Ćw. 2. Pomiar strumienia świetlnego w lumenomierzu

Opracował: dr inż. Krzysztof Skarżyński

ZAKŁAD TECHNIKI ŚWIETLNEJ

1. Wprowadzenie teoretyczne

1.1. Definicja, znaczenie i podstawa pomiaru strumienia świetlnego

Strumień świetlny to podstawowa wielkość fotometryczna, pochodząca od strumienia energetycznego i określona na podstawie oceny tego promieniowania za pomocą odbiornika, którego względna czułość widmowa odpowiada względnej czułości widmowej oka ludzkiego przystosowanego do widzenia fotopowego (1) [1].

$$\phi = K_m \int_0^\infty \phi_e(\lambda)\, V_\lambda \, d\lambda \, [lm] \tag{1}$$

gdzie:
$\phi - strumień\ świetlny\ [lm]$
$\phi_e(\lambda) - widmowy\ rozkład\ (gęstość)\ strumienia\ energetycznego\ (mocy\ promienistej)\ [\frac{W}{nm}]$
$V_\lambda - względna\ skuteczność\ świetlna\ promieniowania\ monochromatycznego\ dla\ widzenia\ fotopowego$
$K_m -\ fotometryczny\ równoważnik\ promieniowania, dla\ widzenia\ fotopowego\ wynosi\ 683\ \frac{lm}{W}$
$\lambda - długość\ fali\ [nm]$

Podstawowa metoda pomiaru strumienia świetlnego polega na pomiarze porównawczym promieniowania próbki badanej z promieniowaniem lampy wzorcowej w lumenomierzu kulistym [1], [2]. Przy zapewnieniu odpowiednich warunków pomiarowych (m.in. szczelne zamknięcie kuli, stabilizacja napięcia, znajomość wartości strumienia świetlnego lampy wzorcowej, realizacja odbić wielokrotnych oraz eliminacja składowej bezpośredniej natężenia oświetlenia), można obliczyć strumień świetlny dla próbki badanej zgodnie z zależnością (2) [1], [2].

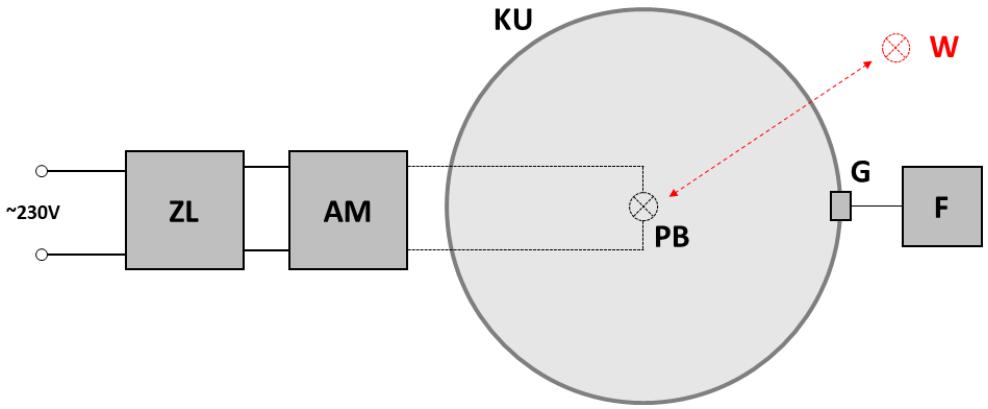
$$\phi_x = \phi_w \frac{i_x}{i_w} [lm] \tag{2}$$

gdzie:
$\phi_x - strumień\ świtlny\ źródła\ badanego\ [lm]$
$\phi_w - strumień\ świetlny\ źrodła\ wzorcowego\ (z\ protokołu\ wzorocowania)[lm]$
$i_x - wartość\ wskazania\ miernika\ fotoprądu\ dla\ źródła\ badanego\ [-]$
$i_w - wartość\ wskazania\ miernika\ fotoprądu\ dla\ źródła\ wzorcowego\ [-]$

Pomiar strumienia świetlnego w lumenomierzu kulistym wydaje się zatem stosunkowo prosty. Jednak w praktyce występuje wiele czynników, które mogą powodować, że wartość strumienia świetlnego wyznaczona dla danej próbki badanej, jest obarczona dużym błędem. Głównym celem tego ćwiczenia laboratoryjnego jest omówienie najbardziej istotnych czynników, które mogą zaburzać wynik pomiaru strumienia świetlnego w kuli Ulbrichta.

