

Piotr Cierzniewski, Marcin Wardach, Tomasz Zarębski

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych, Oddział Szczeciński SEP

Aspekty efektywnego energetycznie projektowania instalacji oświetlenia wewnętrznego w budynkach biurowych

Abstract. *The paper presents designing issues of electric installations for inside lighting in office building effective from the point of view of energy saving. There are presented new requirements and standards necessary to take under consideration for projects of such installations. Some examples of office rooms lightning were presented with 3D visualization of lamination and with energetic assessment.*

Aspects of energy-efficient system design inside lighting in office buildings

Keywords: lighting installation, maintained illuminance, energetic assessment,

Wstęp

Obecnie w krajach członkowskich unii Europejskiej dąży się do ograniczenia zużycia energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego w budynkach użyteczności publicznej. Świadczą o tym regulacje prawne w prowadzone w krajach członkowskich Unii Europejskiej, takie jak dyrektywy i rozporządzenia komisji europejskiej oraz normy zharmonizowane. W Polsce zagadnienia te reguluje między innymi: Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami) [3] oraz wprowadzone przez nie dwie normy: PN-EN 12464:2012 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy – część 1 [1] i PN-EN 15193:2010 Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia [2]. Zgodnie z normą [1] podstawowymi parametrami otoczenia świetlnego uwzględniającymi światło sztuczne i światło dzienne są:

- rozkład luminancji;
- natężenia oświetlenia;
- kierunkowość światła, oświetlenia w przestrzeni wnętrza;
- zmienność światła (poziomy i barwa światła);
- oddawanie barw i wygląd barwy światła;
- oślnienie;
- migotanie.

Oświetlanie miejsc pracy w pomieszczeniach biurowych

Wprowadzone regulacje przez przepisy dotyczą między innymi co parametrów oświetleniowych zalecanego i wymaganego:

- poziomu a eksploatacyjnego natężenia oświetlenia (E_m) oraz jego równomierności (U_0) w miejscu pracy, otoczeniu miejsca pracy i tła;
- poziomu natężenia oświetlenia oraz jego równomierności na suficie i ścianach;
- współczynnika oddawania barw (R_a) i temperatury barwowej (T_{CP});
- ujednoczonej oceny oślnienia.

Norma [1] zaleca, aby współczynniki odbicia światła od głównych powierzchni rozpraszających we wnętrzu mieściły się w zakresie:

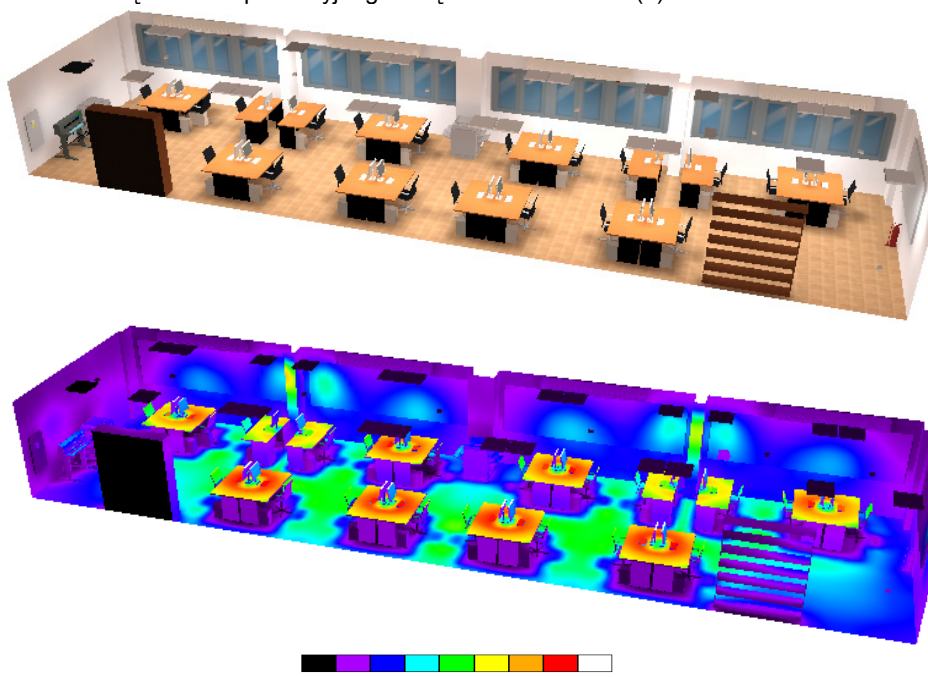
- sufit: od 0,7 do 0,9;
- ściany: od 0,5 do 0,8;
- podłoga: od 0,2 do 0,4;
- główne przedmioty w pomieszczeniu (meble, maszyny itp.) od 0,2 do 0,7.

