

SYSTEM ZARZĄDZANIA ENERGIĄ W PRAKTYCE INŻYNIERSKIEJ

Streszczenie: *Oprogramowanie Systemu Zarządzania Energią (SZE) musi gromadzić różnego rodzaju dane, od wskaźników efektywności energetycznej – poprzez analizy energetyczne, krzywe trendu, listy komunikatów alarmowych – aż do skomplikowanych raportów graficznych. Zużycie energii może być analizowane nie tylko według ilości produkcji, ale również w połączeniu z danymi dotyczącymi cen i kosztów. System Zarządzania Energią (SZE) jest działaniem organizacyjnym (z elementami obszaru technicznego), którego skuteczne wdrożenie powinno pozwolić na poprawę wyniku energetycznego, a co za tym idzie, obniżenie kosztów energii oraz stopnia oddziaływania na środowisko. W artykule przedstawiono podstawowe funkcjonalności systemu takie jak: system alarmowy i obsługa zdarzeń, strażnik mocy czynnej i biernej, rejestracja mocy, energii, prądu i napięcia, fakturowanie, zmiana taryf, system bilingowy, rozliczenia i prognozowanie zużycia energii. Prace zostały przeprowadzone w zakładzie produkcji aerozoli w województwie pomorskim. Celem badań było stworzenie systemu umożliwiającego monitorowanie parametrów energetycznych i oddziaływanie na instalacje. W pracy przedstawiono ustawienia strażnika mocy oraz systemu alarmów i obsługi zdarzeń.*

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 na duże przedsiębiorstwa obowiązek wykonania audytu, z czego może zwolnić wprowadzenie systemu zarządzania energią zgodnego z normą ISO 50001 [5, 6]. Liczne przepisy Unii Europejskiej wdrożone do polskiego prawodawstwa promują zwiększanie efektywności energetycznej przedsiębiorstw przez system zachęt, np. białych certyfikatów [1]. Nie da się jednak wdrożyć systemu oszczędności w skomplikowanych układach produkcyjnych bez efektywnego programu pomiarów i agregacji danych [2]. Oczywiście, istnieją proste sposoby zmniejszania zużycia energii, do których można zaliczyć:

- zmianę zachowań pracowników, na przykład wyłączanie maszyn na czas przerw śniadaniowych oraz przerw międzymianowych,
- wymianę energochłonnych źródeł światła, lamp żarowych, metalohalogenkowych czy fluorescencyjnych na oszczędniejsze lampy ledowe,
- zainstalowanie czujników ruchu w wybranych strefach komunikacyjnych, socjalnych i biurowych,
- wymianę silników w układach wentylacji na silniki energooszczędne, o mniejszej mocy, z ew. przebudową central wentylacyjnych.

W wielu przedsiębiorstwach można zmniejszyć zużycie energii od 5% do 30% przy czasie zwrotu nakładów inwestycyjnych nawet mniejszym od 2 lat [4]. Niemniej uzyskanie oszczędności w procesach produkcyjnych wymaga dogłębnej wiedzy dotyczącej danej technologii oraz wiedzy z zakresu technologii informatycznych, w tym bazodanowych¹ [2]. W celu zapewnienia skutecznego planu pomiarów i monitorowania zainstalowany system powinien jednocześnie mierzyć i analizować zużycie energii oraz wydajność produkcji w celu wyznaczenia wskaźnika efektywności energetycznej. Montaż systemu jest niezbędny w celu wprowadzenia normy ISO 50001 i cyklu PDCA (ang. *Plan Do Check Act*) [6].

