

## SYSTEM ZARZĄDZANIA ENERGIĄ W ZAKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM

Miroslaw WŁAS<sup>1</sup>

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel: +48583472337 e-mail: miroslaw.wlas@pg.gda.pl

**Streszczenie:** W ramach prac badawczo-rozwojowych z firmą Nowa Energia Sp. z o.o. powstał System Zarządzania Energią, w postaci systemu informatycznego i sprzętowego koncentratora danych tzw. IED (ang. Intelligent Electronics Devices). Produkt ten został wdrożony w przemyśle do Zarządzania Energią w zakładach przemysłowych. System jest zainstalowany w stacji energetycznej 15kV/0,4kV, zaś główny serwer z oprogramowaniem znajduje się na Politechnice Gdańskiej. W artykule przedstawiono podstawowe funkcjonalności systemu. Szczegółowo opisano parametry koncentratora oraz zasady bezpiecznej agregacji danych. Artykuł zawiera opis protokołu OpenADR – Automatic Demand Response, który służy do komunikacji między koncentratorom danych przyłączonym do liczników i analizatorów jakości energii, a systemem IT zainstalowanym na serwerach Politechniki Gdańskiej. Opisano system bazodanowy oraz przedstawiono metody przetwarzania i wizualizacji danych w postaci raportów, alarmów i obsługi zdarzeń.

**Słowa kluczowe:** system zarządzania energią, efektywność energetyczna.

## 1. WPROWADZENIE

Przedsiębiorstwa coraz chętniej kontrolują zużycie nośników energii, nie tylko całościowo, ale także dla poszczególnych linii i instalacji produkcyjnych. Ustawa o efektywności energetycznej [1] nakłada obowiązek wykonania audytu na duże przedsiębiorstwa, z czego może zwolnić posiadanie systemu zarządzania energią zgodnego z normą ISO 50001 [5,6]. Liczne przepisy Unii Europejskiej wdrożone do polskiego prawodawstwa zachęcają do zwiększenia efektywności energetycznej przedsiębiorstw, przez system zachęt np. białych certyfikatów. Nie da się jednak wdrożyć systemu oszczędności w skomplikowanych układach produkcyjnych bez efektywnego systemu pomiarów i agregacji danych [2]. Oczywiście istnieją proste sposoby zmniejszenia zużycia energii, do których można zaliczyć:

- zmianę zachowań pracowników, aby wyłączali maszyny w czasie przerw śniadaniowych oraz podczas przerw między zmianami,
- wymianę energochłonnych źródeł światła: żarowego bądź halogenowego lub fluorescencyjnego na oszczędne oświetlenie LED,
- montaż czujników ruchu w niektórych strefach komunikacyjnych, socjalnych i biurowych,
- wymianę silników w układach wentylacji na mniejsze mocowo silniki energooszczędne, z możliwą przebudową central wentylacyjnych,
- montaż instalacji solarnych lub pomp ciepła w celu uzyskania ciepłej wody użytkowej ze słońca.

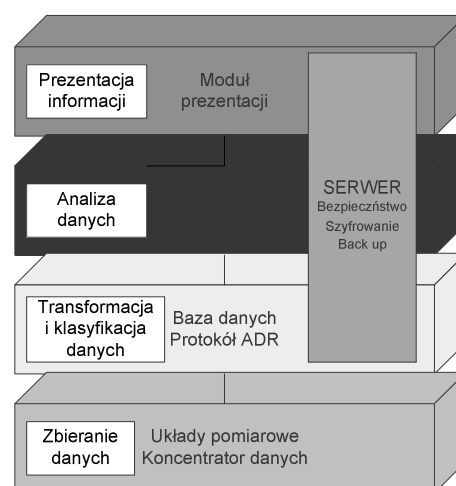
W wielu przedsiębiorstwach można uzyskać oszczędności od 5% do 25% zużycia energii, której czas zwrotu z