Norma [1] dzieli pomieszczenia ze względu na czynności, jakie w nich są wykonywane na poszczególnych stanowiskach pracy i ustala dla nich minimalne wymagane poziomy, które muszą być przestrzegane przy eksploatacji pomieszczenia zestawione w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagania oświetleniowe dla pomieszczeń i czynności

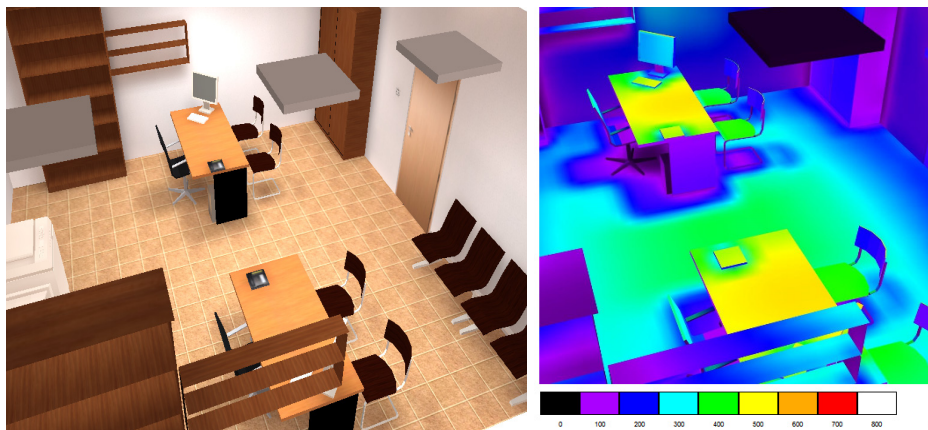
Rodzaj wnętrza, zadania lub czynności	E_m [lx]	UGR_L	U_0	Ra
Segregowanie	300	19	0,4	80
Pisanie obsługiwane klawiatury, czytanie, przetwarzanie danych	500	19	0,6	80
Pokoje spotkań i konferencji	500	19	0,6	80

Oznacza to, że przy projektowaniu oświetlenia w obiektach biurowych należy dokonywać wizualizacji rozkładu oświetlenia, bo tylko wtedy można ocenić czy prawidłowo zostały dobrane i rozmieszczone oprawy oświetleniowe i czy przy ich zaświeceniu osiągnie się wymagane parametry oświetlenia na powierzchni pracy. Na rysunkach 1, 2 i 3 przedstawiono przykładowe wizualizacje oświetlenia pomieszczeń biurowych (a) i rozkład natężenia eksploatacyjnego natężenia oświetlenia (b).



Rysunek 1. Przykładowa wizualizacja oświetlenia pomieszczenia biurowego – pracownia komputerowa (a) i rozkład natężenia eksploatacyjnego oświetlenia (b).

VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014



Rysunek 2. Przykładowa wizualizacja oświetlenia pomieszczenia biurowego – punkt obsługi klienta (a) i rozkład natężenia eksploatacyjnego oświetlenia (b).



Rysunek 3. Przykładowa wizualizacja oświetlenia pomieszczenia biurowego – sala posiedzeń (a) i rozkład natężenia eksploatacyjnego oświetlenia (b).

Prawidłowo wykonane projekty oświetlenia wymagają dopracowania aranżacji wnętrz przez architektów, gdyż tylko wtedy można prawidłowo dobrać i rozmieścić oprawy oświetleniowe, które będą współgrały z pomieszczeniem. Wymaga to by architekci określili kolory ścian, sufitów i podłóg oraz określili struktury materiałów, z których zostały wykonane tak, aby spełniały one zalecenia normy [1].

Wymagania energetyczne stawiane oświetleniu pomieszczeń biurowych

W obecnej chwili projektanci zgodnie z przepisami muszą poza zapewnieniem odpowiedniego poziomu natężenia oświetlenia na płaszczyznach pracy, ale również zapewnić by moc jednostkowa zainstalowanych opraw nie przekraczała maksymalnej mocy dopuszczalnej dla danego rodzaju budynku i czy nie ma przekroczenia maksymalnej wartości wskaźnika EP określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do oświetlenia.

Warunki co do wymagań energetycznych określa Norma [2], czy Rozporządzenie [3],

które mówi między innymi, że w obiektach biurowych moc jednostkowa oświetlenia wbudowanego według klas kryteriów nie można przekraczać dopuszczalnej wartości przypadającej na 1 m², według w tabeli 2.

