

## Jakość i bilans energii w sieci zasilającej obiektu biurowo-magazynowego

**Streszczenie.** W pracy podjęto tematykę jakości energii i efektywności energetycznej w funkcjonowaniu obiektu biurowo-magazynowego. Opisano warunki pracy osprzętu elektrycznego w obiekcie (w którym dodatkowo eksploatowana jest farma fotowoltaiczna) oraz oddziaływanie zaburzeń elektromagnetycznych. Zamieszczono wyniki zrealizowanych badań harmonicznych prądu oraz wartości napięć, prądów i poborów mocy czynnej, biernej i pozornej w sieci zasilającej firmy w okresach nasłonecznienia oraz zachmurzenia.

**Abstract.** The paper deals with the issues of energy quality and energy efficiency in the operation of the office and warehouse facility. The working conditions of the electrical equipment in the facility (in which the photovoltaic plant is further exploited) and the influence of electromagnetic disturbances were described. The results of current harmonic and value of voltage, current, active, reactive, apparent power in firm supply network in periods on sunshine and cloudiness were post. (**Quality and energy balance in the supply network of an office-warehouse**).

**Słowa kluczowe:** jakość energii, zaburzenia elektromagnetyczne, wyższe harmoniczne, warunki pracy urządzeń.

**Keywords:** power quality, electromagnetic disturbances, higher harmonic components, equipment operating conditions.

### Wstęp

We współczesnej elektrotechnice oraz powiązanych z nią działalnościach gospodarczych i społecznych jakość energii elektrycznej oraz efektywność energetyczna spełniają niezwykle istotną rolę. Różnorodność i złożoność urządzeń (poziom zaawansowania technicznego, impulsowy pobór energii, wykorzystywanie elementów nieliniowych) stosowanych w sektorach gospodarki związanych z produkcją, magazynowaniem, działalnością handlowo-usługową czy przetwarzaniem informacji może negatywnie wpływać na jakość energii w instalacjach elektrycznych oraz prawidłowość funkcjonowania obiektów załączonych do sieci. Głównym powodem tego może być coraz częstsze stosowanie skomplikowanego osprzętu elektronicznego – układów bardzo wrażliwych na różnego rodzaju zaburzenia elektromagnetyczne, jak również generujących zaburzenia i jednocześnie degradujących jakość energii w obwodach zasilania. Dodatkowo układy te powodują często wzrost obciążeń mocą bierną, co zakłóca prawidłowy bilans energetyczny, a dla użytkowników sprowadza się do wzrostu opłat za energię elektryczną związaną z funkcjonowaniem tych obiektów. Istnieje zatem potrzeba wykrywania i likwidacji zaburzeń, mogących negatywnie wpływać na urządzenia w danym środowisku elektromagnetycznym oraz wprowadzania racjonalnego gospodarowania energią [1-7].

W pracy zajęto się zagadnieniami jakości energii oraz efektywności energetycznej w obiekcie biurowo-magazynowym. Wykonano pomiary wartości prądu, napięcia, mocy czynnej, biernej i pozornej, współczynnika mocy, całkowitego współczynnika odkształceń (THD), a także przebiegów czasowych oraz zawartości harmonicznych prądu i napięcia w różnych punktach obiektu. Wykonane badania mają na celu wskazanie nieprawidłowości występujących w sieciach zasilających oraz metod ograniczania oddziaływań zaburzeń elektromagnetycznych, a w konsekwencji poprawy pracy zainstalowanych urządzeń odbiorczych oraz zmniejszenie kosztów użytkowania obiektu, czyli uzyskanie dla firmy korzyści technicznych i ekonomicznych.