inwestycji jest mniejszy niż 2 lata [4]. Niemniej wprowadzenie oszczędności w procesach produkcyjnych wymaga dogłębnej wiedzy dotyczącej danej technologii oraz wiedzy z zakresu technologii informatycznych i bazodanowych [2]. Prace takie są prowadzone przez liczne ośrodki badawcze, także przy współudziale operatorów systemów dystrybucyjnych [9,10]. W celu zapewnienia skutecznego planu pomiaru i monitorowania zainstalowany system powinien być w stanie zmierzyć jednocześnie zużycie energii i wydajność produkcji (wyznaczenie współczynnika efektywności energetycznej), aby umożliwić monitorowanie zużycia przy zmianie czynników wpływających na to zużycie. Montaż systemu jest niezbędny w celu wprowadzenia normy ISO 50001 i cyklu PDCA (ang. Plan – Zaplanuj Do - Wykonaj Check – Sprawdź Act - Działaj) [6]. Cykl PDCA umożliwia ciągłą ocenę zużycia energii, zrównoważoną optymalizację oraz redukcję. Niezależnie od tego, istotnym parametrem jest koszt montażu systemu pomiarowego i zakupu oprogramowania. Ogólną zasadą jest to, że średni roczny koszt wdrożenia i utrzymania systemu pomiaru i monitorowania powinien być niższy niż 20% możliwych do osiągnięcia oszczędności w ciągu roku.

## 2. SYSTEM POMIARU I ZARZĄDZANIE ENERGIĄ ELEKTRYCZNĄ

## 2.1. Architektura systemu

Korzystając z wcześniejszych doświadczeń badawczych [7] zbudowano system zarządzania energią którego architektura składa się z 4 warstw (rys. 1) i zainstalowano w Zakładzie Produkcji Aerozoli w województwie pomorskim.



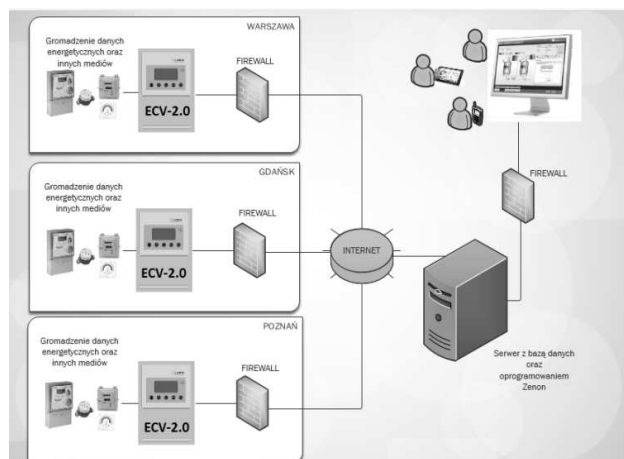
Rys. 1. Architektura systemu zarządzania energią

Pierwsza warstwa zawiera układy pomiarowe i koncentratory danych pozwalające na gromadzenie danych o zużyciu energii (elektrycznej, cieplnej, gazu), produkcji oraz czynnikach środowiskowych wpływających na zużycie energii np. temperatura powietrza. W koncentratorze danych realizowany jest blok strażnika mocy. W warstwie tej znajduje się także sieć LAN lub WAN. W drugiej warstwie znajduje się protokół komunikacyjny OpenADR oraz system bazodanowy MySQL zainstalowany na serwerze Politechniki Gdańskiej. W trzeciej warstwie znajduje się moduł obliczeniowy, który przetwarza dane otrzymywane z systemów pomiarowych i wylicza: efektywność energetyczną, predykcję zużycia energii, przygotowuje dane do wykresów i raportów oraz obsługuje alarmy i zdarzenia. Ostatnim modułem jest moduł prezentacji do którego stworzenia wykorzystano język php i biblioteki oprogramowania systemu Linux.

## 2.2. Koncentrator danych – IED

Prezentowany system został opracowany w wyniku współpracy prywatnych przedsiębiorców z Wydziałem Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej [7]. ECV-20 to zaawansowany sterownik mikroprocesorowy z wejściami analogowymi i cyfrowymi oraz rozbudowanymi możliwościami komunikacyjnymi. Rozbudowane możliwości komunikacyjne umożliwiają integrowanie sterownika z innymi urządzeniami (liczniki energii, analizatory mocy, sterowniki PLC, sterowniki układów klimatyzacji i wentylacji, kompensatory mocy biernej, przełączniki wyłączników mocy), którymi może on sterować zgodnie z założonymi wymaganiami. Schemat systemu zarządzania przedstawiono na rys. 2. Specyfikacja sprzętowa ECV-20:

- Procesor Broadcom BCM2835 700 MHz (ARM), 512MB pamięci RAM, 4GB pamięci flash,
- Port Ethernet 100Mb,
- Opcjonalnie moduł Wi-Fi lub moduł GSM/GPRS,
- Dwa porty RS232 / RS485,
- Jeden port USB 2.0,
- 8 dowolnie konfigurowalnych wejść / wyjść
- 2 wejścia analogowe 0-10V (0..20mA),
- Złącze M-Bus Master (dla liczników ciepła, gazu, itp.),
- Złącze 1-wire (dla czujników np. temperatury, wilgotności, ciśnienia, CO, itp.),
- Autonomiczny, sprzętowy system nadzoru, zapobiegający niekontrolowanym blokadom systemu,
- Wewnętrzny, precyzyjny zegar czasu rzeczywistego,
- Metalowa, wytrzymała obudowa z możliwością montażu na szynę T35 (DIN).



