

# Oświetlenie elektryczne, źródła światła

...

Instalacje w budownictwie ekologicznym  
(w aspekcie energii elektrycznej)

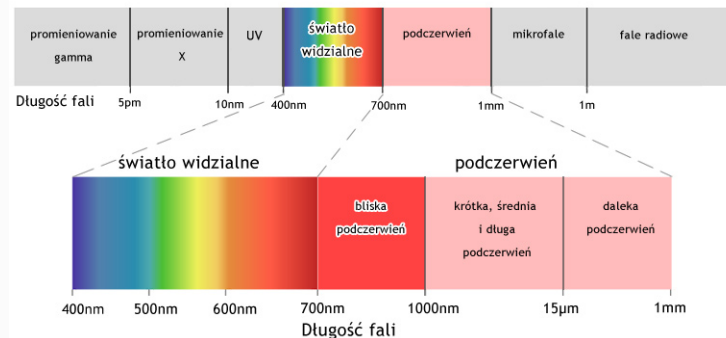


# Energia wiatru

## Charakterystyka źródła energii



- **Promieniowanie widzialne**, zwane światłem jest to część energii promienistej emitowanej przez źródło światła, na którą reaguje oko.
- **Zakres** promieniowania widzialnego zajmuje wąskie pasmo długości fali 380-750 nm.
- Obejmuje ono wszystkie główne **barwy** w kolejności: fioletowa - niebieska - zielona - żółta - pomarańczowa - czerwona.
- **Źródła** promieniowania optycznego dzieli się na:
  - źródła naturalne – np. Słońce. Promieniowanie słoneczne przy powierzchni Ziemi podczas niezachmurzonego nieba zawiera około 7% promieniowania nadfioletowego, 43% promieniowania widzialnego i 50 % promieniowania podczerwonego. Inne źródła nieboskłon, Księżyc, planety, gwiazdy itd.
  - źródła elektryczne - lampy żarowe, ksenonowe, halogenowe, metalohalogenkowe, rtęciowe, sodowe, LED, promienniki podczerwieni, promienniki kwarcowe, itp.
  - źródła (procesy) technologiczne - podczas których promieniowanie nadfioletowe stanowi produkt uboczny procesu: spawanie łukowe (elektryczne), spawanie gazowe, cięcie łukiem plazmowym, cięcie tlenowe, elektrodrażenie, piece łukowe, wanny szklarskie, wytop: stali, żeliwa, metali nieżelaznych.



Widmo promieniowania elektromagnetycznego

Zakresy długości fal promieniowania widzialnego odpowiadające grupom barwowym	
Barwa światła	Zakres długości fal, nm
fioletowa	380 - 436
niebieska	436 - 470
niebieskozielona	470 - 500
zielona	500 - 530
zielonożółta	530 - 566
żółta	566 - 589
pomarańczowa	589 - 620
czerwona	620 - 780

Widmo promieniowania widzialnego

# Podstawowe wielkości stosowane w technice świetlnej



- **Strumień świetlny  $\Phi$**  - moc wypromieniowanej energii świetlnej. Elektryczne źródło światła pobiera z sieci energię elektryczną i część tej mocy zamienia na strumień świetlny.
- Jednostką strumienia świetlnego  $\Phi$  jest lumen [lm].
- Strumień świetlny może być bezpośredni (wytworzony przez źródło np. lampę) lub odbity przez niesamodzielne źródło tj. sufity, ściany, odbłyśniki opraw oświetleniowych.
- **Światłość  $I$**  - stosunek strumienia świetlnego do obejmującego go kąta przestrzennego.

- Dla równomiernego rozsyłu strumienia świetlnego:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

gdzie:  $\Phi$  - strumień świetlny, lm;  $\omega$  - kąt przestrzenny, srd.

- Światłość średnia  $I_0$ :

$$I_0 = \frac{\Phi_0}{4\pi}$$

gdzie:  $\Phi_0$  - całkowity strumień świetlny źródła światła.

- Jednostką światłości jest kandela (cd):

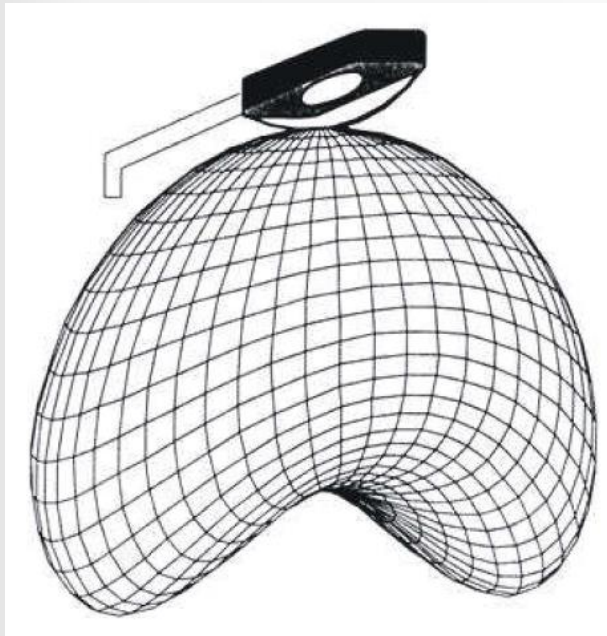
$$1 \text{ cd} = \frac{1 \text{ lm}}{\text{srd}}$$

# Podstawowe wielkości

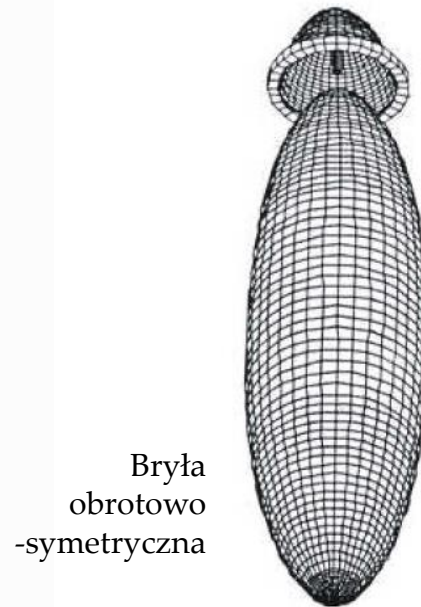
## Światłość – bryła fotometryczna



- **Bryła fotometryczna światłości** - powierzchnia zamknięta, utworzona przez końce wektorów o wspólnym początku w źródle światła, których długość i kierunek odpowiada wartości światłości w danym kierunku. Występują bryły: obrotowo-symetryczne oraz nieobrotowo-symetryczne



Bryła  
nieobrotowo-  
symetryczna



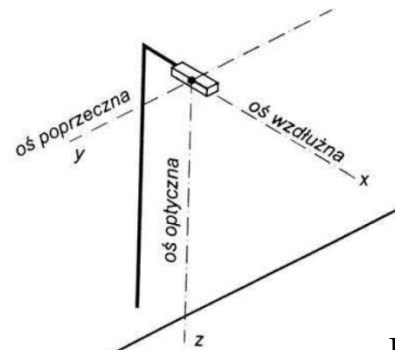
Bryła  
obrotowo-  
symetryczna

# Podstawowe wielkości

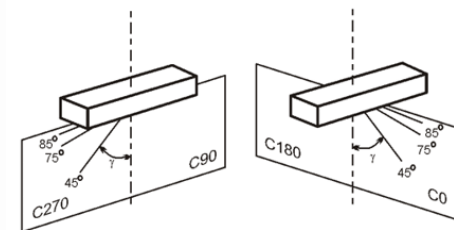
## Światłość - krzywa światłości



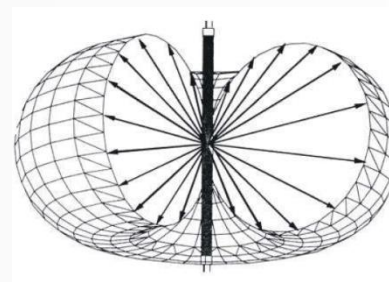
- **Krzywa światłości** (krzywa rozsyłu światłości) – wykres światłości  $I$  w funkcji kąta  $\alpha$  w dowolnej płaszczyźnie przechodzącej przez oś symetrii źródła.
- Krzywa określająca zależność światłości w danym kierunku od kąta tego kierunku w stosunku do osi optycznej (prostej o kierunku zgodnym ze światłością maksymalną) dla określonej płaszczyzny przekroju bryły fotometrycznej zawierającej oś optyczną.
- Przedstawia rozsył światła jaki posiada oprawa (oraz źródło światła), w różnych kierunkach. Wynik przeliczany jest na wartości, jakie uzyskałoby się przy zastosowaniu źródeł światła o łącznym strumieniu 1000 lm. Umożliwia to porównanie krzywych światłości tworzonych dla opraw z różnymi źródłami światła.



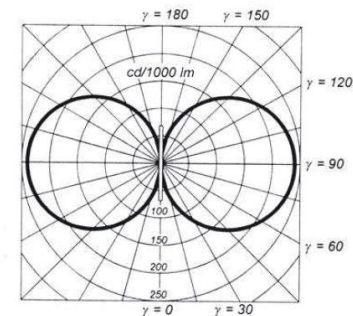
Definiowanie osi



Podział oprawy według płaszczyzn C0 – C180, C90 – C270 oraz kątów  $\gamma$



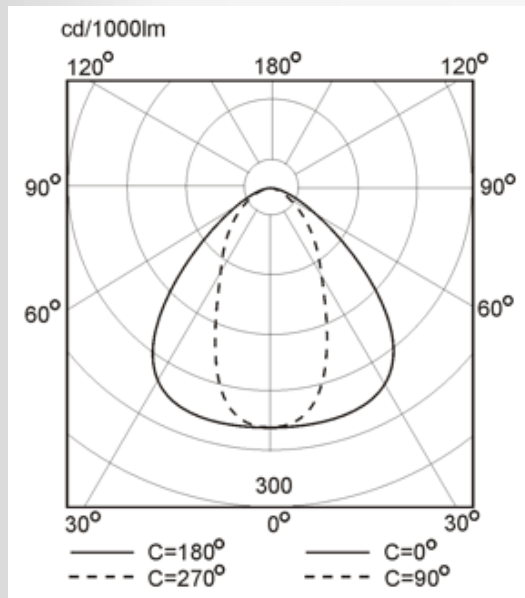
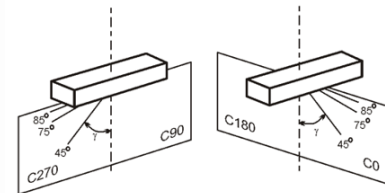
Bryła fotometryczna



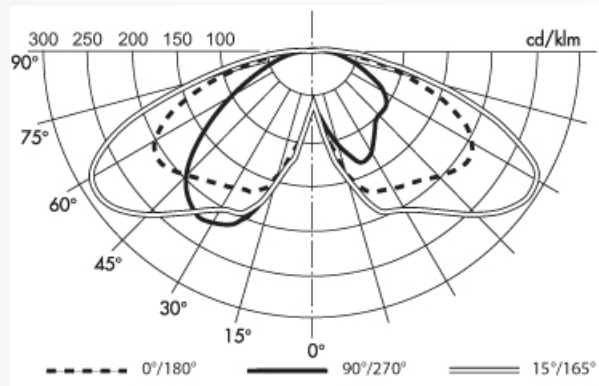
Krzywa światłości

# Podstawowe wielkości

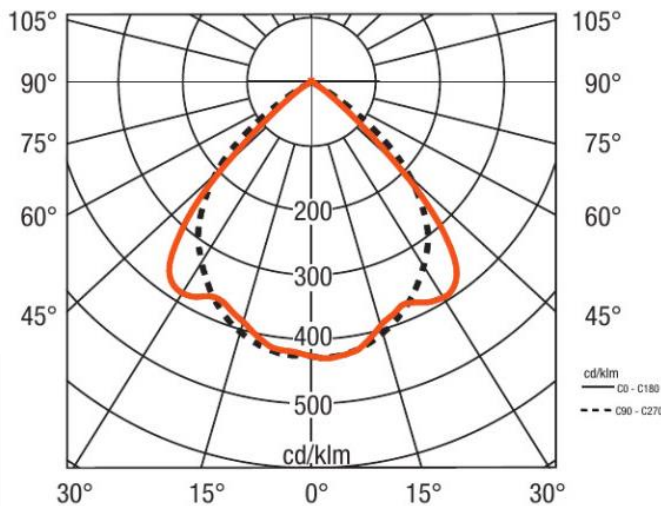
## Światłość - krzywa światłości



Krzywa światłości w płaszczyznach C0 – C180, C90 – C270



Przykładowa krzywa światłości sporządzona w 3 płaszczyznach



Krzywa światłości oprawy OSRAM DEDRA plus T5 double parabolic

# Podstawowe wielkości

## Luminancja



- Luminancja  $L$  (jaskrawość) w danym punkcie powierzchni źródła światła w danym kierunku, jest to stosunek światłości (pierwotnej lub wtórnej) w danym kierunku do zastępczej powierzchni świecenia prostopadłej do kierunku patrzenia:

$$L = \frac{I}{S_z}$$

gdzie:  $I$  - światłość, cd,  $S_z$  - powierzchnia świecąca (powierzchnia pozorną),  $m^2$ .

- Jednostką światłości jest: - nit (nt):  $1 \text{ nt} = 1 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$   
- stilb (sb):  $1 \text{ sb} = 1 \frac{\text{cd}}{\text{cm}^2} = 10^4 \text{ nt}$
- Im większe natężenie oświetlenia na danej powierzchni, tym silniejszych wrażeń doznaje oko podczas jej oglądania. Przy jednakowym natężeniu oświetlenia jedne ciała wydają się jaśniejsze, inne ciemniejsze. Wynika to z odbijania przez ciała padającej na nie energii świetlnej. Ciało takie samo staje się źródłem.
- Wielkość fizyczną na którą reaguje oko ludzkie definiuje się jako jaskrawość  $L$ .
- Źródła o wysokiej luminancji w polu widzenia powodują szybkie zmęczenie oczu i generują niepożądane dla wzroku zjawisko olśnienia.

# Podstawowe wielkości

## Natężenie oświetlenia



- **Natężenie oświetlenia**  $E$  w danym punkcie powierzchni oświetlanej jest to stosunek strumienia świetlnego  $d\Phi$  do oświetlanej powierzchni  $dS$ :

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$

gdzie:  $E$  - natężenie oświetlenia, lx (luks);  $\Phi$  - strumień świetlny, lm;  $S$  - pole powierzchni, m<sup>2</sup>.

- Przy równomiernym oświetleniu:

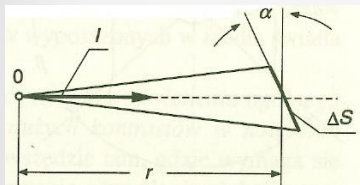
$$E = \frac{\Phi}{S}$$

- Jednostką natężenia oświetlenia jest lx (luks):  $1 \text{ lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$

- Dla pojedynczego źródła światła oddalonego o odległość  $r$  istnieje zależność pomiędzy natężeniem oświetlenia  $E$ , panującym na powierzchni i światłością  $I$  źródła światła, oświetlającego tę powierzchnię równomiernie i prostopadle:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

gdzie:  $E$  - natężenie oświetlenia, lx (luks);  $I$  - światłość, cd;  $r$  - odległość od źródła światła, m.