1.2. Lumenomierz kulisty – budowa, przykładowe konstrukcje oraz typowe parametry

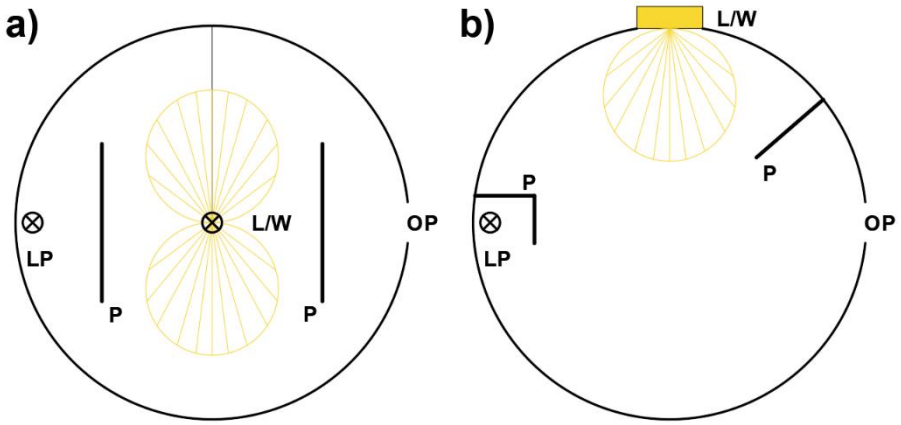
Typowy lumenomierz kulisty (kula Ulbrichta) składa się z kuli całkującej, której wnętrze jest pokryte specjalną farbą oraz miernika fotoprądu [3]. Dodatkowo, stanowisko pomiarowe lumenomierza jest również zazwyczaj wyposażone w odpowiednie wzorce fotometryczne, zasilacze laboratoryjne (najlepiej AC i DC), stabilizator napięcia, dokładne multimetry lub analizator mocy, a także przyrząd pomiarowy służący do pomiarów wielkości spektralnych (monochromator, spetroradiometr ect.). Przykładowy schemat typowego stanowiska laboratoryjnego został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat typowego stanowiska laboratoryjnego do pomiaru strumienia świetlnego w lumenomierzu: ZL – zasilacz laboratoryjny (+ ewentualnie stabilizator napięcia), AM – analizator mocy lub zestaw multimetrów, KU – kula Ubrichta (całkująca), PB – próbka badana, W – wzorzec fotometryczny, G – głowica fotometryczna, F – miernik fotoprądu lub spektroradiometr

Farba, pokrywająca wnętrze kuli (tzw. farba lambertowska) musi spełniać pewne wymagania ilościowe oraz jakościowe [3]. Przede wszystkim musi być to farba, która odbija w sposób jak najbardziej rozproszony (realizując prawo Lamberta). Odbicie to musi być również nieselektywne. Oznacza to, że żadna z cząstkowych długości fali złożonego promieniowania (np. z zakresu widzialnego) nie może być pominięta i powinna być odbijana w podobny ilościowy sposób jak pozostałe. Do oceny tego czy odbicie jest selektywne czy też nie, może posłużyć charakterystyka nazywana rozkładem widmowym współczynnika odbicia. W praktyce stosuje się farby oparte na domieszkowanym siarczanie (VI) baru, a całkowity współczynnik odbicia wynosi ok. 0,8 [2], [3]. Dodatkowo farba lambertowska musi być łatwa do nałożenia na wnętrze kuli oraz łatwo usuwalna. Nie może być połyskliwa. Powinna również być odporna na uszkodzenia mechaniczne, nie kruszyć się i nie odpryskiwać [2].

