

Ćw. 3. Pomiar światłości na ławie fotometrycznej

Opracował: dr inż. Dariusz Czyżewski



ZAKŁAD TECHNIKI
ŚWIETLNEJ

1. Wprowadzenie teoretyczne

1.1. Wstęp

Światłość należy do podstawowych wielkości fotometrycznych w technice świetlnej. charakteryzuje źródła światła, zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie. Umowną miarą światła wysyłanego w danym kierunku jest światłość. To najważniejsza cecha, przy określaniu światłości. Na przykład źródło LED wysyła światło w określoną część przestrzeń (najczęściej półprzestrzeń). Natomiast światłość LED można określić tylko dla określonego, wybranego kierunku. Czyli światłość pozwala określić, ile światła z na przykład z LED, jest emitowana w określonym kierunku.

Definicyjne określenie światłości przedstawia się następująco: Światłość **I** w danym kierunku jest to iloraz elementarnego strumienia świetlnego $d\Phi$ [lm] wysyłanego przez punktowe źródło światła lub elementarną powierzchnię, w nieskończenie małym kącie przestrzennym obejmującym dany kierunek, do kąta bryłowego $d\omega$ [sr] tego stożka - zgodnie z zależnością (1). Stąd, w literaturze przedmiotu, światłość określana jest również jako gęstość kątowna strumienia świetlnego [1]. Jednostką światłości jest kandela [cd].

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \left[cd = \frac{lm}{sr} \right] \quad (1)$$

Kolejną istotną cechą światłości jest to, że określamy ją dla punktowego źródła światła. W przypadku gdy w danym kierunku gabaryt źródła światła jest zbyt duży (nie można go traktować jako punktowe źródło światła), wtedy powierzchnię źródła światła należy dyskretyzować (podzielić na mniejsze źródła światła). Natomiast w miarę jak oddalamy się od źródła światła i od pewnego momentu powierzchnię całkowitą źródła światła można potraktować jako punktową, światłość nie ulega zmianie, niezależnie od zwiększania odległości pomiędzy źródłem światła a obserwatorem. Zmianie odległości towarzyszy zmniejszanie natężenia oświetlenia w danym oświetlanym punkcie. Od pewnej odległości, światłość można wyznaczyć z zależności (2). Źródło światła traktowane jest wtedy jako punktowe..

$$I = Er^2[cd] \quad (2)$$

Dla źródeł światła o rozpraszającym charakterze powierzchni świecącej, można przyjąć, że źródło światła jest punktowe jeśli odległość pomiędzy źródłem światła a oświetlanym

punktem, jest pięciokrotnie większa od największego gabarytu powierzchni świecącej źródła światła. Dla przykładu, jeśli weźmiemy świetlówkę liniową o długości 60 cm, to możemy traktować ją jako punktowe źródło światła, gdy będziemy oświetlali nią dany punkt z odległości większej niż 5 x 60 cm, czyli z odległości powyżej 300 cm. W przypadku spełnienia prawa odwrotności kwadratu odległości, błąd obliczeniowy (pomiarowy) będzie poniżej 1%.

W tabeli 1 zestawiono orientacyjne wartości światłości przykładowych źródeł światła i wybranych opraw oświetleniowych [1].

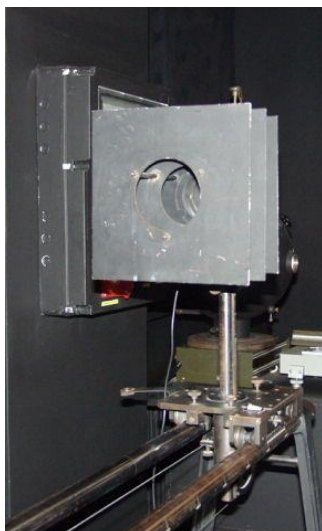
Tabela 1. Orientacyjne wartości światłości przykładowych źródeł światła i wybranych opraw oświetleniowych [1].

