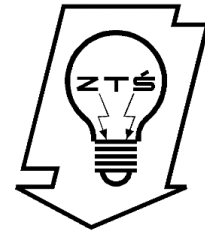
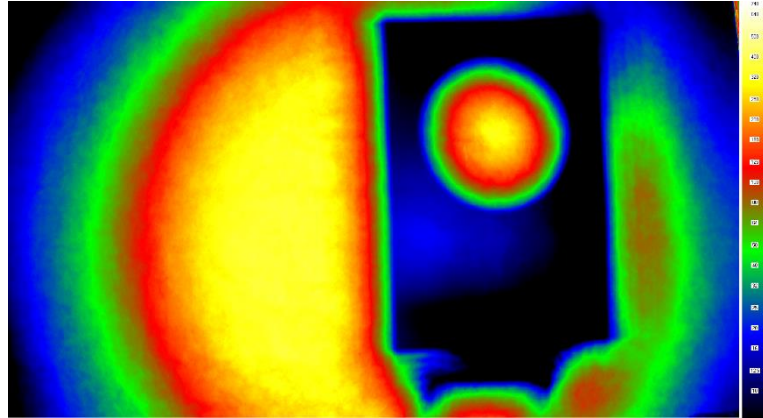


Ćw. 7. Pomiar luminancji źródeł światła i materiałów

Opracował: dr inż. Sebastian Słomiński



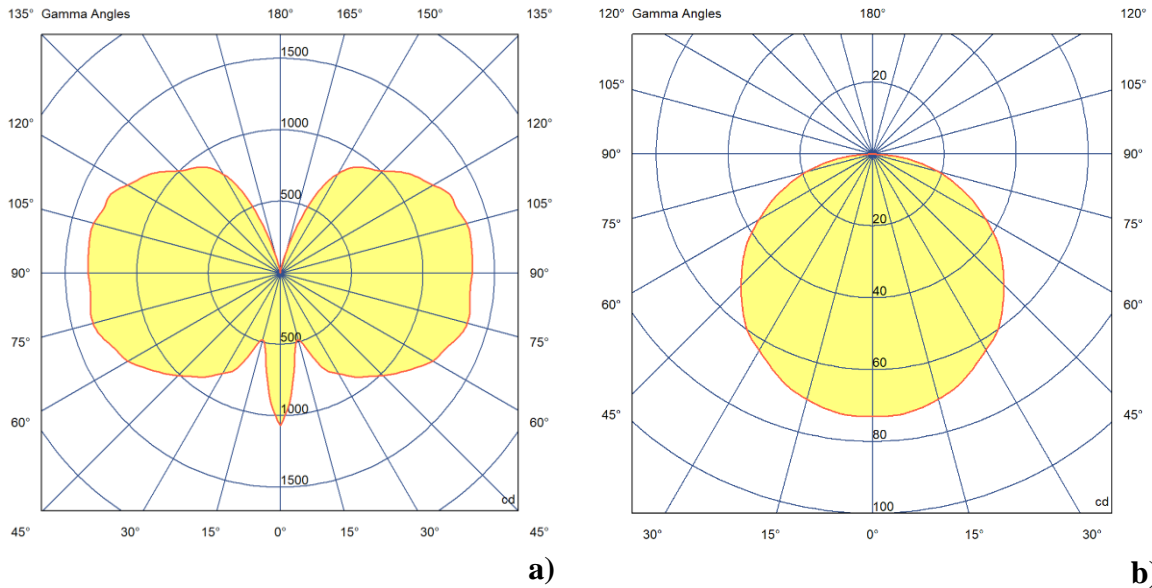
ZAKŁAD TECHNIKI
ŚWIETLNEJ



1. Wprowadzenie teoretyczne

Druga dekada XXI wieku związana jest z rozkwitem nowych technologii w oświetleniu. Zmiany w technologii projektowania i budowy opraw oświetleniowych były wynikiem rewolucji LED. Można nawet przyjąć tezę, że zmiany w technologii projektowania urządzeń oświetleniowych wymuszone były przez inny sposób dystrybucji strumienia świetlnego przez źródła elektroluminescencyjne w stosunku do tradycyjnych źródeł światła. Bryły fotometryczne tradycyjnych źródeł światła związane były z emisją strumienia świetlnego w całą przestrzeń. Dominował rozsył równomierny lub toroidalne bryły fotometryczne dla takich źródeł światła jak niskoprężne lampy rtęciowe (potocznie świetlówki liniowe), lampy sodowe lub metalohalogenkowe. Zmiana podejścia do projektowania układów optycznych oraz cechy LED spowodowały zmianę parametrów luminancyjnych opraw oświetleniowych. Pojedyncza dioda elektroluminescencyjna posiada bardzo dużą wartość luminancji, na poziomie 10^7 cd/m² i więcej. Są to wartości charakterystyczne dla luminancji żarników żarówek halogenowych i jarzników wysokoprężnych lamp wyładowczych[1]. Jednak stosunkowo niewielkie wartości strumienia świetlnego emitowane z pojedynczego chipu LED (kilkaset do tysiąca lumenów), powodowały, iż dominująca większość rozwiązań opraw oświetleniowych LED to rozwiązania wieloźródłowe.

