

STUDIA NIESTACJONARNE II STOPNIA, sem. 3

wersja z dn. 28.11.2016.

KIERUNEK ELEKTROTECHNIKA

Laboratorium TECHNIKI ŚWIETLNEJ

TEMAT: OCENA JAKOŚCI I EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ OŚWIETLENIA WNĘTRZ

Opracowanie wykonano na podstawie:

1. PN-EN 12464-1:2012: Światło i oświetlenie - Oświetlenie miejsc pracy - Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach
2. ZVEI Guide to DIN EN 12464-1 (www.licht.de)

I. WPROWADZENIE

Podstawowe wymagania dotyczące ilościowych i jakościowych parametrów oświetlenia miejsc pracy we wnętrzach, zawiera norma PN-EN 12464-1. Norma ta określa wymagania oświetleniowe, które są konieczne dla zapewnienia wydolności i komfortu widzenia, dzięki zapewnieniu odpowiedniego otoczenia świetlnego.

Otoczenie świetlne

System oświetlenia wnętrza tworzy otoczenie świetlne, którego parametry decydują o efektywności pracy wzrokowej, samopoczuciu i bezpieczeństwie pracowników.

Opisane w normie kryteria oświetleniowe mają na celu zaspokojenie oczekiwań w zakresie:

- **komfortu widzenia**, przy którym pracownicy dobrze się czują, co pośrednio wpływa na wydajność pracy,
- **wydolności wzrokowej**, w wyniku czego pracownicy są zdolni do wykonywania zadań wzrokowych, nawet w trudnych warunkach i przez dłuższe okresy czasu,
- **bezpieczeństwa**.

Główne parametry określające otoczenie świetlne to:

- rozkład luminancji,
- natężenie oświetlenia,
- oślnienie,
- kierunkowość światła,
- zmienność światła (poziomy światła oraz barwa światła)
- oddawania barw i wygląd barwy światła
- migotanie

Rozkład luminancji

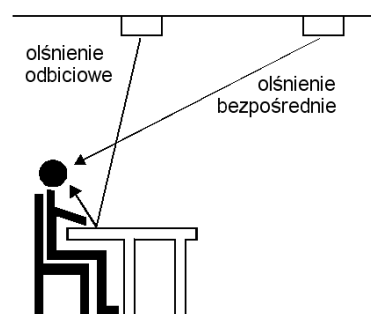
Rozkład luminancji w polu widzenia decyduje o poziomie adaptacji wzroku, co wpływa na widoczność zadania wzrokowego.

Właściwy rozkład luminancji adaptacji jest konieczny dla zapewnienia:

- ostrości widzenia,
- czułości kontrastowej (rozdzielności względnie małych różnic luminancji)
- efektywności funkcji wzrokowych (tj. akomodacji, konwergencji, reakcji źrenicy, ruchu oczu, itp.).

Rozkład luminancji w polu widzenia wpływa również na komfort widzenia. Należy unikać:

- zbyt wysokich luminancji, które mogą powodować olśnienie,
- zbyt dużych kontrastów luminancji, które powodują zmęczenie związane z ciągłą readaptacją wzroku,
- zbyt niskich luminancji i zbyt małych kontrastów luminancji związanych z nieciekawym, niestymulującym środowiskiem pracy.



Rys. 1. Warunki powstawania olśnienia

Ważne są luminancje wszystkich powierzchni. Należy je określać na podstawie współczynników odbicia oraz natężenia oświetlenia na tych powierzchniach.

Stosowane w praktyce zakresy współczynników odbicia głównych powierzchni we wnętrzach są następujące:

- | | |
|-----------|-----------|
| - sufit | 0,7 ÷ 0,9 |
| - ściany | 0,5 ÷ 0,8 |
| - podłoga | 0,2 ÷ 0,4 |

Zaleca się, aby dla głównych przedmiotów (meble, maszyny itp.) współczynnik odbicia światła mieścił się w zakresie 0,2 do 0,7.

Współczynniki odbicia ρ powierzchni można z wystarczającą dla praktyki dokładnością wyznaczyć na podstawie pomiarów natężenia oświetlenia padającego na powierzchnię i odbitego od tej powierzchni.

$$\rho = E_{\text{odb.}}/E_{\text{pad.}}$$

Natężenie oświetlenia

Poziom i rozkład natężenia oświetlenia w obszarze pracy wzrokowej i w obszarach otaczających ma duży wpływ na szybkość, bezpieczeństwo i wygodę widzenia oraz łatwość wykonania zadania wzrokowego.

