

doi:10.15199/48.2020.01.59

Oprawy oświetleniowe LED przeznaczone do oświetlania dużych powierzchni wewnętrznych

Streszczenie. Przedstawiono, przykłady opraw oświetleniowych LED dużej mocy przeznaczone do stosowania w oświetleniu dużych powierzchni wewnętrznych. Przedstawiono podstawowe parametry elektryczne i świetlne opraw LED przeznaczonych do oświetlenia dużych powierzchni wewnętrznych. Przedstawiono porównanie podstawowych parametrów elektrycznych i świetlnych tradycyjnych opraw oświetleniowych do lamp wyładowczych i świetlówek z obecnymi konstrukcjami opraw LED.

Abstract.

Presented examples of high power LED luminaires construction are intended for use in lighting large areas. Basic electrical and lighting parameters of high power LED luminaires are presented. Comparison of basic electrical and light parameters of traditional luminaires for discharge lamp and fluorescent lamps presented. (LED luminaires designed to illuminate large areas.)

Słowa kluczowe: oprawy oświetleniowe, LED, oprawy LED, oświetlenie dużych powierzchni

Keywords: Luminaires, LED luminaires, LED, general lighting, illuminate large areas

Wstęp

Szybki rozwój konstrukcji opraw LED, powoduje, że są one coraz częściej stosowane w oświetleniu wnętrza, oświetleniu zewnętrznym, oświetleniu dróg i iluminacji obiektów. Oprawy LED są coraz częściej stosowane zamiast tradycyjnych opraw oświetleniowych, głównie ze względu na chęć obniżenia kosztów eksploatacji oświetlenia. Wysoka skuteczność świetlna opraw LED oraz długa trwałość sprzyjają projektowaniu efektywnego energetycznie oświetlenia. Oprawy LED znajdują szerokie zastosowanie w oświetleniu wewnętrznym, w którym skutecznie stosowane są zamiast opraw świetlówkowych. W oświetleniu drogowym oprawy LED stosowane są zamiast opraw oświetleniowych do lamp sodowych i metalohalogenkowych. W oświetleniu dużych powierzchni, na przykład zakładów przemysłowych, wysokich hal magazynowych do niedawna dominowały tradycyjne oprawy oświetleniowe tak zwane „High Bay” do lamp metalohalogenkowych o mocach 150W, 250W i 400W. Konstrukcje opraw LED typu High Bay pojawiły się kilka lat temu i również w obszarze oświetlenia dużych powierzchni wewnętrznych zaczęto je coraz częściej stosować. W przypadku oświetlenia niskich hal magazynowych, garaży podziemnych do niedawna stosowano hermetyczne oprawy świetlówkowe, które w obecnej chwili wypierane są przez hermetyczne oprawy LED. W artykule przedstawione są wybrane typy opraw LED, których konstrukcja przewidziana jest do zastosowania w oświetleniu dużych powierzchni wewnętrznych. Wybrano kilka typów opraw LED High Bay i hermetycznych opraw Damp – Proof LED na podstawie oferty firmy LEDVANCE. Do opisu podstawowych parametrów elektrycznych i świetlnych wybrano następujące typy opraw LED High Bay :

- oprawy High Bay o mocy 95W, 165W i 200W,
- oprawy High Bay DALI o mocach 90W i 155W,
- oprawy High Bay DALI CONSTANT LUMEN OUTPUT.
- oprawy Damp Proof

Przedstawiono porównanie zastosowania tradycyjnych opraw oświetleniowych typu High Bay z oprawami High Bay LED oraz opraw hermetycznych LED Damp-Proof z oprawami świetlówkowymi.

Oprawy HIGH BAY LED

Przykład konstrukcji oprawy High Bay przedstawiony jest na rysunku numer 1.



Rys. 1. Przykład konstrukcji oprawy High Bay LED [1]

Oprawy High Bay LED mają moce 95W, 165W i 200W. Podstawowe parametry elektryczne i świetlne przedstawione są w tabeli numer 1.