Wraz z wysokimi wartościami luminancji pojawiły się problemy związane z olśnieniem przykrym oraz prawidłowymi pomiarami luminancji oraz rozkładów luminancji. Należy pamiętać, że parametr luminancji związany jest bezpośrednio ze ludzkiego wzroku, natomiast odczucie luminancji (jaskrawości) ma bezpośredni związek ze stanem adaptacji oka.



Rys. 1. Przykładowe rozsyły światłości dla wybranych źródeł światła a) lampa metalohalogenkowa o mocy 150W, b) LED COB

Luminancja danego punktu P powierzchni, w danym kierunku (C, γ) jest to iloraz elementarnej światłości $I(C, \gamma)$, jaką cechuje się nieskończenie małe otoczenie dS punktu P w tym kierunku oraz pola pozornej powierzchni dS' tego otoczenia, widzianego z tego kierunku [2]:

$$L(C, \gamma) = \frac{dI(C, \gamma)}{dS'} = \frac{dI(C, \gamma)}{dS \cos \varepsilon} = \frac{d^2 \Phi}{dS d\omega \cos \varepsilon} \text{ [cd/m}^2\text{]} \quad (1) \quad [2]$$

gdzie:

$dI(C, \gamma)$ – światłość elementu dS w kierunku (C, γ),

dS – elementarne otoczenie punktu P,

dS' - wielkość pozorna elementu dS z kierunku (C, γ),

n – wektor normalny do powierzchni S w punkcie P,

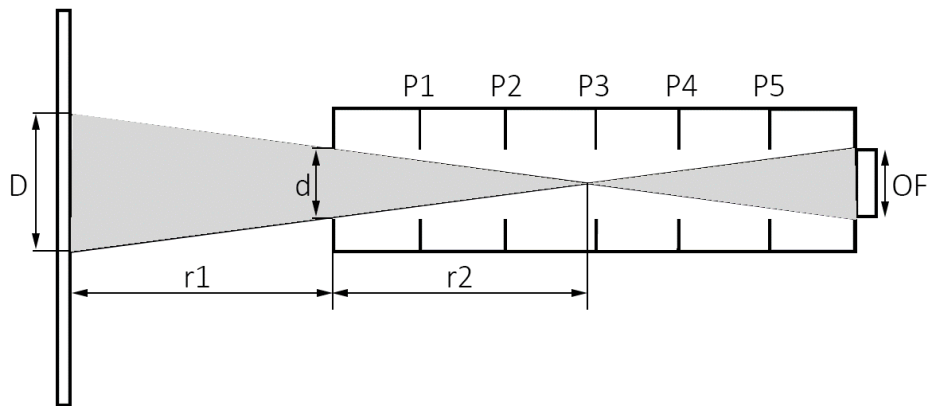
ε – kąt płaski między kierunkiem (C, γ) i wektorem normalnym n .

Należy zwrócić uwagę, iż pojęcie luminancji związane jest zarówno ze światłem odbitym oraz materiałami samoświecącymi. Jest pojęciem określającym gęstość powierzchniową światłości emitowanej w danym kierunku. W związku z tym jeśli taka sama światłość emitowana jest z mniejszej powierzchni, to jej luminancja jest większa [2].

1.1. Pomiary luminancji - teoria

Aby przybliżyć sposób pomiaru luminancji, który bezpośrednio wynika z definicji można posłużyć się przykładem nitomierza, czyli tubusowego miernika luminancji. Nazwa nitomierz, wywodziła się z dawnej nazwy jednostki luminancji, która obecnie funkcjonuje w części świata – „nita”, gdzie $1 \text{ nt} = 1 \text{ cd/m}^2$. Należy jednak zwrócić uwagę, iż jednostką luminancji w układzie SI jest cd/m^2 .

Zasada pomiaru luminancji, zgodnie z przekształconą zależnością definicyjną, opiera się na takiej konstrukcji miernika, która zapewnia stałość kąta przestrzennego „widzianego” przez odbiornik fotoelektryczny (Rys. 1) [2].



Rys. 2. Tubusowy miernik luminancji; OF – odbiornik fotoelektryczny; P1-P5 – przesłony ograniczające składową niezwiązaną z obszarem mierzonym; r_2 – stała konstrukcyjna miernika; d – średnica otworu wyjściowego.

