

Adam GUBAŃSKI*
Paweł KOSTYŁA*
Jarosław M. SZYMAŃDA*

ANALIZA I OCENA SYSTEMU MONITOROWANIA JAKOŚCI ENERGII W ROZPROSZONYCH SIECIACH DYSTRYBUCYJNYCH

W artykule przedstawiono stanowisko badawcze wraz infrastrukturą teleinformatyczną zlokalizowane na terenie Politechniki Wrocławskiej oraz w stacjach elektroenergetycznych Tauron Dystrybucja S.A. oraz Tauron Ekoenergia Sp. z o.o. Systemem monitorowania i akwizycji danych objętych jest pięć punktów w sieciach dystrybucyjnych z udziałem generacji rozproszonej. Zabudowę analizatorów energii elektrycznej zlokalizowano w dwóch obiektach stacji elektroenergetycznych oznaczonych jako OBIEKT-2 (SN 110kV) i OBIEKT-5 (nN 0,4kV) oraz w trzech elektrowniach wodnych oznaczonych jako OBIEKT-1(SN 10kV), OBIEKT-3(SN 20kV) i OBIEKT-4(SN 20kV). Syntetycznej ocenie poddano wykorzystywane oprogramowanie użytkowe rejestracji, akwizycji i archiwizacji danych będące częścią pakietu aplikacji Power Quality (WinPQ) niemieckiej firmy „a-Eberle” [4,5,7]. Kontekstem aplikacyjnym artykułu są zagadnienia selekcji parametrów kontrolnych wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej, w szczególności kontroli jakości energii dostarczanej do odbiorców końcowych. Prezentowane wyniki obejmują wybrane elementy projektu w ramach prac podstawowych w zakresie archiwizacji i szybkiej identyfikacji sygnałów elektrycznych.

SŁOWA KLUCZOWE: sieci dystrybucyjne, jakość energii, monitoring, profile zakłóceń, system pomiarowy

1. WPROWADZENIE

W dobie intensywnie rozwijających się technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych (energia słoneczna, elektrownie wodne i wiatrowe, źródła geotermalne) istotnego znaczenia nabierają zagadnienia związane z oceną jakości dystrybuowanej energii. Aktualny stan techniki znacząco wpływa na wzrost znaczenia jakości energii elektrycznej z jednej strony wprowadza się do użytku coraz więcej urządzeń wymagających energii o wysokiej jakości, z drugiej strony odbiorniki te istotnie oddziałują na tę jakość. Analiza w tym

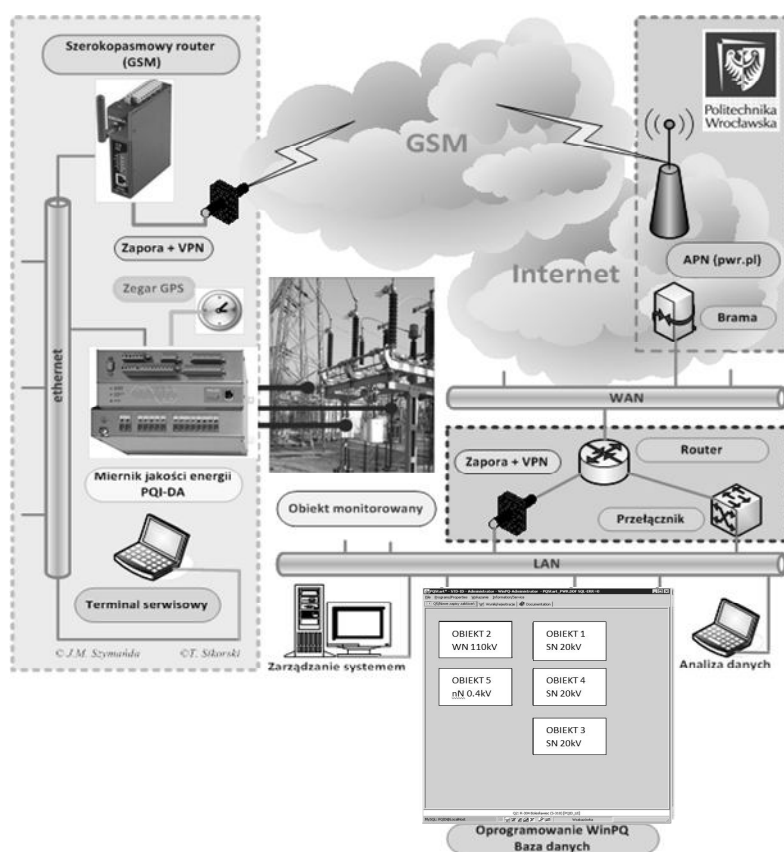
*Politechnika Wroclawska.