Tabela 1. Podstawowe dane elektryczne i świetlne opraw High Bay LED

Typ oprawy	Moc [W]	Strumień świetlny [lm]	Skuteczność świetlna [lm/W]	Trwałość L ₇₀ / B ₅₀
HB 95W	95	13 000	134	50 000
HB 165	165	22 000	133	50 000
HB 200	200	27 000	135	50 000

Oprawy tego typu wytwarzają światło o ogólnym wskaźniku oddawania barw $R_a > 80$, typowe temperatury barwowe wytwarzanego światła wynoszą 4000 K i 6500 K. Oprawy oferowane są w dwóch kątach rozsyłu światła 90° i 110°. Stopień ochrony IP65. Tego typu oprawy oświetleniowe stosowane są w oświetleniu dużych powierzchni wewnętrznych. Typowa rekomendowana wysokość lokowania opraw wynosi od 6 m do 14 m. Obudowa oprawy wykonana jest z aluminium.

Oprawy HIGH BAY DALI LED

Przykład konstrukcji opraw High Bay DALI LED przedstawiony jest na rysunku numer 2.



Rys. 2. Przykład konstrukcji oprawy High Bay DALI LED [1]

Oprawy High Bay DALI LED mają moce 90W i 155W. Podstawowe parametry elektryczne i świetlne opraw High Bay DALI LED przedstawione są w tabeli numer 2.

Tabela 2. Podstawowe dane elektryczne i świetlne opraw High Bay DALI LED

Typ oprawy	Moc [W]	Strumień świetlny [lm]	Skuteczność świetlna [lm/W]	Trwałość L ₇₀ / B ₅₀
HB 90W	90	13 000	144	80 000
HB 155	165	22 000	147	80 000

Oprawy High Bay DALI LED wytwarzają światło o ogólnym wskaźniku oddawania barw Ra > 80, temperatura barwowa światła 4000 K. Stopień ochrony opraw wynosi IP65. Tego typu oprawy oświetleniowe stosowane są w oświetleniu dużych powierzchni wewnętrznych. Typowa rekomendowana wysokość lokowania opraw wynosi od 6 m do 14 m. Obudowa oprawy wykonana jest z aluminium.

Oprawy High Bay DALI LED przystosowane są do stosowania w systemach sterowania oświetleniem, w których wykorzystuje się cyfrowy system sterowania. W przypadku stosowania tradycyjnych opraw oświetleniowych typu High Bay do lamp metalohalogenkowych lub sodowych wysokoprężnych, regulacja mocy opraw (wartości strumienia świetlnego) była ograniczona. W przypadku stosowania lamp metalohalogenkowych regulacja mocy jest znacznie ograniczona, ze względu na zmianę wartości parametrów świetlnych i eksploatacyjnych. Obniżenie mocy lamp metalohalogenkowych powoduje zmniejszenie ich skuteczności świetlnej, obniżenie trwałości, zmianę barwy wytwarzanego światła oraz ogólnego wskaźnika oddawania barw wytwarzanego światła. Przyjmuje się, że zakres regulacji mocy lamp metalohalogenkowych powinien mieścić się w granicach od 100 % mocy znamionowej do 60 % mocy znamionowej [2]. Taki zakres regulacji mocy lamp metalohalogenkowych nie powoduje znaczących zmian ich parametrów elektrycznych, eksploatacyjnych i świetlnych. W przypadku regulacji mocy lamp sodowych wysokoprężnych możliwa jest skokowa regulacja mocy od wartości 100 % mocy znamionowej do 50 % mocy znamionowej, pod warunkiem, że włączenie lamp nastąpi przy mocy maksymalnej a redukcja mocy nastąpi po ustabilizowaniu warunków pracy lamp, czyli w warunkach praktycznych po około 15 minutach od włączenia. Regulacja mocy lamp wyładowczych nie może odbywać się zbyt szybko (zalecane czasy zmian mocy wynoszą od kilku do kilkunastu minut) [3]. Takie wymagania techniczne sprawiają, że zastosowanie lamp wyładowczych w systemach sterowania oświetleniem wykorzystujących czujniki światła lub/i czujniki ruchu jest niemożliwa.

Coraz szersze wykorzystywanie systemów sterowania oświetleniem w oświetleniu dużych powierzchni wewnętrznych nie byłoby możliwe bez zastosowania opraw LED. Regulacja mocy (strumienia świetlnego) opraw LED jest możliwa w szerokim zakresie mocy i nie ma ograniczeń czasu realizacji zmian mocy. W praktycznych zastosowaniach oprawy LED coraz częściej stosuje się w połączeniu z różnego rodzaju systemami sterowania.