Sposób pomiaru luminancji w kontekście rysunku 2 opiera się na związaniu wartości prądu płynącego w obwodzie odbiornika fotoelektrycznego z wartością luminancji pola widzianego przez ogniwo. Układ miernika rejestruje wartość prądu proporcjonalną do wartości średniej luminancji rzutowanej na powierzchnię czynną fotoogniwa. Należy pamiętać, iż podobnie jak we wszystkich pomiarach w Technice świetlnej odniesieniem jest ludzkie oko. Zarówno specyfika oka jak i jego czułość widmowa. Dlatego jako odbiornik fotoelektryczny nie może zostać wykorzystany dowolny „czujnik światła”. Musi być to fotoelement skorygowany widmowo, czyli posiadający korekcję czułości widmowej w zakresie promieniowania widzialnego (380 – 780nm). Korekcja widmowa oznacza dopasowanie czułości widmowej fotodetektora do krzywej czułości widmowej oka ludzkiego, przystosowanego do jasności. Do chwili upowszechnienia się elektronicznych mierników luminancji, pomiar tego parametru, analogicznie do pomiaru światłości lub strumienia świetlnego był pomiarem porównawczym. Z tego powodu aby dokonać pomiaru luminancji należało dysponować wzorcem luminancji oraz miernikiem fotoprądu, który dysponuje pełną liniowością w całym zakresie pomiarowym. W nowoczesnej technice świetlnej konstrukcje mierników analogicznych do przedstawionego na rysunku 2 mają zastosowanie wyłącznie dydaktyczne. W przypadku pomiarów luminancji lub nowoczesnych pomiarów rozkładów luminancji, wykorzystywane są zaawansowane urządzenia cyfrowe.

1.2. Nowoczesne techniki pomiaru luminancji

Nowoczesne systemy dedykowane do pomiarów luminancji są systemami cyfrowymi. W początkowej fazie produkcji takich systemów pomiary luminancji były pomiarami porównawczymi. Wewnątrz urządzeń wbudowany był wzorzec rekalkibracyjny i po włączeniu miernika następowała każdorazowa kalibracja parametrów. W chwili zastosowania stabilnych fotoelementów krzemowych z zaimplementowaną korekcją krzywej czułości widmowej do

krzywej CIE $V(\lambda)$ stosowanie wewnętrznych wzorców luminancji stało się zbędne. Niemniej jednak cyfrowe mierniki luminancji, luksomierze i inne urządzenia pomiarowe w technice światlnej posiadają świadectwo legalizacji i muszą być cyklicznie kalibrowane w certyfikowanych laboratoriach.

Nowoczesne systemy do pomiarów luminancji można podzielić na 2 grupy: urządzenia z polem pomiarowym oraz matrycowe mierniki luminancji (ILMD – ang. Imaging Luminance Measuring Devices). Urządzenia ILMD dzielą się następnie na 2 podkategorie. Pierwszą stanowią urządzenia laboratoryjne, których konstrukcja oparta jest na wykorzystaniu matrycy monochromatycznej, typowo CMOS. Drugą podkategorię stanowią urządzenia, których konstrukcja jest oparta na wykorzystaniu matryc CMOS z filtrami barwnymi w układzie Bayera[3], naniesionymi na powierzchnię sensora. Część rozwiązań z tej kategorii stanowią urządzenia wykorzystujące lustrzanki cyfrowe.

1.2.1. Mierniki luminancji z polem pomiarowym

Cyfrowe urządzenia do pomiarów luminancji z polem pomiarowym stanowią podstawową grupę urządzeń na rynku techniki światlnej. Są to najczęściej przenośne urządzenia, pracujące z wysoką klasą dokładności. Typowo błąd pomiarowy, wynikający w głównej mierze z błędów dopasowania charakterystyki czułości widmowej sensorów do charakterystyki czułości widmowej oka ludzkiego nie przekracza kilku % (najczęściej 0,5% - 2%). Zakres pomiarowy nowoczesnych urządzeń obejmuje luminancje od 10^{-3} cd/m² do nawet 10^7 cd/m². Zakres pomiarowy dla dużych wartości luminancji może zostać rozszerzony poprzez wykorzystanie filtrów szarych ND.



Rys. 3. Konstrukcja miernika luminancji z polem pomiarowym Konica Minolta LS-110 [4].

Mierniki luminancji z polem pomiarowym mają, zależnie od konstrukcji, stałe pole pomiarowe (np. 1° dla LS-110/150 lub np. $1/3^\circ$ dla LS-160) oraz możliwość zastosowania wymiennych obiektywów z możliwością dołączenia adaptera do kamery CCD w miejscu, w którym umieszczony jest wizjer optyczny.