### Warunki funkcjonowania osprzętu elektrycznego i oddziaływanie zaburzeń elektromagnetycznych

Człowiek w swej działalności gospodarczej pragnie w najprostszy sposób osiągać najkorzystniejsze z określonego względu efekty. Wykorzystuje różnorakie techniki optymalizacyjne, aby osiągnąć najmniejsze zużycie

energii i materiałów (surowców), uzyskać rezultat w najkrótszym czasie, otrzymać produkt najefektywniejszy technicznie czy najmniej degradująco oddziałujący na środowisko (ekologiczny) [8-15]. Jednym z elementów zabiegów optymalizacyjnych jest stworzenie najkorzystniejszych warunków funkcjonowania obiektów działalności gospodarczej i społecznej.

Prawidłowość pracy oraz efektywność techniczna i ekonomiczna zarówno obiektów gospodarczych, jak też pojedynczych urządzeń bądź systemów w dużym stopniu związana jest z jakością zasilania elektrycznego. Na jakość energii elektrycznej mają wpływ równocześnie dostawcy i odbiorcy energii. Dostawcy energii zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. 2007, nr 93, poz. 623) mają obowiązek zapewnić określone parametry jakościowe energii elektrycznej odbiorcom w poszczególnych grupach przyłączeniowych. Odbiorcy energii natomiast poprzez charakter i rozwiązania techniczne eksploatowanych urządzeń wpływają na jakość pobieranego prądu, który w przypadku silnych odkształceń może pogarszać jakość energii w sieci [1-3,5,16].

Zarówno wytwarzane, jak również eksploatowane urządzenia oraz systemy muszą być funkcjonalne, trwałe, spełniać normy bezpieczeństwa oraz kompatybilności elektromagnetycznej (nie powinny wzajemnie zakłócać swojej pracy). Z funkcjonowaniem osprzętu elektrycznego związane jest jednak pojawianie się i oddziaływanie zaburzeń elektromagnetycznych [1-6,17-22]. Do najczęściej spotykanych zaburzeń zalicza się: zmiany wartości napięcia (zapady lub wzrosty), krótkie bądź długotrwałe zaniki napięcia, przepięcia, zmiany częstotliwości oraz odkształcenia przebiegu napięcia (wyższe harmoniczne).

Główną wielkością fizyczną określającą jakość energii jest napięcie zasilające. Wymagania jakie musi spełniać napięcie sieciowe zostały opisane w normie PN-EN 50160: 2010 [23]. Z uwagi na powszechne wykorzystanie we współczesnych odbiornikach elementów nieliniowych i impulsujących pobór energii jedną z najczęściej występujących nieprawidłowości napięcia zasilającego jest odkształcenie jego przebiegu czasowego, czyli występowanie wyższych harmonicznych.

Często pojawiającym się rezultatem oddziaływania zaburzeń (głównie harmonicznych) jest przegrzewanie się podzespołów bądź urządzeń, co pogarsza ich trwałość, a czasem nawet prowadzi do awarii. W celu uniknięcia takich

skutków stosuje się różne techniki identyfikacji oraz oszacowywania możliwości powstawania nadmiernych przyrostów temperatury w obiektach. Wykorzystuje się również odpowiednie środki techniczne, aby wyeliminować oddziaływanie zaburzeń elektromagnetycznych, w tym także wyższych harmonicznyc [1-3,17-22].

W celu poprawy efektywności energetycznej obiektów gospodarczych w ich obwodach zasilania wprowadza się coraz częściej dodatkowo ekologiczne źródła zasilania. Najbardziej rozpowszechnionym jest zastosowanie paneli fotowoltaicznych. Wykorzystuje się różne rodzaje ogniw fotowoltaicznych oraz techniki osiągnięcia przez nie najwyższego uzysku energetycznego [4,24-27]. Jest to jeden z obszarów wspomnianych wcześniej optymalnych działań człowieka, których celem jest minimalizacja kosztów eksploatacji obiektów gospodarczych.

### Specyfika rozpatrywanego obiektu

Analizowanym w niniejszej pracy obiektem jest budynek, który podzielony jest na dwa obszary: część biurową z salą sprzedaży oraz część magazynową. Trójfazowe zasilanie do obiektu doprowadzone jest poprzez złącze kablowo-pomiarowe. Dodatkowym źródłem zasilania jest farma fotowoltaiczna o mocy 95 kW zlokalizowana na dachu budynku. Rezerwowe źródło zasilania stanowi agregat prądowłórczy o mocy 80 kVA.

