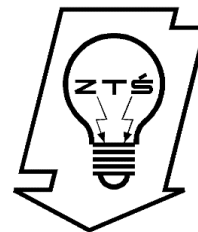


## Ćw. 2. Pomiary i ocena natężenia oświetlenia elektrycznego we wnętrzu

Opracował: dr inż. Dariusz Czyżewski



ZAKŁAD TECHNIKI  
ŚWIETLNEJ

### 1. Wprowadzenie teoretyczne

#### 1.1. Wstęp

Oświetlenie sztuczne zapewnia użytkownikom prawidłowe oświetlenie miejsca pracy wzrokowej [1-3]. Aby zapewnić odpowiednie poziomy oświetlenia, należy wcześniej wykonać projekt oświetlenia [4-5], w oparciu o przepisy normalizacyjne [6-12].

**Natężenie oświetlenia** należy do podstawowych wielkości fotometrycznych. Zgodnie z podstawami techniki światlnej, natężenia oświetlenia  $E$ , w danym punkcie powierzchni, jest to stosunek elementarnego strumienia świetlnego  $d\Phi$  padającego na elementarną powierzchnię zawierającą dany punkt, do wartości tej elementarnej powierzchni  $dA$ , zgodnie z zależnością (1).

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \left[ lx = \frac{lm}{m^2} \right] \quad (1)$$

**Średnie natężenie oświetlenia**  $E_{sr}$ , określa się na podstawie wyników w wielu punktach pomiarowych lub obliczeniowych, jako średnią arytmetyczną ze wszystkich pomiarów, zgodnie z zależnością opisana wzorem (2).

$$E_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} [lx] \quad (2)$$

Gdzie:

$E_i$  –  $i$ -ty pomiar (obliczenie) natężenie oświetlenia w danym punkcie,

$n$  – liczba punktów pomiarowych (obliczeniowych).

**Równomierność natężenia oświetlenia**  $\delta_o$  obliczana jest jako iloraz minimalnego natężenia oświetlenia  $E_{min}$  (w siatce pomiarowej lub obliczeniowej) i średniego natężenia oświetlenia  $E_{sr}$  (2). Stąd równomierność oświetlenia oblicza się na podstawie zależności (3), zgodnie ze wzorem:

$$\delta_o = \frac{E_{min}}{E_{sr}} [-] \quad (3)$$

## 1.2. Wymagania normalizacyjne

### Wymagania dotyczące średniego natężenia i równomierności oświetlenia

Właściwy poziom natężenia oświetlenia i jego równomierność, na polu pracy wzrokowej (polu zadania) oraz w jego bezpośrednim otoczeniu, decydują o szybkości, bezpieczeństwie i komforcie wykonania zadania wzrokowego. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, aby rozkład luminancji w polu widzenia zapewniał właściwą adaptację wzroku - chodzi o zapewnienie wygody widzenia. W aktualnej normie z 2012 roku, dopuszcza się niższe wartości natężenia oświetlenia w bezpośrednim otoczeniu pola pracy wzrokowej od wartości natężenia oświetlenia na polu pracy, lecz nie niższe od wartości podanych w tabeli 1. Pole pracy wzrokowej określono, jako część pola na miejscu pracy, gdzie wykonywana jest praca wzrokowa. Natomiast bezpośrednie otoczenie pola pracy wzrokowej, zdefiniowano jako pas o szerokości co najmniej 0,5 m otaczający pole pracy wzrokowej, a występujący w polu widzenia.

**Tabela 1. Związek pomiędzy natężeniem oświetlenia na polu pracy wzrokowej i natężeniem oświetlenia w bezpośrednim otoczeniu pola pracy wzrokowej.**

Natężenie oświetlenia na polu pracy wzrokowej [lx]	Natężenie oświetlenia w bezpośrednim otoczeniu pola pracy wzrokowej [lx]
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
150	150
100	100
$\leq 50$	$\leq 50$

Równomierność natężenia oświetlenia, pochodząca od oświetlenia sztucznego lub naturalnego, dla poszczególnych stanowisk pracy określona jest w zaleceniach szczegółowych. W pozostałych przypadkach:

- w obszarze bezpośredniego otoczenia powinna wynosić  $U_o \geq 0,40$ ;
- w obszarze tła powinna wynosić  $U_o \geq 0,10$ .

