

Rola pomiarów w certyfikacji i auditingu energetycznym budynków

(2)

Power Auditing – klucz do efektywności energetycznej

W poprzednim wydaniu Doradcy Energetycznego podzieliłem się z Czytelnikami swoimi oświadczeniami z zakresu zastosowania termografii do badania przegród budowlanych i analizą przypadków, gdy dochodzi do rozbieżności między wynikami termogramów a obliczeniami przenikalności cieplnej przegród pozyskanymi z projektów czy symulacji komputerowych. Poniżej tekst dotyczy pomiarów związanych z energią elektryczną.

W działalności inżyniersko-konsultingowej staram się kierować maksymą zapisaną przez lorda Kelvina ok. 1900 r.: „Jeżeli potrafisz mierzyć to, o czym mówisz i wyrazić to w liczbach, to znaczy, że wiesz coś na ten temat”. Nie inaczej jest w przypadku zdalnych pomiarów zużycia mediów energetycznych oraz parametrów środowiskowych użytkowanych budynków, czym zajmuję się równoległe do badań termograficznych. Każda z tych technik wskazuje, że wyliczenia teoretyczne w dziedzinie przewidywania zużycia energii na ogrzewanie budynków niosą duże ryzyko błędu. Metoda pomiarowa, którą wykorzystuję w odniesieniu do energii elektrycznej, nazywa się Power Auditing. Jest to adekwatne do podstawowego celu wykonywania pomiarów i bazujących na nich audytach. Analizy audytorskie powinny nie tylko opierać się na okresowych pomiarach zużycia nośników energetycznych (np. z faktur), ale również na ich chwilowych odczytach. Tym kluczowym parametrem jest moc, czyli chwilowe wartości przepływu (zużycia) energii (w jednostce czasu). Obserwacja zmian mocy energii elektrycznej, cieplnej, energii chemicznej uzyskiwanej ze spalania LNG i oleju opałowego, ale też w wyniku zużycia wody i sprężonego powietrza,

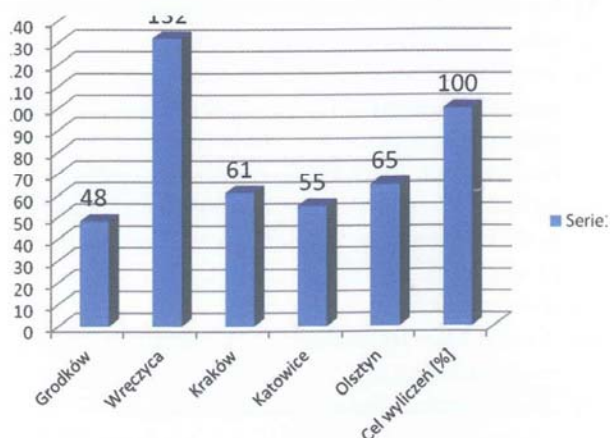
pozwała identyfikować powody wzrostów i spadków zapotrzebowania na dane medium.