Tabela 1. Maksymalna wartość mocy jednostkowej oświetlenia w pomieszczeniach biurowych

Typ budynku	Maksymalna wartość mocy jednostkowej [W/m ²]		
	Klasa kryteriów		
	A	B	C
Biura	15	20	25

gdzie klasy kryteriów:

A - spełnienie kryteriów oświetlenia w stopniu podstawowym;

B – spełnienie kryteriów oświetlenia w stopniu rozszerzonym;

C – spełnienie kryteriów oświetlenia w stopniu pełnym z uwzględnieniem komunikacji wizualnej.

Ponadto Rozporządzenie [3] znowelizowane 13 sierpnia 2013 roku, które weszło w życie z dniem 1 stycznia 2014 w paragrafie 329 wprowadza maksymalną wartość wskaźnika EP określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia oblicza się zgodnie z poniższym wzorem:

$$(1) \quad EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C + \Delta EP_L$$

gdzie: EP_{H+W} - cząstkowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej; ΔEP_C - cząstkowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia; ΔEP_L - cząstkowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby oświetlenia.

Wartości cząstkowej maksymalnej wartości wskaźnika EP na potrzeby oświetlenia w budynkach użyteczności publicznej przedstawiono w tabeli 3 zgodnie z rozporządzeniem [3].

Tabela 3. Cząstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia.

Lp.	Rodzaj budynku	Cząstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia [kWh/(m ² *rok)] w zależności od czasu działania oświetlenia w ciągu roku t_0 [h/rok]*)		
		od 1 stycznia 2014	od 1 stycznia 2017	od 1 stycznia 2021**)
1	2	3		
3	Budynek użyteczności publicznej:	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 25$
	a) opieki zdrowotnej			
	b) pozostałe	dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 50$

*) Jeżeli w budynku należy uwzględnić oświetlenie wbudowane, w przeciwnym przypadku $\Delta EP_L = 0$ kWh/(m²*rok).

**) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Wartość wskaźnika EP [określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również do oświetlenia wbudowanego, obliczona ma być według przepisów dotyczących metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków [4]. Zgodnie

VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

z rozporządzeniem [4] roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla oświetlenia EP_L w całym budynku, wylicza się wg wzoru (2):

$$(2) \quad EP_L = Q_{K,L} / A_f$$

gdzie: $Q_{K,L}$ – roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną na potrzeby oświetlenia wbudowanego; A_f – powierzchnia pomieszczeń z zainstalowanym oświetleniem wbudowanym.

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną na potrzeby oświetlenia wbudowanego $Q_{K,L}$ wyznacza się z wzoru 3

$$(3) \quad Q_{K,L} = w_{el} \cdot E_{K,L} + w_{el} \cdot E_{elpom.L}$$

gdzie: $E_{K,L}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową na potrzeby oświetlenia wbudowanego; w_{el} – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii elektrycznej do ocenianego budynku; $E_{K,L}$ – roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną do urządzeń pomocniczych oświetlenia wbudowanego.

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową na potrzeby oświetlenia wbudowanego $E_{K,L}$ wyznacza się z wzoru 4

$$(4) \quad E_{K,L} = \sum E_{L,j} \cdot A_{f,j}$$

gdzie: $E_{L,j}$ – roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię użytkową do oświetlenia wbudowanego w poszczególnych pomieszczeniach lub budynku; $A_{f,j}$ – powierzchnia pomieszczenia lub budynku.

Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową na potrzeby oświetlenia wbudowanego j-tego pomieszczenia lub budynku $E_{L,j}$ oblicza się z zależności (5):

$$(5) \quad E_{L,j} = \frac{F_C \cdot P_N}{1000} \cdot [(t_D \cdot F_0 \cdot F_D) + (t_N \cdot F_0)]$$

gdzie: F_C – współczynnik uwzględniający obniżenie natężenia oświetlenia do poziomu wymaganego; P_N – moc jednostkowa opraw oświetlenia wbudowanego w pomieszczeniu; t_D – czas użytkowania oświetlenia w ciągu dnia; F_0 – współczynnik uwzględniający nieobecność użytkowników w miejscu pracy; F_D – współczynnik uwzględniający wykorzystanie światła dziennego w oświetleniu; t_N – czas użytkowania oświetlenia w ciągu nocy.