Rys. 2. Schemat systemu zarządzania energią

## 2.3. Sposób pomiaru energii elektrycznej

Do pomiaru energii na niskim napięciu wykorzystano dostępne na rynku analizatory energii elektrycznej firmy Lovato tym DM800 oraz firmy Lumel typ P43, ND20 i N14 z przekładnikami prądu. Do pomiaru całkowitej energii pobieranej przez zakład wykorzystano rezerwy licznik energii elektrycznej typu ZMD410CT44.0459 firmy Landis+Gyr. Urządzenia zostały umieszczone w dwóch stacjach transformatorowych. Do odczytu danych z analizatorów wykorzystano protokół Modbus RTU. Punkty pomiarowe z ustawieniami strażnika mocy przedstawiono na rys. 3.

System Punkty pomiarowe									
Liczniki									
Nr	Nazwa	Typ urządzenia	Tytuł umowy	Moc zamierzona [kW]	Ustawienia progów			Strażnik mocy	
Licznika								aktywny	
50642841	Zas. zam. pom. po stronie 15kV	Landis Gyr ZMD410CT44.0459	B23 0.4	650	650 kW / 5 min	640 kW / 10 min	650 kW / 15 min	650 kW / 15 min	✓
00000005	V1 (linia E)	Lumel miern. par. sieci N14	B23 0.4	290		280 kW / 5 min	270 kW / 10 min	270 kW / 10 min	✓
00000003	Sprężarki (110kW i 90kW)	Lumel miern. par. sieci N14	B23 0.4	160		150 kW / 5 min	150 kW / 10 min	150 kW / 10 min	✓
00000004	V1 (linia D)	Lumel miern. par. sieci N14	B23 0.4	150		150 kW / 5 min	150 kW / 10 min	150 kW / 10 min	✓
00000006	Buro, W2, W3	Lumel miern. par. sieci N14	B23 0.4	120		120 kW / 5 min	120 kW / 10 min	120 kW / 10 min	✓
00000001	Bateria kondensatorów	Lumel miern. par. sieci P43	B23 0.4	2	2 kW / 2 min	2 kW / 2 min	3 kW / 3 min	4 kW / 4 min	✓
00000002	Inne	Lumel miern. par. sieci N14	B23 0.4	26					✗
00000009	Zasilanie R6m stacja tr. TECHOPACK II	DM800_1_15m	B23 0.4	150				150 kW / 10 min	✓
00000008	ND20_3_15m	ND20_3_15m	B23 0.4	120					✗
00000007	ND20_2_15m	ND20_2_15m	B23 0.4	120					✗

Rys. 3. Zestawienie punktów pomiarowych

## 3. BEZPIECZEŃSTWO, PROTOKÓŁ OPEN-ADR

Komunikacja pomiędzy systemem nadrzędnym a urządzeniami IED (Koncentratorami danych) odbywa się za pomocą protokołu OpenADR. Szczegóły dotyczące standardu oraz lista urządzeń i procesów dostępna jest na stronie [8]. OpenADR opiera się na wymianie wiadomości między węzłami nadrzędnymi – VTN (ang. Virtual Top Node) a węzłami końcowymi – VEN (ang. Virtual End Node). Węzły nadrzędne pełnią funkcje aplikacji sterujących procesami DR (rozwinąć akronim) oraz agregatora danych, natomiast węzły końcowe (urządzenia IED) realizują żądania DR otrzymane od VTN i raportują dane z kontrolowanych przez nie zasobów takich, jak urządzenia pomiarowe, urządzenia magazynujące energię, czy urządzenia zużywające energię (oświetlenie, klimatyzatory, linie produkcyjne itp.). Przewidziana jest możliwość tworzenia wielopoziomowej struktury, gdzie każdy VTN może być kontrolowany przez inny nadrzędny VTN, pełniąc w tym przypadku rolę VEN.