Sposób wyznaczenia natężenia oświetlenia



# Podstawowe wielkości

## Sprawność źródła, równomierność oświetlenia



- **Sprawność źródła światła  $\eta$**  (skuteczność świetlna, wydajność świetlna) - stosunek całkowitego strumienia świetlnego  $\Phi$  wyrażonego w lumenach (lm) do całkowitej mocy  $P$  pobranej przez źródło w watach:

$$\eta = \frac{\Phi}{P}, \quad \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

gdzie:  $\Phi$  - strumień świetlny, lm;  $P$  - moc źródła, W.

- W odniesieniu do żarówek wartości sprawności oscylują w zakresie 7-16 lm/W, żarówek halogenowych około 35-50 lm/W, lamp fluorescencyjnych 30-50 lm/W, sodowych wysokoprężnych około 65-100 lm/W.
- **Równomierność oświetlenia  $\varepsilon$**  - stosunek minimalnego natężenia oświetlenia  $E_{min}$  do wartości maksymalnej  $E_{max}$  na powierzchni użytkowej (roboczej):
$$\varepsilon = \frac{E_{min}}{E_{max}}$$
- **Równomierność oświetlenia  $\delta$**  - iloraz najmniejszej zmierzonej wartości natężenia oświetlenia występującej na danej płaszczyźnie  $E_{min}$  do średniego (w  $n$  punktach) natężenia oświetlenia na tej płaszczyźnie  $E_{\text{sr}}$ .
$$\delta = \frac{E_{min}}{E_{\text{sr}}}$$
- PN-EN 12464-1:2012 "Światło i oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach." określa, że równomierność oświetlenia powinna być nie mniejsza od 0,7 - na polu pracy i 0,5 na polu bezp. otoczenia.

# Podstawowe wielkości

## Olśnienie 1/2



- **Olśnienie** - stan procesu widzenia, w którym odczuwa się niewygodę widzenia albo obniżenie zdolności rozpoznawania przedmiotów lub oba te wrażenia razem. Olśnienie powstaje w wyniku nieprawidłowego rozkładu lub zakresu luminancji w polu widzenia lub też nadmiernego kontrastu. We wnętrzach najczęstszą przyczyną powstawania olśnienia przykrego są jaskrawe elementy opraw oświetleniowych lub okna.
- **Klasyfikacja na podstawie warunków powstawania olśnienia:**
  - bezpośrednie - spowodowane przez jaskrawy przedmiot występujący w tym samym lub prawie tym samym kierunku co przedmiot obserwowany,
  - pośrednie - spowodowane przez jaskrawy przedmiot występujący w innym kierunku niż przedmiot obserwowany,
  - olśnienie odbiciowe - spowodowane przez kierunkowe odbicia jaskrawych przedmiotów.
- **Klasyfikacja na podstawie skutków. Olśnienia:**
  - przeszkadzające - zmniejszające zdolność widzenia na bardzo krótki, ale zauważalny czas bez wywoływania uczucia przykrości. Nadmierna ilość światła docierająca do oka ulega rozproszeniu w ośrodkach optycznych oka, co powoduje nakładanie się tzw. luminancji zamglenia na prawidłowo zogniskowany obraz przedmiotu.
  - przykre - wywołujące uczucie przykrości, niewygodę, rozdrażnienia oraz wpływające na brak koncentracji bez zmniejszenia zdolności widzenia. Natychmiast po usunięciu przyczyny olśnienia ustępuje niewygodność. Olśnienie to zależy od: luminancji poszczególnych źródeł olśniewających, luminancji tła na którym znajdują się źródła, wielkości kątowych tych źródeł, ich położenia względem obserwatora oraz ich liczby w polu widzenia.
  - oślepiające - olśnienie tak silne, że przez pewien zauważalny czas żaden przedmiot nie może być spostrzeżony. Jest to skrajny przypadek olśnienia przeszkadzającego.

# Podstawowe wielkości

## Olśnienie 2/2



- **Ujednolicony wskaźnik olśnienia UGR** – wskaźnik charakteryzujący stopień olśnienia. UGR=10 sygnalizuje olśnienie ledwie dostrzegalne, UGR=25 – olśnienie „nieznośne”

$$UGR = 8 \log \left( \frac{0,25}{L_t} \sum \frac{L_{zi}^2 \cdot \omega_{zi}}{p_i^2} \right)$$

gdzie:  $L_t$  - luminancja tła ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ),  $L_{zi}$  - luminancja świecących części oprawy w kierunku obserwatora ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ),  $\omega_{zi}$  - kąt bryłowy, w którym oko obserwatora widzi świecące części oprawy (rad),  $p_i$  - wskaźnik położenia oprawy względem linii widzenia (wskaźnik Guth'a,  $\text{lx}^{0,5}$ ,  $p^2 \rightarrow \text{lx}$ ).

- Środki ochrony przed olśnieniem bezpośrednim:
  - stosowanie opraw osłaniających źródło światła,
  - użycie żaluzji i rolet,
  - stosowanie minimalnego kąta ochrony oprawy dostosowanego do luminancji źródła światła.
- Środki ochrony przed olśnieniem odbiciowym:
  - właściwe rozmieszczenie opraw oświetleniowych,
  - stosowanie powierzchni matowych,
  - ograniczanie luminancji opraw,
  - zwiększanie powierzchni opraw,
  - stosowanie jasnych sufitów i ścian.

Rodzaj pomieszczenia lub charakter czynności	UGR max
Pracownie rysunku technicznego, kontrola barw, wieża kontroli lotów	16
Sale lekcyjne i wykładowe, pomieszczenia biurowe, pokoje zabiegowe	19
Sale gimnastyczne, stołówki, kuchnie, recepcje, poczekalnie	22
Składy i magazyny, korytarze i schody, archiwa	25

# Podstawowe wielkości

## Barwa światła, temperatura barwowa 1/2

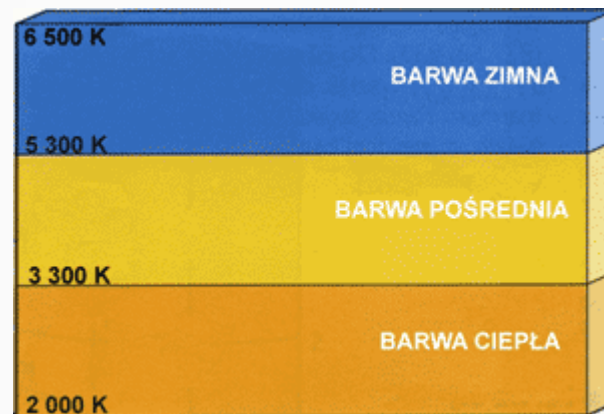


**Temperatura barwowa** – temperatura ciała doskonale czarnego, w której wysyła ono promieniowanie tej samej chromatyczności, co promieniowanie rozpatrywane. Obiektywna miara wrażenia barwy danego źródła światła (Wikipedia)

- 2000 K – barwa światła świeczki
- 2800 K – barwa bardzo ciepłobiała (żarówkowa)
- 3000 K – wschód i zachód Słońca
- 3200 K – barwa światła żarowego lamp studyjnych
- 3300 K - 4000K - barwa biała neutralna
- 4000 K – barwa biała
- 5000 K – barwa chłodnobiała
- 6500 K – barwa dzienna – zimna
- 10000-15000 K – barwa czystego niebieskiego nieba
- 28000-30000 K – błyskawica

Źródła, które emitują białą barwę światła można podzielić, w zależności od ich temperatury barwowej, na trzy grupy:

- ciepła (poniżej 3 000 K),
- pośrednia (od 3 300 do 5 300 K)
- zimna (powyżej 5 300 K do 6 500 K).



# Podstawowe wielkości

## Barwa światła, temperatura barwowa 2/2



Norma zaleca wybór barwy światła w zależności od poziomu natężenia oświetlenia, barw pomieszczenia i mebli, klimatu oraz zastosowań pomieszczenia, przy czym tylko dla wybranych czynności podaje szczegółowe zalecenia zamieszczone w tablicach z wymaganiami oświetleniowymi.

Ogólny związek pomiędzy natężeniem i temperaturą barwową: ludzie preferują ciepłe barwy przy niskich poziomach natężenia oświetlenia i chłodne przy wysokich. Zgodnie z PN-84/E-02033:

- do 3300 K (ciepła barwa) poniżej 300 lx,
- 3300-5000 K (barwa neutralna) 300-750 lx,
- powyżej 5000 K powyżej 750 lx



Niska temperatura barwowa światła o zachodzie słońca – około 3000K



Wysoka temperatura barwowa światła dziennego przy całkowitym zachmurzeniu – około 6500K

# Podstawowe wielkości

## Oddawanie barw

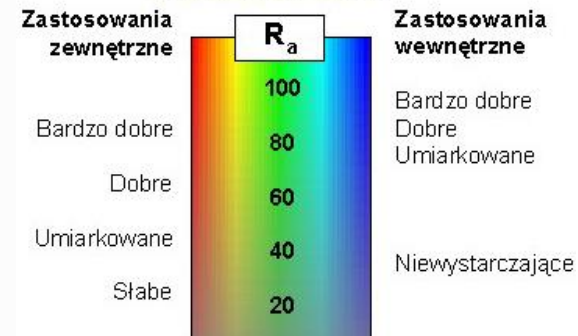


**Wskaźnik oddawania barw (Ra)** - miara stopnia zgodności wrażenia barwy przedmiotu oświetlonego danym źródłem światła z wrażeniem barwy tego samego przedmiotu oświetlonego referencyjnym źródłem światła w określonych warunkach. Maksymalna możliwa wartość tego wskaźnika wynosi 100. Przyjmuje się ją dla światła dziennego i większości źródeł żarowych. Między innymi zgodnie z PN-EN 12464-1:2004:

- we wnętrzach, gdzie ludzie pracują lub przebywają przez dłuższy czas zaleca się stosowania źródeł światła o wskaźniku oddawania barw co najmniej 80;
- $R_a \geq 90$  (bardzo duży), dla stanowisk pracy, na których rozróżnianie barw ma zasadnicze znaczenie, jak np. kontrola barwy, przemysł tekstylny i poligraficzny, sklepy;
- $90 > R_a \geq 80$  (duże) - biura, przemysł tekstylny, precyzyjny, w salach szkolnych i wykładowych;
- $80 > R_a \geq 40$  - walcownie, kuźnie, magazyny, kotłownie, odlewnie, młyny oraz wszędzie tam, gdzie rozróżnianie barw nie ma zasadniczego lub istotnego znaczenia;
- $R_a \approx 40$  - kotłownie, rampy;
- $R_a \approx 20$  - parkingi, hale w hutach.

Wrażenie barwy w zależności od stopnia oddawania barw przez źródło światła

### Oddawanie barw



# Podstawowe wielkości

## Tętnienie, migotanie i efekt stroboskopowy



- **Migotanie** jest to odczucie niestabilności wrażenia wzrokowego powodowane przez bodziec świetlny, którego luminancja lub rozkład widmowy zmieniają się w czasie.
- Zjawisko może być **spowodowane** zasilaniem źródeł wyładowczych z magnetycznym układem stabilizująco-zapłonowym z sieci napięcia zmiennego, uszkodzeniem tych układów lub uszkodzeniem źródeł światła oraz spadkami napięcia zasilającego urządzenie oświetleniowe.
- Najczęściej występującym rodzajem migotania światła jest tętnienie źródeł wyładowczych wyposażonych w magnetyczny układ stabilizująco-zapłonowy i **zasilanych z sieci o częstotliwości 50 Hz**. Fakt zmian strumienia świetlnego w rytm zmian prądu przemiennego, od wartości minimalnej do maksymalnej, nazwano tętnieniem światła. Aktualnie wykorzystywane do ogólnych celów oświetleniowych źródła światła zasilane są prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Częstotliwość zmian światła, wynosi 100 Hz.
- W przypadku oświetlania za pomocą źródeł wyładowczych (światłówki, lampy rtęciowe, sodowe) maszyn z elementami wirującymi lub wykonującymi ruch postępowo-zwrotny, może wystąpić **efekt stroboskopowy** - czyli postrzeganie pozornego bezruchu tych elementów, podczas gdy w rzeczywistości są one w ruchu. Zjawisko to jest niebezpieczne i może prowadzić do różnego rodzaju wypadków.
- Norma PN-EN 12464-1:2004 zaleca taki dobór sprzętu oświetleniowego, aby uniknąć migotania i efektu stroboskopowego (zasilanie opraw z różnych faz, uzupełnianie źródeł światła o źródła bez efektu stroboskopowego, wprowadzanie różnych częstotliwości zasilania źródeł światła).



# Podstawowe wielkości

## Tętnienie, migotanie i efekt stroboskopowy



Współczynnik tętnienia w  
– charakteryzuje głębokość  
tętnienia strumienia  
światelnego:

$$w = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max}}$$

Wartości współczynnika tętnienia lamp elektrycznych  
zasilanych z sieci prądu przemiennego o  $f=50$  Hz

Rodzaj lampy	Współczynnik tętnienia w
Żarówka:	40W 0,32
	100W 0,20
	300W 0,10
Świetlówka 36W (statecznik indukcyjny):	barwa dzienna 0,68
	barwa biała 0,52
	barwa ciepło-biała 0,32
Dwie świetlówki 36W w układzie „duo”:	barwa dzienna 0,29
	barwa biała 0,21
	barwa ciepło-biała 0,17
Trzy świetlówki w układzie zasilania z trzech faz:	barwa dzienna 0,03
	barwa biała 0,02
	barwa ciepło-biała 0,01
Lampa rtęciowa	0,78
Lampa sodowa wysokoprężna	0,74





# Oświetlenie wymagania normatywne

- Pracodawca ma obowiązek zapewnić dostateczne i **zgodne z normą** (PN-EN 12464-1:2012 "Światło i oświetlenie miejsc pracy. Część 1. Miejsca pracy we wnętrzach") oświetlenie miejsca pracy.
- Wymagania dodatkowo ujęte w **Kodeksie Pracy** jak również w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 28 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów BHP.
- W zakresie pomieszczeń biurowych gdzie we współczesnej gospodarce naturalnym jest wykorzystywanie podczas pracy komputera wprowadza dodatkowe regulacje **Rozporządzeniem Ministra** Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 1 grudnia 1998 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe.
- Instalacje oświetlenia awaryjnego zgodnie z **Rozporządzeniem** Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 21 kwietnia 2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów - instalacje oświetlenia ewakuacyjnego są urządzeniami przeciwpożarowymi. **Normą** regulującą warunki oświetlenia awaryjnego jest PN-EN 1838:2005 "Zastosowanie oświetlenia. Oświetlenie awaryjne."
- Przykładowo zgodnie z PN-EN 1838:2005 czas zadziałania opraw oświetlenia awaryjnego nie może być dłuższy niż 5 s na drodze ewakuacyjnej i w strefie otwartej, 0,2s w strefie wysokiego ryzyka. Natężenie oświetlenia awaryjnego mierzone na poziomie podłogi nie powinno być mniej niż: 5 lx przy punktach pierwszej pomocy, 1 lx dla drogi ewakuacyjnej, 0,5 lx dla strefy otwartej.