Typowa konstrukcja lumenomierza kulistego została dokładnie omówiona w instrukcji laboratoryjnej do ćw. *„Pomiary podstawowych parametrów elektrycznych i fotometrycznych wybranych typów źródeł światła”* prowadzonego w ramach przedmiotu *„Podstawy techniki świetlnej”*. Można powiedzieć, że jest to konstrukcja „4π”, ponieważ służy przede wszystkim do pomiarów próbek, których rozsył strumienia świetlnego następuje w całą przestrzeń (lub zdecydowaną większą część przestrzeni). Obecnie większość aplikacji pojedynczych LEDów przeznaczonych do celów oświetleniowych jest wykonana w taki sposób, że rozsył strumienia świetlnego następuje jedynie w jedną półprzestrzeń. Powstała zatem potrzeba zmiany geometrii lumenomierza. Dlatego też powstały konstrukcje lumenomierzy typu „2π” [4], [5]. Porównanie konstrukcji lumenomierzy „4π” oraz „2π” zostało przedstawione na rysunku 2.



Rys. 2. Porównanie konstrukcji lumenomierzy: a – „4π", b – „2π"; L/W – próbka badana lub wzorzec, P – przesłona, LP – lampa pomocnicza, OP – okienko pomiarowe

1.3. Czynniki wpływające na dokładność pomiarów strumienia świetlnego w lumenomierzu

Do najważniejszych czynników wpływających na dokładność pomiaru strumienia świetlnego w typowym lumenomierzu kulistym należy zaliczyć:

- konstrukcję lumenomierza,
- wielkość i lokalizację przesłon,
- rodzaj stosowanego wzorca fotometrycznego,
- położenie wzorca i próbki,
- parametry zastosowanej farby pokrywającej powierzchnię wewnętrzną,
- gabaryty i właściwości refleksyjno-transmisyjne wzorca i próbki badanej,
- bryłę fotometryczną wzorca i próbki badanej,
- jakość zastosowanego miernika fotoprądu/spektroradiometru,
- stabilizację termiczna badanego źródła światła,
- stabilizację parametrów zasilania wzorca i próbki badanej.

Wybrane czynniki zostaną pokrótce skomentowane poniżej.

<u>Konstrukcja lumenomierza:</u>

W praktyce stosuje się kule o średnicy od kilku centymetrów do trzech metrów [1], [2]. Są one wykonane z materiałów nieprzepuszczających promieniowania i powinny być jak najbardziej szczelne. Należy również w odpowiedni sposób dopierać rodzaj lumenomierza do danej aplikacji oświetleniowej, dla której trzeba wykonać pomiary strumienia świetlnego. W literaturze można znaleźć informację o tym, żeby maksymalny wymiar badanej oprawy oświetleniowej nie przekraczał 75-80% średnicy używanego lumenomierza [6]. Również stosowanie bardzo dużych kul całkujących do analizy bardzo małych źródeł światła (np. chipów) LED wydaje się nie mieć sensu ze względu na uzyskiwanie bardzo małego sygnału na mierniku fotoprądu.

<u>Wzorzec fotometryczny:</u>

Typowym wzorcem strumienia świetlnego jest żarówka o specjalnej konstrukcji żarnika, mającego kształt prawie pełnego okręgu [7]. Wzorce mogą charakteryzować się rożnymi

wartościami strumienia świetlnego (od kilku pojedynczych lumenów do kilku tysięcy lumenów). W przypadku pomiaru aplikacji o bardzo małym strumieniu świetlnym przy zastosowaniu wzorca o bardzo dużej wartości strumienia świetlnego, błąd pomiary również może być bardzo duży. Dotyczy to również sytuacji odwrotnej. Błąd ten wynika m.in.: z kwestii liniowości odpowiedzi stosowanej głowicy fotometrycznej, jej poszczególnych zakresów oraz dokładności jej wzorcowania. W celu wyeliminowania błędu powstającego w tej sytuacji zaleca się, żeby aby strumienie świetlne wzorca oraz próbki były podobnej wielkości. Jednak można przyjąć pewien zakres różnicy: wzorzec fotometryczny powinien charakteryzować się wartością nie większą niż dwukrotność i nie mniejszą niż połowa przewidywanej wartości strumienia świetlnego próbki badanej [6].

Położenie wzorca i próbki badanej

Najbardziej oczywistym położeniem zarówno wzorca jak i próbki badanej we wnętrzu lumenomierza jest środek geometryczny kuli całkującej. Czasami np. ze względu na różne kształty i gabaryty wzorca oraz próbki badanej, ich lokalizacja w tym miejscu może być problematyczna. Wpływ położenia innego niż centrum kuli całkującej może zaburzać uzyskane wyniki pomiarów. Weryfikację tego zagadnienia można wykonać w sposób eksperymentalny, sprawdzając jak różne położenia wzorca i próbki badanej wpływają na uzyskiwane wyniki pomiarów strumienia świetlnego, a następnie analizując uzyskany rozrzut wyników lub błędny względne.

