



**Studia Podyplomowe**

# **EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ**

w ramach projektu

**Śląsko-Małopolskie Centrum Kompetencji  
Zarządzania Energią**

**EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA  
W UKŁADACH OŚWIETLENIOWYCH**

**Dr inż. Jan Strzałka**

**e-mail: [biuro@sep.krakow.pl](mailto:biuro@sep.krakow.pl)**

# **EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA W UKŁADACH OŚWIETLENIOWYCH**

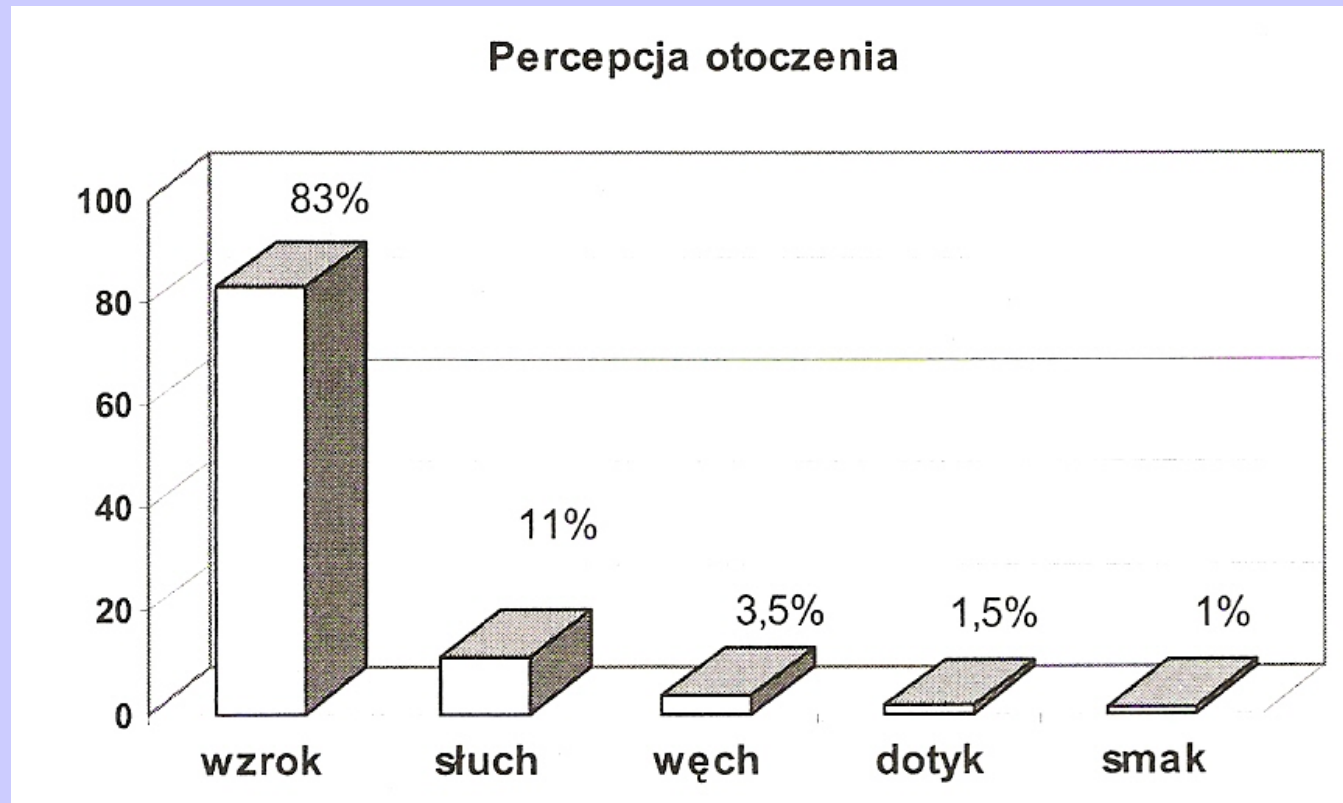
Dr inż. Jan Strzałka

e-mail: [biuro@sep.krakow.pl](mailto:biuro@sep.krakow.pl)