Protokół OpenADR zapewnia wysokie bezpieczeństwo i poufność transmitowanych danych poprzez:

- szyfrowanie całej transmisji za pomocą TLS (ang. Transport Layer Security),
- dwukierunkowe uwierzytelnianie komunikujących się węzłów na kilku poziomach,
- opcjonalne wykorzystanie cyfrowych podpisów w celu zapewnienia integralności przesyłanych danych oraz wiarygodności danych archiwalnych.

Wybrana metoda transportu wiadomości zakłada wykorzystanie protokołu HTTP w strumieniu TCP/IP. OpenADR wymaga, aby całość połączenia była szyfrowana za pomocą protokołu TLS w wersji 1.2 (czyli obecnie najnowszej), będącego rozwinięciem SSL (ang. Secure Socket Layer). Protokół TLS jest powszechnie stosowany we wszystkich przeglądarkach internetowych i innych kanałach wymagających bezpiecznej komunikacji, zapewnia on dobry poziom bezpieczeństwa, opierając się na otwartych standardach kryptograficznych i będąc przedmiotem ciągłego poddawania różnorodnym testom. Dodatkowo OpenADR nakłada do-

datkowe wymagania na użyte metody szyfrowania takie, jak typ certyfikatów (X.509v3), rodzaj szyfrowania (RSA, ECC), czy minimalna długość klucza szyfrującego (RSA – 2048 bitów, ECC – 256 bitów).

Po zestawieniu bezpiecznego połączenia TLS zarówno VTN jak i VEN (IED) mają obowiązek weryfikacji poprawności certyfikatu – czy są spełnione minimalne wymagania kryptograficzne oraz czy ścieżka certyfikacji dla zaprezentowanego przez drugą stronę certyfikatu jest poprawna i prowadzi do określonego zaufanego głównego urzędu certyfikującego. Dzięki temu oraz faktowi, iż liczba zaufanych głównych urzędów certyfikacji jest ograniczona, obydwie strony mają pewność, iż nawiązały bezpieczną komunikację.

Następnym krokiem jest autoryzacja urządzenia końcowego w węźle VTN, która odbywa się następująco:

- z zaprezentowanego przez VEN certyfikatu obliczany jest „odcisk palca” (ang. fingerprint), będący (unikalnym) skrótem certyfikatu i porównywany jest z rekordami urządzeń VEN zdefiniowanych w węźle nadrzędnym. Jeżeli nie ma dopasowania, oznacza to iż urządzenie nie jest autoryzowane do pracy z danym VTN;

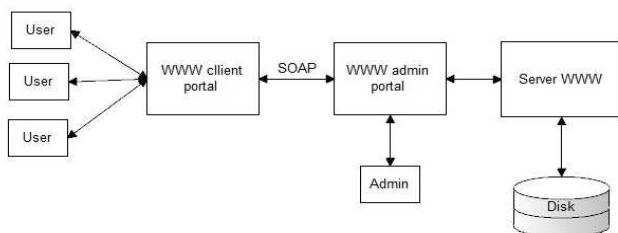
- w przypadku autoryzacji VTN przez VEN nie ma potrzeby sprawdzania „odcisku palca”, gdyż sama weryfikacja, iż certyfikat VTN został wystawiony przez zaufanego wystawcę jest tutaj wystarczająca;

- następnie sprawdzane są dodatkowe informacje zawarte w certyfikacie (takie jak np. pole Common Name certyfikatu) oraz informacje przedstawione w wiadomości identyfikujące dane urządzenie (identyfikator venID) w celu porównania z danymi zawartymi w bazie rekordów. W przypadku braku wpisów bądź ich niespójności urządzenie nie zostaje autoryzowane.

Dzięki tak precyzyjnej i wielowarstwowej architekturze poziom bezpieczeństwa kanału transmisji danych ADR jest bardzo wysoki. Dodatkowo zastosowania powszechnych standardów kryptograficznych upraszcza implementację zabezpieczeń.

#### 4. SYSTEM BAZODANOWY

Wszystkie dane magazynowane są na serwerze na którym zainstalowany jest system operacyjny Linux. Serwer jest zlokalizowany na Politechnice Gdańskiej, co daje nam wysoki poziom bezpieczeństwa dzięki pracy wielu administratorów. Diagram (rys. 4) prezentuje dostęp do serwisu za pomocą przeglądarki WWW, oraz poziomy bezpieczeństwa. W prezentowanym rozwiązaniu nie ma bezpośredniej możliwości dostępu do bazy danych z danymi pomiarowymi. Dostęp do danych pomiarowych odbywa się za pomocą protokołu SOAP (Simple Object Access Protocol). Takie rozwiązanie zabezpiecza dane w przypadku włamania i próby ich usunięcia.



