4. SERWER SYSTEMU

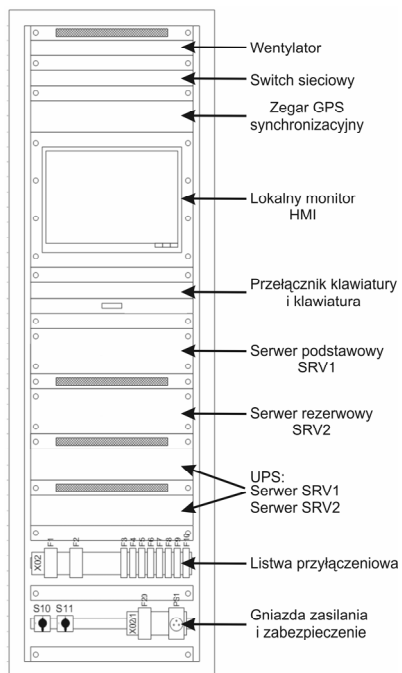
Podstawowym elementem KSMJEE jest korporacyjny serwer danych, pracujący w strukturze redundantnej i realizujący następujące zadania:

- automatyczne pobieranie danych z analizatorów i ich zapis do bazy danych,
- wykonywanie oceny JEE i sporządzanie zestawień, wykresów, tabel, raportów,
- udostępnianie danych i ich archiwizacja do dalszej obróbki,
- wizualizacja wyników na różnych stanowiskach HMI.

Aby efektywnie pobierać dane z rozproszonych AJE, niezbędny jest ich standardowy format. Jak już wskazano, najważniejszy wydaje się COMTRADE. Integralną częścią serwera jest jego baza danych. Uzasadnione jest stosowanie profesjonalnej bazy SQL. Częstą praktyką jest wykorzystywanie jednego rodzaju bazy do archiwizowania pomiarów, a innej do archiwizowania map systemu. Poprawia to szybkość pracy serwera. Z kolei dane z serwera muszą być importowane i eksportowane w plikach COMTRADE lub PQDIF do nadrzędnej bazy danych lub istniejącego oprogramowania nadrzędnego w celu dalszej analizy lub archiwizacji. Pliki te mogą być przekazywane protokołami bazodanowymi ODBC lub natywnymi programów dla bazy SQL.

Zasadne jest powiązanie informacji z korporacyjnych SMJEE z pracą systemów OMS (Outage Management Systems). Pozwala to na uwzględnienie w SMJEE zdarzeń wynikających z pracy sieci, takich jak planowe wyłączenia, remonty, sytuacje awaryjne.

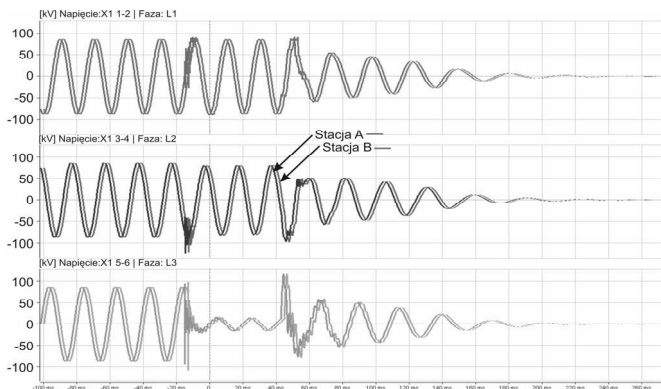
Przykładową zabudowę wydzielonego serwera jakości energii w typowej szafie 19", pokazuje rys. 2. Serwer jest zintegrowany z serwerem podstawowego oraz rezerwowego. W razie awarii jednego z nich, praca jest automatycznie przejmowana przez drugi serwer bez utraty danych. Oba serwery są zasilane z napięcia gwarantowanego. W szafie serwera znajduje się także zegar czasu rzeczywistego, przełącznik sieciowy, listwy zasilania oraz lokalny terminal HMI, ułatwiający uruchamianie i serwisowanie systemu.



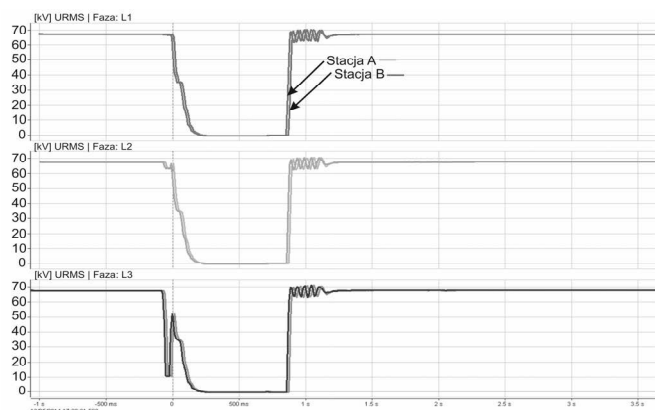
Rys. 2. Zabudowa serwera MJEE w szafie 19"

## 5. SYNCHRONIZACJA CZASU

Wewnętrzny zegar czasu rzeczywistego AJE musi być synchronizowany sygnałem IRIG B, zewnętrznym zegarem GPS lub protokołem sieciowym, na przykład PTP (*Precision Time Protocol*). Dokładność synchronizacji powinna być lepsza niż 10  $\mu$ s. gdyż jest to wskazane dla analizy i lokalizacji źródeł zaburzenia oraz obszarów ich rozprzestrzeniania. Przykłady odnośnych rejestracji pokazano na rys. 3 i 4.