zakresie coraz częściej odwołuje się do systemów logistycznych ułatwiających monitorowanie i akwizycję danych (e-logistyka) [1, 2, 3]. Do podlegających kontroli parametrów jakości energii elektrycznej należą m.in.: częstotliwość, wartość, wahania i skoki napięcia, zapad napięcia, przerwy w zasilaniu, napięcia przejściowe asymetria napięcia zasilającego, harmoniczne dla napięcia i prądu. Do parametrów w zakresie kontroli jakości energii elektrycznej należą m.in.: częstotliwość, wartość, wahania i skoki napięcia, zapady napięcia, przerwy w zasilaniu, asymetria napięcia zasilającego, harmoniczne dla napięcia i prądu. Szczegółowe wymagania określające procedury znormalizowanych badań oraz zakresy dopuszczalne parametrów jakości energii zamieszczone są w odpowiednich normach, m.in. PN-EN 50160 oraz IEC 61000, a także rozporządzeniach, jak Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. E-Logistyka to także zarządzanie i nadzorowanie elementów odpowiedzialnych za bezpieczną eksploatację całych systemów od wytwórców i dystrybutorów energii do odbiorców końcowych. Obecnie na rynku znanych jest wiele rozwiązań koncentrujących się na świadczeniu usług informacyjnych i doradczych z zakresu wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz energooszczędności [3]. Realizowane projekty najczęściej mają na celu promocję „czystej energii” oraz zobrazowanie niezwykle istotnego związku pomiędzy odnawialnymi źródłami energii a ochroną środowiska. W artykule prezentowana jest propozycja mająca wspomagać zarządzanie elementami wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej, w szczególności kontroli jakości energii dostarczanej do odbiorców końcowych. Pierwszy etap projektu w ramach prac podstawowych obejmuje elementy systemu w kontekście archiwizacji i szybkiej identyfikacji sygnałów elektrycznych.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko badawcze wraz infrastrukturą teleinformatyczną zlokalizowane jest na terenie Politechniki Wrocławskiej oraz w stacjach elektroenergetycznych Tauron Dystrybucja S.A. oraz Tauron Ekoenergia Sp. z o.o. Systemem monitorowania i akwizycji danych objętych jest pięć punktów w sieciach dystrybucyjnych z udziałem generacji rozproszonej. Systemem monitorowania i akwizycji danych objętych jest pięć punktów w sieciach dystrybucyjnych z udziałem generacji rozproszonej. Zabudowę analizatorów energii elektrycznej zlokalizowano w dwóch obiektach stacji elektroenergetycznych oznaczonych jako OBIEKT-2 OBIEKT-5 oraz w trzech elektrowniach wodnych oznaczonych jako OBIEKT-1, OBIEKT-3 i OBIEKT-4. Funkcjonalność serwera danych SMJEE opracowano na bazie systemu operacyjnego Microsoft Windows Server 2008 R2 +SP1. Oprogramowanie użytkowe rejestracji, akwizycji i archiwizacji

