



Instalacja energetyczna użytkowana w wybranym budynku — ocena wybranych parametrów technicznych

MAREK SUPRONIUK, JACEK PAŚ

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów
Elektronicznych, ul. gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa,
marek.suproniuk@wat.edu.pl, jacek.pas@wat.edu.pl

Streszczenie. W Polsce ok. 95% energii elektrycznej wytwarza się w procesie spalania węgla [6, 7]. Oszczędzanie energii elektrycznej daje wymierne efekty ekonomiczne związane z mniejszymi rachunkami, a także przyczynia się do ochrony środowiska naturalnego. Pochodną tego są oszczędności związane z naszym zdrowiem, mniejszą degradacją środowiska naturalnego, czy w efekcie oszczędności złóż energii. W artykule przedstawiono zagadnienia związane z analizą zużycia energii elektrycznej w wybranym obiekcie budowlanym. Uwzględniono dwa następujące zagadnienia – analizę dokumentów związanych z zasilaniem w energię elektryczną, rozdziałem energii, poborem mocy poszczególnych odbiorników i reżimami czasowymi pracy odbiorników w obiekcie oraz analizę odczytów analizatora energii elektrycznej zainstalowanego na obiekcie.

Słowa kluczowe: pomiary parametrów jakości energii elektrycznej, wyższe harmoniczne napięcia/prądu
DOI: 10.5604/01.3001.0013.1478

1. Wstęp

W artykule przedstawiono wybrane metody oszczędzania energii elektrycznej w wybranym budynku użyteczności publicznej B. Problematyką jakości energii elektrycznej (JEE) zajmuje się obecnie wiele podmiotów gospodarczych [6, 12, 14]. Jakość i niezawodność dostarczania energii elektrycznej to skomplikowane zagadnienia techniczne oraz ekonomiczne [2, 5, 8, 14]. Aspekty ekonomiczne związane są z problemami wyceny skutków złej jakości energii elektrycznej. Producentem zakłóceń w sieci energetycznej są w głównej mierze finalni odbiorcy energii, ale oni

również odczuwają bezpośrednio skutki złej jakości energii elektrycznej. Oszczędzanie energii elektrycznej daje wymierne efekty ekonomiczne związane z mniejszymi rachunkami. Trzeba także stwierdzić, że oszczędzając energię elektryczną, przyczyniamy się do ochrony środowiska naturalnego dla obecnych pokoleń i ich dzieci. W artykule przedstawiono wyniki analiz, które obejmują następujące punkty:

- analizę poboru mocy przez poszczególne odbiorniki energii elektrycznej zainstalowane w użytkowanym obiekcie;
- zagadnienia związane z zasilaniem w energię elektryczną, jej rozdziałem i odbiornikami;
- analizę odczytów analizatora energii elektrycznej zainstalowanego na obiekcie;
- wizję lokalną obiektu i instalacji pod kątem infrastruktury technicznej związanej z zasilaniem w energię elektryczną, jej rozdziałem i odbiornikami, a w szczególności zapoznanie się z pomieszczeniami rozdzielni, z maszynami i urządzeniami elektrycznymi zastosowanymi w obiekcie.

W podsumowaniu przedstawione zostaną propozycje zmian, w wyniku których nastąpi poprawa efektywności energetycznej oraz optymalizacja kosztów zakupu energii elektrycznej wykorzystywanej w budynku użyteczności publicznej B.

2. Charakterystyka instalacji energetycznej użytkowanej w wybranym budynku B

Budynek użyteczności publicznej B zasilany jest ze stacji transformatorowej. Rozdzielnia główna nn — 0,4 kV budynku składa się z dwóch sekcji (I i II) zasilanych z różnych sekcji ww. stacji transformatorowej. Każda z sekcji jest wzajemnie rezerwowana. Dodatkowo sekcja II jest rezerwowana agregatem prądowórczym (AP) o mocy X kVA. Do sekcji II dołączony został również system ogniw fotowoltaicznych (OF) RGPV umieszczonych na dachach budynku o łącznej mocy xx kW.