### Wymagania dotyczące olśnienia przykrego i luminancji opraw oświetleniowych

Zaleca się, aby ocena olśnienia przykrego spowodowanego bezpośrednio oprawami wewnętrznej instalacji oświetleniowej, była wykonana z zastosowaniem tablicowej metody tabelarycznej CIE ujednoliconej oceny olśnienia (UGR). Wartości graniczne wskaźnika UGR dla poszczególnych typów miejsc pracy określone są szczegółowo w normie. Granicznymi wartościami UGR są wartości: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28.

Olśnienie można też ograniczyć poprzez odpowiednie osłanianie źródeł światła w oprawie oświetleniowej. Minimalne kąty ochrony (w których zasłanianie jest źródło światła), przy określonej luminancji źródeł światła, zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2. Minimalne kąty ochrony źródeł światła przy określonych luminancjach źródeł światła.**

Luminancja źródła światła [ $\text{kcd/m}^2$ ]	Minimalny kąt ochrony [ $^\circ$ ]
od 20 do < 50	15
od 50 do < 500	20
$\geq 500$	30

Wymagania dotyczące wskaźnika oddawania barw

W oświetlanych wnętrzach pożądane jest „naturalne” odtwarzanie barwy ludzkiej skóry i obiektów oraz ich otoczenia. Zaleca się stosowanie źródeł światła o wskaźniku oddawania barw nie mniejszym niż 80 we wszystkich wnętrzach, w których pracują lub przebywają ludzie w dłuższym okresie. Przewidziano możliwość stosowania wyjątków od tej zasady, sugerując jednak jej stosowanie. Podano minimalne wymagane wartości wskaźnika  $R_a$  w tablicach szczegółowych, w zależności od rodzaju pomieszczenia, czynności lub działalności. W normie przyjęto następujące stopniowanie wartości wskaźnika  $R_a$  : 20, 40, 60, 80, 90.

Zestawienie wybranych wymagań normalizacyjnych

W tabelach 3 i 4 zestawiono szczegółowe wymagania oświetleniowe w pomieszczeniach edukacyjnych i biurowych.

**Tabela 3. Szczegółowe wymagania oświetleniowe w wybranych pomieszczeniach edukacyjnych.**

Pomieszczenia edukacyjne	$E_{\text{sr}}$ [lx]	$U_0$ [-]	$UGR_L$ [-]	$R_a$ [-]
Klasy, pokoje do samodzielnej nauki (zaleca się, aby oświetlenie było sterowane), Pokoje prac ręcznych, Pokoje nauczycielskie, Pokoje do zajęć muzycznych, Pokoje do zajęć komputerowych..	300	0,6	19	80
Klasy do zajęć wieczorowych i edukacji dorosłych, audytorium, sale wykładowe (zaleca się, aby oświetlenie było sterowane)	500	0,6	19	80
Tablice czarne, zielone i białe (powinna istnieć ochrona przed lustrzanymi refleksami. Prezentor/nauczyciel powinien być oświetlony właściwym pionowym natężeniem oświetlenia), Stół demonstracyjny.	500	0,7	19	80
Pracownie rysunku technicznego (praca DSE)	750	0,7	16	80

### 1.3. Procedury weryfikacyjne stanu oświetlenia na stanowisku pracy

W procesie weryfikacji stanu oświetlenia weryfikacji podlega:

- poziom ( $E_{sr}$ ) i równomierność ( $\delta_o$ ) natężenia oświetlenia;
- poziom oślnienia (luminancja opraw, wskaźnik  $UGR_L$ );
- poziom wskaźnika oddawania barw  $R_a$ .