danych zrealizowano przy wykorzystaniu pakietu aplikacji Power Quality (WinPQ) niemieckiej firmy „a-Eberle” (<http://http://www.winpq.de>) w wersji 1.8.1.1-2012-01-11. W kontekście analizy i oceny stanowiska badawczego określono dwa kierunki badań. Pierwszy dla działań kontrolnych i dyspozytorskich wykorzystujący infrastrukturę komunikacyjną w trybach transmisji „online” oraz drugi w zakresie oceny możliwości analizy jakości i niezawodności systemu w trybie „offline” danych zarchiwizowanych w bazie danych. Przez „tryb offline” należy tutaj rozumieć możliwość importowania i aktualizacji danych w środowisku informatycznym użytkownika, które nie jest połączone zdalnie z serwerem **SMJEE**. Należy zaznaczyć, że wykorzystywana w projekcie procedura replikacji danych dotyczy wyłącznie struktury danych uprzednio zarejestrowanych w bazie danych Laboratorium Systemów Monitorowania Jakości Energii Elektrycznej (**SMJEE**) Politechniki Wrocławskiej.



Rys. 1. Diagram przepływu informacji w systemie stanowiska badawczego SMJEE.PWR

Lokalizację i sposób realizacji poszczególnych punktów pomiarowych parametrów jakości energii elektrycznej dla SMJEE w rejonie bolesławieckim przedstawiono na rysunkach 2.1 – 2.5.



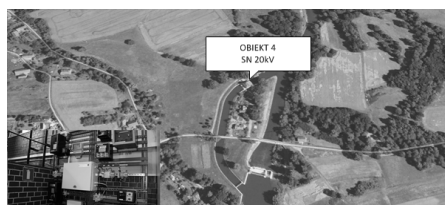
Rys. 2.1. Lokalizacja i realizacja układu pomiarowego parametrów JEE (OBIEKT 1) [3]



Rys. 2.2. Lokalizacja i realizacja układu pomiarowego parametrów JEE (OBIEKT 2) [3]



Rys. 2.3. Lokalizacja i realizacja układu pomiarowego parametrów JEE (OBIEKT 3) [3]



Rys. 2.4. Lokalizacja i realizacja układu pomiarowego parametrów JEE (OBIEKT 4) [3]



Rys. 2.5. Lokalizacja i realizacja układu pomiarowego parametrów JEE (OBIEKT 5) [3]

3. BAZA DANYCH SMJEE I ANALIZA DANYCH

Dane rejestrowane w systemie SMJEE są systematycznie rozpakowywane na serwerze podstawowym oraz na niezależnym serwerze archiwizacji NAS-FTP. Każdy uprawniony użytkownik ma możliwość pobrania zestawu danych w formie pliku w formacie *nazwa.txt* lub *nazwa.csv*. W katalogu podstawowym

SMJEE znajdują się foldery odpowiadające miejscom zainstalowania analizatorów jakości energii elektrycznej w rozproszonym systemie monitoringu jakości energii:

- OBIEKT-1 – zainstalowany analizator jakości energii elektrycznej w elektrowni wodnej (SN 10kV);
- OBIEKT-2 – zainstalowany analizator jakości energii elektrycznej w stacji rozdzielczej (WN 110kV);
- OBIEKT-3 – zainstalowany analizator jakości energii elektrycznej w elektrowni wodnej (SN 20kV);
- OBIEKT-4 – zainstalowany analizator jakości energii elektrycznej w elektrowni wodnej (SN 20kV);
- OBIEKT-5 – zainstalowany analizator jakości energii elektrycznej w stacji (nN 0.4kV).