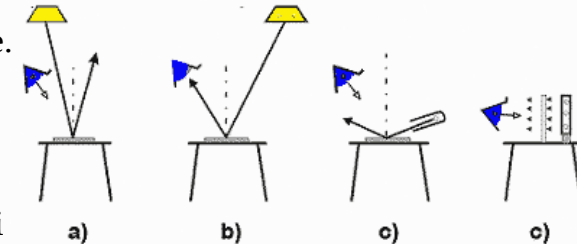
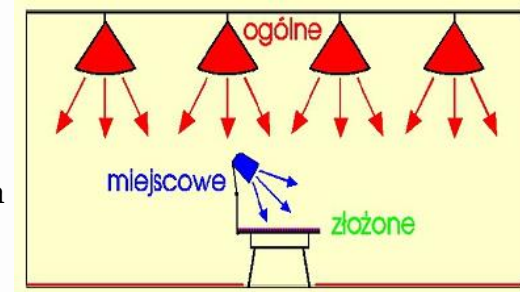
# Oświetlenie wymagania normatywne

- Norma PN-EN 12464-1:2012 - Światło i oświetlenie - Oświetlenie miejsc pracy - Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
- Norma PN-EN 1838:2005 - Zastosowanie oświetlenia. Oświetlenie awaryjne.
- Norma PN-EN 50172:2005 - Systemy awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego.
- Norma PN-EN 60598-2-22:2004 - Oprawy oświetleniowe – Część 2-22: Wymagania szczegółowe – Oprawy oświetleniowe do oświetlenia awaryjnego.
- Norma PN-EN 13032-1:2005 - Światło i oświetlenie. Pomiar i prezentacja danych fotometrycznych lamp i opraw oświetleniowych. Część 1: Pomiar i format pliku.
- Norma PN-EN 13032-2:2005 - Światło i oświetlenie. Pomiar i prezentacja danych fotometrycznych lamp i opraw oświetleniowych. Część 2: Prezentacja danych dla miejsca pracy wewnątrz i na zewnątrz budynku.
- Norma PN-EN 60529:2003 - Stopnie ochrony zapewnianej przez obwody (Kod IP).
- Norma wieloczęściowa PN-EN 61347:2005 - Urządzenia do lamp – Część 2-7: Wymagania szczegółowe dotyczące stateczników elektronicznych zasilanych prądem stałym, do oświetlenia awaryjnego.
- Norma PN-N-01256-5:1998 - Znaki bezpieczeństwa. Zasady umieszczania znaków bezpieczeństwa na drogach ewakuacyjnych i drogach pożarowych.

# Systemy oświetlenia



- Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje oświetlenia:
  - **ogólne** - równomierne oświetlenie pewnego obszaru bez uwzględnienia szczególnych wymagań dotyczących oświetlenia niektórych jego części,
  - **miejscowe** - dodatkowe oświetlenie przedmiotu pracy wzrokowej, z uwzględnieniem szczególnych potrzeb oświetleniowych, w celu zwiększenia natężenia oświetlenia, uwidocznienia szczegółów itp., załączane niezależnie od oświetlenia ogólnego,
  - **złożone** - składające się z oświetlenia ogólnego i oświetlenia miejscowego.
- Istnieją cztery sposoby oświetlenia miejscowego:
  - **układ a** doświetlający zapewnia równomierne doświetlenie (bez cieni) pola pracy wzrokowej lub uwidocznienie szczegółów o małym kontraście.
  - **układ b** odbijający do oczu zapewnia uwidocznienie szczegółu przez postrzeganie odbicia od przedmiotu pracy wzrokowej o zróżnicowanych właściwościach odbijających światło.
  - **układ c** odbijający kierunkowo umożliwia ujawnienie nierównomierności powierzchni przez zauważenie cieni powstałych od tych nierównomierności
  - **układ d** ujawniający szczegóły w świetle przechodzącym (z oprawą rozpraszającą) umożliwia prześwietlenie przedmiotu, np. obserwacja światłoczułych materiałów.

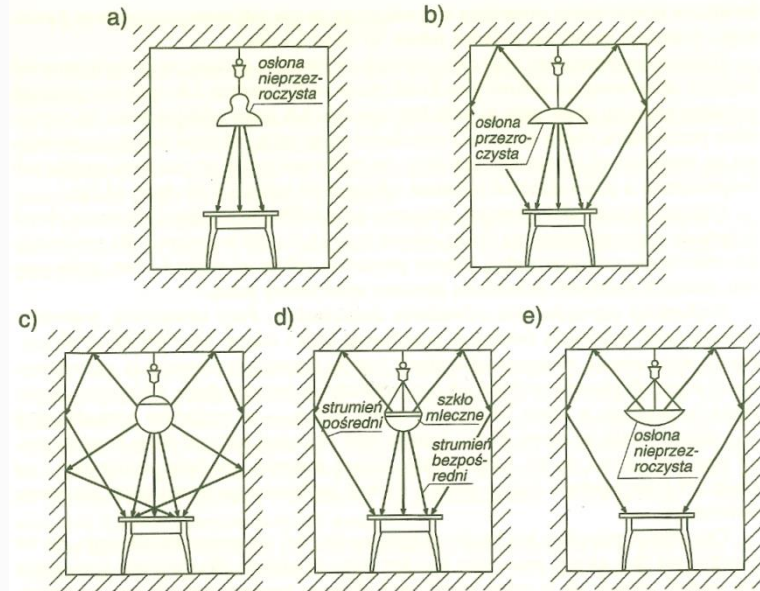


# Oprawy

Główne zadanie oprawy to prawidłowe oświetlenie miejsca pracy. Podstawowym kryterium podziału są właściwości fotometryczne oprawy. Oprawy oświetleniowe dzieli się na pięć klas pod kątem fotometrycznym w zależności od tego, jaki strumień światła  $\Phi$  wysyła oprawa w półprzestrzeń górną ( $\Phi_g$ ), a jaki w dolną ( $\Phi_d$ ). Podział dotyczy opraw nienastawnych zamocowanych na stałe. Poszczególne klasy to, oprawy do:

- I - oświetlenia bezpośredniego -  $\Phi_d \geq 0,9$  (całego  $\Phi$ );
- II - oświetlenia przeważnie bezpośredniego -  $0,6 < \Phi_d < 0,9$ ;
- III - oświetlenia mieszanego - ( $0,4 < \Phi_d < 0,6$ );
- IV - oświetlenia przeważnie pośredniego - ( $0,1 < \Phi_d < 0,4$ );
- V - oświetlenia pośredniego - ( $\Phi_d \leq 0,1$ ).

Klasa oświetlenia	Procentowy podział kierowanego strumienia świetlnego		Zastosowanie
	ku dołowi	ku górze	
I	90-100	10-0	Oświetlenie bezpośrednie
II	60-90	40-10	Oświetlenie przeważnie bezpośrednie
III	40-60	60-40	Oświetlenie mieszane
IV	10-40	90-60	Oświetlenie przeważnie pośrednie
V	0-10	100-90	Oświetlenie pośrednie



Sposób realizacji oświetlenia w klasach:  
 a) I oświetlenie bezpośrednie, b) II - przeważnie bezpośrednie, c) III – mieszanego,  
 d) IV - przeważnie pośrednie, e) V - pośrednie



# Natężenie oświetlenia - dom

Oświetlenie w mieszkaniach. Pokoje w domu powinny spełniać szczególne wymagania:

- w godzinach od 7 do 17 przez ich okna musi być widoczne słońce,
- w mieszkaniu wielopokojowym wystarczy, że taka sytuacja jest tylko w jednym pokoju. A jeśli jest to mieszkanie w śródmiejskiej zabudowie uzupełniającej (niezdefiniowanej w przepisach), może być nasłonecznione jedynie przez 1,5 godziny na dobę,
- dla mieszkań jednopokojowych w zabudowie śródmiejskiej nie określa się wymaganego czasu nasłonecznienia.

Wartości natężenia oświetlenia są wymagane jedynie na stanowiskach pracy. Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie ogólnych przepisów BHP powinny być zgodne z normą PN-EN 12464-1. Przyjęto w niej, że by dostrzec rysy ludzkiej twarzy, w normalnych warunkach oświetleniowych wystarczające jest natężenie 20 lx (natężenie oświetlenia światłem dziennym w słoneczny letni dzień 100 000 lx. Wymagania normy dla wybranych miejsc:

- strefy komunikacji i korytarze – 100 lx,
- schody – 150 lx,
- stołówki, spiżarnie, szatnie, umywalnie, łazienki, toalety – 200 lx,
- pomieszczenia z urządzeniami technicznymi – 200 lx,
- tablice rozdzielcze, praca przy komputerze – 500 lx,
- sale lekcyjne w szkołach – 300 lx.

# Natężenie oświetlenia

## – miejsce pracy

- Aktualnie obowiązującą normą dotyczącą oświetlenia jest norma PN-EN 12464-1 "Światło i oświetlenie - Oświetlenie miejsc pracy".
- W normie tej przyjęto, że wymagane natężenie oświetlenia w celu dostrzeżenia rysów ludzkiej twarzy w normalnych warunkach oświetleniowych, powinno być nie mniejsze niż 20 lx i jest to najmniejsze natężenie oświetlenia wymieniane przez normę.
- W typowych pracach biurowych, takich jak: pisanie ręczne, pisanie na maszynie, czytanie, obsługiwanie klawiatury wymagane jest natężenie oświetlenia 500 lx, dla prac precyzyjnych przewyższa 1000 lx.

Lp.	Rodzaj wnętrza, zadania lub czynności	Wymagane natężenie
1	Strefy komunikacji, korytarze	100 lx
2	Schody (w tym ruchome)	150 lx
3	Stołówki, spiżarnie	200 lx
4	Szatnie, umywalnie, łazienki, toalety	200 lx
5	Pokoje opieki medycznej	500 lx
6	Pomieszczenia z urządzeniami technicznymi, rozdzielczymi	200 lx
7	Tablice rozdzielcze	500lx
8	Magazyny	100 lx
9	Strefy pakowania i wysyłki	300 lx
10	Ogólne prace mechaniczne	300 lx
11	Prace fryzjerskie	500 lx
12	Wyrób biżuterii	1000 lx
13	Praca przy komputerze	500 lx
14	Archiwa dokumentów	200 lx
15	Kreślenie techniczne (biura projektowe)	750 lx
16	Salki konferencyjne	500 lx
17	Sklepy - strefa sprzedaży	300 lx
18	Sklepy - strefa kasy, pakowanie	500 lx
19	Czytelnie	500 lx
20	Strefy parkowania samochodów	75 lx
21	Przedszkola, żłobki	300 lx
22	Szkoły - sale lekcyjne	300 lx
23	Szkoły - tablice, sale wykładowe	500 lx
24	Zadaszone perony i przejścia dla podróżnych	50 lx



# Obliczanie oświetlenia - metody

## Metoda mocy jednostkowej

- stosowana do obliczania natężenia oświetlenia w pomieszczeniach ogólnych o znacznej powierzchni, gdy oprawy są rozłożone równomiernie,
- polega na określeniu mocy źródeł  $P_{\text{opraw}}$  oświetlenia ogólnego na podstawie wartości mocy jednostkowej  $W/m^2$  dla danego natężenia oświetlenia danym typem źródła i oprawy.  $P_{\text{opraw}}$  odczytuje się z tabel w poradnikach.

## Metoda strumienia jednostkowego

- stosowana na etapie założeń techniczno-ekonomicznych, pozwala określić liczbę opraw do ogólnego oświetlenia,
- podstawie strumienia na  $1m^2$  powierzchni oraz wielkości tej powierzchni, pozwala określić łączny strumień potrzebny do uzyskania natężenia  $E_{\text{śr}}=100 \text{ lx}$ ,
- gdy natężenie  $E$  pomieszczenia jest różne od  $100 \text{ lx}$ , to proporcjonalnie zmienia się wartość strumienia jednostkowego na  $m^2$  i wylicza inną ilość opraw.

## Metoda punktowa

- do obliczeń „na piechotę”. Polega na obliczaniu natężenia oświetlenia w pojedynczym punkcie,
- do obliczenia oświetlenia w całym pomieszczeniu konieczne jest obliczanie w wielu punktach (obliczenia od każdego źródła w każdym punkcie),
- pozwala na obliczenie natężeń i równomierności oświetlenia  $E_{\text{min}}/E_{\text{śr}}$ .

# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - przegląd



- Stosowana głównie do obliczeń oświetlenia ogólnego wewnątrz z jasnymi ścianami i sufitem odbijającymi dużą część światła.
- Oblicza się całkowity strumień świetlny, jaki powinny wytworzyć źródła światła (oprawy), w celu osiągnięcia wymaganego natężenia oświetlenia.
- Nazwa pochodzi od sprawności oświetlenia pomieszczenia, które zależy od:
  - rodzaju opraw oświetleniowych,
  - wymiarów pomieszczenia i wysokości opraw i płaszczyzny roboczej
  - tzw. ekwiwalentnych współczynników odbicia ścian, sufitu i podłogi; przyjmuje się
    - białe lub bardzo jasne  $\rho=0,7$
    - jasne  $\rho=0,5$
    - średnio jasne  $\rho=0,3$
    - ciemne barwy  $\rho=0,1$
- Na podstawie wymaganego natężenia oświetlenia oraz parametrów pomieszczenia, z tablic w katalogach opraw odczytuje się wartość sprawności oświetlenia, a następnie oblicza wymaganą liczbę źródeł światła.



# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - obliczenia



- Sprawność oświetlenia

$$\eta = \frac{\Phi_{uz}}{\Phi_o}$$

gdzie:  $\eta$  - sprawność oświetlenia, -;  $\Phi_{uz}$  - strumień użyteczny, lm;  $\Phi_o$  - strumień całkowity, lm.

- Strumień użyteczny

$$\Phi_{uz} = E_{sr} \cdot S$$

gdzie:  $\Phi_{uz}$  - strumień użyteczny, lm;  $E_{sr}$  - średnie natężenie o oświetlenia (norma), lx;  $S$  - pole powierzchni obliczane jako iloczyn wymiarów długości i szerokości pomieszczenia, m<sup>2</sup>.

- Strumień całkowity

$$\Phi_o = \frac{E_{sr} \cdot S \cdot K}{\eta} = n \cdot \Phi_{opr}$$

gdzie:  $\Phi_o$  - strumień całkowity, lm;  $\eta$  - sprawność oświetlenia, -;  $E_{sr}$  - średnie natężenie o oświetlenia (norma), lx;  $S$  - pole powierzchni, m<sup>2</sup>;  $K$  - współczynnik rezerwy uwzględniający zmniejszenie sprawności oświetlenia wskutek osiadania pyłu i kurzu na oprawkach oświetleniowych, ścianach, sufitach oraz starzenia się źródeł światła. Należy zwracać uwagę na jego wartość tabelaryczną: dla  $K > 1$  wyrażony jest jako wartość, o którą należy zwiększyć strumień (stosować w liczniku wyrażenia), dla  $K < 1$  wyrażony jako wartość, do której zmniejszy się strumień),  $\Phi_o$  - strumień pojedynczej oprawy, lm.

# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - obliczenia



- Wskaźnik pomieszczenia

$$w = \frac{(0,2l+0,8b)}{h}$$

gdzie:  $w$  – wskaźnik pomieszczenia, -;  $l$  – długość, m;  $b$  – szerokość, m,  $h$  – odległość źródło miejsce pracy (np. wysokość – wysokość stołu – minus długość wieszaka lampy), m.

- Odczytanie wartości sprawności oświetlenia  $\eta$  i współczynnika rezerwy  $K$  z tabeli na podstawie:
  - Zadeklarowanej klasy oświetlenia (I - bezpośrednie, II - przeważnie bezpośrednie, III - mieszane, IV - przeważnie pośrednie, V – pośrednie);
  - Wybranego typu oprawy,
  - Współczynnika odbicia sufitu,
  - Współczynnika odbicia ścian,
  - Wartości sprawności oprawy maksymalnie zbliżonej do rzeczywistej  $\eta_{tab\ opr}$
- Dokonanie obliczenia wymaganej liczby opraw

$$n = \frac{\Phi_o}{\Phi_n} = \frac{E_{sr} \cdot S \cdot K}{\Phi_{opr} \cdot \eta} \frac{\eta_{tab\ opr}}{\eta_{rzecz\ opr}}$$

gdzie:  $\eta_{tab\ opr}$  – sprawność oprawy maksymalnie zbliżonej do rzeczywistej wykorzystywana w tabeli sprawności, -;  $\eta_{rzecz\ opr}$  – rzeczywista sprawność oprawy (informacje producenta), -.