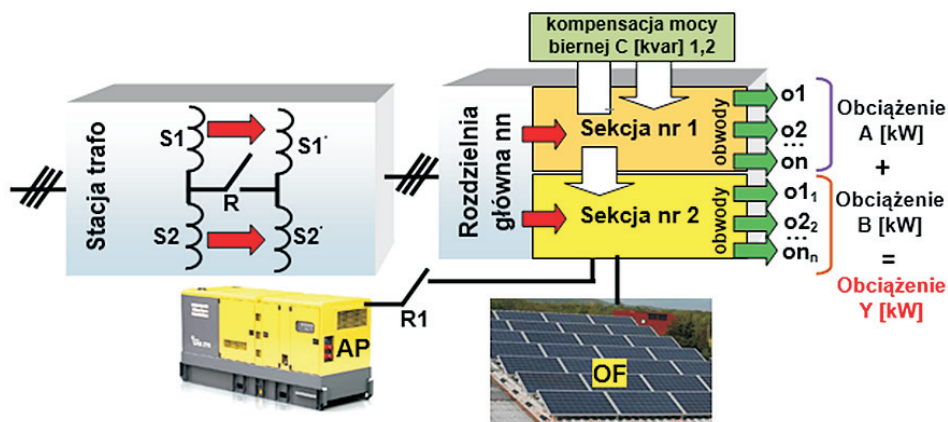
Projekt techniczny budynku przewiduje obciążenie na poziomie A kW (z uwzględnieniem 30% rezerwy), w tym w sekcji I C kW mocy zainstalowanej (łącznie z rezerwą) w sekcji II D kW. W każdej sekcji zainstalowane zostały statyczne baterie kondensatorów do kompensacji mocy biernej po Q kvar na każdą sekcję. W tabeli 1 przedstawiono moce zainstalowane P_i oraz moce zapotrzebowania P_z odbiorów podłączonych do poszczególnych sekcji. Odbiornikami zainstalowanymi w każdej sekcji o największym poborze mocy są systemy wentylacji (W1 kW w sekcji I oraz W2 kW w sekcji II).

TABELA 1

Moce odbiorników zainstalowanych w poszczególnych sekcjach rozdzielni głównej bez uwzględnienia rezerwy

SEKCJA I							
Lp.	Odbiorniki	Pi	kz	cos fi	tg fi	Pz	Q
		kW	–	–	–	kW	kvar
1.	Gniazda wtykowe ogólne	A1	0,40	0,80	0,75	67,32	50,49
2.	Gniazda wtykowe przy umywalkach	A2	0,25	0,80	0,75	6,00	4,50
3.	Technologia	A3	0,45	0,80	0,75	4,05	3,04
5.	Oświetlenie	A4	0,70	0,98	0,20	17,50	3,55
5.	Gniazda komputerowe	A5	0,60	0,80	0,75	74,28	55,71
6.	Wentylacja	A6	0,59	0,80	0,75	134,52	100,89
7.	WINDY	A7	0,25	0,50	1,73	7,75	13,42
8.	TABLICA „f” AULA	A7	0,57	0,80	0,75	41,72	31,29
SEKCJA II							
Lp.	Odbiorniki	Pi	kz	cos fi	tg fi	Pz	Q
		kW	–	–	–	kW	kvar
1.	Gniazda wtykowe ogólne	A11	0,40	0,80	0,75	42,36	31,77
2.	Gniazda wtykowe przy umywalkach	A22	0,25	0,80	0,75	7,50	5,63
3.	Technologia/gniazda kuchnia	A33	0,45	0,80	0,75	23,69	17,77
4.	Oświetlenie	A44	0,70	0,98	0,20	17,14	3,48
5.	Gniazda komputerowe	A55	0,65	0,80	0,75	59,28	44,46
6.	UPS 8 kVA (tylko dla CCTV)	A66	1,00	0,80	0,75	6,00	4,50
7.	UPS 40 kVA	A77	1,00	0,80	0,75	32,00	24,00
8.	UPS 80 kVA	A78	1,00	0,80	0,75	64,00	48,00
9.	Wentylacja	A12	0,51	0,80	0,75	130,31	97,73
10.	WINDY	A22	0,25	0,50	1,73	2,25	3,90
11.	Elektroniczne systemy bezpieczeństwa (KD, SWiN itp.)	aa	1,00	0,80	0,75	5,50	4,13