Oprawy typu HIGH BAY DALI CONSTANT LUMEN OUTPUT

Oprawy tego typu przystosowane są do zastosowania w systemach sterowania oświetleniem, które wykorzystują cyfrowy system sterowania DALI. Dodatkową cechą tego typu opraw jest utrzymywanie stałej wartości emitowanego strumienia świetlnego w czasie. Wszystkie źródła światła jak również oprawy LED zmniejszają swoją skuteczność świetlną w trakcie eksploatacji. Oznacza to, że w procesie

projektowania nowego urządzenia oświetleniowego należy złożyć wpływ różnych czynników powodujących spadek wartości natężenia oświetlenia na powierzchni pracy w czasie. Do głównych czynników wpływających na spadek wartości natężenia oświetlenia na powierzchni pracy w czasie należą: zabrudzenie pomieszczenia (zmniejszenie wartości współczynników odbicia światła głównych powierzchni pomieszczenia), zabrudzenie opraw oświetleniowych, naturalne wygasanie źródeł światła i spadek skuteczności świetlnej źródeł światła (spadek emitowanego strumienia świetlnego w czasie). Wszystkie wymienione czynniki wpływają na wartość współczynnika zapasu (przewymiarowanie urządzenia oświetleniowego), jaki należy przyjąć przy projektowaniu nowej instalacji oświetleniowej. Wartość współczynnika zapasu wpływa na moc zainstalowaną urządzenia oświetleniowego, tym samym na koszty eksploatacji oświetlenia. Obniżanie wartości współczynnika zapasu powoduje mniejsze przewymiarowanie nowego urządzenia oświetleniowego, mniejszą moc całkowitą, zmniejszenie zużycia energii elektrycznej, ale skracając czas tak zwanych czynności konserwacyjnych (odstępny czasowe pomiędzy odnawianiem pomieszczenia, czyszczenia opraw i wymiany źródeł światła) co powoduje zwiększenie kosztów eksploatacji oświetlenia nie związanych ze zużyciem energii elektrycznej. Zastosowanie opraw HIGH BAY CONSTANS LUMEN AUPUT powoduje, że możemy pominąć w obliczaniu całkowitego współczynnika zapasu, wpływu cząstkowego współczynnika zapasu odpowiadającego za obniżenie wartości wytwarzanego strumienia świetlnego oprawy LED (źródła światła). Oprawa oświetleniowa utrzymuje stałą wartość strumienia świetlnego w czasie eksploatacji. Realizowane jest poprzez zastosowanie czujnika światła, który powoduje stałą wartość emitowanego strumienia świetlnego przez oprawę. Oprawa „starzejąc się” zwiększa swoją moc, tak aby wytwarzać zadaną początkową wartość strumienia świetlnego. Dzięki czemu wartość cząstkowego współczynnika zapasu wynikająca z utraty strumienia świetlnego przez oprawę oświetleniową LED (źródło światła) może być w projekcie pominięta. Współczynnik zapasu będzie miał mniejszą wartość, moc zainstalowana nowego urządzenia będzie niższa, a tym samym zmniejszą się koszty eksploatacji oświetlenia.

Podstawowe dane techniczne opraw HIGH BAY CONSTANS LUMEN AUPUT przedstawiane są w tabeli numer 3.

Tabela 3. Podstawowe dane elektryczne i świetlne opraw HIGH BAY CONSTANS LUMEN AUPUT

Typ oprawy	Moc [W]	Strumień świetlny nominalny [lm]	Skuteczność świetlna nominalna [lm/W]	Trwałość L ₇₀ / B ₅₀
HB CLO90W	75 - 90	13 000	144	80 000
HB CLO 155	125 - 155	22 000	147	80 000

Konstrukcja opraw HIGH HIGH BAY DALI CONSTANT LUMEN OUTPUT jest taka sama jako opraw High Bay DALI, która przedstawiona jest na rysunku numer 2. Oprawy typu DALI mogą być wyposażone w dodatkowy reflektor, który powoduje zmniejszenie kąta rozsyłu światła. Dodatkowy reflektor wpływa również na potencjalne obniżenie wartości ogólnego wskaźnika oświelenia (UGR) w instalacjach oświetleniowych, w których oprawy lokowane są stosunkowo nisko w oświetleniu dużych powierzchni. Na rysunku numer 4 przedstawiona jest konstrukcja dodatkowego reflektora, który przeznaczony jest dla opraw serii High Bay serii DALI o mocach 90W i 155W.