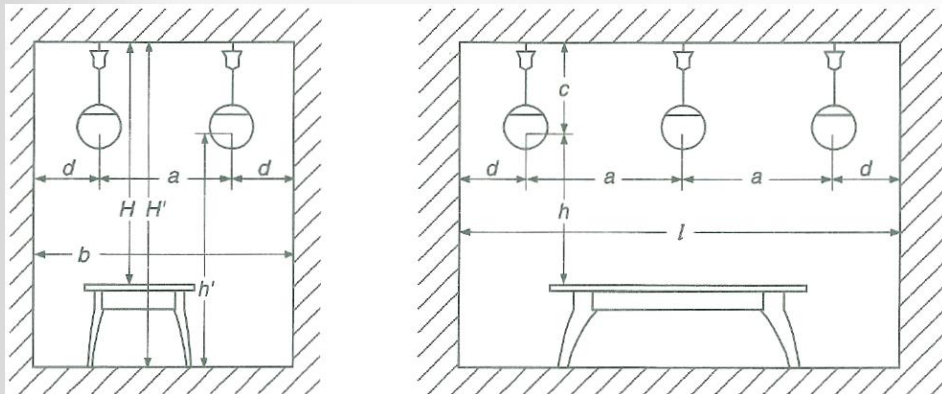
# Obliczanie oświetlenia Wartości początkowe $wsp. \eta$

**Tabela do celów ćwiczeniowych. Nie używać do projektów praktycznych.**

Klasa oświetlenia	Strumień góra/dół	Sprawność oprawy $\eta_{opr}$	Wskaźnik pomieszczenia $w$	Współczynnik sprawności oświetlenia przy współczynniku odbicia sufitu $\rho_{suf}$ i współczynniku odbicia ścian $\rho_{śc}$									Współczynnik rezerwy $K$
				$\rho_{suf} = 0,7$			$\rho_{suf} = 0,5$			$\rho_{suf} = 0,3$			
				$\rho_{śc} = 0,5$	$\rho_{śc} = 0,3$	$\rho_{śc} = 0,1$	$\rho_{śc} = 0,5$	$\rho_{śc} = 0,3$	$\rho_{śc} = 0,1$	$\rho_{śc} = 0,5$	$\rho_{śc} = 0,3$	$\rho_{śc} = 0,1$	
—	1 m/lm	—	—										
I	0/75	0,75	1,0	0,275	0,225	0,185	0,270	0,220	0,185	0,265	0,220	0,185	1,3
			1,2	0,310	0,265	0,225	0,350	0,260	0,225	0,300	0,260	0,225	1,3
			1,5	0,365	0,315	0,275	0,355	0,305	0,275	0,345	0,305	0,275	1,3
			2,0	0,435	0,385	0,345	0,420	0,375	0,340	0,415	0,375	0,340	1,3
			2,5	0,485	0,435	0,400	0,475	0,430	0,395	0,470	0,425	0,395	1,25
			3	0,520	0,475	0,440	0,505	0,470	0,440	0,500	0,465	0,440	1,25
			4	0,575	0,535	0,505	0,565	0,535	0,505	0,560	0,530	0,505	1,25
			5	0,610	0,580	0,550	0,605	0,575	0,550	0,595	0,570	0,550	1,25
			6	0,635	0,610	0,585	0,630	0,605	0,585	0,620	0,600	0,585	1,25
			8	0,670	0,650	0,630	0,665	0,645	0,630	0,660	0,645	0,630	1,25
10	0,695	0,680	0,665	0,690	0,675	0,665	0,685	0,675	0,665	1,25			
III	39/41	0,8	1,0	0,215	0,165	0,125	0,185	0,140	0,110	0,155	0,115	0,090	1,61
			1,2	0,250	0,195	0,155	0,215	0,165	0,135	0,180	0,140	0,115	1,56
			1,5	0,300	0,240	0,200	0,255	0,205	0,175	0,215	0,175	0,145	1,56
			2,0	0,360	0,300	0,255	0,300	0,255	0,220	0,250	0,215	0,185	1,49
			2	0,395	0,345	0,295	0,335	0,290	0,255	0,280	0,240	0,210	1,49
			3	0,430	0,375	0,330	0,365	0,320	0,285	0,305	0,265	0,240	1,49
			4	0,480	0,430	0,390	0,410	0,370	0,335	0,340	0,310	0,280	1,49
			5	0,510	0,470	0,430	0,440	0,400	0,370	0,370	0,340	0,315	1,45
			6	0,535	0,495	0,460	0,460	0,425	0,395	0,385	0,360	0,335	1,45
			8	0,565	0,535	0,505	0,490	0,460	0,440	0,415	0,395	0,375	1,45
10	0,590	0,560	0,535	0,510	0,485	0,465	0,435	0,415	0,395	1,45			
V	80/0	0,8	1,0	0,190	0,150	0,125	0,135	0,105	0,088	0,078	0,063	0,052	1,61
			1,2	0,230	0,185	0,155	0,150	0,125	0,110	0,093	0,075	0,064	1,61
			1,5	0,270	0,225	0,195	0,180	0,155	0,135	0,110	0,093	0,080	1,61
			2,0	0,315	0,275	0,245	0,220	0,195	0,175	0,130	0,115	0,105	1,61
			2,5	0,350	0,315	0,285	0,250	0,225	0,205	0,145	0,130	0,120	1,61
			3	0,380	0,345	0,320	0,270	0,245	0,225	0,160	0,145	0,135	1,61
			4	0,420	0,390	0,365	0,295	0,275	0,260	0,175	0,165	0,155	1,61
			5	0,450	0,425	0,400	0,315	0,300	0,285	0,185	0,180	0,170	1,61
			6	0,460	0,440	0,420	0,325	0,310	0,300	0,195	0,185	0,180	1,56
			8	0,485	0,465	0,450	0,340	0,330	0,320	0,205	0,195	0,190	1,56
10	0,500	0,485	0,470	0,355	0,345	0,335	0,210	0,205	0,200	1,56			

# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - obliczenia



Wymiary pomieszczenia wymagane do zaprojektowania oświetlenia metodą sprawności. Z lewej przekrój poprzeczny pomieszczenia, z prawej przekrój - podłużny

Wysokość $H'$	Zalecane odległości między oprawami i długości opraw oświetleniowych				
	bezpośrednim, przeważnie bezpośrednim i mieszanym		przeważnie bezpośrednim, bezpośrednim i pośrednim		
m	a w metrach	d w metrach	a w metrach	d w metrach	c w metrach
2,5	2,3	0,9	2,7	0,9	0,4-0,9
3,0	2,9	1,0	3,3	1,0	0,5-1,0
3,5	3,5	1,2	4,0	1,2	0,6-1,1
4,0	4,2	1,3	4,7	1,3	0,8-1,2
5,0	5,8	1,7	6,4	1,7	1,1-1,5
6,0	7,2	2,2	7,8	2,2	1,4-1,7

Zalecane odległości pomiędzy oprawami i elementami pomieszczenia (zgodnie z rysunkiem zamieszczonym po lewej stronie)

# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - przykład



- Dobrać (zaprojektować) oświetlenie dla sali lekcyjnej.
  - Wymiary pomieszczenia długość 14 m, szerokość 8 m, wysokość 3,25. Założono wysokość powierzchni pracy równą wysokości blatowi biurka równą 0,85 m.
  - Kolorystyka sufitu i ścian: sufit jasny, ściany średnio jasne.
  - Brak wymagań w stosunku do typu oświetlenia.
- Wymagane średnie natężenie oświetlenia - normatywnie PN-EN 12464-1 „Światło i oświetlenie - Oświetlenie miejsc pracy” (tabela) - ;  $E_{sr} = 300 \text{ lx}$ .
  - Założenie współczynników odbicia ścian, sufitu - jasne:  $\rho_{suf}=0,5$ , ściany - średnio jasne  $\rho_{sc}=0,3$
  - Powierzchnia pomieszczenia  $S=l \cdot h$ ;  $S=14 \cdot 8=112 \text{ m}^2$ .
  - Wskaźnik pomieszczenia  $w = \frac{(0,2l+0,8b)}{h}$  ;  $w = \frac{(0,2 \cdot 12+0,8 \cdot 8)}{3,25-0,85-0,4} = 4,6$  (założono 0,4 m wieszak lampy)

# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - przykład



- Dobór sprawności  $\eta$  oświetlenia z tabeli dla:
  - Założonych współczynników odbicia ścian, sufitu:  $q_{\text{suf}}=0,5$ ,  $q_{\text{sc}}=0,3$
  - Wskaźnika pomieszczenia  $w=4,6$
  - III klasy opraw tj. oświetlenia mieszanego - ( $0,4 < \Phi_d < 0,6$ );
- Wartości odczytane z tabeli sprawności oświetlenia:
  - sprawność oświetlenia  $\eta = 0,370$  (dla  $w=4,0$ ),  $\eta = 0,400$  (dla  $w=5$ ),
  - interpolacja sprawności oświetlenia dla  $w=4,6$   $\eta = 0,370+0,6\cdot(0,400-0,370)=0,388$ ,
  - współczynnik rezerwy  $K=1,49$ ,
  - dobrano wstępnie oprawę, jednak brak wartości sprawności oprawy -> przyjęto zgodnie z tabelaryczną, co skutkuje kontrolowanym błędem.
- Dobrano (na podstawie danych producenta):
  - źródło - świetlówka kompaktowa Master PLE-R33W/865 E27 – strumień 2160 lm,
  - oprawa zwieszakowa Alexa – oświetlenie mieszane klasy III (na podstawie wyglądu).
- Dokonanie obliczenia wymaganej liczby opraw

$$n = \frac{\Phi_o}{\Phi_n} = \frac{E_{sr} \cdot S \cdot K}{\Phi_{opr} \cdot \eta_{rzecz\ opr}} = \frac{300 \cdot 112 \cdot 1,49 \cdot 0,80}{2160 \cdot 0,388 \cdot 0,80} = 59,7 \approx 60 \text{ źródeł światła}$$

# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - przykład



### • Źródło

<http://www.lightswiatla/kompaktzarowki-o-podlu-electronic/929689>



### MASTER PLE-R 33W/865 E27 220-240V 1CT/6

## Specyfikacja

### Informacje podstawowe

Trzonek	E27 [ E27]
Trwałość nominalna (Nom)	15000 h

### Dane techniczne oświetlenia

kod barwy	865 [ Tb 6500K]
Strumień świetlny (Nom)	2160 lm
Strumień świetlny (znamionowy) (Nom)	2160 lm
Oznaczenie koloru	chłodna dzienna

Utrzymanie strumienia świetlnego 2000 h (Nom) 90 %

Współrzędna X chromatyczności (Nom) 313

Współrzędna Y chromatyczności (Nom) 337

### Eksploatacja i połączenie elektryczne

Częstotliwość wejściowa	50 lub 60 Hz
Power (Rated) (Nom)	33.0 W

### • Oprawa

Philips InStyle  
Oprawa sufitowa  
Alexa  
biały



<http://www.philips.pl/c-p/302063116/instyle-oprawa-sufitowa/przeglad>

## Dane techniczne

### Stylistyka i wykończenie

- Materiał: metal, tkanina
- Kolor: biały

### Dane techniczne

- Zasilanie sieciowe: Przedział 220–240 V, 50–60 Hz
- Technologia źródła światła: fluorescencyjne
- Liczba źródeł światła: 1

- Moc źródła światła w zestawie: 60 W
- Maksymalna moc wymiennego źródła światła: 60 W
- Barwa światła: ciepła biel
- Maksymalna trwałość źródła światła: 12 000 godz.
- Oprawa z możliwością przyciemniania: Nie
- LED: Nie
- Wbudowane źródło światła LED: NIE
- Klasa energetyczna dołączonego źródła światła: A godz.
- Oprawa jest zgodna ze źródłami światła klasy: A+ do E
- Współczynnik IP: IP20, ochrona przed przedmiotami powyżej 12,5 mm, brak ochrony przed wodą
- Klasa ochrony: I — uziemienie
- Moc strumienia świetlnego dołączonego źródła światła w lumenach: 5000 lm

# Obliczanie oświetlenia

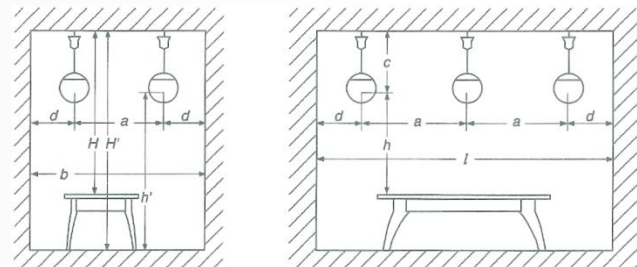
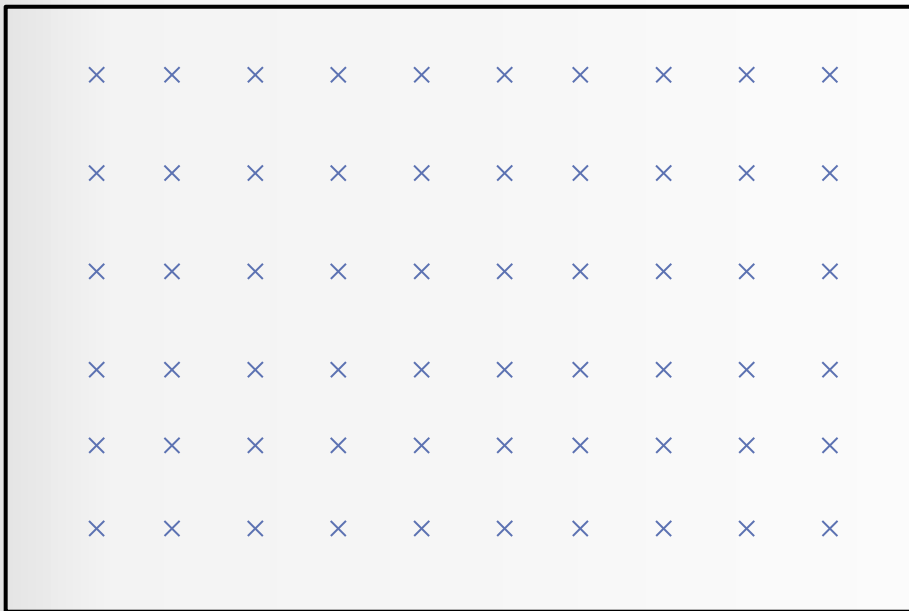
## Metoda sprawności - przykład



- Dokonanie obliczenia wymaganej liczby opraw

$$n = \frac{\Phi_o}{\Phi_n} = \frac{E_{sr} \cdot S \cdot K}{\eta} \frac{\eta_{tab\ opr}}{\eta_{rzecz\ opr}} = \frac{300 \cdot 112 \cdot 1,49}{0,388} \frac{0,80}{0,80} = 59,7 \approx 60 \text{ źródeł światła}$$

- Szkic pomieszczenia z lokalizacją źródeł światła (uwzględniając tabelę rozmieszczenia)