W dwukondygnacyjnym budynku biurowym znajdują się sala sprzedaży oraz sala konferencyjna, serwerownia, wydzielone pomieszczenia biurowe (wyposażone w 25 stanowisk komputerowych) oraz pomieszczenie typu „open space” (z 17 stanowiskami komputerowymi). Wszystkie pomieszczenia biurowe oraz sala sprzedaży oświetlane są fluorescencyjnymi źródłami światła (bez sterowania).

Część ogólna magazynu oświetlona jest oprawami typu High Bay ze źródłami LED 250 W, sterowanymi przy wykorzystaniu czujników obecności. Dodatkowo aleje (w ilości około 40 na kondygnacji) między regałami wysokiego składowania oświetlane są oprawami ze źródłami fluorescencyjnymi liniowymi T5 z elektronicznym zapłonem i wbudowanym systemem sterowania DALI firmy Osram. Lampy te uruchamiane są czujnikami ruchu. Z nierzekerwanej sekcji rozdzielni magazynu zasilane są: niewielka część obwodów oświetlenia magazynu (komunikacja, część socjalna), gniazda ogólnego przeznaczenia, większość bram magazynowych, trzy zespoły klimatyzacyjno-wentylacyjne oraz winda osobowo-towarowa. Sekcja rezerwowana rozdzielni magazynu zasilą: oświetlenie alei między regałami, oświetlenie pomieszczeń przyjmowania i wydawania towaru, obwody bram głównych, jeden zespół klimatyzacyjno-wentylacyjny, obwody gniazd komputerowych magazynu, system transportu magazynowego wraz z windami oraz kotłownię.

Opisane wyposażenie jest charakterystyczne dla tego typu obiektów.

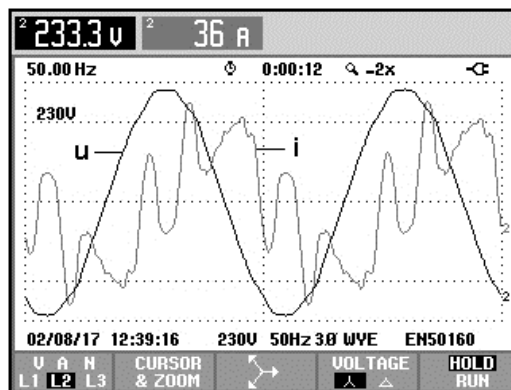
### Wyniki zrealizowanych badań

W ramach analiz jakości energii w obiekcie złożonym z części biurowej i magazynowej przeprowadzono badania odkształceń napięć i prądów, dokonując pomiarów harmonicznyc oraz rejestrując przebiegi oscyloskopowe tych wielkości.

Z uwagi na fakt, iż w obiekcie funkcjonuje farma fotowoltaiczna, interesującym problemem jest jej wpływ na parametry pobieranego przez cały obiekt (globalnie) prądu – głównie na występujące w nim wyższe harmoniczne. Z tego względu przeprowadzono obserwacje oscyloskopowe jego przebiegów czasowych, pomiary zawartości harmonicznyc, a także mocy czynnej biernej i pozornej oraz wartości prądów i napięć w poszczególnych fazach

przyłącza elektrycznego w obiekcie w okresach dużego nasłonecznienia – dostarczania dużej ilości energii przez panele fotowoltaiczne (rys. 1 ÷ 3) oraz zachmurzenia – mała produkcja energii przez farmę (rys. 4 ÷ 6).

