

Piotr CIERZNIEWSKI¹, Tomasz ZARĘBSKI¹

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny,
Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych, Oddział Szczeciński SEP (1)

Wybrane aspekty projektowania instalacji oświetleniowych w budynkach oświatowych

***Streszczenie.** W przepisach prawnych Unii Europejskiej dąży się do ograniczenia zużycia energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego w budynkach użyteczności publicznej do których zalicza się budynki przeznaczone na cele oświatowe. W artykule przedstawiono wymagania prawne jakościowe i ilościowe stawiane instalacją oświetlenia wbudowanego w budynkach oświatowych. Ponadto przedstawiono sposoby zmniejszenia zużycia energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego.*

Słowa kluczowe: oświetlenie miejsc pracy, natężenia oświetlenia, efektywność energetyczna, LENI

Wymagania prawne dotyczące oświetlenia wbudowanego

Przed projektantami instalacji oświetlenia wbudowanego w budynkach oświatowych wymagania stawiane przez przepisy Unii Europejskiej i krajowe takie jak:

- Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej;
- Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków (Dz. U. 2014 nr 0 poz. 1200)
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. 2015 nr 0 poz. 376) [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),

dotyczą jakościowych i ilościowych parametrów oświetleniowych.

Wymagania jakościowe dotyczące oświetlenia miejsc pracy w wnętrzach określa norma zharmonizowana PN-EN 12464-1: 2012 „Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach”. Wprowadzone przez normę [1] wymagania dotyczą parametrów oświetleniowych zalecanych i wymaganych, takich jak:

- poziomu 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),
- temperatury barwowej (T_{CP}),
- ujednocionej oceny oślnienia (UGR_L).

Wymagania oświetleniowe dla pomieszczeń edukacyjnych w zależności od obszarów, zadania lub działalności wykonywanej zgodnie z normą [1] przedstawiono w tabeli 1.

Ponadto norma [1] zaleca, aby współczynniki odbicia światła od głównych powierzchni rozpraszających we wnętrzu mieściły się w zakresie: od 0,7 do 0,9 w odniesieniu do sufitów, od 0,5 do 0,8 dla ścian, od 0,2 do 0,4 w przypadku podłóg oraz od 0,2 do 0,7 dla głównych przedmiotów w pomieszczeniu, jak meble, maszyny oraz inne.

Tabela 1. Wymagania oświetleniowe dla pomieszczeń edukacyjnych w zależności od obszarów, zadania lub działalności wykonywanej.

Typ obszaru, zadanie lub działalność	E_m	UGR _L	U ₀	R _a
	lx	-		-
Klasy, pokoje do samodzielnej nauki	300	19	0,60	80
Audytoryum, sale wykładowe	500	19	0,60	80
Tablice czarne, zielone i białe	500	19	0,70	80
Pokoje do zajęć praktycznych i laboratoria	500	19	0,60	80
Stół demonstracyjny	500	19	0,70	80
Pracownie dydaktyczne	500	19	0,60	80
Pokoje do zajęć komputerowych	300	19	0,60	80
Laboratoria językowe	500	19	0,60	80
Hole wejściowe	200	22	0,40	80
Obszary ruchu, korytarze	100	25	0,40	80
Schody	150	25	0,40	80
Pokoje nauczycielskie	300	19	0,60	80
Biblioteki: półki na książki	200	19	0,60	80
Biblioteki: obszary do czytania	500	19	0,60	80

Wymagania ilościowe dotyczą energii zużywanej na potrzeby oświetlenia wbudowanego W_t [kWh], która zgodnie z normą PN-EN 15193: 2010 [2] składa się z energii wykorzystywanej przez oprawy oświetleniowe $W_{L,t}$ [kWh] (wytwarzające wymagane oświetlenie) oraz energii „pasożytniczej” $W_{P,t}$ [kWh] – energii zużywanej na ładowanie baterii opraw awaryjnych (gdy źródła światła oprawy są wyłączone), jak i na podtrzymywanie systemów kontroli opraw (gdy źródła światła oprawy są wyłączone). Wyliczana jest według zależności:

$$(1) \quad W_t = W_{L,t} + W_{P,t}.$$

Przy wyznaczaniu W_t uwzględnia się techniki minimalizowania zużycia energii tj.:

- kontrolowanie stałego poziomu natężenia oświetlenia (na zasadzie zmiennego wykorzystywania przewymiarowanej mocy instalowanej w nowym urządzeniu) – F_C ,
- sterowanie i regulacja opraw oświetleniowych (na zasadzie ograniczania czasu świecenia opraw i okresowego obniżania poziomu natężenia oświetlenia) – F_O ,
- wykorzystywanie światła naturalnego (przy kontrolowanym doświetlaniu światłem sztucznym w porze dziennej) – F_D .

Obliczanie energii zużywanej przez oprawy $W_{L,t}$ przeprowadza się z uwzględnieniem mnożenia mocy instalowanej przez F_C , czasu świecenia opraw w porze dziennej t_D przez F_O oraz F_D , czasu świecenia opraw w porze poza dzienną t_N przez F_O . W zależności od przypadków, wartości współczynników zależnych są przyjmowane ≤ 1 .

Przyjęty sposób obliczania energii wynika z poniżej podanych zależności:

$$(2) \quad W_{L,t} = \frac{(P_n \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)]}{1000}$$

gdzie: P_n – moc [W] wszystkich opraw oświetleniowych w pomieszczeniu lub strefie, t_D – czas [h] czas funkcjonowania oświetlenia z udziałem światła dziennego (tabela 2), t_N – czas [h] czas funkcjonowania oświetlenia bez udziału światła dziennego (tabela 2).

Tabela 2. Standardowe godziny rocznego działania w zależności od typu budynku.

Typy budynków	Standardowe godziny rocznego działania		
	t_D	t_N	t_O
Budynki na cele edukacyjne	1800	200	2000

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Energię pasożytniczą, $W_{p,t}$, jeśli nie może być szacunkowo obliczana na podstawie danych deklarowanych, przyjmuje się ryczałtowo. Przy braku dokładnych danych dla pomieszczeń lub stref, w których występują systemy kontroli oprav (5 kWh/(m²rok)) i oświetlenie awaryjne (1 kWh/(m²rok)).

W obliczeniach zapotrzebowania energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego brana pod uwagę powierzchnia pomieszczeń może być inna od powierzchni liczonej w bilansie potrzeb cieplnych budynku. Na podstawie określonej rocznej energii W_t , wyznacza się (przy jej odniesieniu do całkowitego podłogowego pola A gdzie zainstalowane jest oświetlenie w budynku) energię jednostkową zużywaną w roku [kWh/(m²rok)]. Za miarę wydajności energetycznej oświetlenia w budynku przyjmuje się liczbowy wskaźnik energii na oświetlenie – *LENI* (*Lighting Energy Numeric Indicator*) obliczany według zależności:

$$(3) \quad LENI = \frac{W_t}{A} .$$

Wartość wskaźnika *LENI* jest podstawą do wyznaczenia rocznego zapotrzebowania na energię końcową dostarczaną do budynku dla wbudowanej instalacji oświetlenia $Q_{k,L}$ zgodnie z rozporządzeniem [3] i obliczana jest według zależności:

$$(4) \quad Q_{k,L} = LENI \cdot A .$$

Na podstawie energii końcowej $Q_{k,L}$ zgodnie z rozporządzeniem [3] i obliczane jest roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia $Q_{p,L}$ według zależności:

$$(5) \quad Q_{p,L} = Q_{k,L} \cdot w_{el} ,$$

gdzie: w_{el} – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej. Współczynnik w_{el} dla sposobu zasilania budynku w energię elektryczną z sieci elektroenergetycznej systemowej wynosi 3, natomiast dla zasilania z OZE wynosi 0.

Roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia $Q_{p,L}$ odpowiada wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia wbudowanego zgodnie z rozporządzeniem [4], który nie powinien przekroczyć wartości podanych w tabeli 3 w odniesieniu do budynków użyteczności publicznej nowych lub przebudowywanych.