Na wejściu każdej sekcji jest zainstalowany system monitoringu energii elektrycznej. Informacje uzyskane z tego systemu powinny być cenną wskazówką dla osób odpowiadających za gospodarkę energetyczną w budynku oraz pozwolić na sformułowanie odpowiednich wniosków dotyczących zarządzania energią elektryczną. Dobre zarządzanie może odbywać się tylko i wyłącznie w oparciu o dokładną



Rys. 1. Zasilanie obiektu budowlanego, oznaczenia: S1, S2 — sekcje zasilania, R, R1 — przełącznik rezerwy, S1', S2' — rezerwa sekcji zasilania, o1, o2, ..., on — obwody zasilania, AP — agregat prądowłórczy, OF — ogniwa fotowoltaiczne, nn — niskie napięcie

i rzetelną analizę danych. Dane pomiarowe z systemu BMS stanowią najcenniejsze źródło informacji o problemach pojawiających się w systemie [8, 9, 13]:

- monitorowanie parametrów zasilania służy do obserwacji i weryfikacji stanu poszczególnych urządzeń oraz instalacji;
- znajomość zmienności obciążenia pozwala na możliwość bilansowania zapotrzebowania oraz prognozowania energii elektrycznej, co w dalszym etapie umożliwia zamawianie energii elektrycznej w cyklu dobowym czy tygodniowym;
- pomiary współczynnika mocy oraz pobieranej mocy biernej mogą skutkować właściwym doбором urządzeń kompensujących i w efekcie unikaniem dodatkowych obciążeń finansowych;
- znajomość pobieranego prądu i mocy jest cenną informacją w przypadku zmiany wyposażenia (np. zwiększenia poboru mocy) [6, 8, 17].

Dodatkową funkcją układu zarządzania energią elektryczną powinien być układ automatycznej kontroli mocy umownej i wyłączenia mało ważnych odbiorników w przypadku jej przekroczenia. Przez to minimalizowane są koszty kar związanych z przekroczeniem mocy 15-minutowej. Podobnie jest w przypadku analizy mocy biernej. Wówczas dochodzi jeszcze zjawisko przekompensowania wynikające z niewłaściwego doboru nastaw regulatora bądź sposobu kompensacji. Rzeczywista eksploatacja kompensacji mocy biernej umożliwia jeszcze wykorzystanie innych zjawisk mogących mieć wpływ na jakość energii elektrycznej.

W trakcie eksploatacji baterii kondensatorów może dojść w wyniku chwilowego przeciążenia prądami wyższych harmonicznych do zadziałania bezpieczników topikowych, które wyłączają odpowiednie stopnie baterii kompensatora. Ponieważ zjawiska te mogą wystąpić w sposób nieoczekiwany, a mają wpływ na wymierne skutki

finansowe, często są widoczne dopiero po dłuższym czasie, natomiast w systemie monitorowania mogą być zauważone natychmiast. Jeżeli proces kontroli przepływu mocy średnich zostanie przeprowadzony w rozbiciu na poszczególne fazy, może się okazać, że rzeczywista asymetria obciążeń jest zdecydowanie większa.

3. Pomiar wielkości napięć i prądów instalacji energetycznej użytkowanej w wybranym budynku

W przypadku ponadumownego poboru mocy czynnej oraz mocy biernej indukcyjnej i pojemnościowej nakładane są kary pieniężne za przekroczenie deklarowanych wielkości. Podstawy prawne i sposoby naliczania opłat za przekroczenie mocy umownej oraz opłat za energię bierną określa Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 sierpnia 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną oraz zmieniające je Rozporządzenie z dnia 12 kwietnia 2012 r.

Za przekroczenie mocy umownej określonej w umowach jest pobierana opłata w wysokości stanowiącej iloczyn składnika stałego stawki sieciowej oraz:

- 1) sumy dziesięciu największych wielkości nadwyżek mocy pobranej ponad moc umowną albo
- 2) dziesięciokrotności maksymalnej wielkości nadwyżki mocy pobranej ponad moc umowną wyznaczoną w okresie rozliczeniowym.