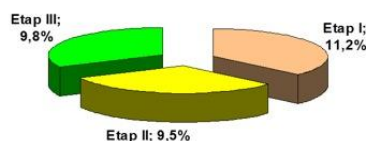
Z doświadczeń Krajowej Agencji Poszanowania Energii (KAPE) [3] wynika, że szacunkowy potencjał zysków z podjęcia działań proefektywnościowych w przedsiębiorstwie (rys. 1) można przedstawić w następujący sposób:

Etap I – opracowanie, wdrożenie lub usprawnienie systemu zarządzania energią oraz wzmocnienie procesu kontroli operacji technologicznych – 11,2% oszczędności;

¹ Bazodanowy – z zakresu baz danych; przymiotnik akceptowany przez Radę Języka Polskiego. (przyp. red.)

Etap II – zastosowanie dodatkowego opomiarowania i wdrożenie systemów kontroli eksploatacji – 9,5%;

Etap III – zmiany na liniach technologicznych i w układach pomocniczych – 9,8% oszczędności.

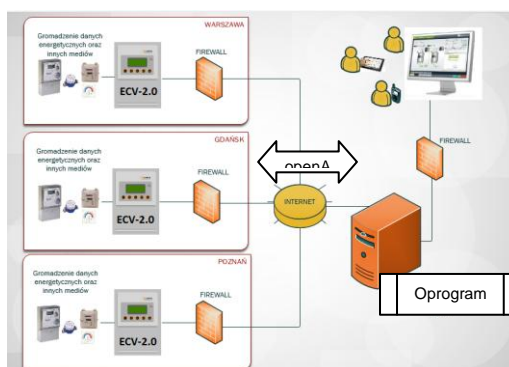


Rys. 1. Szacunkowy potencjał uzyskania oszczędności energii w przedsiębiorstwie

2. Budowa systemu zarządzanie energią elektryczną

2.1. Opis systemu

Prezentowany w artykule system SZE opracowano w wyniku współpracy prywatnych przedsiębiorców z Wydziałem Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (PG). System składa się (rys. 2) z koncentratora danych ECV-2.0 montowanego w stacji transformatorowej oraz oprogramowania bazodanowego i wizualizacyjnego, instalowanego na serwerze PG. ECV-2.0 to zaawansowany sterownik mikroprocesorowy z wejściami analogowymi i cyfrowymi oraz rozbudowanymi możliwościami komunikacyjnymi, które umożliwiają integrowanie sterownika z innymi urządzeniami, jak liczniki energii elektrycznej, analizatory mocy, sterowniki PLC, sterowniki układów klimatyzacji i wentylacji, kompensatory mocy biernej, przekaźniki wyłączników. Sterownik może sterować urządzeniami zgodnie z założonymi wymaganiami. Komunikacja pomiędzy systemem nadrzędnym a koncentratorami danych ECV-2.0 odbywa się za pomocą protokołu OpenADR. Szczegóły dotyczące standardu oraz lista urządzeń i procesów dostępna jest na stronie: <http://www.openadr.org/>. 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 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.).



Rys. 2. Schemat systemu zarządzania energią

2.2. Pomiar energii elektrycznej

Do pomiaru energii na niskim napięciu wykorzystano dostępne na rynku analizatory energii elektrycznej firmy Lovato typ DM800 oraz firmy Lumel typ P43, ND20 i N14 z przekładnikami prądowymi. Do pomiaru całkowitej energii pobieranej przez zakład wykorzystano rezerwowy licznik energii elektrycznej firmy Landis+Gyr typ ZMD410CT44-0459. Urządzenia pomiarowe umieszczono w dwóch kontenerowych stacjach transformatorowych. Do odczytu danych z analizatorów wykorzystano protokół ModbusRTU. Analizowane punkty pomiarowe z ustawieniami strażnika mocy przedstawiono na rys. 3.