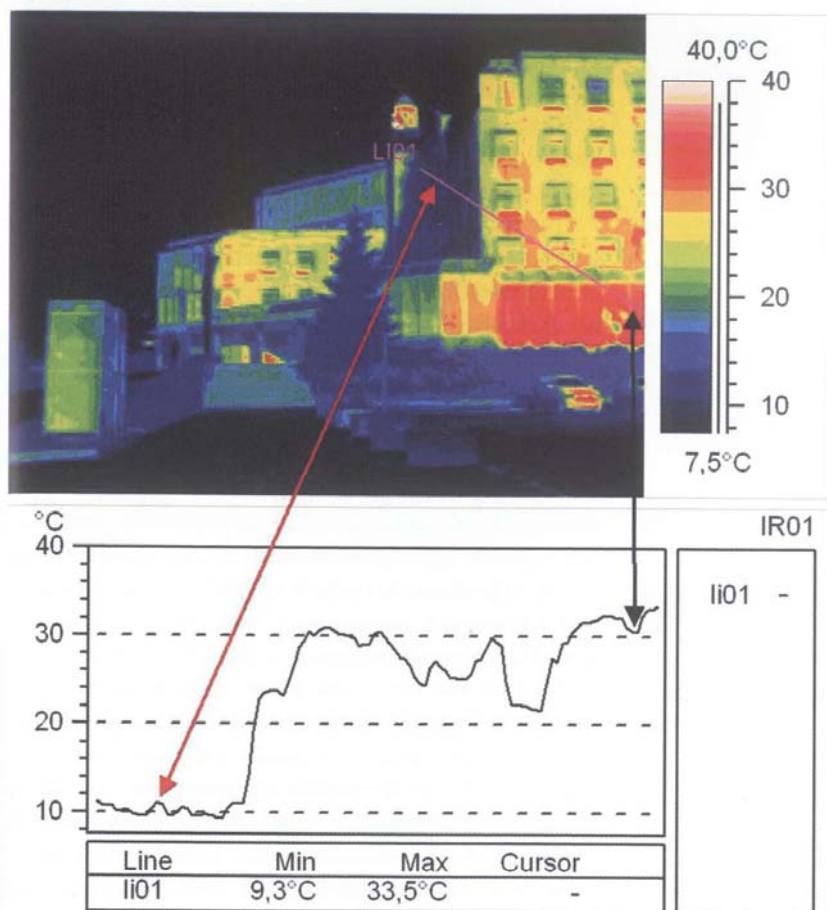
Rysunek 1, którym posłużyłem się i w poprzednim artykule, obrazuje wynik sprawdzalności obliczeń teoretycznych wykonanych na bazie ustawy termomodernizacyjnej [7] i odniesionych do rzeczywistego zużycia mediów energetycznych na ciepło do ogrzewania kilku konkretnych budynków w Polsce.

Podobnie jak termografia, tak i Power Auditing, pozwala określić, gdzie oraz kiedy powstają koszty zużycia konkretnych mediów energetycznych. Power Auditing w tym celu wykorzystuje odczyty istniejących liczników rozliczeniowych energii elektrycznej, cieplnej, gazu sieciowego, wody, sprężonego powietrza czy wody lodowej. W celu uszczegółowienia wniosków montuje się też dodatkowe tzw. podliczniki, obrazujące zużycie energii przez konkretne maszyny czy działły zakładu produkcyjnego. Odczyty te są transmitowane przez sieć typu LAN lub przez sieć 230V/50Hz do koncentratorów i serwera. Ten ostatni typ transmisji po sieci elektrycznej, zwany Power Line Communications (PLC), jest szczególnie polecany, ponieważ pozwala nie ingerować w istniejący już system LAN, a jednocześnie nie wymaga budowania nowego systemu tego rodzaju. Transmisja PLC umożliwia budowę nowej, niezależnej warstwy transferu danych tylko do celów energetycznych z wykorzystaniem istniejącej sieci elektrycznej 230V/50Hz. Koncepcja ta jest rozwinięciem Smart Gridu, jaki obecnie jest wdrażany przez spółki dystrybucyjne energii elektrycznej do monitoringu i sterowania liczników rozliczeniowych na terenie Polski.

Identyfikacja miejsca (licznik) i czasu wystąpienia zmiany (grafik obciążeń) pozwala na opisanie przyczyn jakiegoś zjawiska – np. wzrostu zużycia energii elektrycznej powstałego bez uzasadnienia technologicznego wynikającego np. z innego prowadzenia procesu produkcyjnego.