1. Wprowadzenie do problematyki oświetleniowej
  - 1.1. Światło i widzenie
  - 1.2. Widmo promieniowania elektromagnetycznego
  - 1.3. Krzywa czułości względnej oka
  - 1.4. Parametry oświetleniowe
2. Znaczenie oświetlenia
3. Czynniki wpływające na warunki widzenia

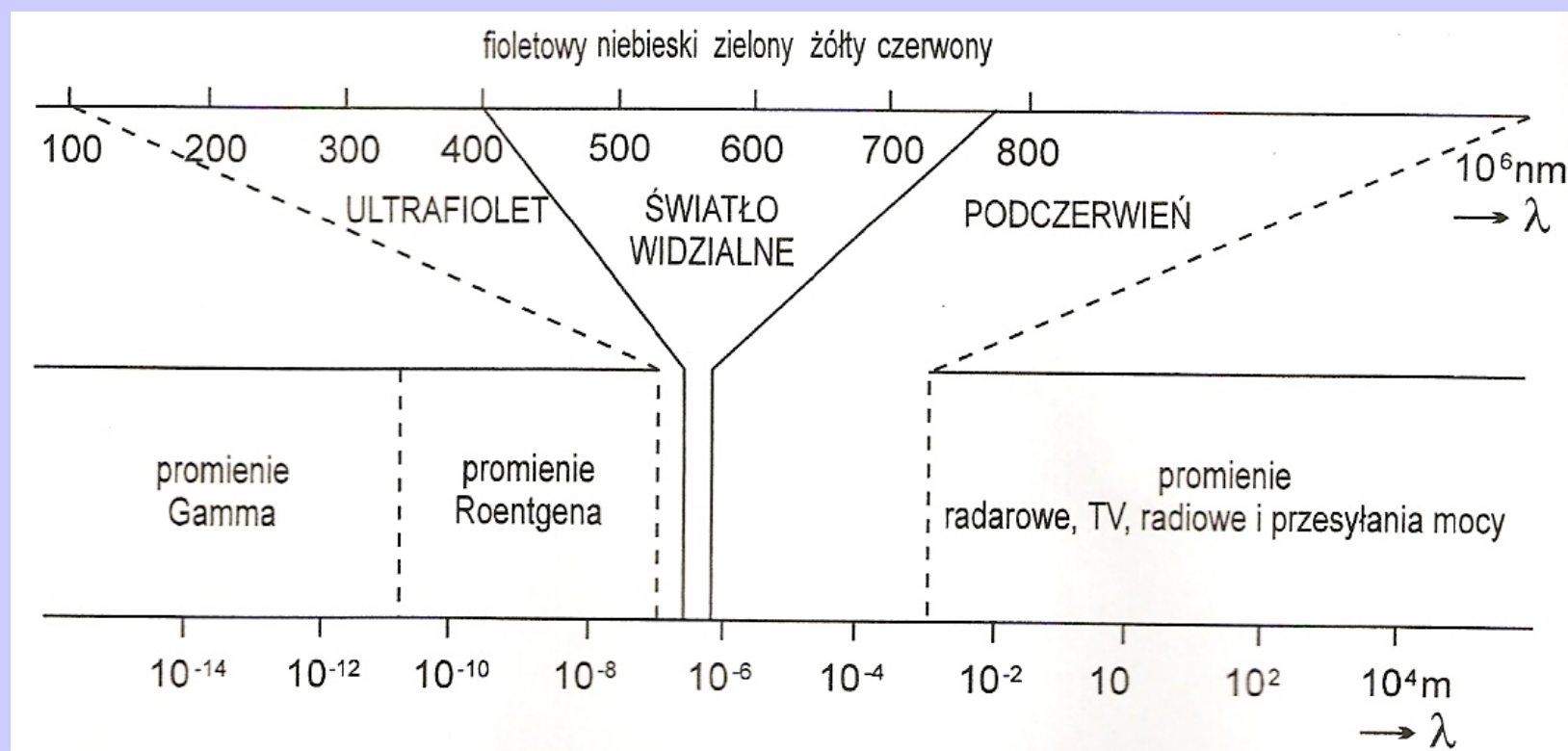
4. Systemy oświetleniowe
5. Źródła światła elektrycznego
6. Oprawy oświetleniowe
7. Układy sterowania oświetleniem
8. Normy z zakresu oświetlenia
9. Zasady i klasy oświetlenia
10. Metody obliczeń oświetleniowych
11. Konserwacja urządzeń oświetleniowych
12. Możliwości zmniejszenia zużycia energii na cele oświetlenia
13. Podsumowanie i wnioski końcowe

