

Audyt energetyczny a zużycie energii elektrycznej w instalacjach oświetlenia wewnątrz

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki audytu instalacji oświetleniowej kilkukondygnacyjnych budynków użyteczności publicznej, zawierających pomieszczenia o zróżnicowanym przeznaczeniu i charakterze wykonywanych prac. Opracowanie projektu wykonane w programie Dialux zawiera kilkanaście źródeł i opraw oświetleniowych. Obliczenia wykonano zgodnie z zapisami normy PN-EN 15193. Dla instalacji istniejącej oraz projektowanej przeprowadzono obliczenia wartości zużycia składowych energii elektrycznej.

Abstract. The article presents results of lighting audit in several floors public buildings, containing rooms with a different purpose and nature of work performed. Development of project made in Dialux contains several lamps and luminaires. Calculations were performed according to provisions of standard PN-EN 15193. For existing and projected installation were calculated values of components of electricity consumption. **(Energy audit and energy consumption in interior lighting installations).**

Słowa kluczowe: audyt energetyczny, zużycie energii, instalacje oświetleniowe.

Keywords: Energy audit, energy consumption, lighting installations.

doi:10.12915/pe.2014.01.74

Wstęp

Instalacje oświetleniowe w Europie są w dużej mierze przestarzałe i wyeksploatowane. Istnieje ogromny potencjał oszczędności energii elektrycznej poprzez wymianę przestarzałych instalacji i urządzeń oświetleniowych. Według danych 2/3 instalacji oświetleniowych w UE pochodzi z lat 60-tych, 70-tych i 80-tych, 1/3 oświetlenia drogowego to oświetlenie rtęciowe, 2/3 oświetlenia biurowego to energochonne źródła i systemy oświetleniowe nie spełniające norm obowiązujących w UE [12]. Tempo modernizacji oświetlenia jest zdecydowanie za niskie. Według danych dla UE wynosi ono: 3% dla oświetlenia drogowego i 7% dla oświetlenia biurowego. Aby to zmienić przyjęto szereg dyrektyw i przepisów dotyczących ograniczenia zużycia energii.

Audyt energetyczny i jego zakres

W dyrektywie 2006/32/WE zapisano, że „audyt energetyczny to systematyczna procedura pozwalająca na zdobycie odpowiedniej wiedzy o profilu istniejącego zużycia energii danego budynku lub zespołu budynków, operacji lub instalacji przemysłowej oraz usług prywatnych lub publicznych, która określa i kwantyfikuje możliwości opłacalnych ekonomicznie oszczędności energetycznych oraz informuje o wynikach” [1]. Inna definicja jest podana w ustawie o wspieraniu termomodernizacji i remontów [2]. Zapisano tu, że „Audyt energetyczny jest opracowaniem określającym zakres i parametry techniczne i ekonomiczne przedsięwzięcia termomodernizacyjnego, ze wskazaniem rozwiązania optymalnego, w szczególności z punktu widzenia kosztów realizacji tego przedsięwzięcia oraz oszczędności energii, stanowiące jednocześnie założenia do projektu budowlanego”. W ustawie o efektywności energetycznej audyt energetyczny zdefiniowano jako „opracowanie zawierające analizę zużycia energii oraz określające stan techniczny obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, zawierające wykaz przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej tych obiektów, urządzeń lub instalacji, a także ocenę ich opłacalności ekonomicznej i możliwej do uzyskania oszczędności energii” [3].

Wydźwięk tych definicji jest podobny, jednak w Dyrektywie jest mowa o „systematycznej procedurze”, a w Ustawach o „opracowaniu”, czyli w domyśle czymś jednorazowym. Uważając, że efektywność energetyczna jest i powinna być procesem usystematyzowanym i ciągłym, należy skłaniać się ku definicji z Dyrektywy, która wpisuje

się w ideę systemowego podejścia do oszczędzania energii.

Częścią audytu energetycznego może być ocena efektywności energetycznej instalacji oświetleniowych, zarówno zewnętrznych jak i wewnętrznych. Celem oświetleniowego audytu energetycznego jest wskazanie do realizacji opłacalnych przedsięwzięć zmniejszających koszty ponoszone przez użytkownika w celu zapewnienia odpowiedniego oświetlenia pomieszczeń. Zakres audytu obejmuje inwentaryzację i ocenę stanu istniejącego, analizę przedsięwzięć zmniejszających koszty energii z uwzględnieniem oszacowania kosztów i efektów realizacji przedsięwzięć, wytypowanie przedsięwzięć zalecanych do realizacji. Dodatkowo audyt może zawierać propozycję sposobu finansowania inwestycji, zasady monitoringu i weryfikacji efektów wprowadzonych przedsięwzięć [7,8,13].