Rys. 4. Przykład konstrukcji reflektora do opraw typu High Bay DALI LED 90W i 155W [1].

Zastosowanie reflektora zmniejsza kąt rozsyłu światła opraw High Bay LED 90 W i 155 W do 80°. Zastosowanie reflektora pozwala na ograniczenie wartości ujednoczonego wskaźnika ośnienia przy zastosowaniu opraw typu HIGH BAY przy realizacji oświetlenia w stosunkowo niskich pomieszczeniach, przy lokowaniu opraw na wysokości rzędu 6 m nad płaszczyzną pracy.

Oprawy LED Damp - Proof

Hermetyczne oprawy LED Damp-Proof stanowią alternatywę dla hermetycznych opraw świetlówkowych. Wymiary tych opraw zbliżone są do wymiarów opraw świetlówkowych. Ich długości wynoszą 1200 mm i 1500 mm, zbliżone do wymiarów opraw do świetlówek T8 o mocy 36 W (1200 mm) i 58 W (1500 mm). Rozsył strumienia świetlnego opraw LED ma podobny charakter do rozsyłu strumienia świetlnego opraw świetlówkowych. Oprawy LED Damp – Proof mają moce 21 W, 30 W, 39 W i 55 W. Przykład konstrukcji opraw Damp-Proof LED przedstawiony jest na rysunku numer 5.



Rys. 5. Przykład konstrukcji oprawy Damp-Proof [1].

Podstawowe dane elektryczne, świetlne i eksploatacyjne opraw LEDVANCE Damp Proof przedstawione są w tabeli numer 4.

Tabela 4. Podstawowe dane elektryczne, świetlne i eksploatacyjne opraw LEDVANCE Damp Proof.

Moc [W]	Strumień świetlny [lm]	Barwa światła [K]	Skuteczność świetlna [lm/W]	Trwałość l_{70} / B_{50} [h]	IP
21	2400	4000	114	50 000	IP65
39	4400	4000	113	50 000	IP65
39	4400	6500	113	50 000	IP65
30	3500	4000	117	50 000	IP65
55	6400	4000	116	50 000	IP65
55	6400	6500	116	50 000	IP65

Wszystkie oprawy Damp – Proof wytwarzają światło o ogólnym wskaźniku oddawania barw R_a powyżej 80. Przewidziane są do pracy w temperaturach otoczenia od -30 °C do +40 °C.

Porównanie zastosowania opraw High Bay LED z oprawami High Bay do lamp metalohalogenkowych 250 W i 400 W

Do porównania zasadności stosowania opraw High Bay LED przyjęto pomieszczenie o wymiarach 25 m x 15 m, o wysokości 10 m. Realizowany średni poziom natężenia

oświetlenia na poziomie podłogi wynosi 300 lx. Do porównania przyjęto dwie typowe oprawy typu High Bay do lamp metalohalogenkowych o mocach 250 W i 400 W, oraz dwie oprawy High Bay LED o mocach 95 W i 165 W. Założono, że odpowiednikiem oprawy High Bay 250 W jest oprawa High Bay LED 95 W. Dla oprawy High Bay 400 W odpowiednikiem jest oprawa High Bay LED 165 W. Rozpatrzono dwa przypadki, w których liczba i lokowanie opraw w odpowiednich przypadkach jest takie same. W analizie porównawczej uwzględniono wybrane parametry świetlne: średnią wartość natężenia oświetlenia na powierzchni podłogi E_{sr} i równomierność oświetlenia E_{min}/E_{sr} . Rozpatrywany przypadek stanowi jedynie przykład, obrazujący skalę redukcji mocy zainstalowanej urządzenia oświetleniowego przy zastosowaniu opraw LED zamiast tradycyjnych opraw oświetleniowych. W tabeli 5 przedstawione są podstawowe parametry elektryczne i świetlne opraw High Bay 250 W i High Bay 400 W.