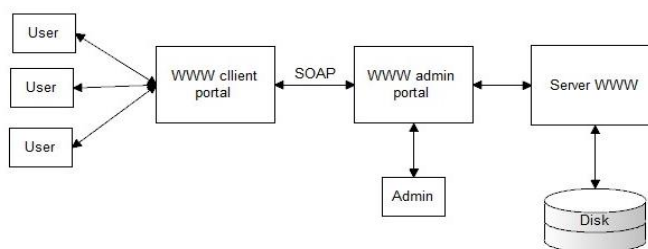


System - Punkty pomiarowe									
Liczni									
Nr licznika	Nazwa	Typ urządzenia	Taryfa	Tarif umowny	Moc zamówiona [kW]	Ustawienia progów		Straznik mocy	aktywny
50642941	Zas. zam. pom. po stronie 19kV	Larvik Oy 23DCA10CT14.0459	B23	0.4	650	650 kW / 5 min , 640 kW / 10 min , 650 kW / 15 min , 650 kW / 15 min		✓	Konfiguruj
00000005	Sprężarka (do 31.07.2017 linia E)	Lumel mierz. par. sieci N14	B23	0.4	290	290 kW / 5 min , 270 kW / 10 min		✓	Konfiguruj
00000003	W1 Linia F (do 31.07.2017 sprężarkownia)	Lumel mierz. par. sieci N14	B23	0.4	160	150 kW / 5 min , 150 kW / 10 min		✓	Konfiguruj
00000004	W1 Linia F (do 31.07.2017 Linia D)	Lumel mierz. par. sieci N14	B23	0.4	150	150 kW / 10 min , 150 kW / 10 min		✓	Konfiguruj
00000006	Buro, W2, W3	Lumel mierz. par. sieci N14	B23	0.4	120	120 kW / 5 min , 120 kW / 10 min		✓	Konfiguruj
00000001	Bateria kondensatorowa	Lumel mierz. par. sieci P43	B23	0.4	2	2 kW / 2 min , 2 kW / 2 min		✓	Konfiguruj
00000002	inne	Lumel mierz. par. sieci N14	B23	0.4	26			✗	Konfiguruj
00000009	Zasilanie RGin stacja tr. TECHPACK II	DMG800_1_15m	B23	0.4	150	150 kW / 10 min , 150 kW / 10 min		✗	Konfiguruj
00000008	Linia E (od 1.08.2017)	ND200_3_15m	B23	0.4	160			✗	Konfiguruj

Rys. 3. Zestawienie punktów pomiarowych

2.3 System bazodanowy

Wszystkie dane magazynowane są na serwerze pracującym z systemem operacyjnym Linux. Serwer zainstalowano na PG, co gwarantuje wysoki poziom bezpieczeństwa, dzięki pracy wielu administratorów. Diagram z rys. 4 prezentuje możliwości dostępu do serwisu za pomocą przeglądarki www oraz poziomy bezpieczeństwa. W prezentowanym rozwiązaniu nie ma bezpośredniej możliwości dostępu do bazy danych pomiarowych. Dostęp do nich odbywa się za pomocą protokołu SOAP. Takie rozwiązanie zabezpiecza dane na wypadek włamania i próby ich usunięcia.



Rys. 4. Schemat dostępu zewnętrznych użytkowników do bazy danych

W celu zapewnienia ciągłości pracy serwisu, zastosowano lustrzane odbicie głównego systemu. W przypadku awarii systemu głównego następuje samoczynne przełączenie na system lustrzany. Baza danych jest replikowana za zewnętrznym dysku sieciowym. Ponadto tworzona jest przyrostowa kopia zapasowa w okresach: miesiąc, tydzień, dzień.

3. MOŻLIWOŚCI OPROGRAMOWANIA SZE

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

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

Istnieje także możliwość definiowania nowych użytkowników. Po zalogowaniu wyświetla się strona główna (rys. 5) do przeglądania ogólnych informacji o urządzeniach pomiarowych według poniższej specyfikacji:

- taryfa dla danego urządzenia,
- moc umowna,
- tgφ umowny,
- czas ostatniego zapisu do bazy,
- energia czynna w danym miesiącu,