Gabaryty i właściwości refleksyjno-transmisyjne wzorca i próbki badanej

Jeden z podstawowych błędów pomiarowych w przypadku pomiaru strumienia świetlnego w lumenomierzu kulistym jest związany z różnymi gabarytami wzorca fotometrycznego i próbki badanej (i różnymi materiałami, z których są wykonane). Jest tak dlatego, dlatego że różne kształty (i materiały) umieszone w lumenomierzu powodują zmianę cyrkulacji strumienia świetlnego w jego wnętrzu. W celu wyeliminowania tego błędu systematycznego stosuje się poprawkę związaną z wykonaniem pomiarów przy pomocy dodatkowego źródła, zwanego „pomocniczym". Źródło pomocnicze jest umieszczone za drugą przesłoną w lumenomierzu. W celu uzyskania odpowiedniej poprawki należy wykonać dwa dodatkowe pomiary przy zaświeconym źródle pomocniczym, gdy we wnętrzu znajduje się wzorzec oraz gdy we wnętrzu znajduje się próbka badana. Gdy wszystkie niezbędne wartości fotoprądów zostaną zmierzone, należy je podstawić do zależności (4) i obliczyć wartość strumienia świetlnego próbki pozbawioną błędu systematycznego związanego z zaburzeniem cyrkulacji strumienia świetlnego we wnętrzu kuli całkującej.

$$\phi_x = \phi_w \frac{i_x}{i_w} \frac{i_{wp}}{i_{xp}} [lm] \tag{4}$$

gdzie:

$\phi_x - strumień\ świtlny\ źródła\ badanego\ [lm]$

$\phi_w - strumień\ świetlny\ źrodła\ wzorcowego\ (z\ protokołu\ wzorocowania)[lm]$

$i_x - wartość\ wskazania\ miernika\ fotoprądu\ dla\ źródła\ badanego\ [-]$

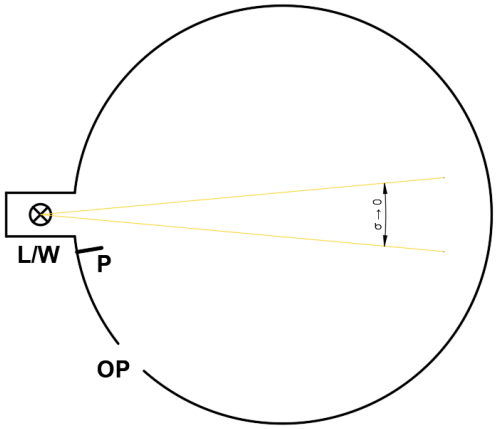
$i_{xp} - wartość\ wskazania\ miernika\ fotoprądu\ źródła\ badanego\ oświetlonego\ źródłem\ pomocniczym\ [-]$

$i_w - wartość\ wskazania\ miernika\ fotoprądu\ dla\ źródła\ wzorcowego\ [-]$

$i_{wp} - wartość\ wskazania\ miernika\ fotoprądu\ dla\ źródła\ wzorcowego\ oświetlonego\ źródłem\ pomocniczym\ [-]$

Bryła fotometryczna próbki :

Pomiary strumienia świetlnego w kuli Ulbrichta jest realizowany również przy założeniu, że cała jej wewnętrzna powierzchnia jest równomiernie oświetlona (charakteryzuje się stałą luminancją) [6]. W praktyce jest to jednak trudne do zrealizowania. Tym nie mniej, można wykonywać pomiary dla aplikacji, które świecą szeroko (najlepiej w całą przestrzeń). Bryły fotometryczne wzorca oraz próbki badanej powinny być do siebie jak najbardziej zbliżone [6]. Czasami zachodzi jednak potrzeba pomiaru strumienia świetlnego aplikacji o wąskim kącie rozsyłu. W takim przypadku należy zastosować odpowiednią, zalecaną konstrukcję kuli całkującej (rys. 3) lub metodę goniofotometryczną [2]. Jednak gdy nie jest ona dostępna, można również skorzystać z konstrukcji klasycznej i spróbować wykonać wielkokrotne pomiary strumienia świetlnego przy nacelowaniu promieniowania na rożne części wewnętrznej powierzchni lumenomierza. Uzyskane wyniki można uśrednić oraz wyznaczyć ich zmienność poprze obliczenie estymatora odchylenia standardowego (5). Jeżeli uzyskana wartość odchylenia standardowego będzie mała przy dostatecznie dużej liczbie wykonanych pomiarów (np. n>11) wtedy można założyć stosunkowo dużą poprawność uzyskanego wyniki pomiaru strumienia świetlnego.