Każdy z katalogów (O1,O2,O3,O4 i O5) składa się z trzech podkatalogów zawierających pliki danych (rysunki 3.1 3.2) otrzymanych z analizatorów jakości energii elektrycznej z następujących rejestracji:

- srednia_10min** - rejestracja zdefiniowanych wybranych wielkości elektrycznych jako wartość średnia dla okresu czasowego 10 min. ;
- zdarzenia_RA** - rejestracja oscyloskopowa zdefiniowanych zakłóceń wielkości elektrycznych z częstotliwością próbkowania $f_p = 10$ kHz
- zdarzenia_RB** - rejestracja wartości skutecznych RMS zdefiniowanych zakłóceń wielkości elektrycznych w okresie 10 ms

symbol/jednostka	Wybór	Oznaczenie	Grupa	Przewód
ID	-	Identyfikator	fInteger	
TIME	-	Stempel czasowy	fTimeStamp	
US	-	Ułamek sekundy (100us)	fInteger	
FLAGS	-	Flagowanie	fInteger	
FHz	X	Line frequency	Frc	0
U10E/V	X	RMS value of U10E	ULE	1
U12E/V	X	RMS value of U12E	ULE	2
U12E/V	X	RMS value of U12E	ULE	3
U10E/V	X	RMS value of U10E	ULE	0
U112V	X	RMS value of U12	ULL	1
U123V	X	RMS value of U23	ULL	2
U112V	X	RMS value of U12	ULL	3
THD12%	X	Total harmonic distortion of U12	THDU	1
THD23%	X	Total harmonic distortion of U23	THDU	2
THD12%	X	Total harmonic distortion of U12	THDU	3
PST12V	X	Flicker short term of U12	PST	1
PST23V	X	Flicker short term of U23	PST	2
PST12V	X	Flicker short term of U12	PST	3
U10S%	X	Voltage unbalance: Negative (positive sequence)	UU	0
U12_MIN/V	X	Half period minimum value of U12	UEXT	1
U12_MAX/V	X	Half period maximum value of U12	UEXT	1
U23_MIN/V	X	Half period minimum value of U23	UEXT	2
U23_MAX/V	X	Half period maximum value of U23	UEXT	2
U11_MIN/V	X	Half period minimum value of U11	UEXT	3
U11_MAX/V	X	Half period maximum value of U11	UEXT	3
U12H7%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H9%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H11%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H13%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H15%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H17%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H19%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H21%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H23%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H25%	X	Bus_xc U12-n, Harmonics	HHU	1
U12H27%	X	Bus_xc U23-n, Harmonics	HHU	2
U12H29%	X	Bus_xc U23-n, Harmonics	HHU	2
U12H31%	X	Bus_xc U23-n, Harmonics	HHU	2
U12H33%	X	Bus_xc U23-n, Harmonics	HHU	2
U12H35%	X	Bus_xc U23-n, Harmonics	HHU	2

Rys. 3.1. Opis nazw kolumn dla plików danych z katalogu srednia_10min

symbol/jednostka	Wybór	Oznaczenie	Grupa	Przewód
ID	-	Identyfikator	fInteger	
TIME	-	Stempel czasowy	fTimeStamp	
US	-	Ułamek sekundy (100us)	fInteger	
RECID	-	ID rejestratora	fInteger	
RAU10MS01/V	-	U1E sample value	ULE	1
RAU20MS01/V	-	U2E sample value	ULE	2
RAU30MS01/V	-	U3E sample value	ULE	3
RAU10MS01/V	-	U1E sample value	ULE	0
RA11MS01/A	-	I1 sample value	IL	1
RA12MS01/A	-	I2 sample value	IL	2
RA13MS01/A	-	I3 sample value	IL	3