W przypadku ponadumownego poboru energii biernej indukcyjnej podstawą do obliczenia kary jest wartość rzeczywistego współczynnika mocy $\text{tg } \varphi$ obliczonego jako iloraz energii biernej do czynnej pobranej w okresie rozliczeniowym. Jeżeli współczynnik mocy jest wyższy niż wymagany współczynnik $\text{tg } \varphi_0$ (najczęściej 0,4), wówczas opłatę za ponadumowny pobór mocy biernej indukcyjnej oblicza się z zależności 1 [3, 12].

$$O_b = k \times C_{rk} \times \left(\sqrt{\frac{1 + \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi_0}} - 1 \right) \times A, \quad (1)$$

gdzie: O_b — opłata za nadwyżkę energii biernej w złotych,
 k — ustalona w taryfie krotność ceny C_{rk} . Dla odbiorców zasilanych z niskiego napięcia wynosi ona najczęściej 3, a dla odbiorców zasilanych średnim napięciem 1;
 C_{rk} — średnia cena sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym na dzień zatwierdzenia taryfy operatora;
 $\text{tg } \varphi_0$ — umowny współczynnik mocy (najczęściej 0,4);
 $\text{tg } \varphi$ — współczynnik mocy wynikający z pobranej energii biernej;
 A — energia czynna pobrana całodobowo lub dla strefy czasowej, w której jest prowadzona kontrola poboru energii biernej.

W przypadku poboru energii biernej pojemnościowej kara obliczana jest jako:

$$O_b = k \times C_{rk} \times B, \quad (2)$$

gdzie: O_b — opłata za nadwyżkę energii biernej w złotych,

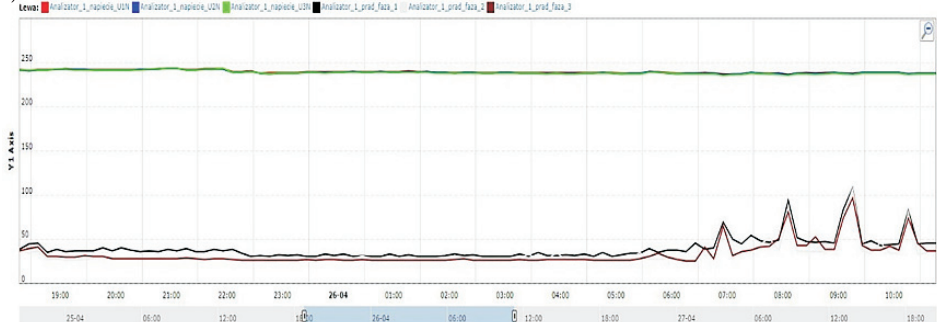
B — energia bierna pojemnościowa pobrana w okresie rozliczeniowym.

Na rysunku 2 zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów z przebiegami zarejestrowanymi przez Analizator DIRIS A40 w sekcji I budynku B. Przebiegi sumy mocy czynnej biernej i pozornej (rys. 2a) oraz napięć fazowych i prądów w poszczególnych fazach (rys. 2b) zarejestrowane zostały od godziny 19 dnia 25 kwietnia do godziny 11 dnia 26 kwietnia. Przedstawione wyniki pomiarów służą do określenia wartości średniej wyznaczonej z 10 minut rejestrowanych parametrów. Średnia wartość napięć wszystkich faz w analizowanym czasie jest na poziomie 239 V. Wartość średnia prądu fazy L1 była równa 39 A, natomiast w fazach L2 oraz L3 33 A. Wartość średnia mocy czynnej pobranej przez wszystkie fazy między godziną 23 a 6 była równa 41 kW. Na uwagę zasługuje fakt występowania w rejestrowanych przebiegach mocy biernej o wartościach ujemnych, co mogłoby świadczyć o przekompensowaniu instalacji przez baterię kondensatorów. Powoduje to nałożenie kar, o których była mowa wcześniej.

a)