Rys. 3. Konstrukcja lumenomierza do pomiaru strumienia świetlnego o wąskich rozsyłach.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\phi_i - \phi_{śr})^2}{n-1}} \tag{5}$$

gdzie:
$SD - odchylenie\ standardowe\ z\ próby$ [−]
$\phi_i - kolejne\ uzyskane\ wartości\ strumienia\ świetlnego$ [lm]
$\phi_{śr} - średnia\ arytmetyczna\ ze\ wszystkich\ wykonanych\ pomiarów\ strumienia\ świetlnego$ [lm]
$n - liczba\ wykonanych\ pomiarów\ strumienia\ świetlnego\ dla\ poszczególnych\ nacelowań$ [−]

Jakość miernika fotoprądu/spektroradiometru

Rozkłady widmowe promieniowania wzorca fotometrycznego oraz próbki badanej, rozkład widmowy współczynnika odbicia zastosowanej farby również wpływają na wynik pomiaru strumienia świetlnego w lumenomierzu. W celu uniknięcia błędu powstającego od różnych rozkładów widmowych wzorca oraz próbki badanej zaleca się wykonywanie pomiarów dla rozkładów widmowych jak najbardziej do siebie podobnych [6]. W praktyce jednak trudno wytworzyć wzorce fotometryczne o bardzo różnych rozkładach widmowych.

W celu eliminacji błędu pochodzącego od różnych rozkładów widmowych wzorca i próbki badanej należy uzyskaną wartość strumienia świetlnego przemnożyć przez pewien współczynnik korekcyjny zgodnie z zależnością (6) [2]. Można zauważyć, że na jego wartość wpływa tzw. korekcja widmowa głowicy fotometrycznej [1]. Zaleca się również, żeby zastosowana głowica fotometryczna charakteryzowała się bardzo dobrą korekcją przestrzenną, tak aby jej powierzchnia zbierała promieniowanie z całej półprzestrzeni z jak najmniejszym błędem.

$$\phi_{rx} = \phi_x \cdot k = \phi_x \cdot \frac{\int_0^\infty S_w(\lambda) \cdot \frac{\rho(\lambda)}{1-\rho(\lambda)} \cdot S_{rel}(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty S_w(\lambda) \cdot V_\lambda(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{\int_0^\infty S_x(\lambda) \cdot V_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty S_x(\lambda) \cdot \frac{\rho(\lambda)}{1-\rho(\lambda)} \cdot S_{rel}(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

gdzie:
$\phi_{rx} - strumień\ świetlny\ badanej\ aplikacji\ po\ korekcji\ widmowej\ [lm]$
$k - współczynnik\ korekcyjny\ [-]$
$\phi_x - strumień\ świetlny\ próbki\ badanej\ zmierzony\ bez\ poprawki\ widmowej [lm]$
$S_w(\lambda) - rozkład\ widmowy\ wzorca$
$S_x(\lambda) - rozkład\ widmowy\ próbki\ badanej$
$\rho(\lambda) - rozkład\ widmowy\ współczynnika\ odbicia\ zastosowanej\ farby$
$V_\lambda(\lambda) - względna\ czułość\ widmowa\ oka\ dla\ widzenia\ fotopowego$
$S_{rel}(\lambda) - względna\ czułość\ widmowa\ głowicy\ fotometrycznej$

Wartości współczynnika korekcyjnego możliwe do zastosowania praktycznego są wyznaczane w sposób eksperymentalny w danym laboratorium. Zakładając, że cząstkowy widmowy współczynnik odbicia zastosowanej farby jest stały w zakresie widzialnym, błąd powstały w takcie pomiaru wynika głównie z korekcji widmowej danej głowicy. W literaturze można znaleźć współczynniki korekcyjne dla rożnych typów źródeł światła oraz głowic o lepszych i gorszych korekcjach widmowych [3], [8]. Dla idealnych korekcji widmowych wartość współczynnika wynosi 1 (lub prawie 1).