(Ze względu na ograniczony charakter opracowania, szerzej zostanie omówiony proces weryfikacji poziomu i równomierności natężenia oświetlenia. Procedury pomiarowe weryfikacji oświetlenia pomieszczeń, dróg i terenów zewnętrznych są szczegółowo omawiane w ramach zajęć prowadzonych na specjalności Technika Świetlna i Multimedialna)

Zgodnie z najnowszą normą PN-EN 12464-1:2012, w celu określenia rozkładu natężenia oświetlenia należy wyznaczyć **siatki pomiarowe** (obliczeniowe), czyli rozkład punktów pomiarowych (obliczeniowych). W punktach tych będzie można zmierzyć poziom natężenia oświetlenia ( $E_i$ ), co pozwoli na weryfikację poziomu średniego i równomierności natężenia oświetlenia.

Podstawą określenia siatki pomiarowej jest projekt oświetlenia, tzn. pomiary weryfikacyjne wykonuje się w punktach obliczeniowych określonych w projekcie. Rozkład punktów obliczeniowych (podlegających weryfikacji pomiarowej) powinien być zgodny z zaleceniami normalizacyjnymi. W przypadku braku projektu oświetlenia siatkę pomiarową należy wyznaczyć zgodnie z następującą procedurą.

Siatkę pomiarową należy wyznaczyć dla obszaru pracy wzrokowej, obszaru bezpośredniego otoczenia oraz obszaru tła. Zalecane są oczka siatki zbliżone do kwadratu, gdzie stosunek długości do szerokości oczka siatki powinien być utrzymany pomiędzy 0,5 i 2. Maksymalny wymiar oczka siatki należy wyznaczyć zgodnie ze wzorem (4) [8,12].

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10}(d)} [m], \quad (4)$$

gdzie:

$p \leq 10 m$ ,

$d$  – dłuższy wymiar obliczanego obszaru [m], ale jeśli stosunek dłuższego do krótszego boku wynosi 2 lub więcej, wówczas  $d$  staje się krótszym wymiarem mierzonego obszaru.

$p$  – maksymalny wymiar oczka siatki [m].

W normie określono, że liczba punktów w odpowiednim wymiarze jest określona przez najbliższą całkowitą liczbę wynikającą ze stosunku  $d/p$ . Dzięki temu otrzymany odstęp między punktami siatki wykorzystuje się do obliczenia najbliższej liczby całkowitej punktów siatki w drugim wymiarze. Stąd iloraz długości do szerokości oczka siatki będzie bliski 1.

Pas o szerokości 0,5 m od ścian może być wyłączony z obszaru pomiarów (obliczeń), poza sytuacją w której obszar zadania lub jego część zawierają się w tym pasie. Wtedy określony wymiar siatki należy stosować przy ścianach i suficie, również przy pasie o szerokości 0,5 m. W normie występuje jeszcze ważne zalecenie, aby rozmieszczenie punktów siatki nie pokrywało się z rozmieszczeniem opraw.

#### 1.4. Sprzęt pomiarowy

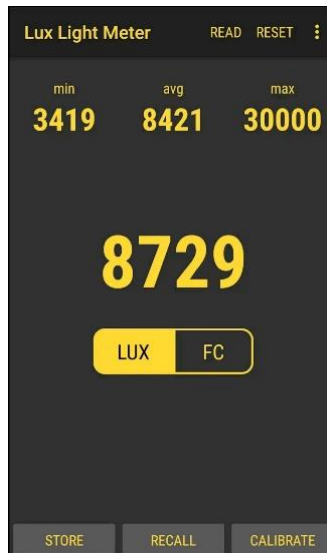
Pomiar natężenia oświetlenia wykonuje się za pomocą **lukso mierzy obiektywnych**. Lukso mierz składa się najczęściej z ogniwa fotoelektrycznego (zazwyczaj krzemowego) skorygowanego widmowo i przestrzennie oraz miernika prądu fotoelektrycznego (dawniej elektromagnetycznego, a obecnie cyfrowego) o dostatecznie dużej czułości.