Wszystkie wartości natężenia oświetlenia wyszczególnione w tej normie są wartościami eksploatacyjnymi (maintained illuminances) dostosowanymi do wymagań związanych z komfortem widzenia i wydolnością wzrokową.

Przykładowe zalecenia oświetlenia miejsc pracy we wnętrzach

Tabela 1. Obiekty edukacyjne

Lp.	Rodzaj wnętrza, zadania lub czynności	E_m lx	UGR _L -	U_0	R_a -	Uwagi
5.1.1	Strefy komunikacji i korytarze	100	28	0,40	40	Natężenie na poziomie podłogi
5.36.1	Klasy, pokoje do samodzielnej nauki	300	19	0,60	80	Oświetlenie powinno być regulowane
5.36.2	Klasy do nauki wieczorowej i edukacji dorosłych	500	19	0,60	80	Oświetlenie powinno być regulowane
5.36.3	Audytoryum, sale wykładowe	500	19	0,60	80	Oświetlenie powinno być regulowane
5.36.4	Tablice czarne, zielone i białe	500	19	0,70	80	Zapobiegać odbiciu światła. Nauczyciel powinien być oświetlony właściwym pionowym natężeniem oświetlenia
5.36.6	Sale zajęć praktycznych i laboratoryjnych	500	19	0,60	80	



Lp.	Rodzaj wnętrza, zadania lub czynności	E_m lx	UGR _L -	U_0	R_a -	Uwagi
5.36.7	Sale do zajęć komputerowych (obsługa komputera)	300	19	0,60	80	Stanowiska DSE – pkt.4.9
5.26.1	Segregowanie, kopiowanie, itp.	300	19	0.4	80	
5.26.2	Pisanie, czytanie, przetwarzanie danych	500	19	0.6	80	Praca DSE - pkt. 4.9
5.26.4	Stanowisko pracy CAD	500	19	0.6	80	Praca DSE - pkt. 4.9
5.33.2	Obszar do czytania	500	19	0.6	80	

Natężenie oświetlenia w bezpośrednim otoczeniu

Poziom natężenia oświetlenia w bezpośrednim otoczeniu pola zadania powinien być dostosowany do natężenia oświetlenia na obszarze zadania i powinien zapewnić zrównoważony rozkład luminancji w polu widzenia.

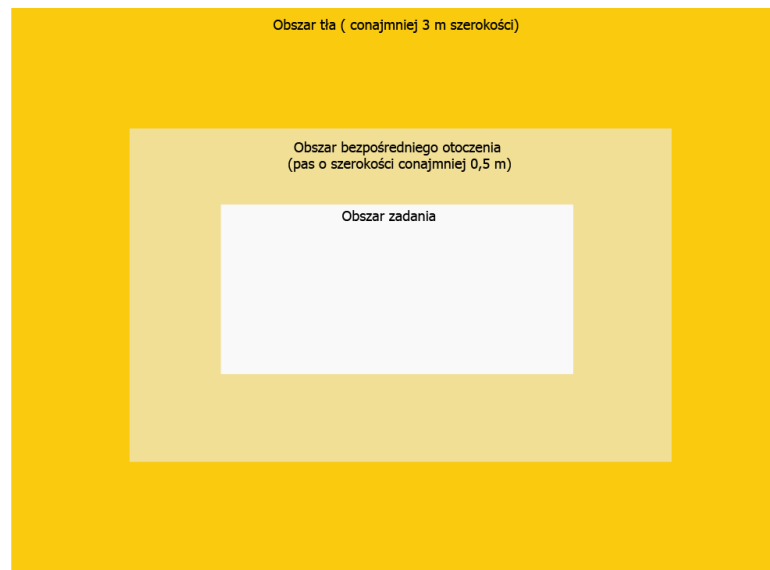
Znaczne różnice w przestrzennym rozkładzie natężenia oświetlenia wokół pola pracy mogą prowadzić do zmęczenia wzroku i odczuwania dyskomfortu.

Natężenie oświetlenia w bezpośrednim otoczeniu pola pracy powinno być niższe niż natężenie oświetlenia pola pracy, ale nie mniejsze od wartości podanych w tabeli 2.

Tabela 2 Równomierności oświetlenia oraz zalecane poziomy natężenia oświetlenia pola otaczającego w zależności od natężenia oświetlenia pola pracy

Natężenie oświetlenia pola pracy Lx	Natężenie oświetlenia na obszarach bezpośredniego otoczenia pola pracy lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	$E_{\text{pola pracy}}$
100	$E_{\text{pola pracy}}$
50	$E_{\text{pola pracy}}$

Norma wprowadziła pojęcia obszaru zadania, obszaru bezpośredniego otoczenia i obszaru tła – rys. 2.