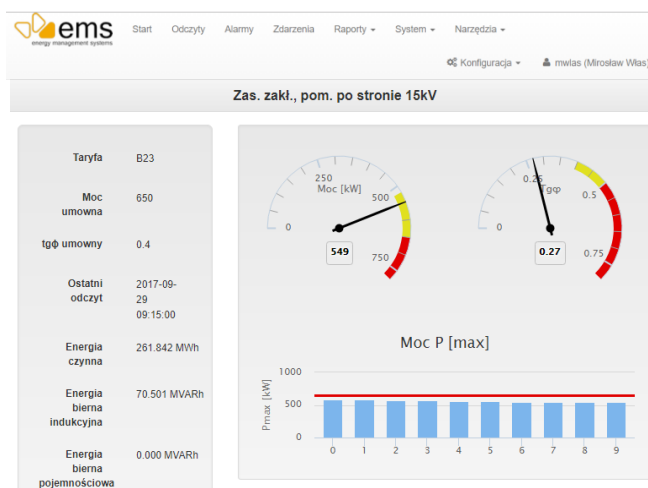


- energia bierna indukcyjna w danym miesiącu,
- energia bierna pojemnościowa w danym miesiącu.

W formie grafów zaprezentowano na stronie głównej:

- bieżącą wartość mocy czynnej,
- bieżącą wartość $\text{tg}\phi$,
- dziesięć największych wartości mocy czynnej w danym miesiącu, wraz z progiem mocy zamówionej.

Górną część menu systemu podzielono na dwie części – po lewej funkcje systemowe, a 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.



Rys. 5. Strona główna systemu zarządzania

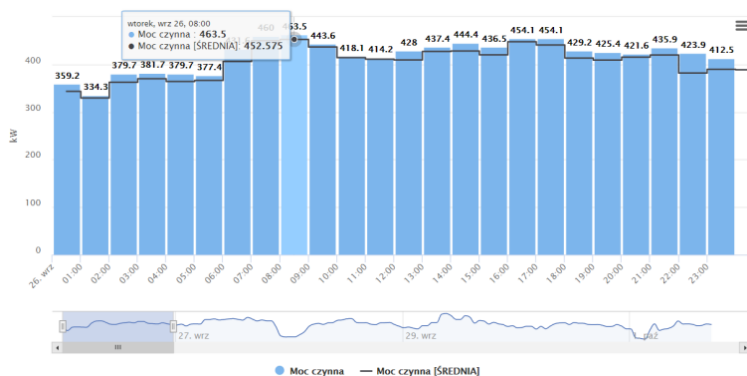
Menu nawigacyjne pozwala na poruszanie się po zawartości strony www. Zawartość menu różni się w zależności od poziomu uprawnień. Do modułów obliczeniowych realizowanych na serwerze można zaliczyć:

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

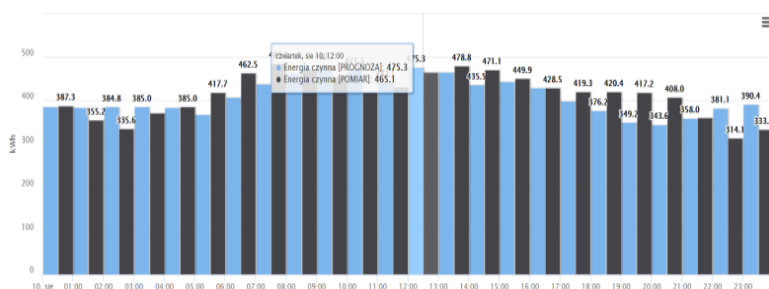
Wizualizacja pozwala na wyświetlenie następujących treści na stronie www:

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





Rys. 6. Przebiegi czasowe mocy czynnej



Rys. 7. Przebiegi czasowe zmiennych rzeczywistych oraz prognozy godzinowej zużycia energii elektrycznej

Raporty pozwalają nie tylko na kontrolę zużycia energii i sprawdzenie bieżących wartości mocy czynnej i mocy biernej, ale umożliwiają także ocenę, czy obecne taryfy opłat za energię są wybrane optymalnie i czy istnieje możliwość ich zmiany zmniejszająca koszty funkcjonowania przedsiębiorstwa.