Tabela 5 Podstawowe parametry elektryczne i świetlne opraw High Bay 250 W i 400 W

Typ oprawy	High Bay 250W	High Bay 400W L
Moc [W]	270	410
Str. Świetlny [lm]	23 000	37 000
Ra [-]	60	60
Tc [K]	4000	4000

W tabeli 6 przedstawiono wyniki porównania podstawowych parametrów świetlnych i elektrycznych opraw High Bay LED 95 W z oprawami High Bay 250 W. Przy realizacji oświetlenia w przykładowym pomieszczeniu.

Tabela 6 Porównanie zastosowania opraw High Bay 250 W i High Bay LED 95 W

Typ oprawy	High Bay 250 W	High Bay LED 95 W
Moc oprawy [W]	270	95
Liczba opraw	15	15
E_{sr} [lx]	297	304
Emiń / E_{sr}	0,63	0,60
Moc całkowita [W]	4050	1425
Moc jednostkowa [W/m ²]	10,80	3,80
Moc jedn. skoryg. [W/m ² /100 lx]	3,64	1,25
Zużycie energii w ciągu 1000 h [kWh]	4050	1425

Z analizy porównawczej wynika, że zastosowanie oprawy High Bay LED 95 W zamiast typowej tradycyjnej oprawy High Bay 250 W powoduje znaczną redukcję mocy zainstalowanej. Różnica wynosi 2625 W. Zastosowanie opraw LED przynosi w rozważanym przypadku 65% oszczędności w mocy zainstalowanej. Koszty eksploatacji oświetlenia wynikające z opłat za energię elektryczną mogą być o 65% niższe, przy tych samych warunkach oświetleniowych.

Oprawy tradycyjne i oprawy LED rozmieszczone są w pomieszczeniu w taki sam sposób. Można założyć, że zamiennikiem tradycyjnych opraw High Bay do lamp metalohalogenkowych o mocy 250 W mogą być oprawy High Bay LED o mocy 95 W. Należy jednak zwrócić szczególną uwagę, że w każdym przypadku stosowanie opraw High Bay LED zamiast tradycyjnych opraw High Bay powinna być wykonana dokładna analiza w postaci wykonania projektu oświetleniowego z uwzględnieniem spełnienia wymagań oświetleniowych zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie PN-EN 12464. Za każdym razem należy sprawdzić czy zamiana opraw oświetleniowych zapewni spełnienie wymagań oświetleniowych. W warunkach praktycznych nie zawsze jest możliwe zastosowanie takiej samej liczby opraw LED

zamiast tradycyjnych opraw, a tym samym nie jest możliwe takie same ich rozmieszczenie w pomieszczeniu.

W tabeli 7 przedstawiono wyniki porównania podstawowych parametrów świetlnych i elektrycznych opraw High Bay LED 165 W z oprawami High Bay 400 W. Przy realizacji oświetlenia w przykładowym pomieszczeniu.

Tabela 7 Porównanie zastosowania opraw High Bay 400 W i High Bay LED 165 W

Typ oprawy	High Bay 400 W	High Bay LED 165 W
Moc oprawy [W]	410	165
Liczba opraw	10	10
Eśr [lx]	310	320
Emiń / Eśr	0,69	0,62
Moc całkowita [W]	4100	1650
Moc jednostkowa [W/m ²]	10,93	4,40
Moc jedn. skoryg. [W/m ² /100 lx]	3,53	1,37
Zużycie energii w ciągu 1000 h [kWh]	4100	1650

Z analizy porównawczej wynika, że w tym przypadku tradycyjne oprawy High Bay do lamp metalohalogenkowych o mocy 400 W mogą być zamienione na oprawy High Bay LED o mocy 165 W, przy zachowaniu podobnych warunków oświetleniowych. W tym przypadku liczba opraw tradycyjnych i LED jest taka sama. Rozmieszczenie opraw w pomieszczeniu jest również takie same. Z analizy porównawczej wynika, że zastosowanie opraw High Bay LED o mocy 165 W zamiast opraw High Bay do lamp metalohalogenkowych o mocy 400 W powoduje znaczną redukcję mocy zainstalowanej. Różnica mocy wynosi 2450 W. Różnica mocy wynosi 60 %. W tym przypadku można spodziewać się zmniejszenia o 60 % kosztów eksploatacji oświetlenia pod względem zużycia energii elektrycznej. Można założyć, że zamiennikiem opraw typu High Bay do lamp metalohalogenkowych mogą być oprawy High Bay LED o mocy 165 W. W tym przypadku również należy zwrócić uwagę, że porównanie ma charakter poglądowy i zwraca uwagę na poziom redukcji mocy urządzenia oświetleniowego przy zastosowaniu opraw LED zamiast opraw tradycyjnych. W praktycznych warunkach należy wykonać projekt oświetleniowy, w którym uwzględnione będą wszystkie wymagania oświetleniowe.