Rys. 1. Sprawdzalności wyliczeń zapotrzebowania na energię cieplną istniejących przykładowych budynków w stosunku do realnego zużycia energii liczonego wg faktur rozliczeniowych. Grodków [1], Wręczyca [2], Kraków [3] po termomodernizacji. Katowice [4] i Olsztyn [5] przed termomodernizacją. Cel wyliczeń – 100 [%] sprawdzalność





Rys. 2. Termogram budynku oświetlonego przez wrześniowe wschodzące słońce



IR information		Value
Date of creation		2010-09-09
Time of creation		08:10:05
File name		lr_6997.jpg
Camera type		ThermaCAM E300
Object parameter		Value
Emissivity		0,90
Label		Value
LI01 : cursor		-
LI01 : max		33,5°C
LI01 : min		9,3°C

W artykule tym prezentuję dwa przykłady procesów: produkcji chłodu na potrzeby klimatyzacji w budynku biurowym oraz produkcji części do artykułów gospodarstwa domowego w fabryce międzynarodowego koncernu.

Pierwszy przykład dotyczy budynku biurowego mieszczącego się w 2 strefie klimatycznej. Budynek został oddany do użytkowania ok. 1998 r. Pracuje w nim ok. 270 osób. Budynek jest wyposażony w centralny system klimatyzacji, zasilany energią ciepłą sieciową oraz przez dwie wytwornice wody lodowej zasilane elektrycznie. Całość „pracuje” na klimakonwektory rozmieszczone we wszystkich pomieszczeniach. System zarządzania ciepłem i chłodem oraz powietrzem wentylowanym jest centralny, automatyczny i autonomiczny. Oznacza to, że system ten pobiera informacje o temperaturach z każdego pomieszczenia oraz z otoczenia budynku, a następnie samodzielnie reguluje temperaturę i nawiew powietrza w ciągu doby, tygodnia, pół roku itd. Moc elektryczna zamówiona wynosi 280 kW.

Wybrałem ten budynek jako przykład charakterystyczny, ponieważ obecna tendencja do budowy takich obiektów wymusza stosowanie układów automatyki i sterowania o podobnym poziomie komplikacji. Problemy opisane poniżej mogą się zatem pojawiać w prawie wszystkich nowo wznoszonych budynkach oraz w tych, które poddane zostaną kompleksowej termomoderniza-



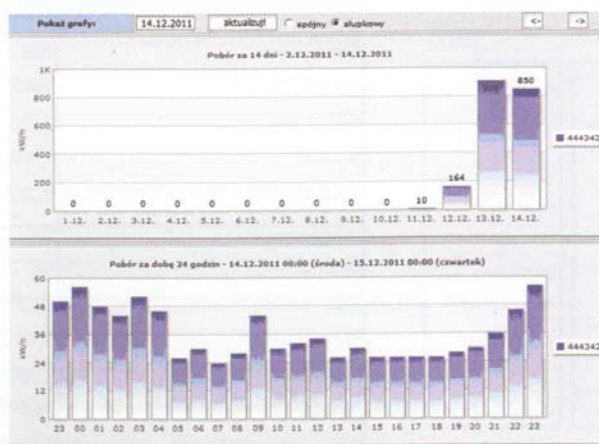
Rys. 3. Grafik obciążeń z rozliczeniowego licznika energii elektrycznej budynku. Wykres górny pokazuje dane za 2 tygodnie stycznia 2011 r., a dolny – obciążenie godzinowe z doby 26 stycznia 2011 r.

Rys. 4. Grafik obciążeń z rozliczeniowego licznika energii elektrycznej budynku. Wykres górny pokazuje dane za 2 tygodnie marca 2011, a dolny – obciążenie godzinowe z doby 14 marca 2011 r.

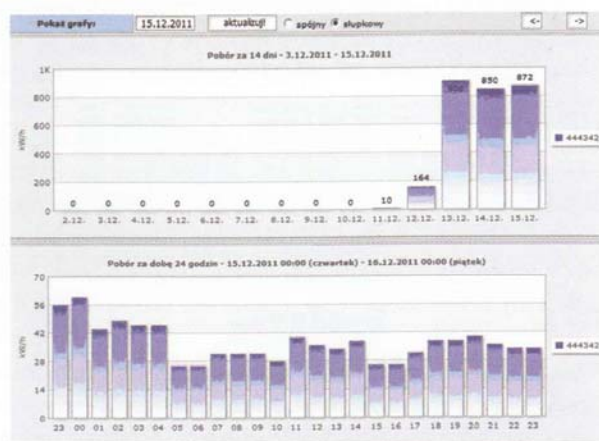
Rys. 5. Obciążenie rozliczeniowe licznika energii elektrycznej budynku. Wykres górny pokazuje dane za 2 tygodnie czerwca 2011 r. a dolny – obciążenie godzinowe z doby 22 czerwca 2011 r.