Niektóre konstrukcje dostępne na rynku (np. LMT L1003), posiadają możliwość wyboru wielkości pola pomiarowego. Takie podejście pozwala na zwiększenie precyzji pomiaru, poprzez zmniejszenie pola pomiarowego obejmującego mniejszy fragment mierzonego

elementu lub dopasowanie pola pomiarowego do wymagań normatywnych. Przykładem może być pole pomiarowe 2'x20' wymagane do pomiarów luminancji dróg, zgodne z normą PN-EN 13201[4]. Urządzeniem, które posiada możliwość wyboru wymiarów pola pomiarowego jest miernik firmy LMT L1003 (standardowo 3°, 1°, 20° oraz opcjonalnie 6°, 2', 2'x20', 3'x10').

Należy zdawać sobie sprawę z faktu, iż cechą takich mierników jest rejestracja luminancji średniej w całym polu pomiarowym. Jeśli w obrębie pola pomiarowego znajdują się źródła światła, urządzenie zmierzy wartość luminancji uśrednionej dla źródeł światła oraz ich najbliższego otoczenia. Aby zmierzyć precyzyjne rozkłady luminancji źródeł światła i opraw oświetleniowych o dużym gradiencie zmienności luminancji należy wykorzystać tzw. matrycowe mierniki luminancji (ILMD)[5].

1.2.2. Matrycowe mierniki luminancji (ILMD)

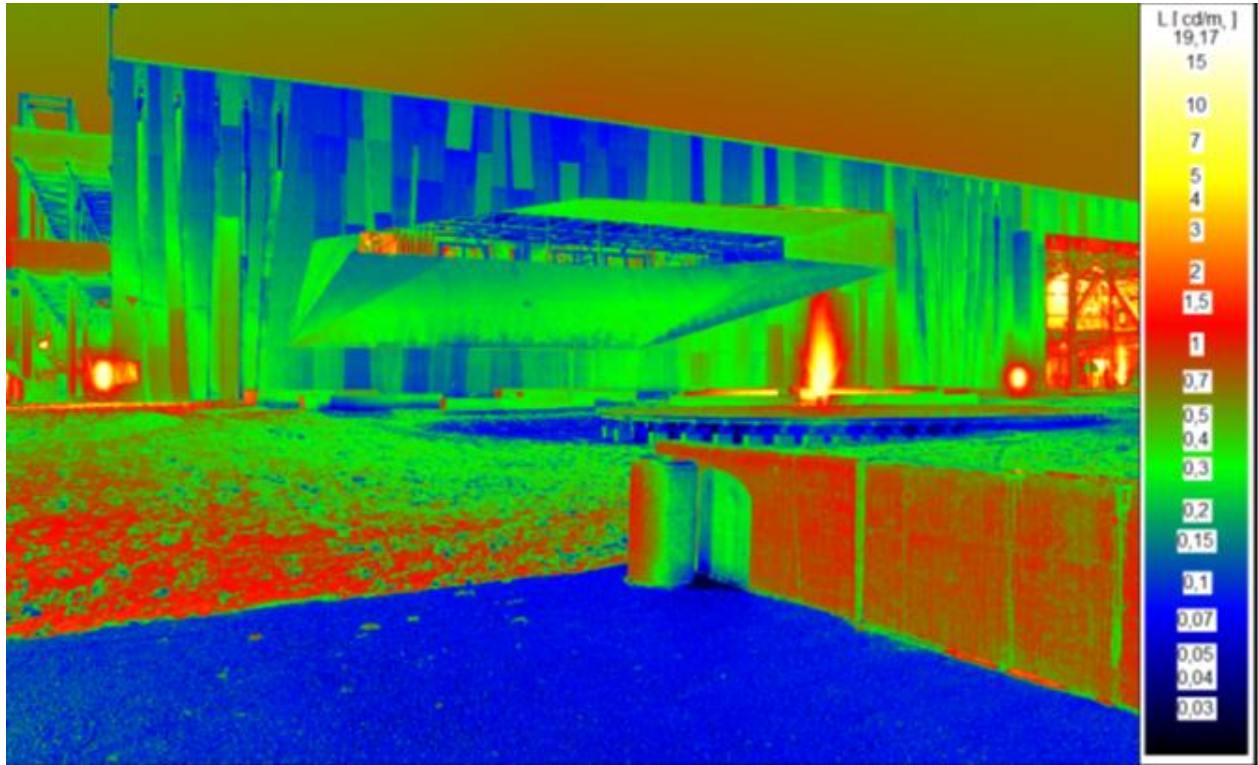
Cyfrowe kamery luminancyjne (matrycowe mierniki luminancji), z matrycami CCD/CMOS są najnowocześniejszymi urządzeniami do pomiarów luminancji, które są dostępne na rynku. Klasa dokładności pomiarowej zależy bezpośrednio od technologii w której pracuje urządzenie. Mierniki z filtrami barwnymi naniesionymi bezpośrednio na matrycę (typowo w układzie Bayer) osiągają inne dokładności, które zależne są od rozkładu widmowego mierzonych źródeł światła (od 2,5% dla standardowego illuminantu A, do nawet 13 – 15% dla wyładowczych źródeł światła i LED) [6].