Źródło światła lub oprawa oświetleniowa	Światłość [cd]
diodowy wskaźnik sygnałowy	10-500 mcd
żarówka głównego szeregu 100W	100
świetlówka 18W w kierunku prostopadłym do osi	150
oprawa nasufitowa oświetlająca klasę szkolną	1200
reflektor samochodowy światła drogowego	100000

1.2. Pomiar światłości metodą obiektywną na ławie fotometrycznej

Dla wyznaczenia światłości wykorzystuje się metody pomiarowe porównawcze. Pomiar światłości polega na porównawczym pomiarze badanego źródła światła z pomiarem światłości kierunkowego wzorca. W metodzie obiektywnej pomiar światłości źródła światła w określonym kierunku przeprowadza się najczęściej na ławie fotometrycznej za pomocą przetwornika fotoelektrycznego (zazwyczaj ogniwa fotoelektrycznego lub kompletnej głowicy fotometrycznej). Ławę fotometryczną (rys. 1) tworzą dwie wypoziomowane zazwyczaj okrągłe prowadnice (ustawione na specjalnych stojakach) z podziałką. Na prowadnicach ustawia się dwa wózki. Jeden z wózków pozwala na zamontowanie i doprowadzenie zasilania do źródła światła (zamiennie wzorcowego i badanego). Na drugim wózku zamontowana jest głowica fotometryczna. Dodatkowo na ławie umieszcza się specjalne przesłony, których zadaniem jest wyeliminowanie możliwości padania na głowicę fotometryczną światła obcego, zarówno pierwotnego (pochodzącego od innych źródeł światła) jak i wtórnego (rozproszonego). Zaleca się, aby przesłony były tak rozstawione, by wiązka rozbieżna światła przechodząca przez otwór jednej przesłony padała całkowicie na powierzchnię przesłony następnej. Poza tym, na wózki na których mocuje się źródła światła, zakłada się specjalne obudowy, które podobnie jak przesłony, ograniczają światło rozproszone.

Zarówno źródło wzorcowe, jak i źródło badane mogą być umieszczone na przemian w jednej oprawce na jednym końcu ławy (na pierwszym wózku), a głowica fotometryczna na drugim końcu ławy (na drugim wózku). Odległości obydwu źródeł światła od głowicy mogą być jednakowe lub różne. Fragment ławy fotometrycznej oraz wózek z umieszczoną głowicą fotometryczną przedstawia rys. 2 [2].



Rys. 2. Ława fotometryczna w Zakładzie Techniki Świetlnej Politechniki Warszawskiej[2].

Natężenie prądu w obwodzie fotoogniwa pracującego w stanie zwarcia (to normalny stan pracy ognwa) jest proporcjonalne do natężenia oświetlenia na jego powierzchni czynnej. Stąd przy zachowaniu określonych warunków wskazanie miernika prądu fotoelektrycznego α_f (włączonego w obwodzie fotoogniwa) jest proporcjonalne do natężenia oświetlenia E [lx] na powierzchni czynnej ogniwa fotoelektrycznego, zgodnie ze wzorem (3), gdzie k oznacza współczynnik proporcjonalności.

$$\alpha_f = kE \quad (3)$$

Odległość pomiędzy źródłem światła a powierzchnią czynną głowicy fotometrycznej wynosi r . Przyjmując, że wymiary źródła światła są pomijalne w porównaniu z odległością r oraz że spełnione jest prawo odwrotności kwadratu odległości, wówczas zależność (3) przyjmuje postać zależności (4), gdzie I oznacza światłość źródła światła.

$$\alpha_f = k \frac{I}{r^2} \quad (4)$$

Następnie powierzchnię czynną głowicy fotometrycznej oświetla się raz źródłem wzorcowym i raz źródłem badanym. Wtedy otrzymuje się wskazania miernika fotoprądu (połączonego z głowicą fotometryczną) odpowiednio α_w i α_x , które analitycznie można zapisać w postaci zależności (5) i zależności (6).

$$\alpha_w = k_w \frac{I_w}{r_w^2} \quad (5)$$

$$\alpha_x = k_x \frac{I_x}{r_x^2} \quad (6)$$

gdzie:

I_w, I_x - światłości odpowiednio źródła wzorcowego i badanego [cd];

r_w, r_x - odległości na ławie pomiędzy odpowiednio źródłem wzorcowym i badanym a powierzchnią czynną głowicy fotometrycznej [m];

k_w, k_x - współczynniki proporcjonalności.