Rys. 4. Schemat dostępu zewnętrznych użytkowników do bazy

W celu zapewnienia ciągłości pracy serwisu, zastosowano lustrzane odbicie głównego systemu. System lustrzany jest

uśpiony oraz jest automatycznie synchronizowany z systemem głównym. W przypadku awarii systemu głównego następuje automatyczne przełączenie na system lustrzany. Baza danych jest replikowana na zewnętrzny dysk sieciowy. Ponadto tworzona jest przyrostowa kopia zapasowa w okresach: miesiąc, tydzień, dzień.

#### 5. MODUŁ OBLICZENIOWY I PREZENTACJI

Aby zalogować się do systemu w przeglądarce internetowej należy wpisać adres <https://manager.ems.gda.pl>. Po załadowaniu strony wyświetli się panel logowania. W systemie domyślnie istnieją dwa poziomy uprawnień konta użytkowników:

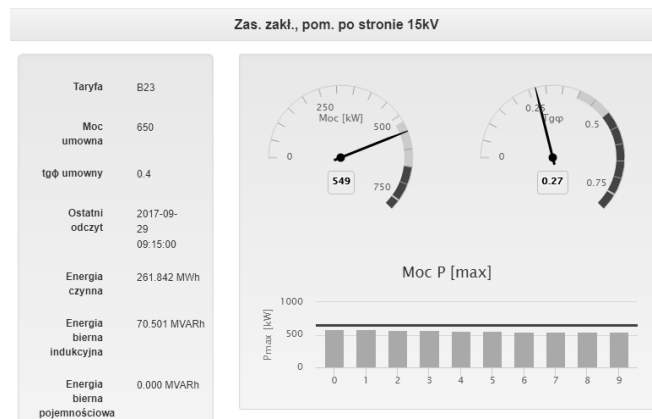
- monitoring służy tylko do podglądu danych pomiarowych;
- administrator umożliwia przeglądanie danych pomiarowych, edytowanie parametrów systemu.

Po zalogowaniu wyświetli się strona główna (Rys. 5). Jest to strona do przeglądania ogólnych informacji o urządzeniach pomiarowych.

- Taryfa dla danego urządzenia,
- moc umowna,
- tg  $\phi$  umowny,
- czas ostatniego zapisu do bazy
- energia czynna w danym miesiącu,
- energia bierna indukcyjna w danym miesiącu,
- energia bierna pojemnościowa w danym miesiącu,

W formie grafów :

- aktualna moc,
- aktualny tg  $\phi$ ,
- dziesięć największych mocy w danym miesiącu, wraz z progiem mocy zamówionej.



Rys. 5. Strona główna systemu zarządzania

W górnej części menu widać menu systemu podzielone na dwie części. Po lewej funkcje systemowe po prawej konfiguracja użytkownika. W tej części menu możliwa jest konfiguracja użytkownika taka jak zmiana hasła, zmiana informacji o użytkowniku, zmiana języka oraz zmiana motywu. Menu nawigacyjne pozwala na poruszanie się po zawartości strony WWW. Zawartość menu różni się w zależności od poziomu uprawnień.

Do modułów obliczeniowych realizowanych na serwerze można zaliczyć:

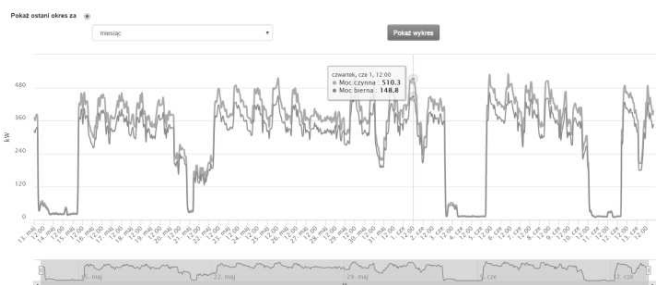
- obsługę alarmów,
- obsługę zdarzeń,
- przygotowanie prognozy zużycia energii,
- obliczenie faktur, rozkładów dobowych i taryf.

Wizualizacja pozwala na wyświetlenie następujących zawartości na stronie WWW:

- odczyty danych pomiarowych co 10 sekund (rys. 6),
- alarmy i zdarzenia,
- raporty w postaci: wykresów (rys. 7), faktur, rozliczeń międzyokresowych, rozkładów dobowych, wykresów prognoz oraz rozkładów prognoz,
- wprowadzenia taryf, punktów pomiarowych i parametrów strażnika mocy (rys. 8).