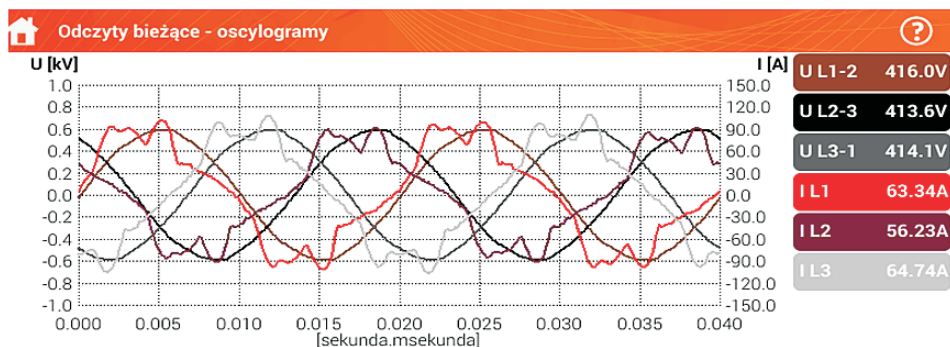


b)



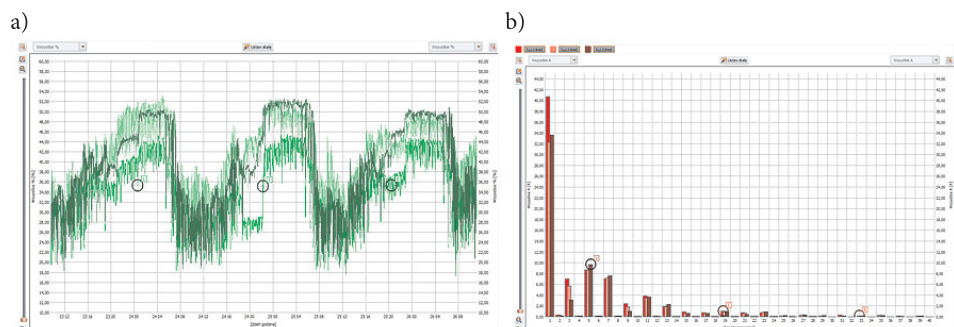
Rys. 2. Przebiegi sumy mocy biernej, czynnej i pozornej (a) oraz przebiegi napięć i prądów w poszczególnych fazach zarejestrowane przez BMS w sekcji I (b)

Z uwagi na fakt występowania ujemnych wartości mocy bierniej postanowiono przeprowadzić dodatkowe pomiary parametrów jakości energii, wykorzystując w tym celu miernik PQM 707 firmy Sonel. Miernik został załączony 23 kwietnia o godzinie 9.39, a pomiary zakończono 26 kwietnia o godzinie 11.12. Za pomocą miernika dokonano pomiaru następujących parametrów: wartości skutecznej napięć wszystkich faz, wartości skutecznej prądów wszystkich faz, częstotliwości, współczynnika mocy odbiorników, mocy czynnej, bierniej i pozornej wszystkich faz, współczynnika zawartości wyższych harmonicznych prądu i napięcia oraz harmonicznych w napięciu oraz prądzie. Na rysunku 3 przedstawiono bieżące oscylogramy napięć przewodowych oraz prądów w poszczególnych fazach. Warto zwrócić uwagę na znaczne zakłócenia prądu.



Rys. 3. Oscylogramy napięć przewodowych i prądów fazowych zmierzone przed wyłącznikiem Q1 w sekcji I

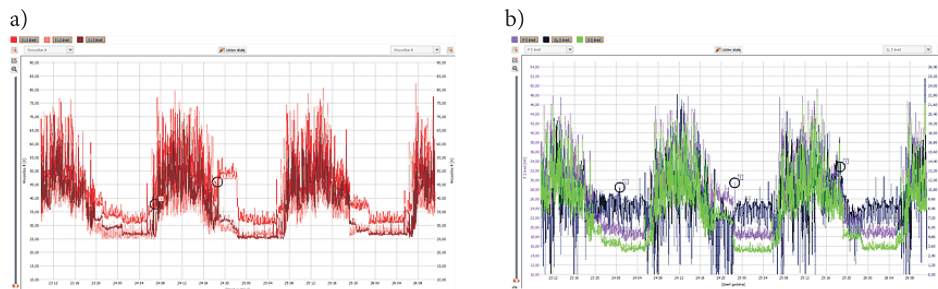
Dokonując analizy zarejestrowanych przebiegów, stwierdzono, że pomiary napięć mieszczą się w przedziale $\pm 10\%$ napięcia znamionowego i są zgodne z obowiązującymi przepisami dotyczącymi parametrów jakości energii elektrycznej.