Wysokość H'	Zalecane odległości między oprawami i długości opraw oświetleniowych				
	bezpośrednim, przeważnie bezpośrednim i mieszanym		przeważnie bezpośrednim, bezpośrednim i pośrednim		
m	a w metrach	d w metrach	a w metrach	d w metrach	c w metrach
2,5	2,3	0,9	2,7	0,9	0,4-0,9
3,0	2,9	1,0	3,3	1,0	0,5-1,0
3,5	3,5	1,2	4,0	1,2	0,6-1,1
4,0	4,2	1,3	4,7	1,3	0,8-1,2
5,0	5,8	1,7	6,4	1,7	1,1-1,5
6,0	7,2	2,2	7,8	2,2	1,4-1,7



# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - przykład



- Wynik dla świetlówki kompaktowej Master PLE-R33W/865 E27 – strumień 2160 lm, oprawa zwieszakowa Alexa – oświetlenie mieszane klasy III (na podstawie wyglądu) – 60 źródeł/opraw

$$n = \frac{\Phi_o}{\Phi_n} = \frac{E_{Sr} \cdot S \cdot K}{\Phi_{opr} \cdot \eta} \frac{\eta_{tab\ opr}}{\eta_{rzecz\ opr}} = \frac{300 \cdot 112 \cdot 1,49}{2160 \cdot 0,388} \frac{0,80}{0,80} = 59,7 \approx 60 \text{ źródeł światła}$$

- Wymagana liczba opraw dla źródła 5000 lm dostarczanego z oprawą Alexa

$$n = \frac{\Phi_o}{\Phi_n} = \frac{E_{Sr} \cdot S \cdot K}{\Phi_{opr} \cdot \eta} \frac{\eta_{tab\ opr}}{\eta_{rzecz\ opr}} = \frac{300 \cdot 112 \cdot 1,49}{5000 \cdot 0,388} \frac{0,80}{0,80} = 25,8 \approx 26 \text{ źródeł światła}$$

- Wymagana liczba opraw dla żarówek tradycyjnych o mocy 200 W i strumieniu 2920 lm

$$n = \frac{\Phi_o}{\Phi_n} = \frac{E_{Sr} \cdot S \cdot K}{\Phi_{opr} \cdot \eta} \frac{\eta_{tab\ opr}}{\eta_{rzecz\ opr}} = \frac{300 \cdot 112 \cdot 1,49}{2920 \cdot 0,388} \frac{0,80}{0,80} = 44,2 \approx 45 \text{ źródeł światła}$$

# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - zadanie



- Dobrać (zaprojektować) oświetlenie dla sali komputerowej.
  - Wymiary pomieszczenia długość 6 m, szerokość 3 m, wysokość 2,50. Założono wysokość powierzchni pracy równą wysokości blatowi biurka równą 0,85 m.
  - Kolorystyka sufitu i ścian: sufit biały, ściany jasne.
  - Brak wymagań w stosunku do typu oświetlenia.
- Dobór: oprawa 1 dedykowana do świetlówek LED

### SmartBalance — połączenie wydajności z inteligentną konstrukcją



#### Wniosek

- Wewnętrzne instalacje oświetlenia ogólnego wymagające montażu na powierzchni lub zwieszanego

#### Specyfikacje

Typ	SM480C
Źródło światła	Philips Fortimo LED Line 1R
Moc	do wyboru
Rozdzielczość użytkowa	do wyboru
Strumień świetlny	3000 lub 3500 lm
Temperatura barwowa	3000 lub 4000 K
Wskaźnik oddawania barw	>80
Utrzymanie strumienia świetlnego - L70B50	70 000 godzin
Utrzymanie strumienia świetlnego - L80B50	50 000 godzin

Napięcie sieciowe	220-240 V AC / 50-60 Hz
Przymocowanie	Funkcja ściemniania
Wejście z układu sterującego	1-10 V lub DALI
Opcje	Oświetlenie awaryjne: 1,5 godzinne Przejęćówka do płyty montażowej mocowana do powierzchni
Material	Korpus: poliwęglan i cienka blacha Klosz: pleksa lub poliwęglan Optyka: akryl lub poliwęglan
Kolor	Biały (WH) lub srebrnoszary (SI)
Optyka	Optyka mikrosoczewkowa OLC z przezroczystego akrylu (ACC-MLO)

### Oprawa 2 dedykowana do świetlówek LED

### CoreLine Trunking — oczywisty wybór wśród technologii LED



#### CoreLine Trunking Specyfikacje

Typ	LL120X (wersja 9,4 m) LL121X (wersja 1,7 m)
Źródło światła	Philips Fortimo LED Line 1R
Moc	LL120X: 69 lub 124 W LL121X: 34,6 lub 62 W
Rozdzielczość użytkowa	2 x 20, 2 x 25, 2 x 30, 2 x 50"
Strumień świetlny	LL120X: 9000 lub 16 000 lm dla 4000 K, 15 200 lm dla 3000 K LL121X: 4500 lub 8000 lm dla 4000 K, 7600 lm dla 3000 K
Temperatura barwowa	3000 lub 4000 K
Wskaźnik oddawania barw	>80
Utrzymanie strumienia świetlnego - L70B50	70 000 godzin
Utrzymanie strumienia świetlnego - L80B50	50 000 godzin
Utrzymanie strumienia świetlnego - L90B50	25 000 godzin

Zasilacz	Wbudowany (Philips Xitanium)
Napięcie sieciowe	230 lub 240 V AC / 50-60 Hz
Przymocowanie	Przymocniasz DALI
Wejście z układu sterującego	0-10 V
Material	Korpus: stal Soczewki: pleksa lub poliwęglan (wersje do oświetlenia awaryjnego)
Kolor	Biel
Optyka	Optyka o wąskim, średnim, szerokim lub podwójnie asymetrycznym rozkroku
Klosz	Pleksa lub poliwęglan
Złączka	Integralne złącza męskie/żeńskie
Konserwacja	Nie jest wymagane czyszczenie od środka
Instalacja	Zalecana przy użyciu wieszadła i taśm (standard) Na powierzchni przy użyciu zacisków puszkowych lub zacisków (opcjonalnie do dodatkowej akcesoriów) Okablowanie próżniowe w standardzie

# Obliczanie oświetlenia

## Metoda sprawności - zadanie



- Wymagane średnie natężenie oświetlenia - (tabela) - ;  $E_{sr} = 500 \text{ lx}$ .
  - Założenie współczynników odbicia ścian, sufitu:  $\rho_{suf}=0,7$ ,  $\rho_{sc}=0,5$
  - Powierzchnia pomieszczenia  $S=l \cdot h$ ;  $S=6 \cdot 3=18 \text{ m}^2$ .
  - Wskaźnik pomieszczenia  $w = \frac{(0,2l+0,8b)}{h}$ ;  $w = \frac{(0,2 \cdot 6+0,8 \cdot 3)}{2,50-0,85} = 2,18$  (założono zawieszenie przy suficie i oświetlenie bezpośrednie w I klasie)
- Wartości odczytane z tabeli sprawności oświetlenia:
  - sprawność oświetlenia  $\eta = 0,435$  (dla  $w=2,0$ ),  $\eta = 0,485$  (dla  $w=2,5$ ),
  - interpolacja sprawności oświetlenia dla  $w=2,18$   $\eta = 0,435+0,18 \cdot (0,485-0,435)/2=0,440$ ,
  - współczynnik rezerwy  $K=1,28$ ,
- Dobrano oprawy Philips z dedykowanym źródłem Smart Balance z Fortimo LED Line 1R - 3500 lm (34 W), CoreLine Trunking - 16000 lm (124 W)

- Dokonanie obliczenia wymaganej liczby opraw

$$n = \frac{\Phi_o}{\Phi_n} = \frac{E_{sr} \cdot S \cdot K}{\Phi_{opr} \cdot \eta} \frac{\eta_{tab\ opr}}{\eta_{rzecz\ opr}} = \frac{500 \cdot 18 \cdot 1,27 \cdot 0,75}{3500 \cdot 0,440 \cdot 0,75} = 7,4 \approx 8 \text{ źródeł światła – Smart Balance}$$

$$n = \frac{\Phi_o}{\Phi_n} = \frac{E_{sr} \cdot S \cdot K}{\Phi_{opr} \cdot \eta} \frac{\eta_{tab\ opr}}{\eta_{rzecz\ opr}} = \frac{500 \cdot 18 \cdot 1,27 \cdot 0,75}{16000 \cdot 0,440 \cdot 0,75} = 1,2 \approx 2 \text{ źródła światła – CoreLine Trunking}$$

# Obliczanie oświetlenia

## Metody komputerowe



- Techniki komputerowe umożliwiają:
  - znaczne poszerzenie wariantów rozwiązań projektowych,
  - pozwalają na optymalizację zadania projektowego z punktu widzenia różnych celów (np. efektywności energetycznej),
  - uzyskuje się projekty wyższej jakości,
  - skracany jest czas projektowania.
- W Polsce najpopularniejszymi programami do obliczania oświetlenia elektrycznego są programy:
  - DIALux,
  - Relux,
  - Calculux.
- Programy występują w wielu wersjach, do projektowania oświetlenia wewnątrz i ulic, fasad budynków i iluminacji artystycznych.
- Pierwsze wersje programów były w połowie lat 90-tych, po których nastąpił znaczący rozwój w latach 2000.
- Obecnie jednym z najbardziej zaawansowanych programów jest DIALux.

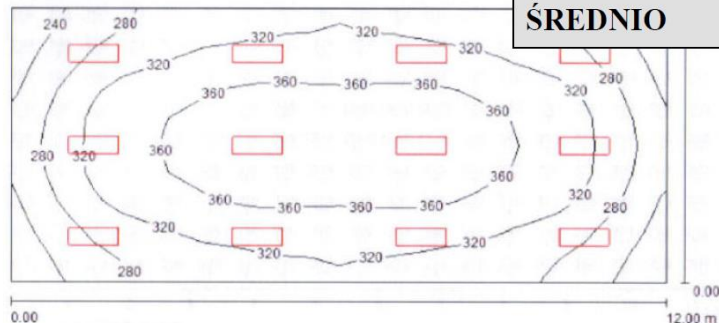
# Obliczanie oświetlenia

## Metody komputerowe



- Nie znamy metody stosowanej w programach.
- Obok wyniki obliczeń programami komputerowymi oraz metodą punktową oświetlenia tego samego pomieszczenia.
- Wysokość  $h=4,5\text{m}$ ; długość  $P=12\text{m}$ , szerokość  $Q=5\text{m}$ , płaszczyzna pracy na wysokości  $0,85\text{m}$ , oprawy  $2 \times 39\text{W}$  (podwójna świetlówka) o typowej krzywej rozsyłu, wysokość zawieszenia oprawy przy suficie  $0,5\text{m}$ .

**W programach  
wybrano optymalną  
liczbę 12 opraw.**

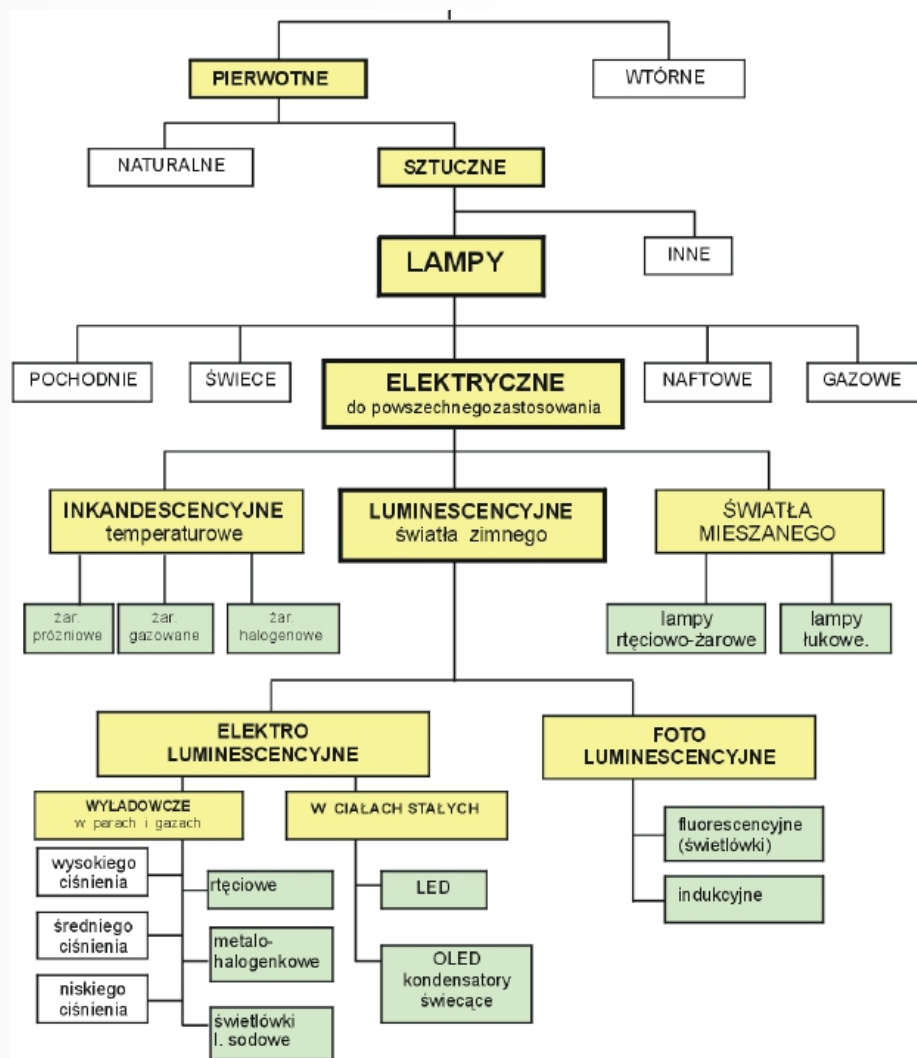


	$E_{sr}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}/E_{sr}$
DIALUX	323	231	385	0,72
CALCULUX	320	209	385	0,65
RELUX	287	177	348	0,62
Metoda punktowa	300	195	380	0,65
<b>ŚREDNIO</b>	<b>308</b>	<b>203</b>	<b>373</b>	<b>0,66</b>

# Źródła światła

## Klasyfikacja źródeł

- **Sztuczne źródła światła** – światło otrzymuje się w wyniku przemiany innego rodzaju energii, np. energii elektrycznej, chemicznej...
- **Inkandescencja** (promieniowanie temperaturowe) - wysyłanie promieniowania w wyniku ciepłego wzbudzenia atomów lub cząsteczek. Prąd przepływa przez ciało stałe lub ciecz i rozgrzewa je do wysokiej temperatury. Cząsteczki wprowadzone w drgania i ruch obrotowy, osiągają wyższy poziom energetyczny, zostaje wyemitowany kwant promieniowania. Częstotliwość drgań jest różna, więc widmo jest widmem ciągłym.
- **Luminescencja** - wysyłanie promieniowania powstającego w wyniku wzbudzenia atomów lub cząsteczek. Luminescencja jest charakterystyczna dla danego rodzaju ciała promieniującego.  
**Elektroluminescencja** – kosztem energii pola elektrycznego. **Fotoluminescencja** – emisja przez atomy lub cząsteczki wzbudzone fotonami promieniowania ultrafioletowego UV, promieniowania widzialnego VIS lub podczerwonego IR.