Rys. 2. Pole pracy i jego otoczenie

1- obszar zadania

2 - obszar bezpośredniego otoczenia (pas o szerokości co najmniej 0,5 m wokół obszaru zadania, w obrębie pola widzenia)

3 - obszar tła (co najmniej 3 m szerokości, sąsiadujący z obszarem bezpośredniego otoczenia, w obrębie granic przestrzeni)

Równomierność natężenia oświetlenia w obszarze zadania powinna być nie mniejsza niż minimalne wartości równomierności podane w normie w tablicach rozdziału 5 (przykładowe wartości dla szkół przedstawiono w tabeli 1).

Równomierność natężenia oświetlenia pochodząca od oświetlenia sztucznego lub od światła dachowego:

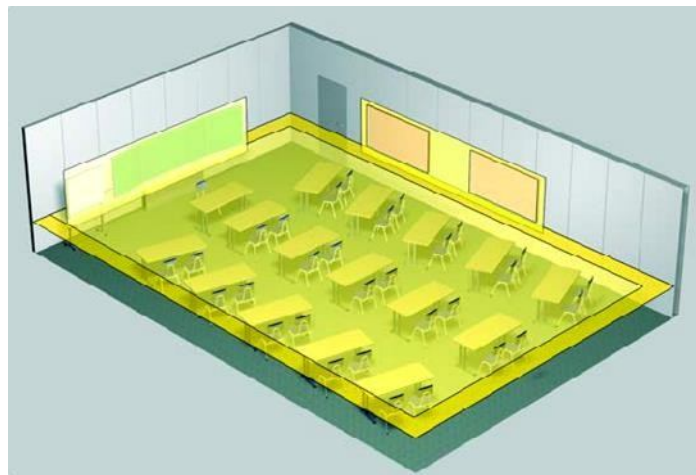
- w obszarze bezpośredniego otoczenia powinna wynosić $U_0 \geq 0,40$
- w obszarze tła powinna wynosić $U_0 \geq 0,10$

Przykładowe pole pracy przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Pole pracy dla stanowiska biurowego (wg ZVEI Guide to DIN EN 12464-1)

Jeżeli w pomieszczeniu – np. w sali wykładowej, pola pracy i otoczenie nakładają się, wtedy należy je zastąpić jednym polem pracy, z pominięciem pasa przyściennego o szerokości 0,5m – rys.4.



Rys. 4. Pola pracy w sali wykładowej (wg ZVEI Guide to DIN EN 12464-1)

W celu wskazania punktów, w których wartości natężenia oświetlenia są obliczane i weryfikowane dla obszarów zadania, bezpośredniego otoczenia i tła, powinny być tworzone systemy siatki. Preferowane są oczka siatki zbliżone do kwadratu, a stosunek długości siatki powinien być utrzymywany między 0,5 a 2. Maksymalny wymiar siatki powinien wynosić:

$$p=0,2 \times 5^{\log_{10}(d)}$$

gdzie:

$$p \leq 10$$

d - dłuższy wymiar obliczanego obszaru (m), jeśli jego stosunek dłuższego do krótszego boku wynosi 2 lub więcej, wówczas d staje się krótszym wymiarem,

p - maksymalny wymiar oczka siatki (m)

Wzór wprowadzono, przy założeniu że p jest proporcjonalne do $\log_{10} d$, gdzie



$p=0,2$ dla $d=1$ m,

$p=1$ m dla $d=10$ m,

$p=5$ m dla $d=100$ m.

Liczba punktów w odpowiednim wymiarze jest określona przez najbliższą całkowitą liczbę wynikającą ze stosunku d/p

Otrzymany odstęp między punktami siatki wykorzystuje się do obliczania najbliższej liczby całkowitej punktów siatki w drugim wymiarze. Da to stosunek długości do szerokości oczka siatki bliski 1.

Pas o szerokości 0,5 m od ścian jest wyłączony z obszaru obliczeń, z wyjątkiem sytuacji, gdy obszar zadania lub jego część zawierają się w tym pasie.

Odpowiedni rozmiar siatki należy stosować przy ścianach i suficie, również przy pasie o szerokości 0,5 m.

Zaleca się, aby rozmieszczenie punktów siatki nie pokrywało się z rozmieszczeniem opraw.