W norma PN-EN 15193:2010 Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia [2] przyjęto za miarę wydajności energetycznej oświetlenia w budynku, odpowiada „liczbowy wskaźnik energii na oświetlenie”, $LENI$ (Lighting Energy Numeric Indicator). Współczynnik $LENI$ w odniesieniu do rozporządzenia 4 odpowiada energii końcowej $E_{K,L}$ i dla budynków biurowych nie powinien przekraczać wartości podanych w tabeli 4. Wartości współczynnika $LENI$ podane w tabeli 4 wyznaczone zostały na podstawie metody uproszczonej.

Tabela 4. Wartości współczynnika $LENI$ dla różnych sytuacji oświetleniowych zgodnie z normą [2] w pomieszczeniach lub budynkach biurowych.

P_N [W/m ²]	t_D [h/rok]	t_N [h/rok]	F_C	F_0		F_D		$LENI$ [kWh/m ² *rok]	
				Ręczne	Auto	Ręczne	Auto	Ręczne	Auto
15	2250	250	1	1	0,9	1	0,9	42,1	35,3
20	2250	250	1	1	0,9	1	0,9	54,6	45,5
25	2250	250	1	1	0,9	1	0,9	67,1	55,8

Wnioski

Roczne zapotrzebowanie energii pierwotnej na potrzeby oświetlenia wbudowanego wyznaczone przy pomocy normy [2] i zgodnie z rozporządzeniem [4] oraz porównanie jego z wymaganiami rozporządzenia [3] dla obiektów biurowych przy różnych wielkościach mocy jednostkowej przy regulacji ręcznej zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Porównanie zapotrzebowania energii pierwotnej na potrzeby oświetlenia wbudowanego wyznaczone na podstawie normy [2], rozporządzenia [3] i [2] w pomieszczeniach biurowych przy regulacji ręcznej.

Wartość mocy jednostkowej P_N oświetlenia wbudowanego w pomieszczeniu [W/m ²]	Zapotrzebowania energii pierwotnej na potrzeby oświetlenia wbudowanego wyznaczone EP_L [kW h/m ² *rok]		Maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia wbudowanego wg rozporządzenia [3] [kWh/m ² *rok]		
	wg normy [2]	wg rozporządzenia [4]	od 1 stycznia 2014	od 1 stycznia 2017	od 1 stycznia 2021
15	126,3	112,5	100	100	50
20	163,8	150,0			
25	201,3	187,5			

Z przedstawionego w tabeli 5 zestawienia wynika, że wprowadzone w Polsce wymagania w rozporządzeniu [3] stawiają przed projektantami oświetlenia wysokie wymagania i zmuszają ich do stosowania wysokowydajnych źródeł oraz automatyki budynkowej do sterowania oświetleniem, gdyż tylko wtedy możliwe będzie spełnienie wymagań zawartych w rozporządzeniu [3].

W rozporządzeniu [3] zauważyć, że spełnienie wymagań co do wartości mocy jednostkowej oświetlenia nie oznacza spełnienia wymagań dotyczącego maksymalnej wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia wbudowanego.

Przy projektowaniu oświetlenia pomieszczeń biurowych trudno jest osiągnąć wartość mocy jednostkowej oświetlenia na poziomie poniżej 15 W/m² przy spełnieniu wymagań zawartych w normie [1]. Stosowane obecnie najczęściej do oświetlania pomieszczeń biurowych jarzeniowe źródła światła w wielu przypadkach nie sprostają wymaganiom rozporządzenia [3] i będzie trzeba je zastępować źródłami posiadającymi wyższą wydajność świetlną, jaką posiadają na przykład LEDowe źródła.

Literatura

1. PN-EN 12464:2012 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy – część 1.
2. PN-EN 15193:2010 Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami).
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej (Dz. U. 2008 nr 201 poz. 1240 z późniejszymi zmianami).
5. Cierzniewski Piotr, Kudła Julian, Paplicki Piotr, Wardach Marcin; Wybrane aspekty efektywnego projektowania instalacji oświetleniowych w obiektach użyteczności publicznej. Przegląd Elektrotechniczny. - R. 88, nr 12a (2012), s. 197-199

Autorzy: dr inż. Piotr Cierzniewski e-mail: Piotr.Cierzniewski@zut.edu.pl; dr inż. Marcin Wardach e-mail: Marcin.Wardach@zut.edu.pl dr inż. Tomasz Zarębski e-mail: Tomasz.Zarebski@zut.edu.pl; Katedra Elektroenergetyki i Napędu Elektrycznego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, Oddział Szczeciński Stowarzyszenia Elektryków Polskich, al. Wojska Polskiego 67, 70-478 Szczecin.