Energia generowana przez panele fotowoltaiczne bilansuje w pewnym stopniu pobór energii przez odbiorniki w obiekcie. Wzrost ilości wytwarzanej przez panele energii elektrycznej (w czasie dużego nasłonecznienia) powoduje wynikowo zmniejszenie wartości składowej podstawowej prądu pobieranego z sieci. Wartości wyższych harmonicznyc prądu pobieranego przez odbiorniki nie ulegają zmianie, więc w rezultacie wyższa jest wartość współczynnika THD prądu dostarczanego do obiektu z sieci (rys. 1 ÷ 3). Współczynnik THD<sub>i</sub> przy poborze prądu rzędu 40 A jest na poziomie 52÷68% (zróżnicowany w fazach ze względu na nierównoważenie obciążenia faz).



Rys. 1. Przebiegi czasowe prądu i napięcia w fazie L2 w badanym układzie w okresie nasłonecznienia

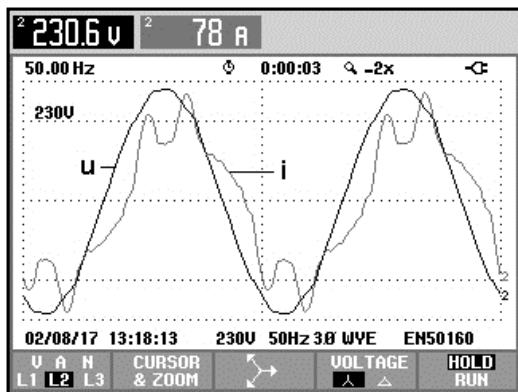
HARMONICS TABLE				
Amp	L1	L2	L3	N
THD% <sub>f</sub>	52.2	65.6	68.2	111.6
H3% <sub>f</sub>	37.7	12.3	15.9	91.6
H5% <sub>f</sub>	26.3	51.9	52.8	52.8
H7% <sub>f</sub>	21.9	35.9	36.6	25.9
H9% <sub>f</sub>	4.9	1.4	6.4	8.3
H11% <sub>f</sub>	8.5	9.8	11.8	13.0
H13% <sub>f</sub>	1.5	5.1	4.6	13.4
H15% <sub>f</sub>	1.7	0.9	3.6	8.5

Rys. 2. Wyniki pomiarów zawartości harmonicznyc prądów w poszczególnych fazach układu w okresie nasłonecznienia

Power & Energy				
FUND	L1	L2	L3	Total
kW	6.0	1.7	3.3	10.9
kVA	8.5	6.8	7.0	22.3
kVAr	6.1	6.6	6.2	18.8
PF	0.62	0.20	0.38	0.41
Cosφ	0.70	0.25	0.47	
A <sub>rms</sub>	42	35	37	
	L1	L2	L3	
U <sub>rms</sub>	230.5	233.2	231.5	

Rys. 3. Wyniki pomiarów parametrów zasilania w badanym układzie w okresie nasłonecznienia

Rzeczywista wartość skuteczna tego prądu jest jednak globalnie mniejsza o wartość prądu doprowadzonego przez panele PV, dostarczające energię pokrywającą pobór części energii czynnej (rys. 3).



Rys. 4. Przebiegi czasowe prądu i napięcia w fazie L2 w badanym układzie w okresie zachmurzenia

HARMONICS TABLE				
Amp	L1	L2	L3	N
THD%f	20.6	32.7	29.9	82.0
H3%f	15.1	7.5	6.8	67.7
H5%f	10.2	26.0	23.3	38.6
H7%f	8.3	17.1	15.8	18.2
H9%f	1.6	0.9	2.7	5.0
H11%f	3.7	5.8	5.7	9.7
H13%f	0.4	2.0	1.9	10.2
H15%f	0.8	0.6	1.8	6.4

Rys. 5. Wyniki pomiarów zawartości harmoniczných prądów w poszczególnych fazach układu w okresie zachmurzenia

Power & Energy				
FUND	L1	L2	L3	Total
kW	21.4	16.4	18.4	56.2
kVA	22.1	17.5	19.3	59.0
kVAR	5.7	6.1	5.9	17.6
PF	0.95	0.90	0.92	0.93
Cosφ	0.97	0.94	0.95	
A <sub>rms</sub>	99	78	87	
U <sub>rms</sub>	227.3	231.1	229.4	