# Źródła światła

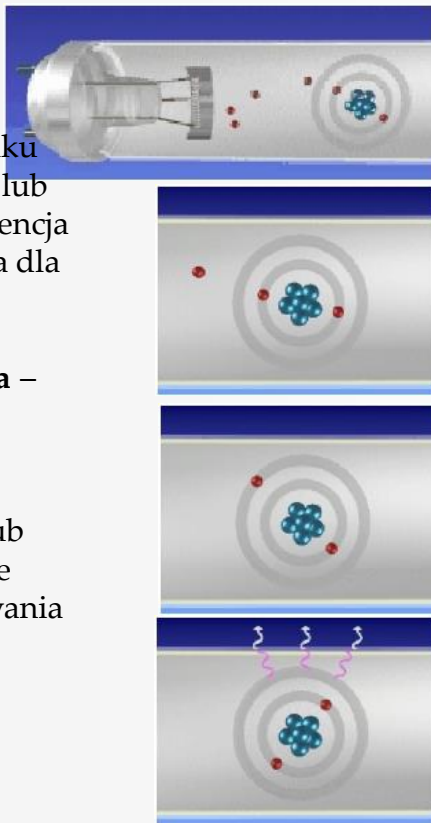
## Klasyfikacja źródeł - Luminescencja



- **Luminescencja** - wysyłanie promieniowania powstającego w wyniku wzbudzenia atomów lub cząsteczek. Luminescencja jest charakterystyczna dla danego rodzaju ciała promieniującego.

**Elektroluminescencja** – kosztem energii pola elektrycznego.

**Fotoluminescencja** – emisja przez atomy lub cząsteczki wzbudzone fotonami promieniowania ultrafioletowego UV, promieniowania widzialnego VIS lub podczerwonego IR.



Pod wpływem napięcia przyłożonego do elektrod świetlówki następuje przepływ prądu (ruch elektronów)

Poruszający się pomiędzy elektrodami elektron trafia na swojej drodze na atom rtęci.

Poruszający się elektron zderza się z elektronem krążącym na orbicie wokół jądra atomu rtęci i wybija go na wyższą orbitę.

Wybity na wyższą orbitę elektron wraca na orbitę podstawową i oddaje nadmiar wcześniej otrzymanej energii w postaci promieniowania elektromagnetycznego, jest to promieniowanie ultrafioletowe (elektroluminescencja). Promieniowanie ultrafioletowe pada na luminofor wzbudza jego cząsteczki w wyniku czego cząsteczki luminoforu wysyłają promieniowanie widzialne (fotoluminescencja).

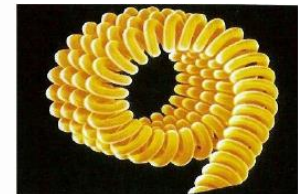
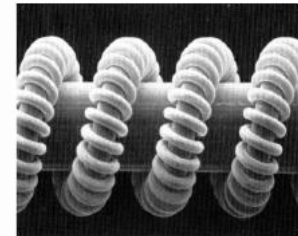
# Źródła światła

## Żarówka

- **Żarnik** - wykonany z wolframu (wysoka temperatura topnienia 3350 °C, mała prędkość parowania) w postaci jednoskrętki lub dwuskrętki.
- Główny problem to parowanie wolframu, które prowadzi do przepalenia żarnika.
- Strumień świetlny i skuteczność żarówki rosną wraz z temperaturą żarnika, lecz równocześnie maleje trwałość, bo zwiększa się parowanie wolframu.
- **Żarówki gazowane** - gaz „oblepia” żarnik i zmniejsza parowanie, więc można podnieść temperaturę żarnika nie zmniejszając trwałości. Stosuje się następujące rodzaje gazów (im cięższy gaz tym lepszy): argon, azot, mieszanina: argon 86% (cięższy) i azot 14% (odporny na przebicie), krypton.
- **Bańka** - otacza żarnik i stanowi szczelną ochronę przed kontaktem z otoczeniem. Bańka np. ze szkła zwykłego sodowo-wapniowego. Żarówki, których bańki muszą wytrzymać wyższą temperaturę (np. żarówki halogenowe) budowane są z bardziej odpornego szkła kwarcowego (tlenek krzemu).
- **Trzonek** - najczęściej trzonki gwintowe (gwint Edisona): E14, E27, E40 lub bagnetowe: B15, B22. Żarówki halogenowe posiadają wiele innych odmian trzonków, np. obustronnie trzonkowane R7s, trzonki kołkowe GY6.35, G4, G53, GU5.3, GU4, G9, GU10, GZ10



Budowa żarówki  
głównego szeregu



Dwuskrętka - drut wolframowy nawijany dwa razy na drut molibdenowy



# Źródła światła

## Zarówka „zwykła”

P [W]	15-25-40-60-75-100-150-200-300-500-1000
U [V]	110-125-150-220-230-240-250
Bańki	przeźroczyste, matowe mleczne, zwierciadlane kolorowe
Trzonki	gwintowe: E14, <u>E27</u> , E40 bagnetowe: B15, B22
$\eta$ [lm/W]	próżniowe 6 – 9 [lm/W] gazowane 10 – 18 [lm/W]  im większa moc tym większa skuteczność świetlna: 40W – 420 lm – 10.5 lm/W 60W – 710 lm – 11.8 lm/W 100W – 1360 lm – 13.6 lm/W
Tb	2500 K – 3000 K (wartość typowa 2700 K)
Ra	100
$\tau$ [h]	trwałość średnia 1000 h trwałość gwarantowana 700 h

## halogenowa

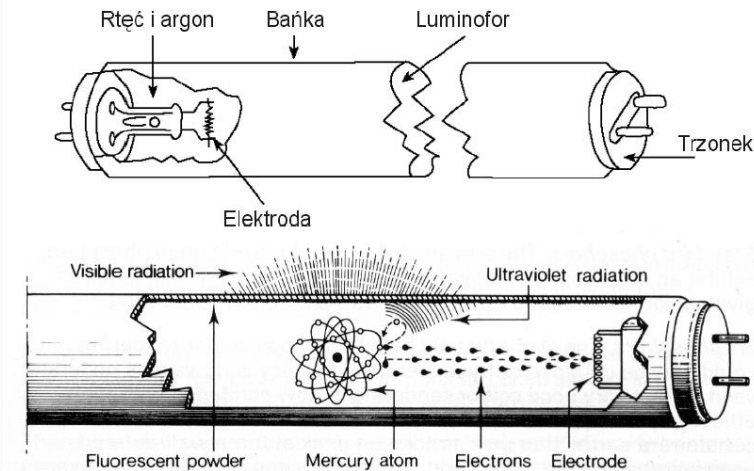
P [W]	5 – 2000
U [V]	6 – <u>12</u> – 24 – <u>230</u>
Bańki	bez dodatkowej osłony (bańka pojedyncza) z dodatkową osłoną (bańka podwójna)
Trzonki	gwintowe: E14, E27 jednostronnie trzonkowane: G4, GY6.35, GU5.3, GU10, GZ10 dwustronnie trzonkowane: R7s
$\eta$ [lm/W]	niskonapięciowe 12 – 26 [lm/W] na napięcie sieciowe 10 – 24 [lm/W]  im większa moc tym większa skuteczność świetlna:
Tb	3200 K
Ra	100
$\hat{o}$ [h]	trwałość średnia 1500 – 2000 – 3000 – 5000 h

# Źródła światła

## Lampy fluorescencyjne - świetlówki



- **Elektrody** - z drutu wolframowego w postaci dwuskładki, są pokryte emiterem tlenkowym, który obniża pracę wyjścia elektronów i tym samym ułatwia zapłon. W trakcie pracy świetlówki emiter ulega odparowaniu.
- **Argon** - gaz pomocniczy, ciśnienie ok. 2500 Pa (0.025 atm).
- **Rtęć** - dozowana w postaci metalicznej, odparowuje pod wpływem zwiększonej temperatury, pary rtęci osiągają ciśnienie ok. 0.6 – 1.0 Pa w temperaturze ok. 45 °C. O świetlówkach mówimy, że są to lampy rtęciowe z niskim ciśnieniem par rtęci. 90% mocy promienistej wypromieniowana jest przy długościach fali 185 nm i 254 nm (tzw. linie rezonansowe).
- **Luminofor** - pokrywa wewnętrzną powierzchnię bańki, wytwarza promieniowanie widzialne, pobudzany jest do świecenia tzw. promieniowaniem rezonansowym rtęci z zakresu UV: 185nm i 254nm. Ciśnienie par rtęci musi mieć taką wartość, aby promieniowanie linii rezonansowych rtęci miało największą skuteczność.



- **Bańka** - ze szkła zwykłego sodowo-wapniowego domieszkowana tlenkiem żelaza dla kontroli transmisji promieniowania ultrafioletowego. Oznaczenia i średnice rur świetlówek liniowych:
  - T5 (średnica: 5/8 cal) lub T16 (średnica: 16 mm),
  - T8 (średnica: 8/8 cal) lub T26 (średnica: 26 mm),
  - T12 (średnica: 12/8 cal) lub T38 (średnica: 38 mm).

# Źródła światła

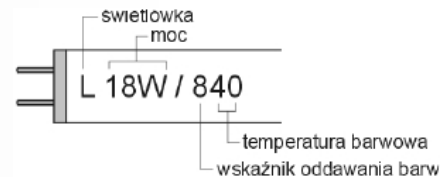
## Lampy fluoroscencyjne - świetlówki



Typ luminoforu	Charakterystyka	Kod	Ra	$\eta$ [lm/W]
Standardowe (dwupasmowe)	<u>Przeciętna skuteczność świetlna i przeciętne oddawanie barw.</u> Są to luminofory, które posiadają dwa aktywne składniki i tworzą charakterystyczny rozkład widmowy z dwoma maksimumami (wierzchołkami).	OSRAM 765 (10)* 640 (20)* 535 (23)* 740 (25)* 530 (30)*  PHILIPS 640 (33)* 765 (54)*	od 50 do 79	od 65 do 78
Trójpasmowe	<u>Największa skuteczność świetlna i dobre oddawanie barw.</u> Aktywne składniki tych luminoforów zawierają tzw. pierwiastki ziem rzadkich i tworzą rozkład widmowy z kilkoma maksimumami (wierzchołkami) w trzech pasmach widma: czerwonym, zielonym i niebieskim	seria 80 827 830 840 865	od 80 do 89	od 67 do 94
Wielopasmowe	<u>Przeciętna skuteczność świetlna i najwierniejsze oddawanie barw.</u> Luminofory te są mieszaniną wielu składników, które tworzą rozkład widmowy pokrywający cały zakres widzialny.	seria 90 930 940 950 965	od 90 do 100	od 50 do 71

Charakterystyka świetlówek liniowych pod kątem luminoforu

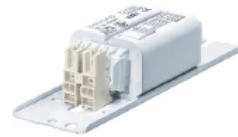
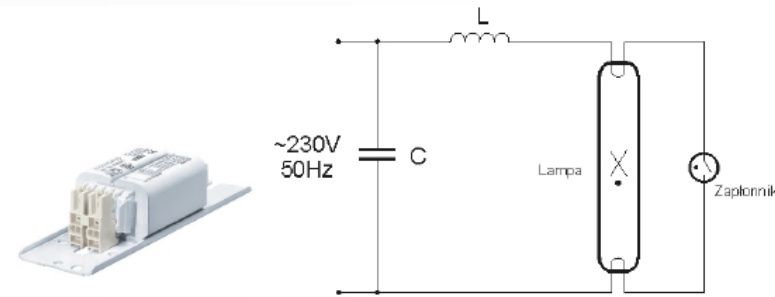
Oznaczenia świetlówek



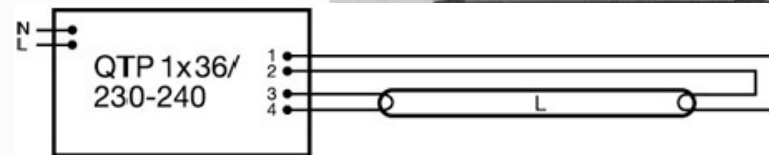
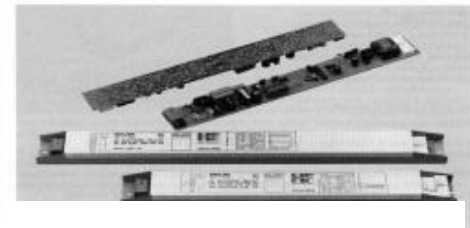
# Źródła światła

## Świetlówki - zasilanie

- Świetlówka posiada nieliniową charakterystykę napięciowo-prądową, w związku z tym należy stosować elementy stabilizujące punkt pracy a pełniące rolę ograniczania prądu płynącego przez lampę (tzw. stateczniki).
- **Stateczniki indukcyjne** - postaci dławików z rdzeniem żelaznym (na rdzeń żelazny nawinięte są zwoje cienkiego, miedzianego drutu).
- **Stateczniki elektroniczne** - częstotliwość napięcia na lampie pracującej ze statecznikiem elektronicznym wynosi ok. 40 kHz (od ok. 40 do ok. 100kHz), większa skuteczność świetlna lampy, zmniejszenie tętnienia strumienia, zwiększenie trwałości, zmniejszenie strat mocy, zapłon bez migotania,
- bardziej awaryjne niż stateczniki indukcyjne,
- możliwość regulacji strumienia,
- analogowe: a) bez regulacji strumienia; b) z regulacją strumienia, Dimmbar z interfejsem 1-10V
- cyfrowe: a) Dimmbar z interfejsem DALI; b) cyfrowe z innym interfejsem, np. Tridonic DSI.



Statecznik indukcyjny – układ pracy świetlówki ze statecznikiem indukcyjnym i zapłonnikiem tłącym, kondensator C do poprawy współczynnika mocy



Statecznik elektroniczny – widok i schemat układu pracy świetlówki ze statecznikiem elektronicznym.