Sprężarkownia (do 31.07.2017 linia E)		
Lumel miern. par. sieci N14		
Opis	Wartość	Jednostka
Energia czynna	2925737.200	kWh
Energia bierna indukcyjna	1306220.400	KVARh
Energia bierna pojemnościowa	282.300	KVARh
Moc czynna	60.731	kW
Prąd	92.597	A
Prąd w I fazie	90.682	A
Prąd w II fazie	94.856	A
Prąd w III fazie	91.892	A
Napięcie	239.890	V
Napięcie w I fazie	239.240	V
Napięcie w II fazie	240.093	V
Napięcie w III fazie	241.187	V
tgφ	0.452	
tgφ w I fazie	0.473	
tgφ w II fazie	0.432	
tgφ w III fazie	0.458	
Częstotliwość	49.950	Hz

Rys. 8. Odczyty danych pomiarowych co 10 sekund



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

Strażnik mocy aktywny

Strażnik poziom I

Próg alarmu [min]

Próg alarmu [kW]

E-mail dla powiadomień

Numery dla powiadomień SMS

Strażnik poziom II

Próg alarmu [min]

Próg alarmu [kW]

E-mail dla powiadomień

Rys. 9. Ustawienia strażnika mocy

4. Alarmy i zdarzenia

Korzystając z menu System/Punkty pomiarowe (rys. 3), przyciskiem Konfiguruj wchodzi się w ustawienia punktów pomiarowych. Najważniejszym ustawieniem jest strażnik mocy 15-minutowej. Można ustawić dla każdego punktu kilka poziomów strażnika mocy (rys. 9). Oprócz poziomu mocy ustalana jest także chwila wysłania informacji SMS. System wylicza liniową predykcję wystąpienia przekroczenia mocy w 15. minucie na podstawie wyliczeń w minucie, w której ustalono próg wysłania wiadomości. Oprócz SMS informacja jest przesyłana na skrzynkę poczty elektronicznej.

Dodawanie alarmów
Panel dodawania nowych alarmów

[Dodaj alarm](#) [Pokaż alarmy](#)

Aktywne alarmy

Pokaż: 20 pozycji Szukaj:

Status alarmu	Nazwa punktu pomiarowego	Wartość progu	Warunek	Zmienna	Typ alarmu	Czas trwania od	Czas trwania do	Opis alarmu	Edycja	Usuń
✓	Zas. zakł., pom. po stronie 15kV	0.41	>=	lg8	Warning	2017-02-01 00:00:00+00	Brak końca okresu obowiązywania	Przekroczenie tg fi	✎	✖
✓	Zas. zakł., pom. po stronie 15kV	650	>=	Moc czynna	Info	2017-02-02 00:00:00+00	Brak końca okresu obowiązywania	Przekroczenie mocy zamówionej od początku okresu rozliczeniowego	✎	✖

Pozycje od 1 do 2 z 2 łącznie Poprzednia Następna

Rys. 10. Okno alarmów

Alarmy / Edycja

Licznik: Zmienna:

Warunek: Wartość progu:

Rodzaj zdarzenia: Opis zdarzenia:

Status alarmu:

Rejestruj alarm

Początek: Koniec:

Rejestruj alarm

Początek: Koniec:

[Zatwierdź zmiany](#) [Anuluj](#)