## 1.1. Światło i widzenie



Rys. 1. Porównanie percepcji otoczenia przez poszczególne narządy człowieka

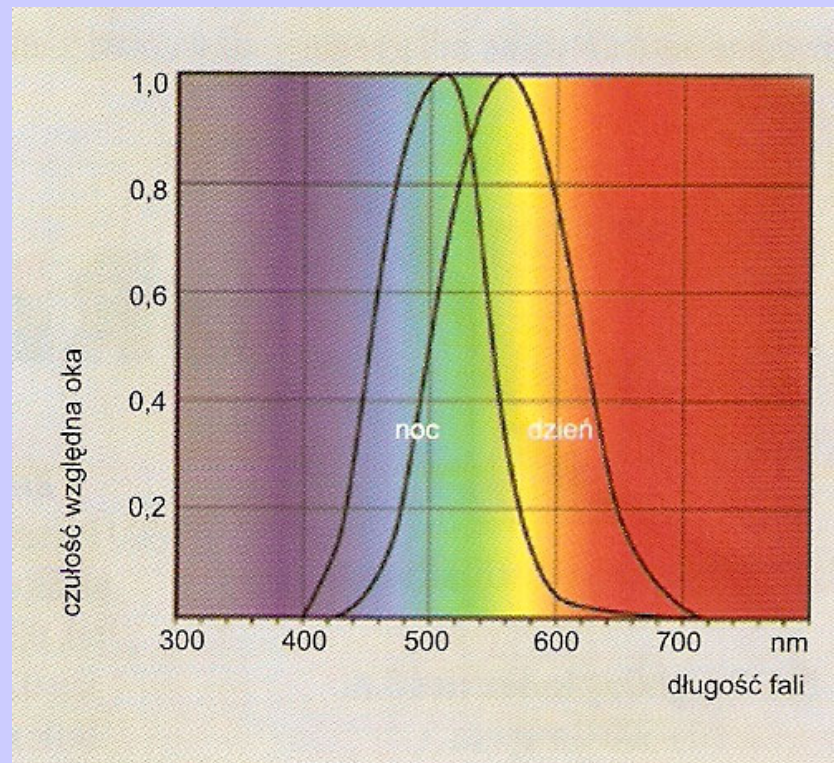
## 1.2. Widmo promieniowania elektromagnetycznego



Rys. 2. Widmo promieniowania elektromagnetycznego

### 1.3. Krzywa czułości względnej oka

Czułość ludzkiego oka na promieniowanie widzialne jest określona tzw. krzywą czułości względnej