Oświetlenie w przestrzeni wnętrza

Oświetlając pole zadania zaleca się oświetlanie obszaru przestrzeni, w której znajdują się ludzie. Poprawia się w ten sposób wygląd osób w przestrzeni. Dobre rozpoznawanie obiektów w przestrzeni, w której pracują lub poruszają się ludzie, możliwe jest poprzez dostarczenie adekwatnego średniego cylindrycznego natężenia oświetlenia E_z w przestrzeni.

Cylindrycznym natężeniem oświetlenia w danym punkcie nazywa się średnie pionowe natężenie oświetlenia obliczone w tym punkcie dla chwilowych położenia podczas ich pełnego obrotu wokół pionowej osi przechodzącej przez dany punkt.

Eksploatacyjne średnie cylindryczne natężenie oświetlenia na obszarach działalności i wnętrza nie powinno być mniejsze niż 50 lx z $U_0 \geq 0,10$ na płaszczyźnie poziomej i przy określonej wysokości od podłogi, np. 1,2 metra dla osób siedzących i 1,6 metra dla osób stojących. W obszarach, gdzie ważna jest dobra komunikacja, szczególnie w biurach oraz w obszarach nauki i spotkań, zaleca się, aby E_z nie było mniejsze niż 150 lx z $U_0 \geq 0,10$.

Oświetlając wnętrza zaleca się modelować oświetlenie tak, aby zachować stan równowagi pomiędzy oświetleniem kierunkowym i rozproszonym. Zbyt kierunkowe oświetlenie może wytwarzać zbyt ostre cienie, a zbyt rozproszone może powodować monotonne otoczenie świetlne, prowadząc do utraty efektu modelowania.

Wskaźnik modelowania stanowi stosunek cylindrycznego natężenia oświetlenia do poziomego natężenia oświetlenia w punkcie. Zaleca się, aby obie siatki punktów dla cylindrycznych i poziomych natężeń oświetlenia były zbieżne.

Wskaźnik modelowania dla równomiernej aranżacji opraw lub świateł dachowych jest dobry, jeśli mieści się w zakresie pomiędzy 0,3 a 0,6.



Zagadnienia dotyczące barwy

Cechy jakościowe barwy lamp o świetle białym są charakteryzowane przez:

- barwę światła samych źródeł,
- właściwości oddawania barw, które wpływają na barwny wygląd obiektów i oświetlanych osób.

Te dwie cechy należy uwzględniać niezależnie.

Barwa światła

Barwa światła lampy odpowiada wyglądowi barwy (chromatyczności) emitowanego światła. Liczbowo parametr ten jest określany przez podanie temperatury barwowej najbliższej T_{CP}

Barwa światła może być również opisana zgodnie z określeniami podanymi w tabelicy 3.

Tabela 3. Grupy wrażenia barwy światła

Wrażenie barwy	Temperatura barwowa najbliższa T_{CP}
ciepła	poniżej 3300 K
neutralna	3300 K ÷ 5300 K
chłodna	powyżej 5300 K

Wybór barwy światła leży w obszarze psychologii, estetyki i oceny tego, co wydaje się naturalne. Wybór zależy od poziomu natężenia oświetlenia, kolorystyki pomieszczenia i jego wyposażenia, lokalnego klimatu i od spodziewanego efektu oświetleniowego. W klimacie gorącym generalnie preferowana jest chłodniejsza barwa światła, podczas gdy w klimacie chłodnym, preferowana jest cieplejsza barwa światła.

Oddawanie barw

Dla wydolności wzrokowej i odczucia wygody widzenia oraz dla dobrego samopoczucia ważne jest, aby barwy otoczenia, przedmiotów oraz ludzkiego ciała wyglądały naturalnie, właściwie i w sposób, który zapewnia atrakcyjny, zdrowy wygląd.

Dla obiektywnego określania oddawania barw przez źródła światła został wprowadzony ogólny wskaźnik oddawania barw R_a . Maksymalna wartość $R_a = 100$. Wartość ta maleje przy pogarszającej się jakości oddawania barw.

Lampy o wskaźniku oddawania barw poniżej $R_a = 80$ nie powinny być stosowane w pomieszczeniach, w których ludzie pracują lub przebywają przez dłuższy okres czasu.

Minimalne wartości wskaźników oddawania barw R_a dla różnych typów wnętrz (obszarów), zadań i czynności w szkołach podano w Tabeli 1.



Aspekty energetyczne

Instalacja oświetleniowa powinna spełniać wymagania oświetleniowe dla określonej przestrzeni bez strat energii. Jednak jest ważne, aby redukcja zużycia energii nie odbywała się kosztem warunków widzenia zapewnianych przez instalację oświetleniową. Wymaga to wyboru odpowiedniego systemu oświetleniowego, sprzętu, sterowania oraz wykorzystania dostępnego światła dziennego.