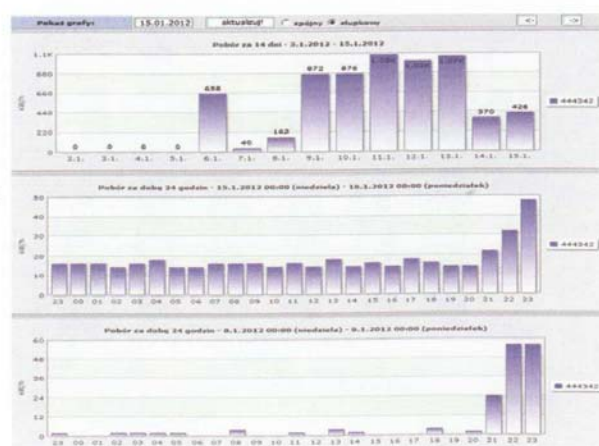
Rys. 6. Obciążenie kilkudniowe w grudniu 2011 r. (wykres górny) oraz dobowe dnia 14 grudnia 2011 r. (wykres dolny)



Rys. 7. Obciążenia: kilkudniowe w grudniu 2011 r. (wykres górny) oraz dobowe 15.12.2011 (wykres dolny). Nie wystąpił wzrost obciążenia ok. godziny 22



Rys. 8. Grafik obciążeń energii elektrycznej: 2 tygodnie stycznia 2012 (grafik górny), doby 15 stycznia (grafik środkowy) oraz doby 8 stycznia 2012 (grafik dolny)



cji. Obowiązek budowania po 2020 r. budynków prawie zeroemisyjnych jeszcze nasili proces upowszechnienia takich centralnych systemów klimatyzacji.

Pracując nad audytem elektroenergetycznym tego budynku wykonaliśmy najpierw serię badań, w tym pomiary termograficzne.

Na rysunku 2 widać termogram wykonany 9 września 2010 r. o godzinie 8.10. Strzałka czerwona pokazuje temperaturę na zacienionej elewacji, a strzałka czarna na elewacji nasłonecznionej porannym słońcem. Jak widać elewacja zacieniona ma temperaturę ok. $+10^{\circ}\text{C}$, a stolarka okienna przeszklenia na parterze ponad $+30^{\circ}\text{C}$ – i to już o 8 rano! Specjaliści wiedzą, że praktyka wykonania prawidłowego termogramu przegrody budowlanej nakazuje to robić w innych porach roku i doby, ale jak widać w tym przypadku nie przeszkadza to w wyciągnięciu użytecznych wniosków również z takiego pomiaru. Chodzi mianowicie o intensywność nasłonecznienia pomieszczeń przeszklonego parteru tego budynku. Z wywiadu, jaki przeprowadziliśmy z administratorami wynikało, że przez wiele miesięcy w roku istnieje problem przegrzewania się tych pomieszczeń. Dzieje się to w stopniu tak intensywnym, że centralny system klimatyzacji rozpoczyna chłodzenie pomieszczeń również w zimie. Zainstalowanie w tych przegrzewanych pomieszczeniach dodatkowych, indywidualnych klimatyzatorów typu „split” nie rozwiązało tego problemu.