Następnie gdy obie strony równań (5) i (6) podzieli się stronami, można wyznaczyć światłość badaną I_x zgodnie z zależnością (7).

$$I_x = I_W \frac{k_w \alpha_x r_x^2}{k_x \alpha_w r_w^2} \quad (7)$$

Zakładając pewne uproszczenia (tzn. liniowość charakterystyki $\alpha = f(E)$, mała rezystancja obciążenia, dopasowane rozkłady widmowe źródła wzorcowego i badanego), można przyjąć równość współczynników proporcjonalności, tzn. $k_w = k_x$. Wtedy zależność (7) upraszcza się i przyjmuje postać zależności (8).

$$I_x = I_W \frac{\alpha_x r_x^2}{\alpha_w r_w^2} \quad (8)$$

Aby ułatwić pomiary często przyjmuje się stałą wartość wskazań miernika prądu fotometrycznego (dobierając odpowiednio odległości) tzn. $\alpha_w = \alpha_x$. Dzięki temu uproszczeniu, światłość źródła badanego wyznacza się z zależności (9). Uzyskanie równości wskazań miernika $\alpha_w = \alpha_x$, pozwala uniknąć ewentualnych błędów związanych z parametrami głowicy fotometrycznej (m.in. nieliniowość charakterystyki świetlnej przetwornika fotoelektrycznego). Pomiary w tym przypadku wykonywane są przy równych natężeniach oświetlenia $E_w = E_x$ na powierzchni czynnej głowicy fotometrycznej.

$$I_x = I_W \frac{r_x^2}{r_w^2} \quad (9)$$

Innym założeniem upraszczającym wykonanie pomiarów jest przyjęcie stałej odległości źródeł światła (wzorcowego i badanego) od głowicy fotometrycznej, tzn. $r_w = r_x$. Dzięki temu założeniu, światłość źródła badanego wyznacza się z zależności (10). Pomiar tak wykonany pozwala uniknąć błędów związanych z dokładnością ustawienia i odczytu odległości pomiędzy źródłem badanym a ogniwnem oraz pomiędzy źródłem wzorcowym a ogniwnem.

$$I_x = I_W \frac{\alpha_x}{\alpha_w} \quad (10)$$

1.3. Sprzęt pomiarowy

Pomiar światłości wykonuje się metodą pośrednią porównawczą na ławie fotometrycznej. Na ławie naniesiona jest podziałka odległości, dzięki czemu można precyzyjnie określić odległość pomiędzy głowicą fotometryczną a źródłami wzorcowym i badanym. Do pomiarów wielkości fotometrycznych wykorzystuje się miernik prądu fotoelektrycznego (np. miliamperomierz o odpowiednim zakresie pomiarowym) lub **luksomierzy obiektywnych**.

Luksomierz, wykorzystywany do pomiaru światłości, powinien składać się z ogniwa fotoelektrycznego skorygowanego widmowo i przestrzennie oraz miernika prądu fotoelektrycznego o dostatecznie dużej czułości. Przykładowy luksomierz przenośny przedstawia Rys. 3. W pomiarach można również wykorzystać zestaw: laboratoryjny miernik prądu fotometrycznego oraz skorygowane ogniwo fotoelektryczne.



Rys. 3. Luksomierz przenośny Pocket Lux 2 firmy LMT

1.4. Warunki wykonywania pomiarów

Światłości należy zmierzyć na ławie fotometrycznej wykorzystując, jako detektor promieniowania, głowicę fotometryczną podłączoną do luksomierza przenośnego.