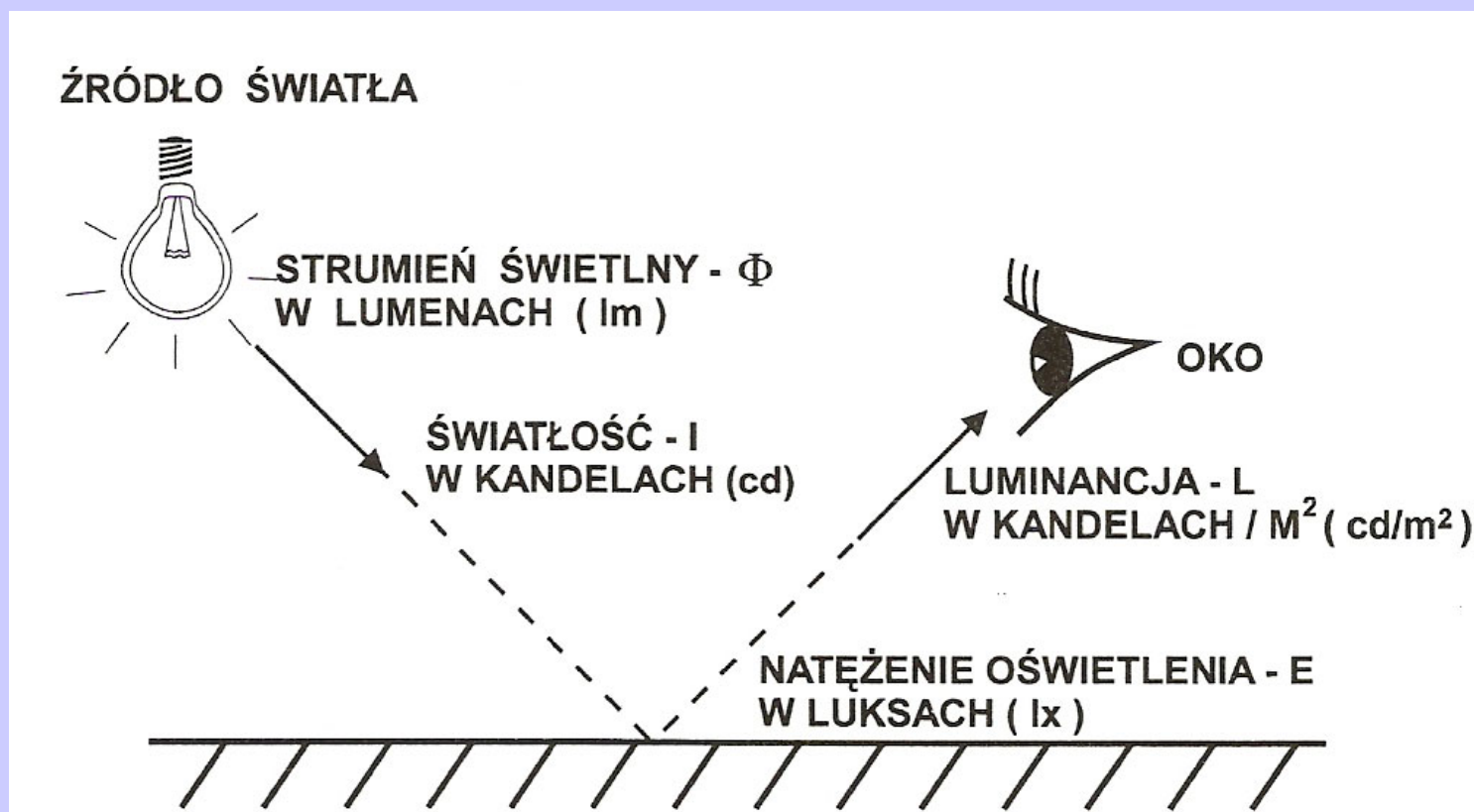
Rys. 3. Krzywa światłości względnej oka ludzkiego

## 1.2. Podstawowe wielkości

Podstawowymi wielkościami oświetleniowymi są:

- strumień świetlny  $\Phi$  wyrażany w lumenach [lm]
- światłość  $I$  wyrażana w kandelach [cd]
- natężenie oświetlenia  $E$  wyrażane w luksach [lx]
- luminancja  $L$  wyrażana w [cd/m<sup>2</sup>]

Poniższy rysunek w uproszczony sposób obrazuje zależności między nimi



Rys. 4. Podstawowe wielkości oświetleniowe

### 1) Strumień świetlny

Parametrem określającym całkowitą ilość światła emitowanego z danego źródła jest strumień świetlny. Wielkość tą wyprowadza się ze strumienia energetycznego na podstawie stopnia jego oddziaływania na oko obserwatora normalnego (odniesieniowego):