Do celów audytorskich zainstalowaliśmy w tym budynku kilka zdalnie odczytywanych „podliczników” energii elektrycznej oraz pozyskiwaliśmy odczyty z liczników rozliczeniowych energii elektrycznej i ciepłej.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono odczyty pomiarów rozliczeniowego licznika energii elektrycznej dla całego budynku. Wynika z nich, że w okresie grzewczym energia elektryczna w dniach roboczych ma dość podobny poziom zużycia. W czasie weekendów zapotrzebowanie na energię elektryczną spada relatywnie niewiele. Wydawać by się mogło, że pusty budynek powinien zużywać mniej energii. Jak się okazało, praca typowych urządzeń biurowych stanowi niewielką część obciążenia. Bardziej szczegółowe dane pokazuje dolny wykres – moc szczytowa zamówiona o wartości 280 kW w dniach roboczych jest wykorzystywana jedynie na poziomie ok. 50-60%. Analiza zapotrzebowania na moc elektryczną w trybie mocy 15-minutowej wskazywała również brak skoków mocy ponad 160 kW.

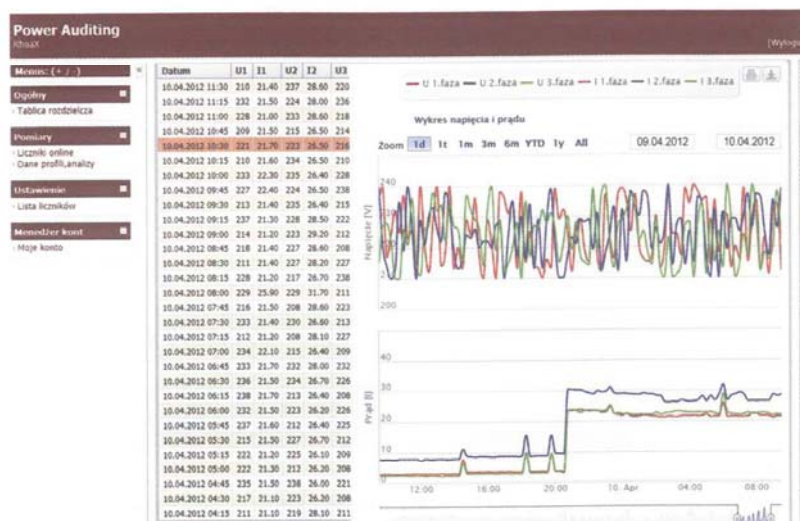
W świetle tych wyników i analiz założeń projektowych – będących podstawą zawarcia umowy na dostawę energii elektrycznej – stało się jasne, że zamówiona moc 280 kW wynika z potrzeb klimatyzacji zasilanej energią elektryczną. Jednak grafiki obciążeń, jakie rejestrowaliśmy, nie wskazywały takich potrzeb. Co ciekawe w czerwcu 2011 r., gdy w Polsce notowano rekordowe upały, z temperatura powietrza dochodzącą do +34°C. i jednocześnie najdłuższe okresy nasłonecznienia, nie zmieniły się grafiki obciążeń energią elektryczną. Dowody poniżej.