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

Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia, kWh/(m ² rok), w zależności od czasu działania oświetlenia w ciągu roku t_0		
	od 01.01.2014	od 01.01.2017	od 01.01.2021 ^{*)}
	dla $t_0 < 2500$ h/rok	dla $t_0 < 2500$ h/rok	dla $t_0 < 2500$ h/rok
Budynek użyteczności publicznej:	$\Delta EP_L = 50$	$\Delta EP_L = 50$	$\Delta EP_L = 25$

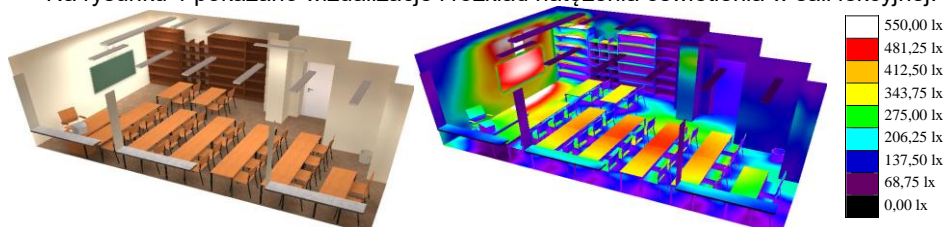
^{*)} Od 01.01.2019 r. w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.

Obliczenia parametrów oświetleniowych i wizualizacja oświetlenia

W celu sprawdzenia wymagań jakościowych jak i ilościowych dotyczących oświetlenia wbudowanego w budynkach edukacyjnych należy przeprowadzić symulacje oświetlenia w pomieszczeniach. Konieczne jest jednak uprzednie przygotowanie

aranżacji wnętrza uwzględniającej materiały i kolorystykę przegród oraz mebli, gdyż mają one bezpośredni wpływ na otrzymane wyniki [5, 6, 7, 8].

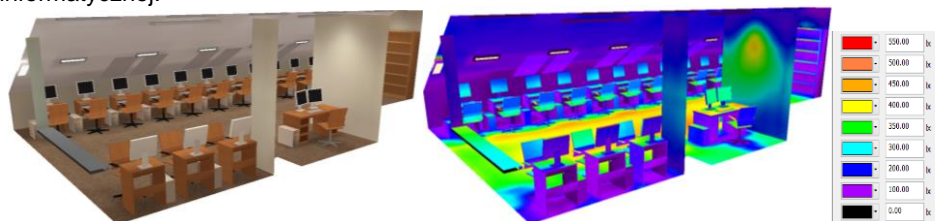
Na rysunku 1 pokazano wizualizację i rozkład natężenia oświetlenia w sali lekcyjnej.



Rys. 1. Wizualizacja i rozkład natężenia oświetlenia w wybranej sali lekcyjnej.

W celu oświetlenia sali lekcyjnej zastosowano: 9 PHILIPS BCS640 W15L125 1xLED24/840 MLO-PC nad ławkami oraz 2 oprawy PHILIPS TCS649 1xTL5-45W HFPA. Wynik symulacji pokazały spełnienie wymagań jakościowych w pomieszczeniu, natomiast jednostkowe zużycie energii na potrzeby oświetlenia wyniosło 7,49 W/m².

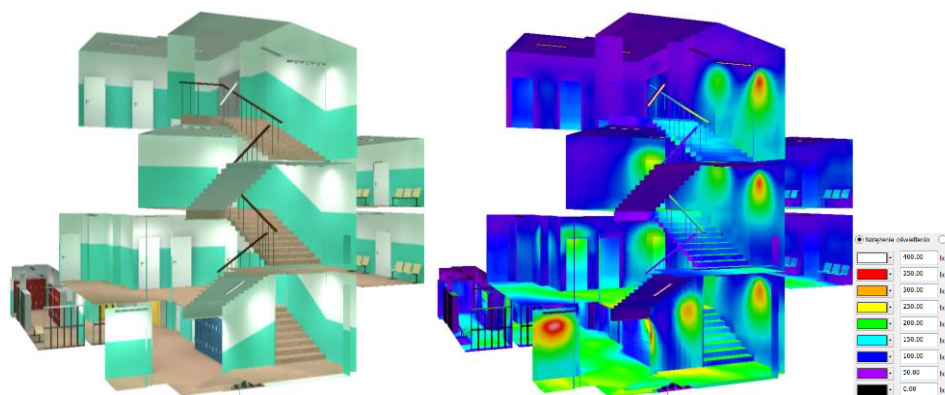
Na rysunku 2 pokazano wizualizację i rozkład natężenia oświetlenia w pracowni informatycznej.