2. Cel i opis ćwiczenia

Głównym zadaniem do wykonania w tym ćwiczeniu jest wykonanie serii pomiarów strumienia świetlnego dla określonych warunków, które pozwolą określić w jakim stopniu poszczególne, analizowane czynniki wpływają na dokładność jego pomiaru. Ze względów praktycznych badaniom będą podlegać jedynie wybrane czynniki. W celu wykonania ćwiczenia należy podłączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1 oraz wykonać czytelny i staranny protokół pomiarowy. Należy zapisać wszystkie niezbędne dane znamionowe udostępnionych wzorców fotometrycznych i sprzętu oświetleniowego przeznaczonego do badań. Należy również stosować się do poleceń prowadzącego zajęcia. Następnie należy wykonać następujące badania:

1. <u>Badanie wpływu doboru wzorca fotometrycznego na wyniki pomiarów.</u>
   W tym celu należy wywzorcować lumenomierz przy zastosowaniu kilku rożnych wzorców fotometrycznych. Wzorce muszą znacznie różnić się między sobą wartością znamionową strumienia świetlnego (np. wzorzec 1 – 200 lm, wzorzec 2 – 2500lm). Następnie należy wykonać pomiary dla kilku rożnych źródeł światła i obliczyć uzyskane wartości strumienia świetlnego dla wybranych próbek.

2. Badanie wpływu gabarytów wzorca i próbki na wyniki pomiarów.
   W tym celu należy wykonać pomiary ze źródłem pomocniczym zarówno dla wybranych uprzednio wzorców, jak również kilku różniących się gabarytami opraw oświetleniowych. Następnie należy wykonać obliczenia strumienia świetlnego bez uwzględnienia i z uwzględnieniem poprawki na błąd systematyczny pochodzący od różnych gabarytów wzorca i próbki badanej.
3. Badanie wpływu zmiany położenia próbek badanych na wyniki pomiarów.
   W tym celu należy powtórzyć pomiary z pkt. 1 i 2 zmieniając położenie zarówno wzorców, jak i opraw oświetleniowych we wnętrzu lumenomierza. Pomiary należy wykonać również przy wykorzystaniu źródła pomocniczego. Mogą postać wykonane symultanicznie podczas wykonywania zadań z pkt. 1 i 2. Następnie należy obliczyć wartości strumienia świetlnego uzyskane dla poszczególnych położeń oraz próbek.
4. Badanie wpływu jakości miernika fotoprądu na wyniki pomiarów.
   W tym celu należy wykonać pomiary dokonując odczytu wartości fotoprądu dla dwóch różnych mierników (np. luksomierza w klasie A i wybranego smartfonu z aplikacją typu „luksomierz"). Pomiary można wykonać symultanicznie podczas wykonywania badań z pkt. 1,2,3. Następnie należy wykonać obliczenia strumienia świetlnego dla poszczególnych próbek i sprawdzić, czy przedstawione w tej instrukcji współczynniki korekcyjne poprawiają dokładność pomiaru.
5. Badanie wpływu szerokości rozsyłu na wyniki pomiarów.
   W tym celu należy wykonać pomiary dla kilku aplikacji o wąskich bryłach fotometrycznych (np. wiązka użyteczna z zakresu 10-30 stopni). Wybrane aplikacje należy nacelowywać na różne części wnętrza kuli. Następnie należy wykonać obliczenia strumienia świetlnego dla każdego nacelowania, obliczyć średnią arytmetyczną oraz miarę zmienności wyników (estymator odchylenia standardowe).

3. Sprawozdanie

Sprawozdanie musi zawierać następujące sekcje:

- krótkie wprowadzenie teoretyczne,
- krótki opis przeprowadzonych badań laboratoryjnych,
- zestawienie wyników pomiarów,
- wyniki obliczeń strumienia świetlnego dla wszystkich zadanych przypadków,
- porównanie uzyskanych wyników,
- wiążące i wnikliwe obserwacje ujęte w postaci wniosków końcowych.