Rys. 11. Dodawanie nowego alarmu



Status	Nazwa punktu pomiarowego	Zmienna	Warunek	Wartość prog.	Typ zdarzenia	Czas trwania od	Czas trwania do	Opis zdarzenia	Email powiadomienia	Sterowanie	Akcja	Edycja
x	Zas. zakł. pom. po stronie 15kV	Moc czynna	>=	100	Warning	2017-08-01 00:00:00+00	Brak końca okresu obowiązywania	Przekroczenie mocy	mwlas@ems.gda.pl	Wyjście nr 1	Załącz	<input checked="" type="checkbox"/>
✓	Zas. zakł. pom. po stronie 15kV	Moc czynna	>=	500	Warning	2017-08-14 00:00:00+00	Brak końca okresu obowiązywania	Przekroczenie mocy chwilowej		Wyjście nr 1	Załącz	<input checked="" type="checkbox"/>
✓	Bateria kondensatorów	Moc czynna	>=	2	Warning	2017-09-04 00:00:00+00	Brak końca okresu obowiązywania	Przekroczenie mocy czynnej		Wyjście nr 3	Wyłącz	<input checked="" type="checkbox"/>

Rys. 12. Okno zdarzeń

Urządzenie: Zas. zakł. pom. po stronie 15kV Zmienna: Moc czynna

Działanie: Sterowanie wyjściem X1 załącz

Aktywacja powiadomien email

Podaj adres email do powiadomien: mwl@as@ems.gda.pl

Warunek: >=

Wartość prog: 500

Rodzaj zdarzenia: Ostrzeżenie

Opis zdarzenia: Przekroczenie mocy chwilowej

Status zdarzenia

Rejestruj zdarzenie

Początek: 2017-10-01 Koniec: 2017-10-01

Rejestruj zdarzenie

Początek: 2017-08-14 Koniec: Bez końca okresu obowiązywania

Rys. 13. Dodawanie nowego zdarzenia

Na rysunkach 10, 11, 12 i 13 przedstawiono odpowiednio okno alarmów i zdarzeń oraz dodawanie nowego alarmu i zdarzenia. Alarmy są zbierane w systemie i informują o przekroczeniach wartości dowolnych agregowanych parametrów. Zdarzenia mają nie tylko informować o przekroczeniu wybranego parametru, ale także oddziaływać na urządzenia wykonawcze przyłączone do koncentratora danych ECV-2.0. W najprostszym rozwiązaniu przy spełnieniu warunku wystąpienia zdarzenia wysterowane są wyjścia cyfrowe koncentratora. Dodatkowo przygotowano przesyłanie powiadomienia o zdarzeniu na adres email. Można też wyznaczyć początek i koniec okresu rejestrowania zdarzeń.

5. Wnioski końcowe

W artykule przedstawiono budowę systemu zarządzania energią (SZE) na podstawie instalacji zamontowanej w zakładzie produkcji aerozoli. System nie jest kompletny. Nie połączono go z systemem produkcyjnym i nie są obliczane wskaźniki efektywności energetycznej. System ma możliwość sterowania odbiorami, a – dzięki pojemnej pamięci koncentratora – dane mogą być gromadzone na koncentratorze w przypadku utraty komunikacji z serwerem. Najważniejszą wyróżniającą cechą systemu jest możliwość prognozowania i przekazywania danych prognozowanych do sprzedawcy energii. Kolejnym krokiem będzie połączenie planów produkcyjnych oraz baz danych o produkcji w zakładzie z informacjami o zużyciu energii.

7. Literatura

1. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej. Dz.U. 2016, poz. 831. [online] dziennikustaw.gov.pl/du/2016/831.
2. Swiatek M., Imbault F.: Better energy management by implementing an energy measurement and monitoring plan. W [Materiały] 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering; 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I CPS Europe), 2017, s. 1–4.

3. Zarządzanie energią – praktyczne aspekty obniżenia kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa [dostęp: 25.09.2017, [www.bialecertyfikaty.com.pl/artykuly /zarzadzanie-energia-praktyczne-aspekty-obnizenia-kosztow-funkcjonowania-przedsiębiorstwa](http://www.bialecertyfikaty.com.pl/artykuly/zarzadzanie-energia-praktyczne-aspekty-obnizenia-kosztow-funkcjonowania-przedsiębiorstwa)].
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, W [Materiały] 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. W [Materiały] 2012 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 2012, s. 1–4.