Najprostszym lukso mierzem może być zestaw: dowolny miernik prądu fotoelektrycznego (o odpowiedniej czułości) i podłączone do niego ogniwo fotoelektryczne (skorygowane przestrzennie i widmowo). Miernik taki należy wywzorcować. Wzorcowanie lukso mierza (jego poszczególnych zakresów pomiarowych) odbywa się na ławie fotometrycznej za pomocą wzorcowych źródeł światła o znanej światłości kierunkowej. W praktyce wzorcowanie polega na zmianie odległości pomiędzy źródłem wzorcowych, a ogniwem i określeniu stałej  $k$  [ $\text{lx/dz}$ ], dla ogniw o prostoliniowej charakterystyce prądowej. Dla pozostałych ogniw należy dokładnie wyznaczyć zależność prądu fotoelektrycznego (wskazanie miernika) od natężenia oświetlenia na powierzchni światłoczułej ogniwa (dla danego zakresu pomiarowego).

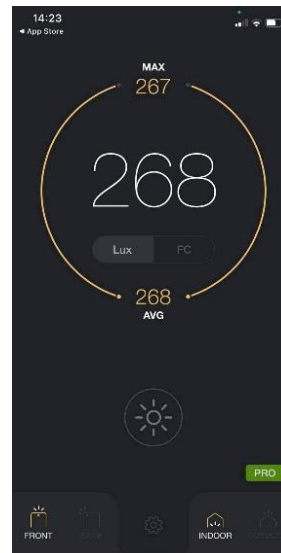
Gdy ogniwo nie ma korekcji przestrzennej należy określić zgodność zmiany prądu fotoelektrycznego z cosinusem kąta padania światła na jego powierzchnię. Jest to konieczne, gdyż przy dużych kątach padania światła lukso mierz może wskazywać wartości znacznie mniejsze, niż w rzeczywistości. Jeżeli zmiany prądu fotoelektrycznego w obwodzie ogniwa wywołane zmianami kąta padania światła na ogniwo są zgodne z funkcją cosinus to ogniwo takie posiada **korekcję przestrzenną**.

Fotoogniwa można stosować do porównywania ze sobą promieniowania monochromatycznego lub promieniowania złożonego, ale o tym samym rozkładzie energetycznym, w całym obszarze analizowanego widma. W pozostałych przypadkach warunkiem wykorzystania ogniw fotoelektrycznych do pomiarów promieniowania złożonego (o różnym rozkładzie widmowym energii) jest dopasowanie (tzw. korekcja) czułości względnej fotoogniwa do czułości widmowej normalnego obserwatora fotometrycznego (czyli do krzywej  $V_\lambda$ ). Jeżeli charakterystyka widmowa ogniwa fotoelektrycznego jest zgodna z krzywą  $V_\lambda$ , to ogniwo to posiada **korekcję widmową**.

Przy obecnym rozwoju telefonów komórkowych, producenci często rozbudowują aparaty fotograficzne, a uzyskane zdjęcia są dobrej jakości. Podstawowym elementem, wykorzystywanym w tego typu fotografii jest czujnik światła w telefonie (jako fotodiody). Producenci oprogramowania tworzą aplikacje, które teoretycznie pozwalają określić natężenie oświetlenia w danym punkcie powierzchni pomiarowej (wykorzystując czujnik światła telefonu). Przykład takiej aplikacji dla systemu Android przedstawia Rys. 1, a dla systemu IOS przedstawia Rys. 2.



Rys. 1. Widok menu głównego popularnej aplikacji Lux-Light Meter dla systemu Android



Rys. 2. Widok menu głównego popularnej aplikacji Lux-Light Meter dla systemu IOS

Jednakże, trzeba jednoznacznie zaznaczyć, że pomiary wykonane telefonem będą obarczone dużymi błędami. Główną przyczyną błędów będzie brak właściwej korekcji widmowej i przestrzennej czujnika światła w telefonie.

#### 1.5. Warunki wykonywania pomiarów

Pomiary natężenia oświetlenia na stanowisku pracy należy wykonać przy włączonym oświetleniu sztucznym. Światło naturalne powinno być wyeliminowane. Można to osiągnąć wykonując pomiary w porze nocnej lub poprzez zastosowaniu przesłon na okna (jeśli pomiary będą wykonywane w dzień).