4. Pytania weryfikacyjne

Omówić typowe konstrukcje i parametry lumenomierzy kulistych z uwzględnieniem potrzeb dla pojedynczych chipów LED

Prawidłowa odpowiedź: Typową konstrukcją lumenomierza jest typ „4π". Jest on dedykowany do pomiarów aplikacji oświetleniowych świecących w całą przestrzeń. Pojedyncze chipy LED świecą zazwyczaj w jedną półprzestrzeń. Zaleca się zatem zastosowanie lumenomierza typu „2π". Główne różnice pomiędzy dwoma wymienionymi

typami lumenomierzy są związane z lokalizacją próbki badanej oraz wzorca fotometrycznego, a także przesłon eliminujących promieniowanie bezpośrednie.

Wymienić czynniki wpływające na pomiar strumienia świetlnego w lumenomierzu
Prawidłowa odpowiedź: Konstrukcja lumenomierza, wielkość i lokalizacja przesłon, rodzaj stosowanego wzorca fotometrycznego, położenie wzorca i próbki, parametry zastosowanej farby pokrywającej powierzchnię wewnętrzną, gabaryty i właściwości refleksyjno-transmisyjne wzorca i próbki badanej, bryła fotometryczną wzorca i próbki badanej, jakość zastosowanego miernika fotoprądu/spektroradiometru, stabilizacja termiczna i parametrów zasilania wzorca oraz badanego źródła światła.

Omówić kwestię odpowiedniego doboru wzorca fotometrycznego
Prawidłowa odpowiedź: W celu minimalizacji błędów pomiarowych zaleca się, żeby wzorzec fotometryczny charakteryzował się wartością nie większą niż dwukrotność i nie mniejszą niż połowa przewidywanej wartości strumienia świetlnego próbki badanej

Omówić kwestię eliminacji błędu systematycznego pochodzącego od różnych wymiarów wzorca i próbki badanej
Prawidłowa odpowiedź: W celu eliminacji tego błędu systematycznego należy wykonać pomiary fotoprądu przy wykorzystaniu źródła pomocniczego. Umożliwi to określenie cyrkulacji strumienia świetlnego we wnętrzu lumenomierza przy umieszczeniu w nim zarówno wzorca fotometrycznego, jak i próbki badanej. Uzyskane wartości fotoprądów należy uwzględnić we wzorze pozwalającym obliczyć strumień świetlny próbki badanej, co w efekcie spowoduje, eliminację wpływu różnych gabarytów wzorca i próbki badanej na wynik pomiaru strumienia świetlnego.

Omówić kwestię pomiaru strumienia świetlnego w lumenomierzu dla aplikacji o wąskich kątach rozsyłu
Prawidłowa odpowiedź: Dla aplikacji o wąskich kątach rozsyłu zaleca się zastosowanie lumenomierza o odpowiedniej konstrukcji lub wyznaczenie strumienia świetlnego na podstawie pomiaru bryły fotometrycznej (metoda fotogoniometryczna). Można również spróbować wykonać wielokrotne pomiary w klasycznym lumenomierzu i dokonać uśrednienia uzyskanych wyników. Nie gwarantuje to jednak uzyskania właściwej wartości strumienia świetlnego w każdym przypadku.

5. Literatura

[1] Żagan W., Podstawy Techniki świetlnej, OWPW, Warszawa 2014.
[2] International Comission on Illumination (CIE), Technical Report No. 84: "Measurment of luminous flux, CIE", Vienna, 1989.
[3] Banaszak A., Tabaka P., Wtorkiewicz J., "Analiza wybranych właściwości różnych typów luksomierzy," Pr. Inst. Elektrotechniki, vol. 268, 2015.
[4] Żagan W., „LEDy w technice świetlnej", OWPW, Warszawa 2019.
[5] International Comission on Illumination (CIE): „CIE S 025/E:2015 Test method for led lamps, led luminaires and led modules", CIE, Wiedeń 2015.
[6] Oleszyński T., „Miernictwo techniki świetlnej", PWN, Warsaw 1957.
[7] International Comission on Illumination (CIE), Technical Report No. 149: "The use of tungsten filament lamps as secondary standard sources", CIE, Wiedeń, 2002.
[8] Fryc I, Tabaka P., "The influence of different photometric observers on luxmeter accuracy for LEDs and FLs lamps measurements," Opt. Appl., vol. 49, no. 2, pp. 345–354, 2019, doi: 10.5277/oa190214.