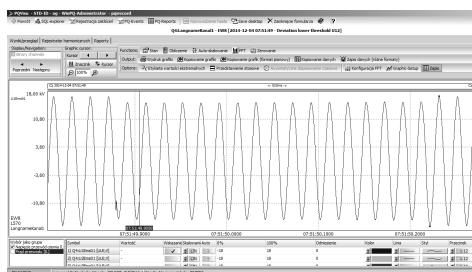
symbol/jednostka	Wybór	Oznaczenie	Grupa	Przewód
ID	-	Identyfikator	fInteger	
TIME	-	Stempel czasowy	fTimeStamp	
US	-	Ułamek sekundy (100us)	fInteger	
RECID	-	ID rejestratora	fInteger	
RBUE501/V	-	U1E half period RMS value	ULE	1
RBUE502/V	-	U2E half period RMS value	ULE	2
RBUE503/V	-	U3E half period RMS value	ULE	3
RBUE501/V	-	U1E half period RMS value	ULE	0
RBUE12501/V	-	U12 half period RMS value	ULL	1
RBUE12502/V	-	U23 half period RMS value	ULL	2
RBUE12501/V	-	U12 half period RMS value	ULL	3
RBUE11501/A	-	I1 half period RMS value	IL	1
RBUE12501/A	-	I2 half period RMS value	IL	2
RBUE13501/A	-	I3 half period RMS value	IL	3

Rys. 3.2. Opis nazw kolumn dla plików danych z katalogu zdarzenia RA i zdarzenia RB

Po zakończeniu procedury aktualizacji danych, dostępny jest dla użytkownika moduł pakietu „PQVisu”, który umożliwia przeglądanie oraz raportowanie zarejestrowanych przez analizatory energii pomiarów z punktów kontrolnych w sieciach dystrybucyjnych z udziałem generacji rozproszonej. Wstępną analizę zakłóceń wielkości elektrycznych uzyskanych poprzez rejestrację oscyloskopową z częstotliwością próbkowania $f_p = 10$ kHz (zdefiniowanych jako zdarzenia_RA) oraz rejestrację wartości skutecznych RMS w okresie 10 ms (zdefiniowanych jako zdarzenia_RB) można uzyskać wykorzystując program PQVisu (rysunki 3.3 i 3.4).

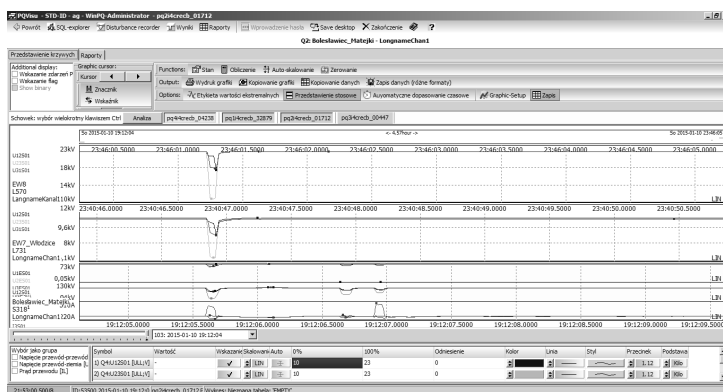


Rys. 3.3. Rejestracja oscyloskopowa zdarzenia RA z częstotliwością próbkowania 10 kHz



Rys. 3.4. Rejestracja oscyloskopowa zdarzenia RA z częstotliwością próbkowania 10 kHz dla pojedynczego wybranego sygnału.

Program PQVisu umożliwia także wykonanie wspólnego przebiegu zarejestrowanych zdarzeń dla kilku wybranych obiektów w systemie SMJEE z możliwością automatycznego dopasowania czasowego. Pozwala to na obserwację propagacji zdarzenia w badanym systemie elektroenergetycznym (rysunek 3.5)



Rys. 3.5. Wspólny przebieg zdarzenia RB na trzech wybranych obiektach

Szczegółowa analizę zarejestrowanych zdarzeń należy wykonywać przy pomocy dedykowanych programów, wykorzystując bazę danych zgromadzoną na serwerze SMJEE. Program PQVisu umożliwia również wygenerowanie raportu jakości energii zgodnego z normą EN50160 (rysunek 3.6) w zdefiniowanym przedziale czasowym.