Rys. 3. Wartości próbek synchronicznie zarejestrowane podczas zapadu i przerwy na dwóch stacjach



Rys. 4. Wartości RMS napięcia podczas synchronicznie zarejestrowanego zapadu i przerwy na dwóch stacjach

## 6. BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW

Przede wszystkim należy uniemożliwić celowe lub nieświadome zaburzenia pracy systemów sterowania i nadzoru, z którymi KSMJEE może posiadać potencjalne połączenia poprzez switchy lub routery. Na etapie tworzenia projektu systemu należy przeprowadzić analizę zagrożeń, rozważając poniższe aspekty:

- sposób połączenia urządzeń AJEE i serwerów z siecią stacijną,
- system haseł, wykluczający hasła typu *cyber, security, admin, user...*,
- podział uprawnień operacyjnych, np. zgodnie ze standardem IEC TS 62351 [4]
- konfiguracja przełączników i routerów sieciowych zapewniająca rozdział logiczny sieci.

Zagrożenia mogą także wynikać z możliwości nieautoryzowanych połączenia z AJE lub serwerami danych. Pomocne w ich wykryciu może być przeanalizowanie następujących kwestii:

- czy jest możliwe dokonanie nieuprawnionej modyfikacji plików konfiguracyjnych?
- czy wyniki pracy systemu i rejestrowane dane są niewrażliwe dla przedsiębiorstwa?

Zgodnie ze standardem [4], jest co najmniej konieczne:

- stosowanie i aktualizacja oprogramowania antywirusowego,
- blokowanie transmisji przychodzącej i wychodzącej – gdy jest niezgodna z regułami,
- zapewnienie przesyłania danych poprzez wydzielone routery po wyspecyfikowanych trasach,
- obligatoryjna rejestracja wszystkich zdalnych i lokalnych dostępu do systemu,
- regularne wykonywanie testów sprawdzających poziom zabezpieczenia.

## 7. KORZYŚCI STOSOWANIA SYSTEMÓW KORPORACYJNYCH

Ewidentne są korzyści wynikające z szybkości i łatwości dostępu do danych o jakości energii bez potrzeby prowadzenia drogich, doraźnych pomiarów i analiz. Zbierane dane mogą być wykorzystane w zakresie:

- podejmowania decyzji o koniecznych modernizacjach,
- badania skutków zakłóceń atmosferycznych,
- diagnozowania przyczyn awarii dzięki analizie wartości prądów, napięć, asymetrii, itd.,
- wykrywania zakłóceń wynikających z działalności odbiorców energii elektrycznej,
- rozbudowy i porównania danych o pracy systemów i urządzeń w obszarze Smart Grid; **w tym zakresie monitoring jakości sieci winien stanowić część rozwiązania Smart Grid.**

Zaletą jest także możliwość integracji z systemami dyspozytorskimi, ułatwiająca szybką analizę sytuacji awaryjnych. Istotną staje się także możliwość oceny stanu infrastruktury energetycznej, na przykład poprzez rozwój i stosowanie algorytmów porównawczych typu „health index” oraz dzięki nowym funkcjonalnościom, takich jak rejestracja i analiza tych samych zaburzeń przez AJE, zlokalizowane na różnych stacjach.

## 8. PODSUMOWANIE

Funkcjonalność AJE jest ciągle rozszerzana, na przykład o funkcje rejestracji zaburzeń, pomiaru prądów i mocy, wielokanałowej transmisji danych. Zwiększają one możliwości KSMJEE tylko wtedy, gdy te systemy będą wyposażone w algorytmy przetwarzania gromadzonych danych w informacje, na przykład dotyczące lokalizacji miejsca i źródła zaburzeń, poprawy zarządzania majątkiem, lepszego planowania inwestycji.

Należy rozwiązać problem badań i testów AJE w akredytowanych laboratoriach. Brak unormowania, szczególnie w zakresie wymiany danych sprzyja tworzeniu i utrwalaniu „monopoli technologicznych”

Tworzenie KSMJEE wymaga wdrożenia i bezwzględniego przestrzegania zasad bezpieczeństwa systemów infor-

matycznych. Wdrożenie standardu PN-EN 61850 [3] ułatwi integrację AJE z systemami automatyki stacyjnej oraz DCS.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. PN-EN 61000-4-30:2011 “Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC), Część 4–30: Metody badań i pomiarów – Metody pomiaru jakości energii”.
2. „Analizatory Jakości Energii”, St. Spec. Techniczne, PSE Operator, grudzień 2013.
3. IEC 61850-7-4:2010(E), „Communication networks and systems for power utility automation – Part 7–4: Basic communication structure. Compatible logical node classes and data object classes.
4. Technical Standard (IEC TS), “62351 – Power system management and associated information exchange. Data Communications Security”, (parts 1–8, 2007 do 2013).

## CORPORATE SYSTEMS OF POWER QUALITY MONITORING

Nowadays, the trend of power quality monitoring equipment (AJE) and systems (SMJEE) implementation is enhanced by the network stability requirements resulting from the renewable energy sources and co-generation development. AJE, communication links, process servers should allow the implementation of all required functionality and should be compatible to harsh environmental conditions of power substations as well.

The changeability and compatibility of devices manufactured by different producers, requires particular attention. The observed introduction of “technological monopolies” by certain groups of suppliers justifies the importance of this issue. Other requirements are generated by the system cyber security rules implementation and enforcement necessity. The JEE parameters measure devices cooperation with SCADA and even wind farms DCS systems requires an appropriate solutions based on eg. PN-EN 61850.

The functionality of AJE is expanded for disturbance recording, current and power measurement and multi-channel data transmission. New functions enhance the corporate system ability if only these systems are equipped with algorithms processing data into information. It is reasonable to link the information obtained from the corporate MJEE systems with outage management systems (OMS).

**Keywords:** power quality assessment, corporate systems, class A