W przypadku rozwiązań laboratoryjnych, których konstrukcja oparta jest na wykorzystaniu matryc monochromatycznych z dedykowanym dla nich specjalnym filtrem $V(\lambda)$, dokładność pomiaru to $\pm 3\%$ dla standardowego iluminatu A przy błędzie niedopasowania charakterystyk na poziomie niższym, niż 4%. W przypadku tych konstrukcji, błąd pozostaje na stabilnym poziomie, niezależnie od rozkładów widmowych mierzonych źródeł światła. Przykładowy wynik pomiaru rozkładu luminancji wraz ze skalą przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Przykłady typowych konstrukcji matrycowych mierników luminancji [6]

W wyniku pomiaru rozkładu luminancji przy wykorzystaniu ILMD, otrzymujemy zestaw punktowych wartości luminancji zgodnych z liczbą komórek światłoczułych matrycy. Matrycowe mierniki luminancji, które są dostępne na rynku oferują nawet rozdzielczości sięgające 70 milionów punktów.



Rys. 5. Przykładowy wynik pomiaru rozkładu luminancji

Podstawowe wielkości oraz definicje niezbędne do prawidłowej realizacji ćwiczenia

W celu prawidłowej realizacji cyklu pomiarowego niezbędne jest przyswojenie wybranych definicji.

- Światłość

Światłością w danym kierunku $I(C, \gamma)$ punktowego źródła światła lub elementu powierzchni nie punktowego źródła światła nazywa się iloraz elementarnego strumienia świetlnego $d\Phi$ wypromieniowanego we wnętrzu nieskończenie małego stożka obejmującego dany kierunek, oraz kąta bryłowego $d\omega$ tego stożka [2]

$$I(C, \gamma) = \frac{d\Phi}{d\omega} [cd] \quad (2)$$

Światłość można zmierzyć np. przy użyciu ławy fotometrycznej lub systemu goniometrycznego przy wykorzystaniu kierunkowych wzorców światłości lub ogniwa podłączonego do luksomierza po wyznaczeniu lub uwzględnieniu wartości granicznej odległości fotometrowania.

- Luminancja

Parametr luminancji opracowany został w rozdziale 1 niniejszej instrukcji.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest przeprowadzenie analizy luminancyjnej wybranych źródeł światła oraz opraw oświetleniowych. Efektem realizacji ćwiczenia jest nabycie umiejętności wiązania i obliczeń parametrów w technice światłnej, takich jak wartości światłości, pole powierzchni świecącej obiektów badanych, natężenia oświetlenia oraz luminancji. W ramach ćwiczenia zbadane zostaną wartości luminancji w polach pomiarowych oraz rozkładów luminancji źródeł światła oraz opraw oświetleniowych wskazanych przez prowadzącego. Badanie odbędzie się niezależnie 2 miernikami luminacji z różnymi polami pomiarowymi dla nie mniej, niż 5 punktów na powierzchni źródeł światła lub opraw oświetleniowych. W drugiej fazie prac dla opraw oświetleniowych o jednorodnym rozkładzie luminancji zostanie zmierzona światłość oraz obliczona na podstawie pomiarów luminancji dla 3 kierunków wskazanych przez prowadzącego. Badanie może być wzbogacone poprzez rejestrację rozkładów luminancji przy wykorzystaniu ILMD. Dla wskazanych opraw oświetleniowych o niejednorodnym rozkładzie luminancji, należy wykonać szereg pomiarów luminancji z różnych odległości pomiarowych.

2.1. *Pomiar luminancji dla wybranych źródeł światła/opraw oświetleniowych w punktach wskazanych przez prowadzącego (jednorodny rozkład luminancji)*

Ćwiczenie rozpoczyna się od analizy otrzymanych źródeł światła oraz opraw oświetleniowych. Należy omówić ich specyfikę z prowadzącym oraz opisać źródła światła i oprawy oświetleniowe w protokole pomiarowym. Należy uzgodnić z prowadzącym ćwiczenie jakich wartości luminancji można się spodziewać i w których punktach oraz kierunkach będą podlegały pomiarowi. Należy wykonać w zespole analizę możliwości obliczenia i pomiarów konkretnych parametrów na podstawie zależności pomiędzy strumieniem świetlnym, światłością, natężeniem oświetlenia oraz luminancją. Znając strumień świetlny wybranych lamp, należy zmierzyć ich pole powierzchni i obliczyć spodziewane wartości luminancji oraz światłości wpisując do tabeli 1. Następnie należy wykonać pomiary miernikami luminancji z 3 różnymi polami pomiarowymi oraz matrycowym miernikiem luminancji dopisując do tabeli. Należy wykonać odręczny rysunek dokumentujący warunki pomiarowe. Rysunek należy dołączyć do protokołu. Zmierzone wartości luminancji należy porównać z obliczonymi oraz poddać analizie.