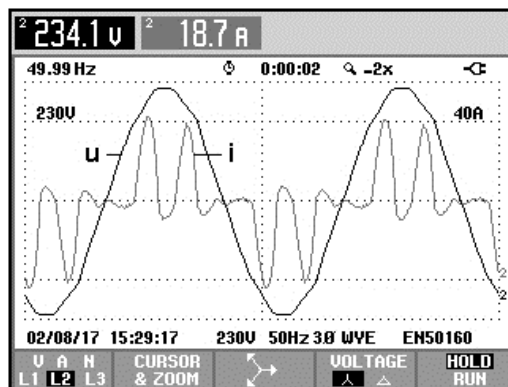
Rys. 6. Wyniki pomiarów parametrów zasilania w badanym układzie w okresie zachmurzenia

W okresie zachmurzenia farma fotowoltaiczna dostarcza bardzo mało energii. Wzrasta zatem globalnie pobór prądu (jego czynnej składowej podstawowej) z sieci (rys. 4 ÷ 6). Dlatego współczynniki THD prądów w fazach maleją. Są na poziomie 20÷32% przy prądach rzędu 90 A.

Bardziej precyzyjne badania obwodów zasilania poszczególnych grup urządzeń w obiekcie pozwoliły zidentyfikować rodzaj odbiorników, które wprowadzają do całkowitego prądu najsilniejsze odkształcenia. Są nimi obwody wentylacji i klimatyzacji, w których wprowadzone jest elektroniczne sterowanie ich wydajnością. Wyniki

badania przebiegów czasowych, zawartości harmoniczných prądów oraz napięć i poborów mocy w poszczególnych fazach urządzeń wentylacyjno-klimatyzacyjnych zamieszczono na rys. 7 ÷ 9.

Współczynniki THD prądów w poszczególnych fazach tych urządzeń są na poziomie 116÷146% przy obciążeniu rzędu 20 A. Dominującymi są w nich harmoniczne 5, 7 i 11.



Rys. 7. Przebiegi czasowe prądu i napięcia w fazie L2 w układzie wentylacyjno-klimatyzacyjnym

HARMONICS TABLE				
Amp	L1	L2	L3	N
THD%f	146.9	146.6	116.8	24.2
H3%f	19.0	17.9	2.0	9.5
H5%f	112.2	111.7	93.2	14.2
H7%f	86.8	87.0	65.9	9.4
H9%f	1.7	1.4	2.7	8.1
H11%f	28.6	29.2	20.8	8.4
H13%f	1.6	7.5	4.9	3.6
H15%f	6.6	5.8	1.5	3.0

Rys. 8. Wyniki pomiarów zawartości harmoniczných prądów fazowych w układzie wentylacyjno-klimatyzacyjnym

Power & Energy				
FUND	L1	L2	L3	Total
kW	2.76	2.69	3.53	8.98
kVA	2.77	2.70	3.53	9.00
kVAR	0.31	0.14	0.02	0.15
PF	0.61	0.61	0.68	0.64
Cosφ	0.99	1.00	1.00	
A <sub>rms</sub>	19.7	18.6	22.2	
U <sub>rms</sub>	230.9	234.2	233.1	

Rys. 9. Wyniki pomiarów parametrów zasilania w badanym układzie wentylacyjno-klimatyzacyjnym

W przypadku urządzeń małej mocy pobierane przez nie prądy (ze względu na niską wartość) wywołują małe zaburzenia (deformacje) napięcia zasilającego. Przy dużych obciążeniach prądowych odbiorników generujących wyższe harmoniczne wpływ na deformację napięcia zasilającego jest silniejszy (szczególnie w sieciach „miękkich”). Ponadto przepływy dużych prądów odkształconych mogą w wyniku sprzężeń elektromagnetycznych prowadzić do powstania

zaburzeń w urządzeniach i układach występujących w otoczeniu elementów, przez które te prądy przepływają. W konsekwencji może to prowadzić do zakłócenia prawidłowej pracy osprzętu znajdującego się w sąsiedztwie elementów przewodzących duże prądy odkształcone.