Podczas pomiarów należy zwrócić uwagę aby osoba wykonująca pomiary nie zasłaniała powierzchni światłoczułej ogniwa zarówno przed światłem pochodzącym bezpośrednio od źródeł światła (opraw oświetleniowych), jak i przed światłem odbitym (np. od ścian lub sufi-tu).

## 2. Cel i opis ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest ocena średniego natężenia i równomierności oświetlenia na podstawie pomiarów rozkładu natężenia oświetlenia na wybranym przez prowadzącego stanowisku pracy wzrokowej. Przykładowo może to być powierzchnia tablicy szkolnej, stołu lub blat biurka. W toku realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

1. Włączyć oświetlenie sztuczne i odseparować oświetlenie naturalne.
2. Przed pomiarami odczekać minimum 10 minut, w celu ustabilizowania się strumienia świetlnego źródeł światła umieszczonych w oprawach oświetleniowych.
3. Wyznaczyć siatkę pomiarową, zgodnie z normą PN-EN 12464-1:2012.
4. Wykonać pomiary rozkładu natężenia oświetlenia, zgodnie z wyznaczoną siatką pomiarową, profesjonalnym luksomierzem przenośnym oraz dowolnym telefonem, wykorzystującym popularną aplikację do pomiaru natężenia oświetlenia.

5. Powtórzyć pomiary dla rzadszych siatek pomiarowych (mniej punktów pomiarowych) i sprawdzić wpływ na wyniki pomiarów średniego natężenia oświetlenia i jego równomierności.
6. Obliczyć średnie natężenie oświetlenia zgodnie z zależnością (2), a równomierność oświetlenia zgodnie z zależnością (3),
7. Przyjmując jako odniesienie średnie natężenie oświetlenia przy najgęstszej siatce (określonej na podstawie normy) obliczyć błąd pomiaru dla pozostałych siatek, według zależności (5):
8. Analogicznie określić błąd wyznaczenia równomierności oświetlenia dla różnych siatek pomiarowych.

$$\delta_{\text{pomiaru}} = \frac{|E_{\text{sr}(\text{inne})} - E_{\text{sr}(\text{wg normy})}|}{E_{\text{sr}(\text{wg normy})}}, \quad (5)$$

gdzie:

$E_{\text{sr}(\text{inne})}$  - średnie  $E$  przy rzadszej siatce pomiarowej niż siatka według normy,

$E_{\text{sr}(\text{wg normy})}$  - średnie  $E$  przy siatce pomiarowej określonej według normy.

### 3. Sprawozdanie

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

- wprowadzenie teoretyczne.
- charakterystykę badanego miejsca pracy wzrokowej (opis czynności, usytuowanie, wymiary, rodzaj oświetlenia, charakter odbicia ścian, itp.) i ogólnie całego pomieszczenia.
- opis doboru siatek pomiarowych.
- wyniki pomiarów rozkładu natężenia oświetlenia, dla różnych siatek pomiarowych z wykorzystaniem luksomierza i telefonu komórkowego.
- obliczenia średniego natężenia oświetlenia i jego równomierności dla różnych siatek pomiarowych z wykorzystaniem luksomierza i telefonu komórkowego.
- obliczenie błędów pomiarowych dla rzadszych siatek pomiarowych.
- wnioski, ze szczególnym omówieniem zaistniałych różnic w wynikach dla różnych siatek pomiarowych i pomiędzy wynikami pomiarów uzyskanymi luksomierzem i telefonem komórkowym.