Rys. 4. Przebiegi współczynnika zawartości wyższych harmonicznych prądów w poszczególnych fazach (a) oraz wartości skuteczne prądów poszczególnych harmonicznych (b)

Pomiary współczynnika odkształcenia wyższymi harmonicznymi napięcia wykazały, że nie przekraczał on 2% w analizowanym okresie (przepisy dopuszczają odkształcenia na poziomie 8%). Częstotliwość napięcia mieściła się w przedziale 50 Hz \pm 1%.

Na rysunku 5 przedstawiono przebiegi wartości skutecznych prądów fazowych (a) oraz mocy pobieranej przez odbiorniki dołączone do sekcji I w budynku B.



Rys. 5. Zarejestrowane przebiegi wartości skutecznych prądów w poszczególnych fazach (a) oraz mocy: czynnej, biernej i pozornej w sekcji I budynku B

Na rysunku 5 przedstawiono przebiegi wartości skutecznych prądów fazowych w poszczególnych fazach oraz mocy pobieranej przez odbiorniki dołączone do sekcji I w budynku x. Wartość średnia prądu fazy L1 w godzinach nocnych (pomiar prądu od godziny 22 do 6) jest równa około 32 A, natomiast w fazach L2 i L3 około 27 A, co odpowiada poborowi mocy czynnej 19 kW.

4. Wnioski

Jednym ze wskaźników jakości energii elektrycznej są zakłócenia związane z występowaniem wyższych harmonicznymi [6, 7, 18]. Obecność wyższych harmonicznymi w przebiegach czasowych prądów i napięć ma duże negatywne skutki ekonomiczne [4, 7]. Powoduje to występowanie dużych strat energii elektrycznej. Mogą być nawet kilkanaście razy większe od strat w układzie energetycznym z przebiegami sinusoidalnymi nieodkształconymi [1, 10, 11, 14, 16]. W przypadku użytkowania paneli fotowoltaicznych jako alternatywnych źródeł energii elektrycznej zaleca się co najmniej dwukrotne ich czyszczenie w roku. Użycie energooszczędnych lamp pozwala zmniejszyć zużycie energii na oświetlenie nawet o 80%. Są one także od 5 do 15 razy trwalsze niż tradycyjne żarówki. Zastosowanie urządzeń do minimalizacji wyższych harmonicznymi prądu w instalacji energetycznej budynku B (np. dławików, filtrów) powoduje zmniejszenie zawartości harmonicznymi w przebiegu prądów i napięć.

Dokonując analizy zarejestrowanych przebiegów (rys. 3), stwierdzono, że napięcia i prądy fazowe zmierzone przed wyłącznikiem Q1 w sekcji I mieszczą się w przedziale $\pm 10\%$ napięcia znamionowego i są zgodne z obowiązującymi przepisami dotyczącymi parametrów jakości energii elektrycznej. Pomiar współczynnika odkształcenia wyższymi harmonicznymi napięcia wykazały, że nie przekraczał on wartości 2% w analizowanym okresie (przepisy dopuszczają odkształcenia na poziomie 8%).

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego nr 928/2018.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na konferencji EKOMILITARIS 2018 „XXXII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna – Inżynieria Bezpieczeństwa – Ochrona przed Skutkami Nadzwyczajnych Zagrożeń”, Zakopane 6.09.2018.

Artykuł wpłynął do redakcji 27.09.2018 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 5.11.2018 r.