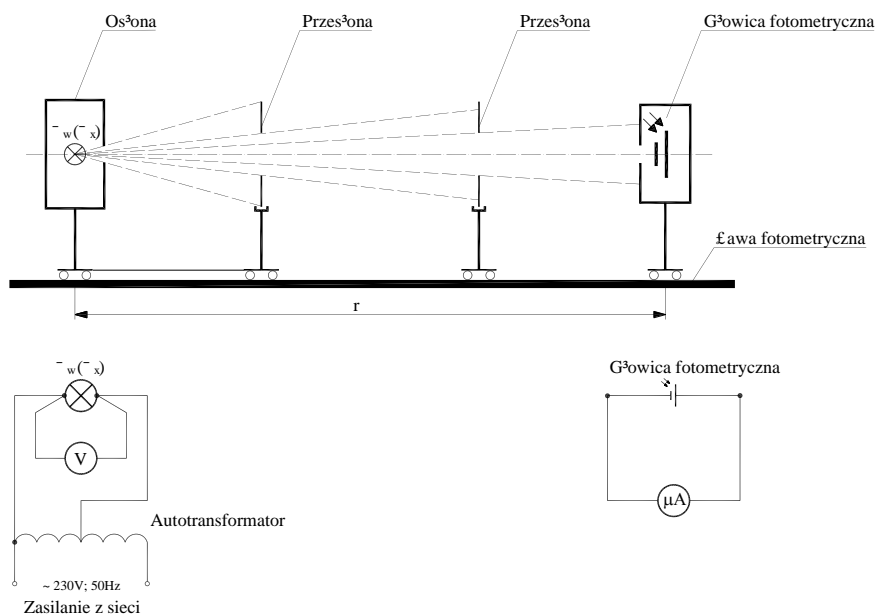
Pomiary wykonuje się w całkowitej ciemności (w ciemni fotometrycznej). Na jednym końcu ławy fotometrycznej należy umieścić wózek, na którym trzeba zainstalować głowicę fotometryczną. Pod wózkiem można zainstalować luksomierz, w celu odczytu wskazań poziomu oświetlenia na głowicy fotometrycznej. Na drugim końcu ławy należy zainstalować drugi wózek umożliwiający bezpieczne podłączenie do zasilania źródła badanego i wzorcowego. W układzie zasilania wózka drugiego są dwie pary przewodów, jedna o większym przekroju prądowym (biała) służy do podłączenia do zasilania przez autotransformator. Druga para napięciowa (czerwona) służy do podłączenia woltomierza w celu ustawienia prawidłowego napięcia zasilania źródeł światła (wzorcowego i badanego).

Na ławie należy umieścić przesłony ograniczające światło rozproszone docierające ze źródeł światła do powierzchni głowicy fotometrycznej. Dodatkowo na wózek drugi zakłada się specjalną czarną stalową obudowę, w celu dodatkowego ograniczenia światła rozproszonego w pomieszczeniu laboratorium. Następnie należy odpowiednio ustawić odległość pomiędzy źródłem światła (przesuwany wózek po ławie) a ogniwem fotometrycznym (nieruchomym), zgodnie z przyjętą metodą pomiarową (wzory (8), (9), (10)).

Podczas pomiarów należy zwrócić uwagę na bezpieczeństwo wykonywanych pomiarów. Szczególnie na przewody pod napięciem, którymi zasilane jest źródło światła w wózku drugim. Ponieważ istnieje możliwość najechania wózkiem na przewody, podczas pomiarów trzeba bardzo uważać aby do tego nie dopuścić, gdyż może to skutkować przeniesieniem napięcia na

ławę fotometryczną. Podobne ćwiczenie laboratoryjne opisane jest również w innych pozycjach literaturowych [2-4].

Schemat stanowiska pomiarowego oraz układu pomiarowego, przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Układ pomiarowy, gdzie: \dot{Z}_w - żarówka wzorcowa, \dot{Z}_x - żarówka badana;
 r - odległość pomiędzy źródłem światła a głowicą fotometryczną.

2. Cel i opis ćwiczenia

Głównym celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze sposobem pomiaru światłości na ławie fotometrycznej. W trakcie ćwiczenia należy zmierzyć światłość kierunkową badanych źródeł światła, trzema metodami:

1. $\alpha_w \neq \alpha_x$, $r_w \neq r_x$ (wskazania luksomierza dla źródła wzorcowego i badanego są różne oraz odległości pomiaru dla źródła wzorcowego i badanego też są różne);
2. $\alpha_w = \alpha_x$ (wskazania luksomierza dla źródła wzorcowego i badanego są równe);
3. $r_w = r_x$. (odległości pomiaru dla źródła wzorcowego i badanego też są równe);

W toku realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

1. Na jednym końcu ławy na wózku ustawić na stałe głowicę fotometryczną.
2. Z drugiej strony ławy zamocować na drugim wózku wzorcowe źródło światła (zwrócić uwagę aby żarnik wzorcowego źródła światła był ustawiony we właściwym kierunku – często na trzonku jest strzałka pokazująca kierunek świecenia wzorca).
3. Założyć specjalną obudowę na źródło światła. Zwrócić uwagę aby obudowa nie była ustawiona na przewodach zasilających.
4. Połączyć układ pomiarowy i przed załączeniem zasilania, zwrócić się do prowadzącego o sprawdzenie układu pomiarowego.
5. Źródło wzorcowe zasilić napięciem zgodnym z metryką wzorcowania, zazwyczaj jest niższe od napięcia sieciowego 230V.
6. Dokonać cechowania układu.