Zas. zakt., pom. po stronie 15kV Landis Gyr ZMD410CT44.0459		
Opis	Wartość	Jednostka
Energia czynna	886784.619	kWh
Energia bierna indukcyjna	4462351.758	kVARh
Energia bierna pojemnościowa	6895.440	kVARh
Moc czynna	606.380	kW
Prąd	23.680	A
Prąd w I fazie	23.680	A
Prąd w II fazie	23.680	A
Prąd w III fazie	23.680	A
Napięcie	8985.000	V
Napięcie w I fazie	9015.000	V
Napięcie w II fazie	8970.000	V
Napięcie w III fazie	8970.000	V
tgφ	0.329	

Rys. 6. Odczyty danych pomiarowych co 10 sekund



Rys. 7. Przebiegi czasowe mocy czynnej i biernej

Stan strażnika mocy  
Ustawienia strażnika mocy (kontroler mocy okresowej) dla Zas. zakt., pom. po stronie 15kV

☒ Strażnik mocy aktywny

Strażnik poziom I

Próg alarmu [min]: 5

Próg alarmu [kW]: 650

E-mail dla powiadomień: mwlis@ems.gda.pl

Numer dla powiadomień SMS:

Rys. 8. Parametry strażnika mocy

Strażnik mocy, przedstawiony na rys. 8 wylicza, czy na podstawie pomiarów mocy w 5 minucie, dojdzie do przekroczenia progu alarmowego 650kW w 15 minucie. Informacja jest przesyłana pocztą elektroniczną i SMSem.

## 6. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono strukturę Systemu Zarządzania energią na podstawie instalacji zamontowanej w Zakładzie Produkcji Aerosoli. System nie jest kompletny. Nie połączono go z system produkcyjnym i nie są obliczane współczynniki efektywności energetycznej. Zdarzenia są obsługiwane, ale nie sterują żadnymi odbiorami i nie wyłączają zasilania odbiorów. Kolejnym krokiem będzie połączenie planów produkcyjnych oraz baz danych o produkcji w zakładzie w celu wyznaczenia współczynnika efektywności energetycznej.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r – o efektywności energetycznej, Dziennik Ustaw 2016 poz. 831. [Online Dostępne na: 25.09.2017] <http://dziennikustaw.gov.pl/du/2016/831>.
2. Swiatek M., Imbault F.: Better energy management by implementing an energy measurement and monitoring plan, 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I CPS Europe), 2017, s. 1–4.
3. Bhashe P. S., Kolmare G. M., Deshpande A. S.: Design development of energy monitoring solution, 2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), 2016, s. 1222–1227.
4. Wajer B. H.: Benchmarking and Energy management Schemes in SMEs (BESS) – Public Final Report, Intelligent Energy – Europe, EIE/04/246/S07.38678, 2007.
5. Wessels A.: Energy management system implementation at Toyota SA, 2011 Proceedings of the 8th Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy, 2011, s. 40–45.
6. Fiedler T., Mircea P. M.: Energy management systems according to the ISO 50001 standard; Challenges and benefits, 2012 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 2012, s. 1–4.
7. Wlas M., Gackowski M., Kolbusz W.: The Ethernet POWERLINK Protocol for smart grids elements integration, 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2011, s. 2070–2075.
8. Strona internetowa OpenADR Alliance: [openadr.memberclicks.net](http://openadr.memberclicks.net) stan na dzień 25.09.17
9. Noga M., Ożadowicz A., Grela J., Hayduk G.: Active Consumers in Smart Grid Systems - Applications of the Building Automation Technologies, Przegląd Elektrotechniczny 2013, nr 6.
10. Babś A., Madajewski K., Ogryczak T, Noske S., Widel-ski G.: The Smart Peninsula pilot project of Smart Grid deployment at ENERGA-OPERATOR SA, Acta Energetica 2012/08 s. 37-44.

## ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IN THE INDUSTRIAL DEPARTMENT

This article presents the basic functions of the energy management system such as: alarm and event management, active and passive power guard, power, power and voltage monitoring, invoicing, tariff change, billing system, energy consumption forecasting. The work was carried out at the aerosol production plant in the Pomeranian Voivodship. This article describes the OpenADR - Automatic Demand Response protocol, which is used to communicate between a data concentrator attached to meters and energy quality analyzers, and an IT servers system installed at the Gdansk University of Technology.

**Keywords:** energy management system, Automatic Demand Response, energy monitoring.