Marek Suproniuk <https://orcid.org/0000-0003-3723-6116>

Jacek Paś <https://orcid.org/0000-0001-8900-1445>

LITERATURA

- [1] ROSIŃSKI A., *Design of the electronic protection systems with utilization of the method of analysis of reliability structures*, Nineteenth International Conference On Systems Engineering (ICSEng 2008), Las Vegas, USA 2008.
- [2] DYDUCH J., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
- [3] Uchwała nr 91 Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia *Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii*.
- [4] PAŚ J., *Shock a disposable time in electronic security systems*, Journal of KONBiN, 2, 38, 2016, pp. 5-31, DOI: 10.1515/jok-2016-0016.
- [5] SIERGIEJCZYK M., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *Issue of reliability-exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway environment with consideration of electromagnetic interference*, IET Intelligent Transport Systems, vol. 10, 9, 2016, pp. 587-593, DOI: 10.1049/iet-its.2015.0183.
- [6] KULAS S., SUPRONOWICZ H., SUPRONIUK M., MICHTA K., *Koncepcja jednofazowego łącznika hybrydowego do zastosowań energetycznych*, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 92, 2016, s. 37-40.
- [7] BĘLDOWSKI Ł., MARKIEWICZ H., *Stacje i urządzenia elektroenergetyczne*, Wyd. 3, WNT, Warszawa, 1995.
- [8] LEWIŃSKI A., PERZYŃSKI T., TORUŃ A., *The analysis of open transmission standards in railway control and management*, [in:] Communications in Computer and Information Science, Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, vol. 329, 2012, pp. 10-17.
- [9] J. PAŚ, *Operation of electronic transportation systems*, Publishing House University of Technology and Humanities, Radom, 2015.
- [10] GARMABAKI A.H.S., AHMADI A., MAHMOOD Y.A., BARABADI A., *Reliability modelling of multiple repairable units*, Quality and Reliability Engineering International, 32, 7, 2016, pp. 2329-2343. DOI: 10.1002/qre.1938.
- [11] BILLINTON R., ALLAN R.N., *Reliability evaluation of power systems*, Plenum Press, New York, 1996.
- [12] VERMA A.K., AJIT S., KARANKI D.R., *Reliability and safety engineering*, Springer, London, 2010.

- [13] KUCHTA M., PAŚ J., *Terroryzm elektromagnetyczny – zagrożenia w obiektach budowlanych*, Biuletyn WAT, 64, 2, 2015, s. 135-148, DOI: 10.5604/12345865.1157324.
- [14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 sierpnia 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną oraz zmieniające je Rozporządzenie z dnia 12 kwietnia 2012.
- [15] DUER S., *Examination of the reliability of a technical object after its regeneration in a maintenance system with an artificial neural network*, Neural Computing & Applications, vol. 21, no. 3, 2012, pp. 523-534.
- [16] SOLIMAN A., MANTAWY A.H., *Modern optimization techniques with applications in electric power systems*, Springer Science + Business Media, 2012.
- [17] CHOROMAŃSKI W., DYDUCH J., PAŚ J., *Minimizing the Impact of Electromagnetic Interference Affecting the Steering System of Personal Rapid Transit in the Context of the Competitiveness of the Supply Chain*, Archives Of Transport, Polish Academy of Sciences Index 201 901, vol. 23, ss. 2, Warsaw, 2011.
- [18] DZIULA P., PAŚ J., *Low Frequency Electromagnetic Interferences Impact on Transport Security Systems Used in Wide Transport Areas*, TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 12, nr 2, 2018, pp. 251-258, DOI: 10.12716/1001.12.02.04.

M. SUPRONIUK, J. PAŚ

Analysis of electrical energy consumption on the example of a selected building

Abstract. In Poland, approx. 95% of electrical energy is generated in a coal combustion process. Saving electrical energy gives economic effects related to the smaller fees and contributes to protection of the natural environment. Additionally, saving electrical energy should translate into our health, lesser degradation of the natural environment, or less consumption of natural deposits of energy. The paper has presented the issues related to analysis of energy consumption in a selected building object. The analyse includes the following issues – document analysis related to the building's power, energy distribution, and power consumption of individual load and time regimes of work of receivers in the object and analysis of electrical energy which has been measured in a building.

Keywords: electricity quality parameters measurement, higher harmonics of current/voltage

DOI: 10.5604/01.3001.0013.1478