7. Następnie zmienić źródło na źródło badane i wykonać pomiar właściwy.
8. Dla pierwszego założenia ($\alpha_w \neq \alpha_x$ oraz $r_w \neq r_x$) pomiary wykonać dla 3 różnych odległości dla źródła wzorcowego i 3 różnych dowolnych (różnych od poprzednio ustawionych) odległości dla źródła badanego. Odczytać i zanotować wskazania miernika fotoprądu.
9. Przy doborze odległości należy kierować się wskazaniami miernika, tak aby zapewniły one wyniki w zakresie ok. 1/3; 2/3, i całości zakresu pomiarowego. Gdyby wskazania na najniższym zakresie pomiarowym były zbyt niskie odległości te powinno się skrócić.
10. Dla drugiego założenia ($\alpha_w = \alpha_x$) ustawić 3 dowolne odległości dla żarówki wzorcowej, a następnie dla źródła badanego dobrać 3 odpowiadające im odległości tak, aby wskazanie miernika fotoprądu (luksomierza) było identyczne ze wskazaniem dla źródła wzorcowego.
11. Dla trzeciego założenia ($r_w = r_x$) ustawić 3 dowolne odległości dla żarówki wzorcowej i 3 identyczne odległości dla źródła badanego. Odczytać i zanotować wskazania miernika fotoprądu.
12. Dodatkowo można sprawdzić od jakiej odległości spełnione jest prawo odwrotności kwadratu odległości (POKO), dla różnych źródeł światła.

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

Pytanie 1

Scharakteryzować korekcję widmową stosowaną w ogniwach fotoelektrycznych.

Przykład odpowiedzi:

W ogniwach fotometrycznych stosowane są dwie korekcje, tzn. korekcja widmowa i przestrzenna. Korekcja widmowa zapewnia dopasowanie krzywej czułości ogniwa do krzywej czułości oka ludzkiego, tzw. krzywa V_λ . Dzięki temu ogniwo odbiera otaczające nas promieniowanie widzialne podobnie do ludzkiego oka.

Pytanie 2

Scharakteryzować korekcję przestrzenną stosowaną w ogniwach fotoelektrycznych.

Przykład odpowiedzi:

W ogniwach fotometrycznych stosowane są dwie korekcji, tzn. korekcja widmowa i przestrzenna. Korekcja przestrzenna zapewnia czułość kątowną ogniwa zgodnie z funkcją cosinus. Czyli nad ogniwem będzie największa czułość kątowna a pod kątem 90 stopni będzie równa zero. Czułość kątowną realizują białe rozpraszające kopułki na zewnątrz ogniwa (tak jak na rys. 3).

Pytanie 3

Podać definicyjne określenie światłości.

Przykład odpowiedzi:

Światłość I w danym kierunku jest to iloraz elementarnego strumienia świetlnego $d\Phi$ [lm] wysyłanego przez punktowe źródło światła lub elementarną powierzchnię, w nieskończenie małym kącie przestrzennym obejmującym dany kierunek, do kąta bryłowego $d\Omega$ [sr] tego stożka

Pytanie 4

Podać wzór określający światłość badaną.

Przykład odpowiedzi:

Wzór pozwalający obliczyć światłość badaną przedstawia się następująco:

$$I_x = I_w \frac{\alpha_x r_x^2}{\alpha_w r_w^2}$$

Pytanie 5

Podać zalety metody pomiaru, gdzie źródło wzorcowe i badane będą mierzone z tej samej odległości.

Przykład odpowiedzi:

Pomiar tak wykonany pozwala uniknąć błędów związanych z dokładnością ustawienia i odczytu odległości pomiędzy źródłem badanym a ogniwem oraz pomiędzy źródłem wzorcowym a ogniwem.

5. Literatura

- [1] Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [2] Czyżewski D., Zalewski S.: Laboratorium fotometrii i kolorimetrii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
- [3] Praca zbiorowa pod red. Golika W.: Laboratorium z Techniki Świetlnej; WPP, Poznań 1994.
- [4] Bąk J.: Laboratorium Miernictwa Oświetleniowego; WPW, Warszawa 1966.