Ocena stanu instalacji

Ocena stanu instalacji oświetlenia została wykonana dla budynków: dziewięcio-, sześćo- i cztero- kondygnacyjnych przeznaczonych do prac biurowych i laboratoryjnych składających się w sumie z 285 pomieszczeń o całkowitej (przyjętej do projektu) powierzchni użytkowej 6656,90 m². Wysokość pomieszczeń (poza ciągami komunikacyjnymi) wynosi 3 m. W pierwszym etapie dokonano inwentaryzacji dotychczas użytkowanych opraw ze źródłami żarowymi oraz fluorescencyjnymi liniowymi. Oprawy były zabrudzone, część źródeł nie świeciła, pomieszczenia nie są cyklicznie odnawiane a wyposażenie jest przemieszczane w sposób dowolny.

W programie DIALUX wykonano projekt oświetlenia pomieszczeń z zastosowaniem opraw oświetlenia podstawowego i awaryjnych [14,15]. Dane opraw są zestawione w tabeli 1. Obliczenia wykonano na podstawie metody opisanej w normie [4]. Moc opraw oświetleniowych dla użytkowanych instalacji może być szacowana jako:

- (moc znamionowa lampy) x (liczba lamp w oprawie) dla lamp działających bezpośrednio na sieciowym napięciu zasilania, np. napięcie sieciowe lamp żarowych, samostatecznikowych lamp fluorescencyjnych itp.
- 1,2 x (moc znamionowa lampy) x (liczba lamp w oprawie) dla lamp przyłączonych do sieci zasilającej poprzez statecznik lub transformator w oprawie.

Ponadto w budynkach istniejących, gdy zużyta energia pasożytnicza (ładowanie akumulatorów w oprawach awaryjnych), roczna energia może być estymowana, jako 1 kWh/(m² x rok) dla oświetlenia awaryjnego* [4].

Tabela 1. Zestawienie oprav oświetleniowych zastosowanych w obiektach

Stan istniejący					Stan planowany				
Moc źródła	Ilość źródeł	Ilość oprav	Moc oprawy	Moc całkowita	Moc źródła	Ilość źródeł	Ilość oprav	Moc oprawy	Moc całkowita
[W]	[szt]	[szt]	[W]	[W]	[W]	[szt]	[szt]	[W]	[W]
60	1	598	60,0	35880,0	58	1	64	56,0	3584,0
60	2	253	120,0	30360,0	55	2	411	118,0	48498,0
36	4	8	172,8	1382,4	49	2	27	105,0	2835,0
36	2	1561	86,4	134870,4	49	1	53	53,0	2809,0
18	4	46	86,4	3974,4	36	1	4	36,0	144,0
18	3	4	64,8	259,2	35	2	181	78,0	14118,0
18	2	205	43,2	8856,0	28	4	30	128,0	3840,0
14	4	10	56,0	560,0	28	2	311	64,0	19904,0
					26	2	356	54,0	19224,0
					24	4	163	100,0	16300,0
					17	2	456	37,5	17850,0
					14	4	264	72,0	19008,0
					2,4	1	173*	415,2	*
		Σ 2685		Σ 216142,4			Σ 2320		Σ 168114,0

Pomiary natężenia oświetlenia wykonane w kilkunastu przykładowych pomieszczeniach wykazały dużo niższe wartości niż zapisano w normie [5]. Projektowane budynki mają charakter zabytkowy dlatego remont kapitalny oraz dowolność w umieszczaniu oprav

jest niemożliwa. Tym niemniej uzyskana w projekcie wartość mocy instalowanej stanowi około 78% dotychczas zainstalowanej. Fragment zestawienia danych dla poszczególnych pomieszczeń przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Fragment zestawienia parametrów oprav i pomieszczeń (Stan planowany)

Nr	Ilość	Oprawa	Strumień	Moc	Współczynnik konserwacji	Wartość natężenia oświetlenia	NORMA 12464	Powierzchnia	Moc jednostkowa
			Φ	P		E _m	E _L		A
			[lm]	[W]	-	[lx]	[lux]	m ²	W/m ²
130A Pom. laboratoryjne	1	TROLL 2x17W EVG	3000	38,0	0,74	222	200	0,81	46,92
131 Pom. laboratoryjne	8	TROLL 4x24W IP65	7000	100,0	0,74	602	500	27,74	28,26
136 Chłodnia	1	NEPTUN 1x58W IP65	5200	58,0	0,74	111	100	5,99	9,69
102 Ewakuacja	6	Oczko LED 6X - nastropowe	96	2,4	0,74	3,53	1	46,83	0,82