# Źródła światła - Świetlówki kompaktowe

## Kompaktowe niezintegrowane



Świetlówki kompaktowe niezintegrowane:  
Dulux D (G24d-...), Dulux S (G23-...), Dulux T (GX24q-...)

zestawienie parametrów świetlówek niezintegrowanych

P: 5 – 120 W

$\Phi$ : 250 – 9000 lm

$\eta$ : 50 – 87 lm/W

Ra: 80 – 89, >90

## Kompaktowe zintegrowane



zestawienie parametrów świetlówek zintegrowanych

P: 3 – 27 W

$\Phi$ : 100 – 1700 lm

$\eta$ : 33 – 65 lm/W

Ra: 80 – 89

Świetlówki kompaktowe zintegrowane:  
Dulux EL (E27), Dulux EL CLASSIC (E27)

Przykładowe oznaczenia:

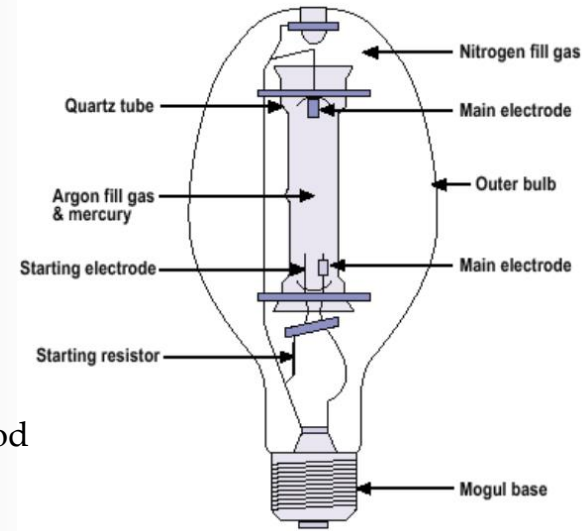
Dulux D – dwa kołki, zintegrowany starter

Dulux D/E – cztery kołki, do pracy w układach zasilania awaryjnego i statecznikami elektronicznymi

# Źródła światła

## Lampy rtęciowe

- **Jarznik** ze szkła kwarcowego odpornego na wysoka temperaturę i na działanie par rtęci.
- **Elektrody** - na rdzeniu wolframowym w dwóch warstwach nawinięty jest drut wolframowy, naniesiona jest pasta emisyjna ułatwiająca zapłon lampy. Oprócz elektrod głównych w jarzniku znajdują się elektrody pomocnicze (jedna lub dwie), które wykorzystywane są w czasie zapłonu.
- **Wypełnienie jarznika** - rtęć i argon. Wyładowanie w parach rtęci, argon stanowi gaz pomocniczy. Rtęć dozowana w postaci metalicznej, odparowuje pod wpływem zwiększonej temperatury, pary rtęci osiągają ciśnienie od 2 do 15 atm.
- **Bańka** w kształcie eliptycznym wykonana ze szkła zwykłego sodowo-wapniowego. Lampy o mocy 250W i większej mają bańki wykonane z bardziej twardego i odpornego na wysoka temperaturę szkła borokrzemianowego. Wewnątrz bańki znajduje się gaz. Najczęściej jest to mieszanina argonu i azotu

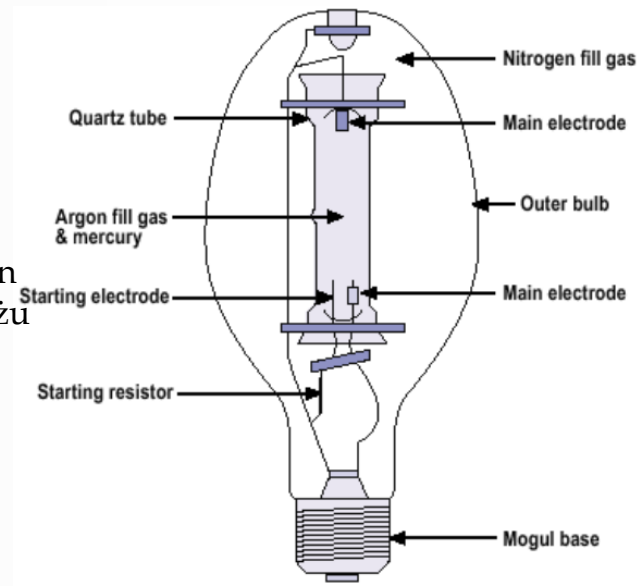


**Luminofor** – bez luminoforu widmo prążkowe z niewielkim udziałem widma ciągłego. Luminofor, który pokrywa wewnętrzną powierzchnię bańki odpowiada za wytworzenie promieniowania tylko w zakresie czerwonym. Dwa rodzaje luminoforów: - standard (mała wartość wskaźnika oddawania barw  $R_a \approx 45$ ), - komfort (wyższa wartość wskaźnika oddawania barw  $R_a = 50-60$ ) Temperatura barwowa 3300 K – 4200 K.

# Źródła światła

## Lampy rtęciowe

- **Rozruch** - lampy rtęciowe pracują bez dodatkowego zapłonika. Zapłon odbywa się za pomocą elektrod pomocniczych umieszczonych w pobliżu elektrod głównych. Kiedy rezystancja przestrzeni wyładowczej będzie mniejsza od rezystancji opornika znajdującego się wewnątrz bańki, wyładowanie przenosi się między elektrody główne.
- **Znamionowy punkt pracy** osiągany jest po kilku minutach (ok. 4 min). Prąd rozruchowy ok. 1.5 razy większy od prądu znamionowego. Te właściwości lampy należy uwzględnić przy doborze zabezpieczenia obwodu. **Ponowny rozruch** - możliwy po ostygnięciu lampy. Czas ponownego rozruchu ok. 5 min.



Zestawienie  
parametrów  
lamp rtęciowych

P [W]	50 – 1000
U [V]	230
Bańki	Eliptyczne, przezroczyste lub pokryte luminoforem
Trzonki	gwintowe: E27, E40
$\eta$ [lm/W]	36 – 60 [lm/W] im większa moc tym większa skuteczność świetlna:
Ra	36 – 60
$\tau$ [h]	trwałość użytkowa 5000 – 8000 h

# Źródła światła

## Lampy metahalogenkowe

- **Lampy metalohalogenkowe** to lampy rtęciowe ze specjalnymi domieszkami. Do jarznika dodaje się halogenki metali (tal, ind, dysproz) co skutkuje poprawą rozkładu widmowego. Zwiększa się skuteczność świetlna i wskaźnik oddawania barw.
- **Elektrody** z rdzeniem wolframowym bez emitera. Brak elektrod pomocniczych.
- **Wypełnienie jarznika** - rtęć, halogenki metali (związki metali i chlorowców) i gaz pomocniczy (neon, argon lub krypton). Wyładowanie w parach rtęci i parach halogenków.
- **Rozkład widmowy** - widmo prążkowe z niewielkim udziałem widma ciągłego. Rozkład i ilość prążków zależy od składu wypełnienia jarznika. Brak luminoforu.
- **Bańka** w różnych kształtach, tabularne, eliptyczne. Produkowane są również lampy bez zewnętrznej bańki. Lampy kompaktowe posiadają zazwyczaj bańkę wykonaną ze szkła kwarcowego. Lampy większej mocy posiadają bańkę wykonaną ze szkła twardego. Wewnątrz bańki znajduje się gaz. Najczęściej jest to mieszanina argonu, kryptonu i azotu.



**Brak luminoforu.** Jeżeli występuje białe pokrycie bańki to jest to warstwa rozpraszająca a nie luminofor.

**O barwie** i oddawaniu barw decyduje skład wypełnienia jarznika:

- barwa: 3000 K – 6000 K

- oddawanie barw Ra: 65 (lampy wyższych mocy) – 96 (lampy kompaktowe)



# Źródła światła

## Lampy metahalogenkowe



Podstawowe parametry  
wybranych typów lamp  
metahalogenkowych

Typ lampy	Moc [W]	Strumień świetlny [lm]	Skuteczność świetlna [lm/W]	Temperatura barwowa [K]	Wskaźnik oddawania barw Ra
Praca ze statecznikiem do lamp rtęciowych / metalohalogenkowych					
HPI-T Plus 250W	245	19000	77	4500	65
HPI-T Plus 400W	390	35000	90	4300	65
Praca ze statecznikiem do lamp sodowych					
HPI-T Plus 250W	295	23000	78	4000	65
HPI-T Plus 400W	445	38000	85	4000	65

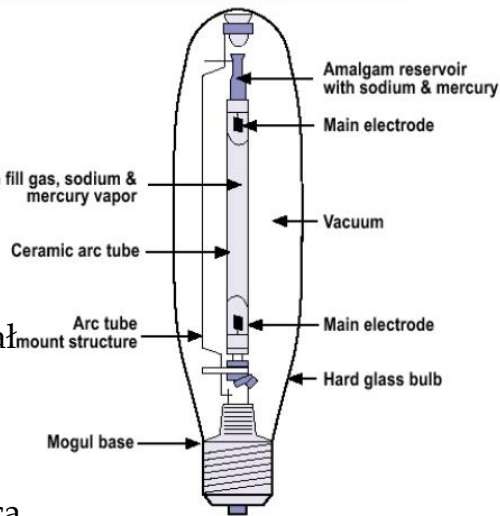
Zestawienie parametrów  
lamp metahalogenkowych

P [W]	20 – 2000 (lampy specjalne mogą posiadać większą moc)
U [V]	230
Bańki	eliptyczne, tubularne
Trzonki	gwintowe: E27, E40, kołkowe: G12, RX7s
$\eta$ [lm/W]	72 – 108 [lm/W]
Ra	65 – 96
$\tau$ [h]	trwałość użytkowa ok. 5 000 – 10 000 h

# Źródła światła

## Lampy sodowe wysokopr.

- Jarznik wykonany z polikrystalicznego tlenku aluminium (ceramika), produkowany od lat 60-tych bo wcześniej nie znaleziono takiego materiału na jarznik, który by wytrzymał wysoką temperaturę (1200 – 1300 0C) i niszczące działanie sodu.
- Elektrody- na rdzeń wolframowy w dwóch warstwach nawinięty jest drut wolframowy i pasta emisyjna ułatwiająca zapłon lampy. Brak elektrod pomocniczych.
- Wypełnienie jarznika - rtęć, sód i gaz pomocniczy (argon lub ksenon). Wyładowanie w parach sodu i częściowo w parach rtęci. Zapłon następuje w gazie pomocniczym, a następnie odparowują rtęć i sód, które przejmują rolę w wyładowaniu.
- Rozkład widmowy. Widmo prążkowe z niewielkim udziałem widma ciągłego. Głównie dwie linie rezonansowe sodu 589 i 589.6 nm (barwa żółta) plus podkład ciągły i inne, słabsze linie w zakresie widzialnym.
- Brak luminoforu. Żółta barwa światła  $T_b=2000K$ . Oddawanie barw jest niewłaściwe  $R_a=25$ .



**Oddawanie barw** - brak luminoforu. Jeżeli występuje białe pokrycie bańki to jest to warstwa rozpraszająca a nie luminofor. O barwie i oddawaniu barw decyduje ciśnienie par sodu:

- barwa: 2000 K – 2500 K
- oddawanie barw  $R_a$ : 23 (niższe ciśnienie par sodu) – 83 (wyższe ciśnienie)

# Źródła światła

## Lampy sodowe wysokoprężne



Podstawowe parametry  
wybranych typów lamp  
sodowych

Typ lampy	Moc [W]	Strumień świetlny [lm]	Skuteczność świetlna [lm/W]	Temperatura barwowa [K]	Wskaźnik oddawania barw Ra
NAV-T 250W	250	27000	108	2100	25
NAV-T 250W 4Y	250	27000	108	2100	25
NAV-T 250W SUPER 4Y	250	33000	132	2000	25
SON-T Pro 250	250	28000	112	2000	25
MASTER SON-T PIA Plus 250	250	33200	133	2000	25

NAV – Osram, SON – Philips, HS – oznaczenie uniwersalne

Zestawienie parametrów  
lamp sodowych

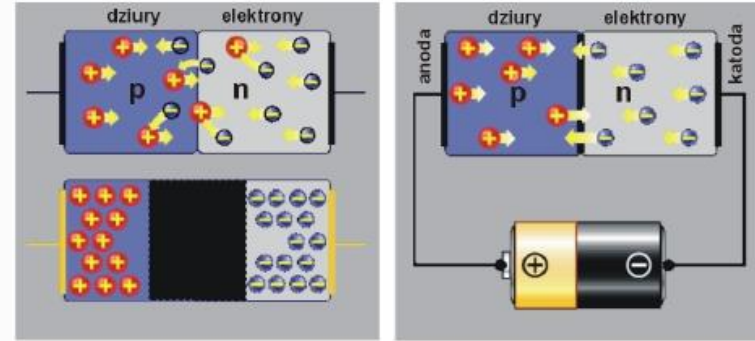
P [W]	50 – 1000
U [V]	230
Bańki	eliptyczne, tubularne, przezroczyste lub z powłoką rozpraszającą
Trzonki	gwintowe: E27, E40
$\eta$ [lm/W]	50 – 150 [lm/W] im większa moc tym większa skuteczność świetlna
Ra	25 - 83
$\tau$ [h]	trwałość użytkowa 10000 – 16000 h

# Źródła światła

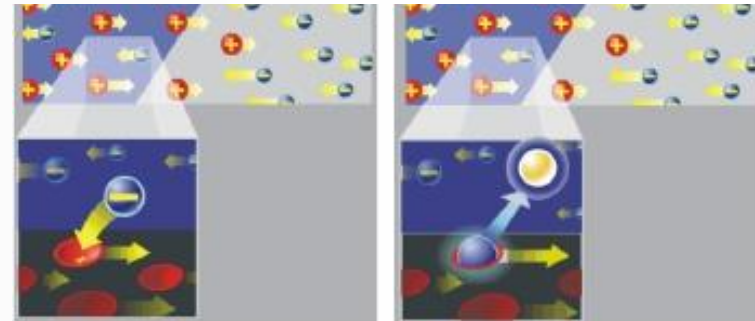
## Źródła LED (light emitting diode)



- LED – element półprzewodnikowy zawierający złącze P-N, emitujący promieniowanie optyczne po wzbudzeniu złącza prądem elektrycznym (elektroluminescencja).
- Diody LED posiadają **złącze** dwóch warstw materiałów półprzewodnikowych typu p i typu n (materiał domieszkuje się niewielką ilością innego materiału, który posiada o jeden elektron więcej lub o jeden mniej w paśmie walencyjnym),
  - **po przyłożeniu napięcia** do złącza p-n w kierunku przewodzenia (+ p, -n) do materiału n będą wstrzykiwane elektrony wzbudzone polem elektrycznym, a do p dziury,
  - dziury i elektrony w paśmie walencyjnym będą **unoszone** w kierunku złącza siłami zewnętrznego pola elektrycznego
  - w obszarze złącza p-n wzbudzone elektrony **rekombinują** z dziurami i pozbywają się nadwyżki energii emitując foton,
  - wartość energii fotonu emitowanego przez elektron w czasie rekombinacji (**długość fali** emitowanego promieniowania) jest w przybliżeniu równa różnicy energii między poziomem wzbudzenia, a poziomem podstawowym



Dziury i elektrony w półprzewodniku typu p i typu n.  
Złącze p-n spolaryzowane w kierunku przewodzenia



Emisja fotonu zachodząca podczas rekombinacji elektronu z dziurą (jonem dodatnim)

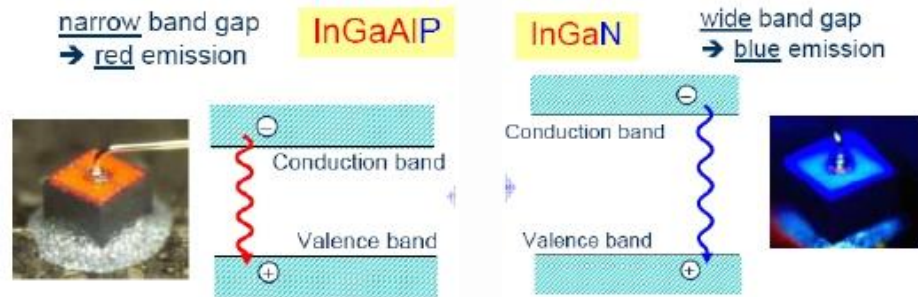
# Źródła światła

## LED - barwa

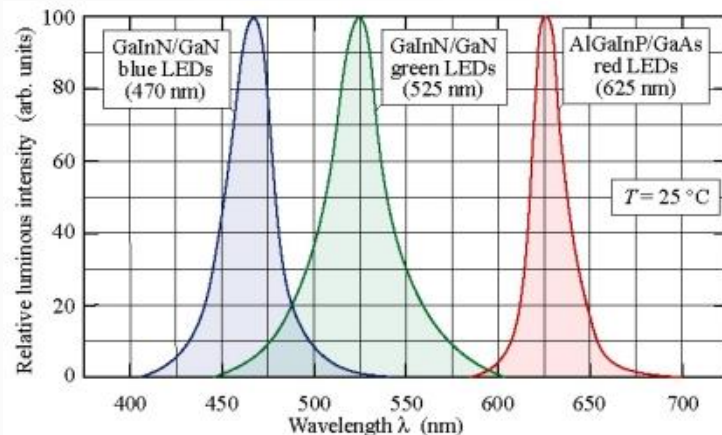
- Istnieją półprzewodniki o regulowanym udziale procentowym poszczególnych pierwiastków, które posiadają różne poziomy energetyczne co daje możliwości budowania diod o różnych rozkładach widmowych