Tabela 1. Protokół pomiarowy numer 1

Obliczenia i pomiary luminancji (jednorodny rozkład luminancji)						
Źródło światła/Oprawa oświetleniowa 1						
..... (nazwa)		 (strumień świetlny)			
Urządzenia pomiarowe:						
Odległość pomiarowa luminancji						[m]
Odległość pomiarowa światłości						[m]
Wymiary pow. świecącej (wys/szer/gł)						[m]
Pole powierzchni świecącej						[m ²]
Luminancja obliczona						[cd/m ²]
Światłość obliczona						[cd]
Luminancja zmierzona dla pola pom.: (np. 0,1°, 1°, ...)						[°]
Pomiary miernikami z polem pomiarowym						
Urządzenie pomiarowe:.....						
Pole pomiarowe	1	2	3	4	5	-
[cd/m ²]						-
Luminancja zmierzona dla pola pom.: (np. 0,1°, 1°, ...)						[°]
Urządzenie pomiarowe:.....						
Pole pomiarowe	1	2	3	4	5	-
[cd/m ²]						-
Luminancja zmierzona dla pola pom.: (np. 0,1°, 1°, ...)						[°]
Urządzenie pomiarowe:.....						
Pole pomiarowe	1	2	3	4	5	-
[cd/m ²]						-
Pomiary ILMD						
Urządzenie pomiarowe:.....						
Pole pomiarowe (nanesione w aplikacji)	1	2	3	4	5	Cała oprawa
Wart. Średnia [cd/m ²]						
Wart. maks. [cd/m ²]						
Wart. min. [cd/m ²]						
.....						
Światłość zmierzona						[cd]

Analogiczną tabelę należy wykonać dla każdego wskazanego źródła światła/oprawy oświetleniowej.

2.2. Pomiar wartości luminancji dla źródeł światła lub opraw oświetleniowych charakteryzujących się niejednorodnym rozkładem luminancji

W początkowej fazie ćwiczenia, analogicznie jak w punkcie 3.1. należy zidentyfikować oraz opisać źródła światła oraz oprawy oświetleniowe w protokole pomiarowym. Należy uzgodnić z prowadzącym ćwiczenie jakich wartości luminancji można się spodziewać i w których

punktach oraz kierunkach będą podlegały pomiarowi. Należy wyznaczyć eksperymentalnie takie odległości pomiarowe dla których:

- całe źródło światła możliwie wypełni pole pomiarowe urządzenia
- źródło światła wypełni kolejno ok. 50%, 25% oraz 10% pola pomiarowego urządzenia

Następnie należy wykonać pomiary luminancji dla 2 różnych wielkości pól pomiarowych (np. $0,1^\circ$ oraz 1°), notując wyniki w tabeli 2.

Tabela 2. Protokół pomiarowy numer 2

Obliczenia i pomiary luminancji						
(jednorodny rozkład luminancji)						
Źródło światła/Oprawa oświetleniowa 1						
.....					
(nazwa)			(strumień świetlny)			
Urządzenia pomiarowe:						
Odległość pomiarowa luminancji						[m]
Odległość pomiarowa światłości						[m]
Wymiary pow. świecącej (wys/szer/gł)						[m]
Pole powierzchni świecącej						[m ²]
Luminancja obliczona						[cd/m ²]
Światłość obliczona						[cd]
Luminancja zmierzona dla pola pom.: (np. $0,1^\circ$, 1° , ...)						[°]
Pomiary miernikami z polem pomiarowym						
Urządzenie pomiarowe:.....						
<i>Pole pomiarowe</i>	1	2	3	4	5	-
[cd/m ²]						-
Luminancja zmierzona dla pola pom.: (np. $0,1^\circ$, 1° , ...)						[°]
Urządzenie pomiarowe:.....						
<i>Pole pomiarowe</i>	1	2	3	4	5	-
[cd/m ²]						-
Luminancja zmierzona dla pola pom.: (np. $0,1^\circ$, 1° , ...)						[°]
Urządzenie pomiarowe:.....						
<i>Pole pomiarowe</i>	1	2	3	4	5	-
[cd/m ²]						-
Pomiary ILMD						
Urządzenie pomiarowe:.....						
<i>Pole pomiarowe</i>	1	2	3	4	5	<i>Cała oprawa</i>
(naniesione w aplikacji)						
<i>Wart. Średnia [cd/m²]</i>						
<i>Wart. maks. [cd/m²]</i>						
<i>Wart. min. [cd/m²]</i>						
Światłość zmierzona						[cd]

Analogiczną tabelę należy wykonać dla każdego wskazanego źródła światła/oprawy oświetleniowej.