Efektywność wykorzystania energii elektrycznej na cele oświetleniowe można ocenić wyznaczając współczynnik:

$$W_e = P/S \text{ na } 100\text{lx} \text{ [W/m}^2 \text{ na } 100\text{lx]}$$

Gdzie: P – sumaryczna moc instalacji oświetleniowej w [W],

S – powierzchnia oświetlana w [m²],

Współczynnik ten informuje, jaką moc wykorzystujemy, aby uzyskać natężenie oświetlenia 100lx na 1m² powierzchni oświetlanej.

II. Badania

Wykonać ocenę jakości oświetlenia korytarza i miejsca pracy wskazanego przez prowadzącego. Dane techniczne pomieszczenia, parametry opraw, wyniki pomiarów i obliczeń zamieścić w tabelkach znajdujących się poniżej.

Dla pomieszczenia wskazanego przez prowadzącego należy:

- sporządzić szkic pomieszczenia z wymiarami, rozmieszczeniem opraw oraz miejsc pracy,
- określić barwę światła (wskaźnik oddawania barw i temperaturę barwową) źródeł światła stosowanych w oprawach,
- wyznaczyć współczynniki odbicia sufitu, ścian i ławek,
- określić obszar zadania, bezpośredniego otoczenia oraz tła,
- pomierzyć rozkłady natężenie oświetlenia w polu zadania,
- pomierzyć rozkłady natężenie oświetlenia w polu bezpośredniego otoczenia, w obszarze tła,
- pomierzyć rozkłady natężenia oświetlenia na ścianach,
- obliczyć średnie natężenie i równomierność oświetlenia z zależności:

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{sr}} \quad [-]$$

- wyznaczyć cylindryczne natężenie oświetlenia,
- wyznaczyć wskaźnik modelowania,
- określić wskaźnik efektywności energetycznej systemu oświetlenia.

Tabela 4. Zestawienie danych technicznych badanego obiektu

Nazwa	Symbol	Wartość
Szerokość pomieszczenia	a [m]	
Długość pomieszczenia	b [m]	
Wysokość pomieszczenia	h [m]	

Tabela 5. Parametry lamp

Nazwa lampy	Barwa światła	Wskaźnik oddawania barw	Temperatura barwowa	Moc lampy

Tabela 6. Pomiar współczynnika odbicia

Nazwa pomierzchni	Natężenie oświetlenia odbite od powierzchni E_{odb} [lx]			Natężenie oświetlenia padające na powierzchnię E_{pad} [lx]		
	E_{odb1}	E_{odb2}	E_{odb3}	E_{pad1}	E_{pad2}	E_{pad3}

Tabela 7. Wyniki pomiarów rozkładu natężenia oświetlenia

Opis płaszczyzny pomiarowej:.....					Wymiary mierzonej powierzchni:				
Zakres pomiarowy luksomierza:.....					długość:.....				
Współrzędne punktów pomiarowych		X ₁ [m]	X ₂ [m]	X ₃ [m]	X ₄ [m]	X ₅ [m]	X _n [m]
Y ₁ [m]	E [lx]								
Y ₂ [m]	E [lx]								
Y ₃ [m]	E [lx]								
Y ₄ [m]	E [lx]								
.....	E [lx]								
.....	E [lx]								
.....	E [lx]								
.....	E [lx]								
.....	E [lx]								
.....	E [lx]								
.....	E [lx]								
.....	E [lx]								
.....	E [lx]								
.....	E [lx]								
Y _m [m]	E [lx]								

Tabela 8. Wyniki pomiarów cylindrycznego natężenia oświetlenia

Zakres pomiarowy luksonierza:.....									
Współrzędne punktów pomiarowych		X ₁ [m]	X ₂ [m]	X ₃ [m]	X ₄ [m]	X ₅ [m]	X _n [m]
Y ₁ [m]	E _z [lx]								
		E _{z śr} [lx]							
Y ₂ [m]	E _z [lx]								
		E _{z śr} [lx]							
Y ₃ [m]	E _z [lx]								
		E _{z śr} [lx]							



.....	E_z [lx]								
.....	$E_{z\acute{s}r}$ [lx]								
.....	E_z [lx]								
.....	$E_{z\acute{s}r}$ [lx]								
Y_m [m]	E_z [lx]								
	$E_{z\acute{s}r}$ [lx]								