Instalacja EW7_Włodzice	Pole L731	Przewód LongnameChan1
Company	Politechnika Wroclawska	Reason of recording
Voltage system	3-wire-mains	Napięcie umówione
Nominal frequency	50	Signal-voltage-frequency
Start of evaluation	2013-04-29	Stop of evaluation
Duration of evaluation	7	Recording duration
		0
		0
		2013-05-05
No tables for 'Q1' from 2013-04-29 to 2013-05-05		

Rys. 3.6. Raport jakości energii zgodny z normą EN50169

5. PODSUMOWANIE

Wykonane prace wykazały, że zaprojektowany i wykonany system monitorowania jakości energii elektrycznej SMJEE na terenie Politechniki Wrocławskiej oraz w stacjach elektroenergetycznych Tauron Dystrybucja S.A. oraz Tauron Ekoenergia Sp. z o.o spełnia swoje zadania użytkowe:

- monitoruje jakość energii w wybranych punktach pomiarowych badanego systemu elektroenergetycznego zgodnie z normą EN-50160
- zapewnia integralność bazy danych, która stanowi podstawę wyznaczania wskaźników jakości energii elektrycznej z zadanego okresu pomiarowego,
- pozwala na szybką wizualizację stanu pracy badanego układu elektroenergetycznego w trybach: dyspozytorskim (*online*) oraz badawczym (*offline*),
- jest systemem bezpiecznym z zaimplementowanymi elementami rozproszonej archiwizacji i ochrony danych przed utratą informacji (RAID-5) oraz nieuprawnionym dostępem SAS (*security area system*).

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/B/ST8/02515

LITERATURA

- [1] Szymańda J.M.: System archiwizacji i identyfikacji sygnałów elektrycznych.: Transactions on computer applications in electrical engineering : XV Conference ZKwE '10, Poznan, April 19-21, 2010 / [sci. ed. Ryszard Nawrowski]. Poznań : Agencja Reklamowa COMPRINT, 2010. s. 75-76.
- [2] Szymańda J.M.: The automatic data acquisition in distributed systems teletransmission: Logistyka 6/2010, CD Rom, Poland, 2010, 6, ADE, str.: 3587-3599: ISSN: 1231-5478.
- [3] Sikorski T. Szymańda J.M, Zenger M.: Monitoring i analiza stanów zakłóceń w sieciach elektroenergetycznych.: 2012 Przegląd Elektrotechniczny 2012. ISSN: 0033-2097: R. 88, nr 11b: s.178-181.
- [4] Operating Manual WinPQ Evaluation system, a-Eberle, version: WinPQ – 19/04/2012JB.
- [5] Operating Manual WinPQ Evaluation Software, a-Eberle, version: WinPQ – 09.07.2013.
- [6] Bollen M.H.J., Understanding Power Quality Problems. Voltage sags and interruptions, IEE Press Series on Power Engineering, 2000.
- [7] Gubanski A., Kostyła P., Szymańda J., Instalacja i aktualizacja bazy SMJEE.PWR w trybie *offline*, Raport SPR-22/2014, Politechnika Wroclawska, 2014.

ANALISIS AND EVALUATION OF A SYSTEM FOR QUALITY MONITORING OF ELECTRICAL POWER IN SCATTERED DISTRIBUTION NETWORKS

A testing setup as well as telecommunication technology infrastructure, located at the Wroclaw University of Technology and at power distribution stations belonging to the Tauron S.A. and the Tauron Ekoenergia Sp.z.o.o. is described. The data monitoring and acquisition system contains five nodes in a distribution networks including scattered generation plants. Power quality analyzers are located in two electric power distribution stations, marked in the figures as OBIEKT-2(HV 110 kV) and OBIEKT-5 (LV 0,4 kV), and in three hydroelectric plants, marked as OBIEKT-1(HV 10 kV), OBIEKT-3(HV 20 kV) and OBIEKT-4(HV 20 kV). The WinPQ software by A. Eberle GmbH & Co. KG, generally used for recording and archiving power quality parameters, has been systematically evaluated [4, 5]. The article is focused on the selection of control parameters for generation and distribution of power, in particular the quality of the power delivered to the end users. The presented results concern fast identification and archiving of electrical signals.