Porównanie zastosowania opraw Damp - Proof LED z oprawami hermetycznymi do świetlówek.

Do porównania zasadności stosowania opraw hermetycznych, przyjęto dwa typy opraw: Damp – Proof LED o mocy 55 W i oprawę świetłówkową 2 x 58 W o mocy 116 W. Przyjęto pomieszczenie o wymiarach 25 m x 15 m, o wysokości 6 m. Oprawy lokowane są na suficie. Realizowany średni poziom natężenia oświetlenia na poziomie podłogi wynosi 300 lx. W tabeli 8 przedstawione są wyniki porównania podstawowych parametrów świetlnych. W przykładzie oprawy rozmieszczone są w 4 rzędach po 8 opraw w rzędzie. W obydwu przypadkach zastosowana jest ta sama liczba opraw i taki sam sposób ich rozmieszczenia. Założono, że w analizowanym

przypadku brane będą pod uwagę dwa parametry : średnia wartość natężenia oświetlenia na powierzchni podłogi Eśr i równomierność oświetlenia Emin / Eśr. W tym rozważanym przypadku można założyć, że zastosowanie hermetycznych opraw Damp – Proof LED 55 W zamiast typowych opraw świetłówkowych 2x58W powoduje znaczną redukcję mocy zainstalowanej, przy takich samych warunkach oświetleniowych.

Tabela 8. Porównanie zastosowania opraw hermetycznych, oprawy świetłówkowej 2x58 W i oprawy LED 55 W.

Typ oprawy	2 x 58 W	LED 55 W
Moc oprawy [W]	116	55
Liczba opraw	32	32
Eśr [lx]	297	314
Emiń / Eśr	0,71	0,65
Moc całkowita [W]	3712	1760
Moc jednostkowa [W/m ²]	9,90	4,69
Moc jedn. skoryg. [W/m ² /100 lx]	3,33	1,5
Zużycie energii w ciągu 1000 h [kWh]	3712	1760

Pomimo tego, że w przykładzie analizowane były tylko dwa parametry oświetleniowe, należy uznać, że potencjalne oszczędności w kosztach eksploatacji oświetlenia, przy zastosowaniu opraw LED mogą wynosić 53 %. W każdym przypadku praktycznym należy wykonać alternatywne projekty oświetlenia i analizować parametry energetyczne i oświetleniowe zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12464.

Wnioski

Rozwój konstrukcji opraw LED jest coraz szybszy i zastosowanie coraz szersze. Praktycznie każdy typ tradycyjnych opraw oświetleniowych, stosowanych w oświetleniu ogólnym wewnątrz, ma swój odpowiednik w oprawach LED. Dynamiczny rozwój techniczny widoczny jest również w przypadku opraw stosowanych do oświetlenia dużych pomieszczeń, takich jak High Bay i opraw hermetycznych. Przedstawione typy opraw oświetleniowych oraz przykłady ich zastosowania potwierdzają, że stosowanie opraw LED zamiast tradycyjnych opraw oświetleniowych jest uzasadnione i powoduje duże oszczędności w zużyciu energii elektrycznej. Oszczędności są wynikiem wysokich wartości skuteczności świetlnych opraw LED.

Autor: dr inż. Andrzej Wiśniewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: Andrzej.Wisniewski@ien.pw.edu.pl

LITERATURA

- [1] Katalog opraw oświetleniowych LED, strona www.ledvance.
- [2] High Intensity Discharge lamps. Technical information on reducing the wattage. Materiały techniczne OSRAM 2014r
- [3] High-pressure sodium lamps. Technical information. Materiały techniczne firmy OSRAM 2010r.
- [4] Polska Norma PN-EN 12464-1 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach. 2012r.