Zużycie energii

Audyt oświetlenia zakłada wyznaczenie prognozowanej wartości oszczędności energii. W przepisach dotyczących w instalacji oświetleniowych [4] zaleca się stosowanie liczników energii elektrycznej. Pomiary energii powinny być realizowane jedną z następujących metod:

- mierniki kWh na określonych obwodach oświetleniowych w rozgałęzieniach elektrycznych;
- lokalne mierniki mocy podłączone lub zintegrowane ze sterownikami oświetlenia w systemie zarządzania oświetleniem;
- system zarządzania oświetleniem, który może obliczać lokalnie zużyty energię i podawać tę informację systemowi zarządzania budynkiem (BMS);
- system zarządzania oświetleniem, który może obliczać zużyty energię w sekcji budynku i udostępnić tę informację w formie elektronicznej, np. w formie arkusza kalkulacyjnego;

e) system zarządzania oświetleniem, który rejestruje wpływ godzin, proporcjonalność (poziom ściemniania) i odnosi je do bazy jego wewnętrznych danych o zainstalowanym obciążeniu.

W niewielu instalacjach oświetleniowych zużycie energii jest mierzone. W znakomitej większości realizowanych audytów standardowe okresy (czasy) pracy urządzeń oświetleniowych przyjmuje się na podstawie normy [4]. Przyjęcie takich danych (przykładowo dla budynków biurowych niezależnie od charakteru pomieszczenia przyjmuje się czas użytkowania 2500 h w ciągu roku) powoduje przewymiarowanie wartości zużywanej energii. Jednak ponieważ dane te zawiąza się w obu wariantach oceny instalacji nie wpływa to na wynik końcowy. Wykonano obliczenia dla instalacji istniejącej i modernizowanej. Zestawienie wyników obliczeń przedstawia tabela 3.

Tabela 3 Zestawienie wyników obliczeń zużycia energii

Stan istniejący				Stan planowany				Oszczędność energii elektrycznej
Ilość oprav	Moc zainstalowana	Czas pracy	Zużycie energii	Ilość oprav	Moc zainstalowana	Czas pracy	Zużycie energii	
[szt.]	[W]	[h]	[kWh]	[szt.]	[W]	[h]	[kWh]	[kWh]
2685	216142,4	2500	540356	2320	168114,0	2500	420285,0	113414,1
				173*	415,2		6656,9	
							Σ 426941,9	

* oprawy oświetlenia awaryjnego

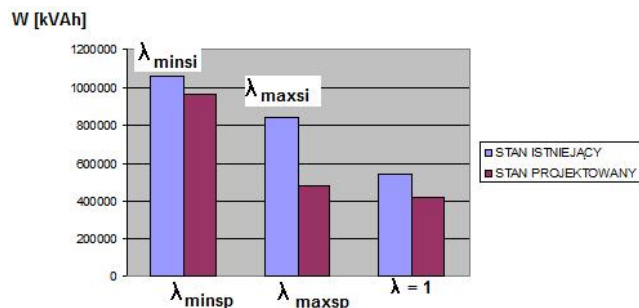
Prognozowanie zużycia składowych energii elektrycznej

W instalacji istniejącej dużą część (około 40%) stanowią oprawy ze źródłami żarowymi o mocy 60W. ich współczynnik mocy λ wynosi 1. Pozostałe urządzenia to oprawy ze źródłami fluorescencyjnymi liniowymi (6 modeli). W trakcie oceny instalacji dokonano demontażu 5 sztuk każdego modelu i wykonano pomiary wartości współczynnika mocy λ [7]. Pomiary te wykonano również dla każdej z 5 sztuk z 12 modeli opraw instalacji projektowanej. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości współczynników mocy λ dla stosowanych opraw oświetleniowych

Stan istniejący				Stan planowany			
Moc źródła	Moc oprawy	λ_{\min}	λ_{\max}	Moc źródła	Moc oprawy	λ_{\min}	λ_{\max}
[W]	[W]	-	-	[W]	[W]	-	-
60	60,0	-	1	58	56,0	0,46	0,83
60	120,0	-	1	55	118,0	0,37	0,96
36	172,8	0,46	0,52	49	105,0	0,37	0,64
36	86,4	0,42	0,56	49	53,0	0,45	0,92
18	86,4	0,35	0,52	36	36,0	0,42	0,82
18	64,8	0,41	0,53	35	78,0	0,53	0,97
18	43,2	0,40	0,54	28	128,0	0,55	0,95
14	56,0	0,46	0,53	28	64,0	0,48	0,79
				26	54,0	0,47	0,92
				24	100,0	0,51	0,82
				17	37,5	0,44	0,72
				14	72,0	0,43	0,92

Na podstawie wyznaczonych wartości współczynników mocy dokonano wyznaczenia wartości prognozowanego zużycia energii pozornej. Najmniejsze wartości uzyskano dla wartości współczynnika mocy λ równej 1. Pozostałe obliczenia przeprowadzono dla maksymalnej i minimalnej wartości współczynnika mocy λ dla każdego modelu oprawy oświetleniowej (tabela 4) (rys. 1).