Odbiorniki w części biurowej (głównie serwery i komputery – wykorzystujące zasilacze impulsowe oraz oświetlenie energooszczędne) charakteryzują się poborem mocy czynnej oraz biernej pojemnościowej. Część magazynowa wraz z urządzeniami wentylacyjno-klimatyzacyjnymi ma charakter rezystancyjno-indukcyjny. Przy odrębnym bilansowaniu poborów energii część obiektu biurowa wykazuje ponadnormatywne pobory energii biernej pojemnościowej. Generuje to dodatkowe koszty eksploatacji obiektu. Warto byłoby w tym przypadku rozpatrzyć potrzebę wprowadzenia kompensacji mocy biernej w tej części obiektu.

### Uwagi końcowe i wnioski

Celem przeprowadzonych badań i analiz było wskazanie zaburzeń elektromagnetycznych, jakie są generowane oraz zagrożeń, jakie mogą powstawać podczas funkcjonowania urządzeń i systemów elektrycznych w określonych charakterologicznie (ze względu na specyfikę wykorzystywanego wyposażenia) jednostkach gospodarczych.

Jakość energii (i z tym związane ograniczanie oddziaływania zaburzeń elektromagnetycznych), jak również efektywność energetyczna, czyli prawidłowe gospodarowanie energią, są niezwykle ważne w funkcjonowaniu wszelkich obiektów dostarczających, przetwarzających i użytkujących energię elektryczną. Zagadnienia te wiążą się z prawidłowością i niezawodnością pracy urządzeń i systemów, spełnianiem przez nie funkcji założonych przez konstruktorów oraz użytkowników, a także z ekonomią i ekologią wykorzystywania energii.

Zapewnienie poprawnej pracy oraz identyfikacja nieprawidłowości funkcjonowania elektromagnetycznego obiektów są istotne dla wszelkich podmiotów związanych z przetwarzaniem i użytkowaniem energii, ponieważ prowadzą do osiągnięcia korzyści przez użytkowników (ograniczenie kosztów użytkowania obiektów oraz wydłużanie żywotności urządzeń, a zatem kosztów związanych z ich wymianą), jak również dostawców energii (ograniczenie blokowania możliwości przesyłowych istniejącej infrastruktury elektroenergetycznej przez zmniejszenie poborów mocy biernej i mocy deformacji).

**Autorzy:** dr inż. Karol Bednarek, mgr inż. Dorota Typańska, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Karol.Bednarek@put.poznan.pl; Dorota.Typanska@put.poznan.pl.

### LITERATURA

- [1] Bednarek K., Kasprzyk L., Kształtowanie jakości energii i niezawodności w systemach zasilania elektrycznego, *Przegląd Elektrotechniczny*, 92 (2016), nr 12, 9-12
- [2] Bednarek K., Elektromagnetyczne oddziaływania i bilans energetyczny w sieci zasilającej w budynku banku, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 12, 188-191
- [3] Bednarek K., Kasprzyk L., Suppression of higher harmonic components introduction to the networks and improvement of the conditions of electric supply of electrical equipment, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr 12b, 236-239
- [4] Bugała A., Frydrychowicz-Jastrzębska G., The UNIPED method of assessing electric energy generation costs in photovoltaic systems, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 12, 68-71
- [5] Musiał E., Ocena jakości energii elektrycznej w sieciach przemysłowych, *Automatyka – Elektryka – Zakłócenia*, 2010, nr 1, 30-45