Rys. 2. Wizualizacja i rozkład natężenia oświetlenia w pracowni informatycznej.

W celu oświetlenia pracowni informatycznej zastosowano: 7 PHILIPS BCS640 W21L125 1xLED24/840 MLO-PC, 6 opraw PHILIPS TCS460 1xTL5-13W HFPA oraz 2 oprawy Thorn 96 547 770 LINE XS WALL 1X14W GRY PF/BLU L840. Wynik symulacji pokazały spełnienie wymagań jakościowych w pomieszczeniu, natomiast jednostkowe zużycie energii na potrzeby oświetlenia wyniosło 6,50 W/m².

Na rysunku 3 pokazano wizualizację i rozkład natężenia oświetlenia w pracowni informatycznej.



Rys. 3. Wizualizacja i rozkład natężenia w strefach komunikacyjnych szkoły.

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

W celu oświetlenia stref komunikacyjnych zastosowano: 33 oprawy PHILIPS BCS640 W15L125 1xLED24/840 LIN-PC. Wynik symulacji pokazały spełnienie wymagań jakościowych w pomieszczeniu, natomiast jednostkowe zużycie energii na potrzeby oświetlenia wyniosło 5,52 W/m².

Przeprowadzenie symulacji parametrów oświetleniowych uwzględniające: moc, strumień świetlny, sprawność świetlną i energetyczną oraz krzywe rozsyłu opraw oświetleniowych i źródeł, kolorystykę rodzaje materiałów z jakich wykonane są elementy pomieszczeń i ich wyposażenia poprzez: współczynnik odbicia, prześwitanie, chropowatość i efekt odbicia pozwala wyznaczyć takie parametry jak:

- poziom eksploatacyjnego natężenia oświetlenia (E_m) oraz jego równomierności (U_0) w miejscu pracy, otoczeniu miejsca pracy i tła,
- poziom natężenia oświetlenia oraz jego równomierności na suficie i ścianach,
- ujednoczoną oceny olśnienia (UGR_L),
- rozmieszczenie opraw oświetleniowych,
- moc jednostkową i zapotrzebowaną na potrzeby oświetlenia wbudowanego,

które pozwalają ocenić dotrzymanie wymagań zawartych w przepisach.

Obliczenia parametrów energetycznych

Otrzymane w wyniku symulacji parametry energetyczne takie jak moc jednostkowa P_n oraz moc zapotrzebowana na potrzeby oświetlenia wbudowanego są podstawą do wyznaczenia parametrów energetycznych budynku edukacyjnego zgodnie z rozporządzeniem [3] oraz porównanie ich z wymaganiami zawartymi w rozporządzeniu [4] (tabela), których spełnienie jest podstawą do otrzymania pozwolenia na budowę obiektu edukacyjnego.

Wyniki obliczeń parametrów energetycznych przykładowego budynku edukacyjnego o powierzchni $A = 1069,4 \text{ m}^2$ przedstawione zostały w tabeli 4, przy założeniu, że instalacja oświetlenia wbudowanego w budynku jest zasilana z sieci elektroenergetycznej publicznej.

Tabela 4. Parametry energetyczne instalacji oświetlenia wbudowanego dla budynku edukacyjnego.

	P_n [W/m ²]	LENI [kWh/(m ² rok)]	$Q_{k,L}$ [kWh/rok]	$Q_{p,L}$ [kWh/rok]	ΔEP_L [kWh/(m ² rok)]
Budynek edukacyjny	7,58	15,46	16555,1	49614,3	46,39

Mimo zastosowania głównie do oświetlenia wbudowanego pomieszczeń opraw z LED-owymi źródłami światła charakteryzującymi wysoką skutecznością świetlną (stosunek strumienia świetlnego do mocy pracy) spełniono wymagania rozporządzenia [4], które obowiązują do 31.12.2018, a nie spełniono wymagań które będą obowiązywać po tej dacie dla budynków edukacyjnych.