Rys. 1. Porównanie prognozowanych wartości energii pozornej dla różnych wartości współczynnika mocy λ .

Wyniki obliczeń prognozowanej energii pozornej zostały oszacowane na podstawie danych pomiarowych i danych tabelarycznych z normy [4].

Podsumowanie

Audyt instalacji oświetleniowej nazywany jest często (zgodnie z zapisami ustaw [2,3]) opracowaniem dotyczącym zakresu oszczędności energii związanego z modernizacją oświetlenia wewnętrznego.

W realizowanych od kilku lat audytach oświetlenia zupełnie pomijany jest aspekt wykorzystania światła

dziennego [10,11] oraz powszechne stosowanie w nowobudowanych obiektach układy sterowania oświetlenia. Dzieje się tak pomimo potencjalnie dużych korzyści, które można uzyskać, a także pomimo wyraźnych zaleceń zamieszczonych w przepisach [4]. Stosowanie tych rozwiązań jest kosztowne, a uzyskane oszczędności mogą zwrócić się dopiero po wielu latach eksploatacji. To przetargi gdzie dominuje wybór „najniższej ceny” inwestycji skutecznie eliminują próby ich realizacji.

Obliczenia wartości zużywanej energii elektrycznej były przeprowadzane w oparciu o dane (czas użytkowania oświetlenia) przyjmowane z tabel zamieszczonych w normach [4] i szacunkowe wartości mocy instalowanej (moc oprawy z układem elektronicznym = 1,2 x moc źródła). Rozwiązaniem, które pozwoliłoby na dokładne wyznaczenie wartości energii elektrycznej zużywanej w instalacjach oświetleniowych byłoby zastosowanie liczników statycznych energii elektrycznej [4,9].

Wyznaczona prognozowana wartość energii pozornej przy najmniejszej uwzględnionej wartości współczynnika mocy λ może być nawet dwa razy większa niż dla $\lambda=1$. Z tego powodu korzystne byłoby stosowanie liczników statycznych realizujących pomiary składowych zużywanej energii elektrycznej [5].

Wykonując obliczenia należy pamiętać, że ocena instalacji oświetleniowych jest tylko częścią audytu energetycznego. Niedokładność jej wykonania może wpłynąć negatywnie na całkowitą uzyskaną (rzeczywistą a nie prognozowaną) wartość oszczędności energii.

LITERATURA

- [1] Dyrektywa 2006/32/WE w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych
- [2] Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej, Dz.U. Nr 94, poz. 551
- [3] Ustawa z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów, Dz.U. Nr 223, poz. 1459
- [4] PN-EN 15193 : 2010 Charakterystyka energetyczna budynków – Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia
- [5] PN-EN 12464-1:2011 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: PKN Warszawa 2011.
- [6] Borowik L., Kurkowski M.: Składowe mocy elektrycznej opraw z lampami fluorescencyjnymi w świetle przepisów UE, Technika Świetlna 2011, Przegląd Elektrotechniczny R. 88 nr 4a/2012, s. 209-211
- [7] Goc W., Kielboń M., Przygodzki A.: Elementy audytu oświetlenia, Wyd. Pol. Śląska Gliwice 2010.
- [8] Kołodziej R.: Audyt energetyczny, Energetyka Ciepła i Zawodowa nr 6/2012, s. 44-47
- [9] Malko J., Smartgrid jako instrument polityki gospodarczej, Rynek Energii 2(93)/2011, s. 146-150
- [10] Darula S., Pracki P.: Oświetlenie dzienne i sztuczne w projektowaniu zdrowego i energooszczędnego środowiska w budynkach, Przegląd Elektrotechniczny R. 85 nr 11/2009, s. 237-241
- [11] Turlej Z.: Narzędzia projektowania oświetlenia dziennego w budynkach, prace Instytutu Elektrotechniki Warszawa 2012, zeszyt 256, s. 301-310
- [12] <http://www.kape.gov.pl>
- [13] <http://www.topten.info.pl>
- [14] www.philips.pl
- [15] www.agalight.pl

Autorzy: dr hab. inż. Lech Borowik prof. PCz, dr inż. Marek Kurkowski, Politechnika Częstochowska, Zakład Metrologii i Diagnostyki, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: marekk@el.pcz.czest.pl