#### **UWAGA:**

*Wstępu teoretycznego do sprawozdania nie należy przygotowywać na podstawie informacji zawartych w tej instrukcji laboratoryjnej.*

### 4. Pytania weryfikacyjne

Opisz własnymi słowami co to jest natężenia oświetlenia

*Natężenie oświetlenia należy do podstawowych wielkości fotometrycznych. Natężenie oświetlenia określa ile światła (strumienia świetlnego) pada na daną powierzchnię. Nie ma znaczenie barwa i rodzaj powierzchni na którą pada światło. Jednostką natężenia oświetlenia jest luks.*

Scharakteryzować wymagania normalizacyjne dotyczące średniego natężenia oświetlenia i równomierności oświetlenia

*Wymagania normalizacyjne odnośnie wnętrz dotyczą 4 podstawowych wielkości: średniego natężenia oświetlenia, równomierności oświetlenia, wskaźnika oddawania barw i ujednoliczonego wskaźnika ośnienia. Średnie natężenie oświetlenia jest to iloraz sumy poszczególnych wartości natężenia oświetlenia określonych w punktach siatki obliczeniowej (pomiarowej) przez liczbę punktów (pomiarowych (obliczeniowych)). Natomiast równomierność oświetlenia, jest to iloraz minimalnego natężenia oświetlenia i średniego natężenia oświetlenia. Wszystkie wartości kryterialne  $E_{sr}$  i  $\delta$  dotyczą wartości eksploatacyjnych. Średnie eksploatacyjne natężenie oświetlenia, we wnętrzach, wymagane w normie dla biur, waha się od 200lx do 750lx, a równomierność oświetlenia w pomieszczeniach biurowych określona jest w zakresie od 0,4 do 0,7.*

Opisać konstrukcję luksomierza

*Pomiar natężenia oświetlenia wykonuje się za pomocą luksomierzy obiektywnych. Luksomierz składa się najczęściej z ogniwa fotoelektrycznego (zazwyczaj krzemowego) skorygowanego widmowo i przestrzennie oraz miernika prądu fotoelektrycznego (dawniej elektromagnetycznego, a obecnie cyfrowego) o dostatecznie dużej czułości. Najprostszym luksomierzem może być zestaw: dowolny miernik prądu fotoelektrycznego (o odpowiedniej czułości) i podłączone do niego ogniwo fotoelektryczne (skorygowane przestrzennie i widmowo). Miernik taki musi być wywzorcowany.*

Omówić sposób prawidłowego wykonania pomiarów natężenia oświetlenia

*Pomiary natężenia oświetlenia powinno się wykonać wywzorcowanym miernikiem natężenia oświetlenia o zakresie pomiarowym dopasowanym do mierzonych poziomów. Podczas pomiarów oświetlenia sztucznego należy wyeliminować oświetlenie naturalne (które na przykład może dostawać się do pomieszczenia przez okna). W tym celu pomiary natężenia oświetlenia we wnętrzach najlepiej wykonywać po zmierzchu. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, aby osoba wykonująca pomiary nie zakłócała obiegu strumienia świetlnego we wnętrzu, na przykład nie rzucała cienia na ogniwo fotoelektryczne. Punktu pomiarowe powinny znajdować się w punktach obliczeniowych projektu oświetlenia, a w przypadku braku w punktach siatki pomiarowej określonej na podstawie aktualnej Polskiej Normy.*

## 5. Literatura

- [1] Bąk J.: Technika oświetlenia. Wybrane zagadnienia oświetlenia wnętrz. COSiW, Warszawa 2014.
- [2] Boyce R.P.: Human factors in lighting, 2nd edition. Taylor&Francis Group 2003.
- [3] IESNA Lighting Handbook, 10th edition. IESNA, New York 2011.
- [4] IESNA Lighting Design Process. IESNA, New York 1994.
- [5] Pracki P.: Projektowanie oświetlenia wnętrz. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- [6] PN-EN 12464-1; Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach, 2004.
- [7] EN-12464-1, Light and lighting- Lighting of work places-Part 1: Indoor work places. November 2002.
- [8] CIE S 008 / E – 2001; Lighting of Indoor Work Places.
- [9] PN – 84 / E – 02033, Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym.
- [10] PN-71 / E – 02034, Oświetlenie elektryczne terenów budowy, przemysłowych, kolejowych i portowych oraz dworców i środków transportu publicznego.
- [11] PN-84 / E – 02035, Urządzenia elektroenergetyczne, Oświetlenie elektryczne obiektów energetycznych.
- [12] PN-EN 12464-1; Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach, 2012.