Prowadziliśmy obserwację tych liczników on-line, za pomocą systemu Power Auditing, mając nadzieję na zauważenie zmian tych grafików w okresie letnim 2011 r. 14 marca, a więc jeszcze zimą, zauważyliśmy pierwszą anomalię, polegającą na wzroście obciążenia energią elektryczną w środku słonecznego dnia. W godzinach 13–15.00 nastąpił skok mocy z ok. 120 kW do ok. 240 kW (w okresie 15 minutowym). Jeden z członków naszego zespołu zidentyfikował ten skok zapotrzebowania na energię elektryczną jako wynik procesu rozruchowego systemu chłodzenia, zasilanego z dwóch agregatów wody lodowej zasilanych elektrycznie. Było to możliwe dzięki zainstalowaniu podliczników bezpośrednio na zasilaniu tych urządzeń. To zjawisko powtórzyło się jeszcze 22 i 31 marca oraz 2, 4 i 28 kwietnia. Później, do końca naszych obserwacji, czyli do czerwca 2011 nie zauważyliśmy tego typu skoków mocy elektrycznej w czasie doby, od godz. 8 do 16. Z wywiadu i z naszych badań wynikało, że skoki mocy były skorelowane ze słoneczną, wyższą pogodą panującą na terenie, gdzie zlokalizowany był budynek oraz z występowaniem ekstremalnych warunków klimatu wewnętrznego pomieszczeń o nadmiernym oszkleniu. Słońce operujące przez te przeszklenia wywoływało tak silny wzrost temperatury elementów wnętrza i powietrza wewnętrznego, że mimo trwającego okresu grzewczego i niskiej, jeszcze zimowej temperatury powietrza zewnętrznego, system klimatyzacji przeprowadzał automatyczny rozruch systemów chłodzenia, co właśnie wywoływało skok mocy o ok. 120 kW. Po 28 kwietnia te skoki mocy ustały, co zostało zidentyfikowane jako przejście systemów chłodzenia do pracy ciągłej, przy jednoczesnym zakończeniu pracy systemu na ogrzewanie budynku. Jak grafiki obciążeń wyglądały w czerwcu 2011, w czasie „afrykańskich” upałów, pokazuje rysunek nr 5 – obciążenia godzinowe w trakcie tych czerwcowych upałów nie przekraczały 140 kW, a dobowe zużycie energii elektrycznej latem było na podobnym poziomie jak w okresie grzewczym.

Z powyższych wyników i analiz nasuwa się podstawowy wniosek audytorski, którego wdrożenie może dać znaczne oszczędności finansowe bez inwestycji w sprzęt i ludzi. Chodzi jedynie o poprawę działania automatyki systemu klimatyzacji, tak by załączenia tego systemu nie następowały w dniach roboczych w godzinach od 7 do 18 oraz by skorygować moc umowną do poziomu 170 kW. Zamówiona moc 280 kW jest potrzebna jedynie kilka godzin w ciągu całego roku. Roczne opłaty stałe za moc umową na poziomie 280 kW mogą wynosić dla tego typu budynków nawet 50 tys. zł. Obniżenie tego stałego kosztu o 20 tys. złotych rocznie może być zyskiem, o który warto zabiegać. Szczególnie cenne są takie oszczędności, jeżeli zostaną osiągnięte sposobem bezinwestycyjnym, jedynie poprzez regulację sterowania systemu. Oczywiście osobną kwestią jest przeciwdziałanie przegrzewaniu się przeszkłonych nadmiernie pomieszczeń, ale jest to temat na osobny artykuł.

Drugim przykładem, jaki pragnę opisać, jest analiza grafików obciążeń „podlicznika” energii elektrycznej na





Rys. 10. Obciążenie mocą czynną i bierną dla poszczególnych faz tego samego silnika co na rys 9

inwestycyjny) wynikający z faktu mniejszego nadzoru nad pracą ludzi i sprzętu na zmianie nocnej oraz z niskiej świadomości pracowników co do racjonalnego zużycia energii i efektywnych trybów pracy maszyn. Mówiąc ogólnie, na zmianie nocnej pracuje się mniej systematycznie. Częste i dłuższe przerwy w produkcji są „nadganie” szybszą pracą urządzeń produkcyjnych, co dawać może w efekcie podobną ilość produkcji na takiej zmianie nocnej, ale wyższe sumaryczne zużycie energii i – co też jest prawdopodobne – intensywniejsze zużycie maszyn produkcyjnych.

Podobny efekt nieuzasadnionych technicznie różnic w zużyciu energii elektrycznej tego gniazda produkcyjnego zauważyliśmy porównując grafiki obciążeń w trakcie weekendowego wygaszania produkcji. Jak wykazały grafiki obciążeń z wykresów na rysunku 8 różnice te mogą dochodzić do kilkuset procent.

Wydaje się, że jest możliwe wdrożenie precyzyjnych procedur wygaszania produkcji bazując na doświadczeniach produkcyjnych np. z tych dwóch weekendów. Oczywiście specjaliści od produkcji w tym zakładzie powinni to zaproponować i wdrożyć, bo to oni mają największą wiedzę o procesie produkcji. My audytorzy energetyczni możemy jedynie wskazać na istnienie takich możliwości. Jeżeli można to zrobić 8 stycznia, to możliwe jest do zrobienia każdego innego nieprodukcyjnego dnia.