- [6] Charoy A., Compatibilite electromagnetique. Parasites et perturbations des electroniques, 1-4 (1996), Dunod, Paris
- [7] Typańska D., Maćkowiak A., Sieczkarek K., The immunity of the KNX model to continuous electromagnetic disturbances, *Przegląd Elektrotechniczny*, 92 (2016), nr 9, 243-245
- [8] Bednarek K., Electrodynamics calculations and optimal designing of heavy-current lines, *Przegląd Elektrotechniczny*, 84 (2008), nr 12, 138-141
- [9] Bednarek K., Jajczyk J., Effectiveness of optimization methods in heavy-current equipment designing, *Przegląd Elektrotechniczny*, 85 (2009), nr 12, 29-32
- [10] Dobrzycki A., Kasprzyk L., Skórcz K., Tomczewski A., Optimization of the number and the distribution of high-frequency signal sources in radio networks, *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), nr 6, 92-95
- [11] Jarmuda T., Typańska D., Improving the energy efficiency of lighting through the use of KNX system, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 7, 80-83
- [12] Kasprzyk L., Nawrowski R., Tomczewski A., Optimization of complex lighting systems in interiors with use of genetic algorithm and elements of paralleling of the computation process, *ICTAE, Springer-Verlag*, 2008, vol. 119, n. 21-29
- [13] Kasprzyk L., Tomczewski A., Bednarek K., Rozproszenie obliczeń elektromagnetycznych i optymalizacyjnych układów elektrycznych z zastosowaniem procesorów wielordzeniowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87 (2011), nr 12b, 82-85
- [14] Knypiński Ł., Nowak L., Jedryczka C., Kowalski K., Sujka P., Algorytm optymalizacji magnetoelektrycznych silników synchronicznych z uwzględnieniem polowego modelu zjawisk elektromagnetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 2b, 143-146
- [15] Putz Ł., Typańska D., Evaluation of the energy efficiency of LED illumination in building office reception, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 3, 111-114
- [16] Dziennik Ustaw 2007, nr 93, poz. 623 – Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 4 maja 2007
- [17] Bednarek K., Parametry cieplne w trójfazowych torach wieloprądowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 81 (2005), nr 12, 106-108
- [18] Bednarek K., Electromagnetic field generated by heavy-current equipment and its effects on the environment, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr 12, 9-12
- [19] Bednarek K., Thermal Parameters of Heavy-current Lines in the Process of Formulation of Optimal Design of These Devices, *WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer*, Issue 1, vol. 4, January 2009, 11-22
- [20] Jajczyk J., Stein Z., Zielińska M., Selected problems of cooperation between asymmetric receivers and synchronous machine in low-voltage Network of an industrial plant, *Acta Technica*, 55 (2010), nr 1, 83-95
- [21] Lebioda M., Rymaszewski J., Korzeniewska E., Zastosowania taśm nadprzewodnikowych drugiej generacji do wytwarzania silnych pól magnetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 12, 265-268
- [22] Nawrowski R., Bednarek K., Tomczewski A., Trójfazowe tory wieloprądowe złożone z przewodów rurowych w indywidualnych osłonach, *Przegląd Elektrotechniczny*, 84 (2008), nr 1, 62-64
- [23] PN-EN 50160: 2010 – Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
- [24] Bugała A., Frydrychowicz-Jastrzębska G., Zbytek Z., Dach J., Janczak D., Long-term performance evaluation of a fixed and solar follow-up systems with modified astronomical positioning in Polish conditions, *ICFST 2016, MATEC Web of Conferences*, Hong Kong, China, 59 (2016)
- [25] Głuchy D., Kurz D., Trzmiel G., Analysis of the influence of shading by horizon of PV cells on the operational parameters of a photovoltaic system, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 4, 78-80
- [26] Korzeniewska E., Drzymała A., Elektrownie fotowoltaiczne – aspekty techniczne i ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 12, 324-327
- [27] Pawlak R., Kawczyński R., Korzeniewska E., Lebioda M., Rosowski A., Rymaszewski J., Sibiński M., Tomczyk M., Walczak M., Ogniwa fotowoltaiczne o niekonwencjonalnych kształtach, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr7, 288-292