Barwa promieniowania diod zbudowanych z różnych materiałów

Materiał		Barwa promieniowania
AlInGaP	glin, ind, gal, fosfor	czerwona, pomarańczowa, żółta
InGaN	ind, gal, azot	zielona, niebieska
GaAsP	gal, arsen, fosfor	czerwona, pomarańczowa, żółta
AlGaAs	glin, gal, arsen	czerwona



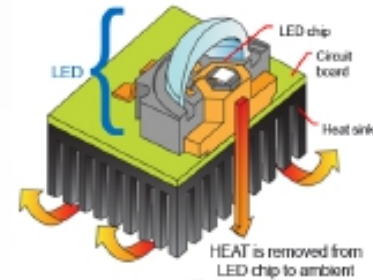
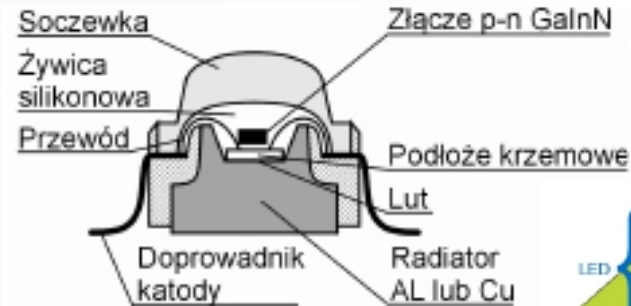
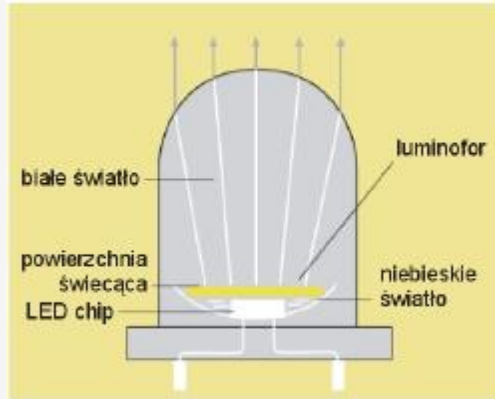
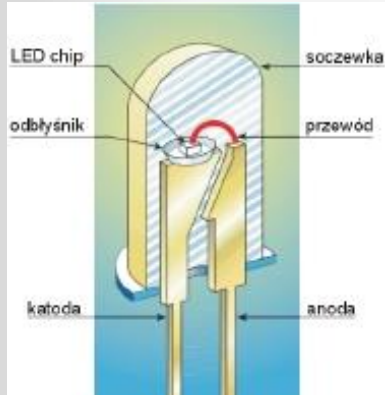
Wytwarzanie światła czerwonego i światła niebieskiego w diodach LED. Ilustracja przerwy energetycznej pomiędzy pasmem walencyjnym i przewodzenia



Typowe rozkłady widmowe diod

# Źródła światła

## LED - budowa



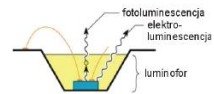
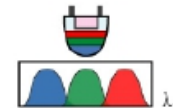
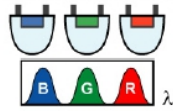
Budowa diody małej mocy wykonanej w tzw. technologii 5mm z soczewką (montaż przewlekany). Dioda światła chromatycznego (z lewej) oraz dioda światła białego (z prawej)

Budowa diody dużej mocy (1 – 3 W) w technologii montażu powierzchniowego (SMD Surface Mounted Devices). Złącze p-n zamontowane na podstawie metalowej odprowadzającej ciepło (heatsink)

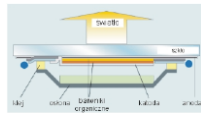
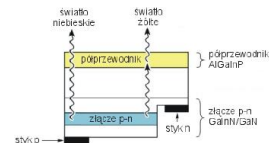
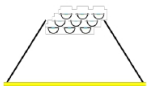
# Źródła światła

## Diody światła białego

- **Mieszanie addytywne:** w jednej obudowie umieszcza się dwie, trzy lub cztery chipy LED (złącza p-n zbudowane z różnych materiałów); światło wychodzące z obudowy jest mieszaniną kilku promieniowań.
- **Luminofor:** dioda ze złączem p-n promieniującym w zakresie UV (370 nm- 410 nm), luminofor trójpasмовy lub układ kilku warstwowo nałożonych luminoforów RGB, które wytwarzają promieniowanie widzialne.
- **Dioda niebieska z luminoforem** (metoda hybrydowa): złącze p-n diody światła niebieskiego InGaN (450÷470nm) pokryte jest luminoforem, luminofor posiada pasmo emisji w zakresie barwy żółtej, luminofor częściowo przepuszcza promieniowanie niebieskie złącza p-n, w mieszaninie addytywnej światła niebieskiego i żółtego powstaje barwa biała.
- **Diody niebieskie i oddalony luminofor:** - złącze p-n światła niebieskiego InGaN (450-460 nm) pokryte luminoforem, luminofor posiada pasmo emisji w zakresie barwy żółtej, luminofor częściowo przepuszcza promieniowanie niebieskie, w mieszaninie addytywnej światła niebieskiego i żółtego powstaje białe.
- **Konwersja** z zastosowaniem półprzewodników **PRS-LED** (photon recycling semiconductor LED) - powyżej aktywnego obszaru złącza p-n (wytwarzającego światło niebieskie) umieszcza się warstwę półprzewodnika, półprzewodnik ma pasmo zabronione odpowiadające światłu żółtemu, fotony promieniowania niebieskiego wzbudzają atomy półprzewodnika a po rekombinacji emisja światła żółtego, światło białe powstaje w mieszaninie addytywnej światła niebieskiego i żółtego.
- **Konwersja** z zastosowaniem barwników organicznych - **OLED** (Organic Light Emitting Diode) - po przyłożeniu napięcia do polifenylenowiny (polimer) emituje on światło zielone lub żółtozielone, ...



Blue LEDs + Reflector & Phosphor Disc



# Źródła światła

## LED - właściwości



- **Skuteczność świetlna:** stale rośnie, obecnie niektóre diody światła białego mają skuteczność świetlną przekraczającą 150 lm/W; zazwyczaj im większa moc tym niższa skuteczność świetlna.
- **Trwałość:** początkowo podawano, że trwałość diod świecących wynosi 100.000 h, obecnie podaje się, że diody wysokiej mocy (1÷5W) mają trwałość do 50.000 h, jednak jest to trwałość użytkowa tzn., że po tym czasie przyjmuje się, że strumień świetlny diody spada do wartości 50% strumienia początkowego
- **Strumień świetlny:** diody są obecnie źródłami światła o małej mocy (od kilku [mW] do kilku [W]); z małej mocy nawet przy stosunkowo wysokiej skuteczności świetlnej nie można uzyskać wysokiej wartości strumienia, prognozuje się wzrost strumienia diod świecących.
- **Wskaźnik oddawania barw:** diody niebieskie z luminoforem mają obecnie niezadowalający wskaźnik oddawania barw (często poniżej 80), istnieją przesłanki osiągnięcia dobrych wskaźników oddawania barw;
- **Temperatura barwowa:** problemem jest uzyskanie barw ciepłych (w technologii z luminoforem); istnieją teoretyczne przesłanki osiągnięcia dowolnych temperatur barwowych szczególnie przez diody RGB;
- **Wytrzymałość mechaniczna:** charakteryzują się wysoką odpornością na wstrząsy i udary mechaniczne, brak ruchomych elementów, brak kruchych elementów,
- **Rozruch:** krótki czas włączenia 100ns i wyłączenia 200ns, możliwe jest zasilanie z wykorzystaniem sterowania szerokością wypełnienia impulsu co umożliwi regulowanie strumienia,
- **Inne:** bezpieczne w użytkowaniu (zasilane najczęściej napięciem 12V), brak iskrzenia, które może być przyczyną wybuchu w środowiskach zagrożonych, wybuchem, nie zawierają trujących substancji



# Źródła światła

## LED – produkty 1/2



- **Fortimo LED SLM (1100-4500 lm)**
  - zastępują świetłówki kompaktowe, żarówki halogenowe, kompaktowe lampy metahalogenkowe;
  - do budowy projektorów i opraw typu downlight



Commercial name	Module efficacy*	Color temperature	Color rendering
	lm/W	K	CRI
<b>LES size: 13 mm - Typical lm output: 1100 lm</b>			
Fortimo SLM C 827 1204 L13 2024 G5	135	2700	>80
Fortimo SLM C 830 1204 L13 2024 G5	143	3000	>80
Fortimo SLM C 835 1204 L13 2024 G5	149	3500	>80
Fortimo SLM C 840 1204 L13 2024 G5	156	4000	>80
Fortimo SLM C 927 1204 L13 2024 G5	114	2700	>90
Fortimo SLM C 930 1204 L13 2024 G5	119	3000	>90
Fortimo SLM C 935 1204 L13 2024 G5	124	3500	>90
Fortimo SLM C 940 1204 L13 2024 G5	131	4000	>90
<b>LES size 13 mm - Typical lm output: 2000 lm</b>			
Fortimo SLM C 827 1205 L13 2024 G5	125	2700	>80

# Źródła światła

## LED – produkty 2/2

- Fortimo LED Line (650-4000 lm)  
- zastępują świetlówki liniowe



Type	Commercial name	Light output	Module efficacy	Color rendering	Color consistency	Lifetime
		lm	lm/W @ Tc Nom	CRI	SDCM	hrs
1R	Fortimo LED Line 1ft 1100lm 830 1R HV3	1046	145	>80	3	>50,000
	Fortimo LED Line 1ft 1100lm 840 1R HV3	1100	152	>80	3	>50,000
	Fortimo LED Line 1ft 1100lm 850 1R HV3	1100	152	>80	3	>50,000
	Fortimo LED Line 1ft 1100lm 930 1R HV3	1000	108	>90	3	>50,000
	Fortimo LED Line 1ft 1100lm 940 1R HV3	1100	120	>90	3	>50,000
	Fortimo LED Line 2ft 2200lm 830 1R HV3	2092	145	>80	3	>50,000
	Fortimo LED Line 2ft 2200lm 840 1R HV3	2200	152	>80	3	>50,000
	Fortimo LED Line 2ft 2200lm 850 1R HV3	2200	152	>80	3	>50,000
	Fortimo LED Line 2ft 2200lm 930 1R HV3	2000	108	>90	3	>50,000
	Fortimo LED Line 2ft 2200lm 940 1R HV3	2200	120	>90	3	>50,000
2R	Fortimo LED Line 2ft 1250lm 830 2R HV3	1165	146	>80	3	>50,000
	Fortimo LED Line 2ft 1250lm 840 2R HV3	1250	157	>80	3	>50,000
3R	Fortimo LED Line 1ft 650lm 830 3R HV3	618	146	>80	3	>50,000
	Fortimo LED Line 1ft 650lm 840 3R HV3	650	154	>80	3	>50,000
	Fortimo LED Line 1ft 650lm 850 3R HV3	650	154	>80	3	>50,000

# Źródła światła

## Zestawienie danych



						
Nazwa	Żarówka halogenowa	Świetlówka kompaktowa	Lampa diodowa (LED)	Świetlówka	Lampa metalohalogenkowa	Lampa sodowa
Moc	77 W	18 W	7 W	28 W	150 W	150 W
Strumień świetlny	1320 lm	1200 lm	806 lm	2900 lm	15000 lm	18000 lm
Skuteczność świetlna	<b>17 lm/W</b>	<b>67 lm/W</b>	<b>115 lm/W</b>	<b>104 lm/W</b>	<b>100 lm/W</b>	<b>141 lm/W</b>
Trwałość	2 000 h	10 000 h	25 000 h	21 000 h (LSF 94%)	10 000 h (LSF 90%)	32 000 h (LSF 90%)
Barwa światła	ciepła	ciepła (możliwe inne)	ciepła (możliwe inne)	ciepła, neutralna, chłodna	ciepła, neutralna, chłodna	ciepła
Wskaźnik oddawania barw Ra	100	80	80	82	65-92 (dużo różnych modeli)	25

# Ogólne wskazówki efektywnego stosowania systemów oświetlenia

## Ograniczanie mocy systemów świetlnych

- Stosowanie źródeł światła o największej skuteczności świetlnej (lm/W) w nowych instalacjach;
- Zastępowanie istniejących źródeł światła źródłami o większej skuteczności świetlnej;
- Stosowanie (zastępowanie starych) opraw oprawami o mniejszym kącie ochrony, o powierzchniach przepuszczających światło;

## Ograniczanie czasu zużycia energii

- Stosowanie wyłączników reagujących na ruch zamiast łączników klasycznych w miejscach czasowego (krótkotrwałego) przebywania użytkowników (korytarze, toalety, przejścia, piwnice);
- Stosowanie lamp zintegrowanych z czujnikami ruchu w miejscach krótkotrwałego użytkownikom;
- Wprowadzanie regulacji mocy oświetlenia (regulatory natężenia oświetlenia, ściemniacze);
- Stosowanie systemów „inteligentnego” sterowania oświetleniem i domem z zaprogramowanymi funkcjami załączania i wyłączenia czasowego, obsługą czujek zmierzchowych i ruchu.

## Kształtowanie środowiska

- Stosowanie farb do sufitów i ścian o wysokich ekwiwalentnych współczynnikach odbicia (jasne, białe);
- Wprowadzanie oświetlenia słonecznego o maksymalnym czasie oddziaływania;



# Materiały źródłowe

- Miedziński B.: Elektrotechnika. Podstawy i instalacje elektryczne. PWN, Warszawa 1997.
- Centralny Instytut Ochrony Pracy: Promieniowanie optyczne - wprowadzenie.  
<http://archiwum.ciop.pl/15829.html>.
- Wandachowicz K.: Sprzęt oświetleniowy. Wykłady dla studentów I stopnia specjalności Technika Świetlna. Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, Zakład Techniki Świetlnej,  
<http://lumen.iee.put.poznan.pl/>
- <http://www.pomiaryoswietlenia.waw.pl/>
- Pawlak A.: Oświetlenie elektryczne. Centralny Instytut Ochrony Pracy. [http://nop.ciop.pl/m6-7/m6-7\\_2.htm](http://nop.ciop.pl/m6-7/m6-7_2.htm)
- [http://www.ue.pwr.wroc.pl/pracownicy/remigiusz\\_mydlikowski/Wyklad\\_5\\_2014.pdf](http://www.ue.pwr.wroc.pl/pracownicy/remigiusz_mydlikowski/Wyklad_5_2014.pdf)
- <http://centrum-pomiarow.pl/wiedza,5>
- [http://www.muratorplus.pl/technika/instalacje-elektryczne/klasyfikacja-i-elementy-opraw-oswietleniowych\\_58332.html](http://www.muratorplus.pl/technika/instalacje-elektryczne/klasyfikacja-i-elementy-opraw-oswietleniowych_58332.html)
- Gancarz A.: Zastosowanie narzędzi komputerowych do projektowania oświetlenia.
- [https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P30001831335539182278&html\\_tresc\\_root\\_id=23200&html\\_tresc\\_id=23218&html\\_klucz=19558&html\\_klucz\\_spis=](https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P30001831335539182278&html_tresc_root_id=23200&html_tresc_id=23218&html_klucz=19558&html_klucz_spis=)
- Wolska A., Pawlak A.: Syntetyczna charakterystyka oświetlenia elektrycznego na stanowiskach pracy.  
[https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P30001831335539182278&html\\_tresc\\_root\\_id=23200&html\\_tresc\\_id=23217&html\\_klucz=19558&html\\_klucz\\_spis=](https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P30001831335539182278&html_tresc_root_id=23200&html_tresc_id=23217&html_klucz=19558&html_klucz_spis=)
- <http://lumen.iee.put.poznan.pl/studenci/TS-stacjonarne-2/Lab1.pdf>