Do uzasadnienia takich działań oszczędnościowych, powinno się brać zyski ze zmniejszonego zużycia energii elektrycznej liczne nawet w sposób uproszczony. Około 100 dni wygaszenia weekendowego rocznie razy ok. 200 kWh oszczędności na dobę, razy ok. 100 gniazd produkcyjnych, plus obniżka kosztów na sprężonym powietrzu, gazie sieciowym i chłodzi technologicznym wydają się być warte zainteresowania. Proste wyliczenie oszczędności energii elektrycznej: 100 dni x 0,30 zł/kWh x 200 kWh x 100 gniazd = 600 000 zł potwierdza powyższy wywód. Nawet jeżeli jest to szacunkowe wyliczenie obarczone sporym błędem, to błąd ten będzie wiarygodnie określony jedynie w sytuacji, gdy cały zakład zostanie objęty systemem monitoringu typu

Power Auditing oraz gdy zostaną rozpoznane i wdrożone proponowane techniki oszczędzania.

Jak pozwoliłem sobie zacytować na wstępie tego cyklu artykułów, wszelkie wyliczenia teoretyczne powinny być weryfikowane przez realne wyniki pomiarów. „Mierzyć znaczy coś wiedzieć...”

Powyższe przykłady analiz zużycia energii elektrycznej są przykładami prostych oszczędności. Prostych, ale najefektywniejszych, bo są możliwe do wdrożenia jako oszczędności bezinwestycyjne. Bardziej skomplikowane zagadnienia, jak racjonalizacja gospodarki mocą bierną, poprawa parametrów rozruchowych maszyn wirnikowych czy wpływ prędkości prac linii produkcyjnych na koszt jednostkowy produktu itd., wymagają precyzyjniejszych pomiarów, które również umożliwia system Power Auditing. Na rysunkach 9 i 10 widać grafiki obciążeń napięć i prądów poszczególnych faz zasilania silnika oraz obciążenia mocą czynną i bierną również dla poszczególnych faz tego silnika.

W następnym odcinku cyklu przedstawię grafiki obciążeń i opis wyników pomiarów zużycia energii cieplnej sieciowej w warunkach przymuszania odbiorcy przez dostawcę do zwiększonego, ale nieświadomego wzrostu dostaw ciepła oraz opiszę założenia do konfiguracji systemu Power Auditing.

Gabriel Miczka

Literatura:

- [1] Jacek Zimny, Piotr Michalak, *Energia i Budynek* nr 12 (43) 2010, str. 6-11;
- [2] Anna Lis, Adam Ujma, *Energia i Budynek* nr 1 (44) 2011, str. 30-35;
- [3] Alina Wróbel, Marek Kitliński, *Energia i Budynek* nr 09 (40) 2010, str. 28-36;
- [4] *Audyty Energetyczne ... w Katowicach*, Arkadiusz Dębowy, Gabriel Miczka, Witold Kurczyński;
- [5] *Audyty Energetyczne ... w Olsztynie*, Arkadiusz Dębowy, Gabriel Miczka, Witold Kurczyński;
- [6] *Termografia w pomiarach inwentaryzacyjnych obiektów budowlanych*, Alina Wróbel, Wydawnictwo AGH;
- [7] *Ustawa o wspieraniu termomodernizacji i remontów* (Dz. U. Nr 223/2008);
- [8] *Techniczne problemy termomodernizacji. Materiały szkoleniowe dla kursów przygotowujących do czynności audytora energetycznego, część II. Fundacja Poszanowania Energii.*



AUTOR

Gabriel Miczka – inżynier elektryk o specjalności elektroenergetyka. Audytor energetyczny budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. Członek Zrzeszenia Audytorów Energetycznych.