Podsumowanie

Projektowanie, instalacji oświetlenia wbudowanego w budynkach edukacyjnych wymaga spełnienia wielu zaleceń zawartych w przepisach, mających na celu spełnienie wysokich wymagań ilościowych i jakościowych dotyczących oświetlenia wbudowanego, takich jak: eksploatacyjne natężenie oświetlenia, zapotrzebowanie energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego, ograniczenie olśnienia, temperatura barwowa źródeł światła czy współczynnik oddawania barw.

W celu stwierdzenia czy parametry jakościowe i ilościowe zostały dotrzymane, niezbędne jest przeprowadzenie symulacji parametrów oświetlenia wbudowanego. Ważne jest, aby przy przeprowadzaniu symulacji oświetlenia otrzymać jak najwięcej danych dotyczących aranżacji pomieszczeń, gdyż tylko wtedy będzie można zaoszczędzić energię na potrzeby oświetlenia wbudowanego oraz wyniki obliczeń parametrów oświetleniowych zbliżone będą do wyników pomiarów po wykonaniu instalacji oświetleniowej.

W celu ograniczenia zużycia energii na potrzeby oświetlenia wbudowanego należy dążyć przede wszystkim do stosowania w oprawach oświetleniowych źródeł światła charakteryzujących się wysoką skutecznością świetlną. W obecnej chwili najbardziej efektywnymi źródłami dla budynków użyteczności publicznej są źródła LED-owe.

Ostatecznie przy stosowaniu opraw z LED-owymi źródłami światła należy sprawdzić, czy zastosowanie automatyki budynkowej do sterowania oświetleniem jest inwestycją opłacalną, pod względem energetycznym i finansowym.

Dla instalacji oświetlenia wbudowanego w budynkach edukacyjnych, które mają uzyskać pozwolenie na budowę po 01.01.2019 roku, nie będzie można korzystać tylko z zasilania z sieci elektroenergetycznej, gdyż nie spełni się wymagań zawartych w rozporządzeniu [4], nawet przy stosowaniu LED-owych źródeł światła. Aby spełnić te wymagania do zasilania instalacji oświetlenia wbudowanego w budynkach edukacyjnych będzie trzeba stosować odnawialne źródła energii, co podroży koszty inwestycji i eksploatacji samych budynków.

Literatura

1. Polska Norma PN-EN 12464-1: 2012 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach. PKN, Warszawa 2012.
2. Polska Norma PN-EN 15193: 2010 Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia. PKN, Warszawa 2010.
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Dz.U. (2015) poz. 376.
4. 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 zm.).
5. Cierzniewski P., Kudła J., Paplicki P., Wardach M. *Wybrane aspekty efektywnego projektowania instalacji oświetleniowych w obiektach użyteczności publicznej*. Przegląd Elektrotechniczny. - R. 88, nr 12a (2012) s. 197-199.
6. Cierzniewski P., Kurtz-Orecka K. *Wybrane zagadnienia projektowania efektywnego energetycznie oświetlenia wbudowanego w pomieszczeniach biurowych*. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture Tom 31, z. 61 (2014) s. 83-92.
7. Cierzniewski P., Wardach M., Zarębski T. *Wybrane aspekty projektowania instalacji oświetlenia wewnętrznego w budynkach biurowych pod kątem charakterystyki energetycznej*. Wiadomości Elektrotechniczne - R. 83, nr 1 (2015) s. 3-6.
8. Cierzniewski P., Kurtz-Orecka K. *Budownictwo energooszczędne w Polsce - stan i perspektywy*. Wyd. UTP w Bydgoszczy (2015) s. 119-130.

Autorzy: dr inż. Piotr Cierzniewski; Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych, Wydział Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: piotr.cierzniewski@zut.edu.pl;

dr inż. Tomasz Zarębski; Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych, Wydział Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: tozar@zut.edu.pl