Aby obliczyć wartości luminancji źródeł światła i opraw oświetleniowych na podstawie pomiarów gabarytów oraz znanej wartości strumienia świetlnego, należy skorzystać z zależności 3.

$$L_g = \frac{\Phi_0}{\pi S_g} [cd/m^2] \quad (3)$$

gdzie:

L_g – uśredniona luminancja powierzchni gabarytowej S_g ,

Φ_0 – strumień świetlny źródła światła/oprawy oświetleniowej,

S_g - powierzchni źródła światła lub oprawy oświetleniowej odpowiedzialnej za emisję strumienia świetlnego.

Aby przeprowadzić obliczenia wartości światłości oprawy w kierunku (C, γ) , należy:

- a) obliczyć luminancję średnią dla wszystkich punktach w których wykonano pomiary dla wybranego pola pomiarowego miernika luminancji,
- b) w celu obliczenia światłości dla kierunku (C, γ) , należy skorzystać z zależności 4.

$$I(C, \gamma) = \int_{S_{FJP}} L(C, \gamma) \cdot \cos \varepsilon \cdot ds = L_g \cdot s'_{FJP}(C, \gamma) [cd] \quad (4)$$

gdzie:

$I(C, \gamma)$ – światłość źródła światła/oprawy oświetleniowej w kierunku (C, γ) ,

L_g – luminancja gabarytowa – stała średnia luminancja na powierzchni źródła światła,

$s'_{FJP}(C, \gamma)$ - wielkość pozorna figury jasnyc punktów z kierunku (C, γ) ,

Przekształconą zależność 3 można również wykorzystać w celu obliczenia wartości luminancji gabarytowej źródła światła lub oprawy oświetleniowej na podstawie zmierzonej wartości światłości. Pomiar światłości może zostać przeprowadzony poprzez wykonanie pomiaru natężenia oświetlenia z odległości dla której źródło światła może być traktowane jako punktowe, tj. powyżej Granicznej Odległości Fotometrowania (GOF). W takim przypadku można skorzystać z Prawa Odwrotności Kwadratu Odległości, przytoczonego w zależności 4.

Z prawa odwrotności kwadratu odległości wynika, że natężenie oświetlenia jest wprost proporcjonalne do światłości w kierunku danego punktu i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości tego punktu od źródła światła: gdy odległość między źródłem światła a oświetlanym punktem rośnie, natężenie oświetlenia w tym punkcie maleje tyle razy, ile razy kwadrat nowej odległości jest większy od kwadratu starej odległości [2].

$$E = \frac{I(C, \gamma) d\omega}{dS} = \frac{I(C, \gamma) dS}{dS r^2} = \frac{I(C, \gamma)}{r^2} [lx] \quad (5)$$

gdzie:

E – natężenie oświetlenia

$I(C, \gamma)$ – światłość źródła światła lub oprawy oświetleniowej w kierunku (C, γ) ,

r^2 - kwadrat odległości pomiędzy środkiem świetlnym źródła światła i ogniwnem luksomierza

3. Sprawozdanie

Każdy zespół laboratoryjny jest zobowiązany do przygotowania jednego sprawozdania, które musi zawierać następujące sekcje:

- Wstęp teoretyczny.
- Schemat pomiarowy.
- Charakterystykę źródeł światła (wzorcowych i badanych), użytych w pomiarach, w tym światłość wzorcową i napięcie wzorcowania.
- Wyniki pomiarów światłości w danym kierunku badanych źródeł światła.
- Obliczenia średniej światłości (z 3 wykonanych pomiarów) dla każdego z badanych źródeł światła.
- Określenie możliwych błędów pomiarowych.
- Wnioski, ze szczególnym omówieniem zaistniałych różnic w wynikach dla różnych metod pomiarowych.

4. Pytania weryfikacyjne

4.1. Definicja oraz sposób pomiaru światłości,

Prawidłowa odpowiedź:

Światłością w danym kierunku $I(C, \gamma)$ punktowego źródła światła lub elementu powierzchni nie punktowego źródła światła nazywa się iloraz elementarnego strumienia świetlnego $d\Phi$ wypromieniowanego we wnętrzu nieskończenie małego stożka obejmującego dany kierunek, oraz kąta bryłowego $d\omega$ tego stożka.

Światłość można zmierzyć np. przy użyciu ławy fotometrycznej lub systemu goniometrycznego przy wykorzystaniu kierunkowych wzorców światłości lub ogniwa podłączonego do luksomierza po wyznaczeniu lub uwzględnieniu wartości granicznej odległości fotometrowania.

4.2. Co to jest graniczna odległość fotometrowania i jak się ją wyznacza?

Prawidłowa odpowiedź:

Graniczna odległość fotometrowania (GOF) jest to taka odległość liczona od środka świetlnego oprawy oświetleniowej w kierunku osi optycznej, począwszy od której każdy punkt położony na osi jest obejmowany (oświetlany) przez każde odbicie elementarne bryły źródła światła. Po przekroczeniu GOF, źródło światła lub oprawę oświetleniową można traktować jako punkt. Ma wtedy zastosowanie prawo odwrotności kwadratu odległości.

GOF wyznacza się poprzez wielokrotny pomiar wartości natężenia oświetlenia w danym kierunku dla kolejno zwiększanej odległości pomiędzy oprawą oświetleniową a ogniwem pomiarowym. Następnie należy obliczyć wartości światłości dla zmienianych odległości pomiarowych (wykorzystując wartości natężenia oświetlenia oraz odległości

pomiarowych). GOF będzie wyznaczać odległość, od której nastąpi stabilizacja wartości światłości. Bliżej oprawy oświetleniowej spodziewamy się mniejszych wartości światłości, niż wartości światłości powyżej GOF.

4.3. Napisz definicję oraz zależność opisującą luminancję,

Prawidłowa odpowiedź:

Luminancja danego punktu P powierzchni, w danym kierunku (C, γ) jest to iloraz elementarnej światłości $I(C, \gamma)$, jaką cechuje się nieskończenie małe otoczenie dS punktu P w tym kierunku oraz pola pozornej powierzchni dS' tego otoczenia, widzianego z tego kierunku:

$$L(C, \gamma) = \frac{dI(C, \gamma)}{dS'} = \frac{dI(C, \gamma)}{dS \cos \varepsilon} = \frac{d^2 \Phi}{dS d\omega \cos \varepsilon} [\text{cd/m}^2]$$

gdzie:

$dI(C, \gamma)$ – światłość elementu dS w kierunku (C, γ) ,

dS – elementarne otoczenie punktu P,

dS' - wielkość pozorna elementu dS z kierunku (C, γ) ,

n – wektor normalny do powierzchni S w punkcie P,

ε – kąt płaski między kierunkiem (C, γ) i wektorem normalnym n .

4.4. Opisz i scharakteryzuj matrycowe mierniki luminancji,

Prawidłowa odpowiedź:

Cyfrowe kamery luminancyjne (matrycowe mierniki luminancji), z matrycami CCD/CMOS są najnowocześniejszymi urządzeniami do pomiarów luminancji, które są dostępne na rynku. Klasa dokładności pomiarowej zależna jest bezpośrednio od technologii w której pracuje urządzenie. Mierniki z filtrami barwnymi naniesionymi bezpośrednio na matrycę (typowo w układzie Bayer) osiągają inne dokładności, które zależne są od rozkładu widmowego mierzonych źródeł światła (od 2,5% dla standardowego iluminantu A, do nawet 13 – 15% dla wyładowczych źródeł światła i LED).

W przypadku rozwiązań laboratoryjnych, których konstrukcja oparta jest na wykorzystaniu matryc monochromatycznych z dedykowanym dla nich specjalnym filtrem $V(\lambda)$, dokładność pomiaru to $\pm 3\%$ dla standardowego iluminantu A przy błędzie niedopasowania charakterystyk na poziomie niższym, niż 4%. W przypadku tych konstrukcji, błąd pozostaje na stabilnym poziomie, niezależnie od rozkładów widmowych mierzonych źródeł światła.

4.5. Jaką korekcję musi posiadać miernik luminancji?

Prawidłowa odpowiedź:

Każdy miernik do pomiarów luminancji musi mieć zaimplementowaną korekcję widmową. Oznacza to, że finalna krzywa czułość widmowa sensora z filtrem musi być taka sama jak krzywa czułości widmowej oka ludzkiego w zakresie widzialnym (380 – 780nm).

5. Literatura

- [1]S. Słomiński, “Advanced modelling and luminance analysis of LED optical systems,” Bull. Polish Acad. Sci. Tech. Sci., vol. 67, no. 6, 2019, doi: 10.24425/bpasts.2019.130886.
- [2]Żagan W., Podstawy Techniki Światlnej, OWPW, Warszawa, 2005
- [3]Słomiński, S. Typical Causes of Errors during Measuring Luminance Distributions in Relation to Glare Calculations. In Proceedings of the 7th Lighting Conference of the Visegrad Countries, LUMEN V4 2018 - Proceedings; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018
- [4]Strona internetowa firmy Konica Minolta: <https://www5.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/products/light-display-measurement/luminance-meters/lc-150-lc-160-2/introduction.html>; dostęp z dnia 25.05.2022
- [5]Słomiński, S. Potential resource of mistakes existing while using the modern methods of measurement and calculation in the glare evaluation. In Proceedings of the Proceedings of 2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries, Lumen V4 2016; 2016.
- [6]Strona internetowa firmy Technoteam: <https://www.technoteam.de/>; dostęp z dnia 25.05.2022