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

gdzie:  $\Phi_e(\lambda)$  – rozkład widmowy strumienia energetycznego,

$V(\lambda)$  – skuteczność świetlna widmowa względna,

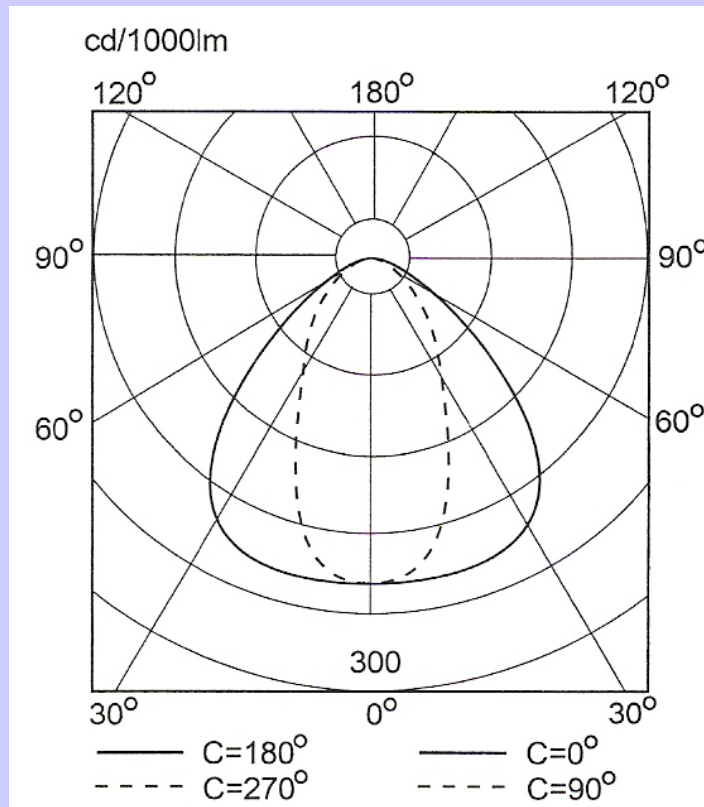
$K_m$  – skuteczność świetlna promieniowania,

$\lambda$  – długość fali elektromagnetycznej.

## 2) Światłość

Wielkością określającą ilość światła wychodzącego ze źródła lub oprawy w ściśle określonym kierunku światłość. Liczona jest ona jako iloraz strumienia świetlnego  $\Phi$ , wysyłanego przez Źródło w elementarnym kącie bryłowym  $\omega$  zawierającym dany kierunek, do wartości tego elementarnego kąta. Można ją wyliczyć ze wzoru:

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



Rys. 5. Wykres światłości

### 3) Natężenie oświetlenia

Kolejnym parametrem stosowanym w technice świetlnej jest natężenie oświetlenia. Jest to iloraz strumienia świetlnego  $\Phi$  padającego na elementarną powierzchnię  $S$ , zawierającą dany punkt, do wartości tej elementarnej powierzchni.

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

Inaczej mówiąc natężenie oświetlenia jest to ilość światła padająca na powierzchnię, liczona w konkretnym punkcie.

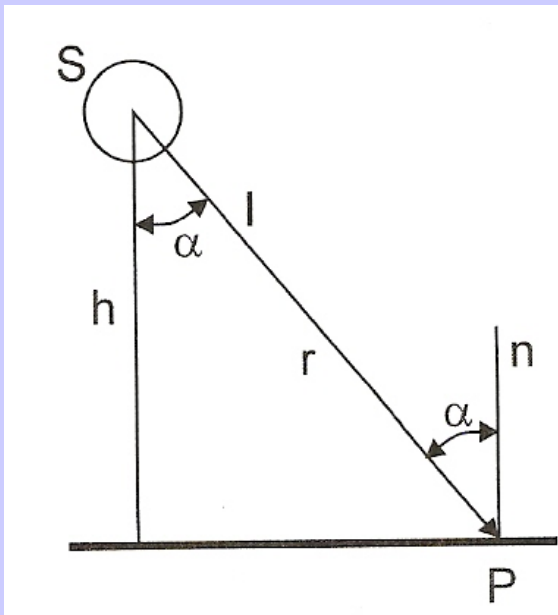
## 1. Wprowadzenie do problematyki oświetleniowej (9)

13

Natężenie oświetlenia w punkcie P:

$$E_p = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha$$

gdzie:  $E_p$  – natężenie w punkcie P rozważanej płaszczyzny [lx],  
 $I$  – światłość w kierunku punktu P [cd],  
 $r$  – odległość źródła od punktu P [m],  
 $\alpha$  – kąt pomiędzy normalną i kierunkiem padania światła,  
 $h$  – wysokość źródła nad rozważaną płaszczyzną [m].



Rys. 6. Natężenie oświetlenia w punkcie powierzchni

### 4) Luminancja

Oko ludzkie widzi powierzchnię, na którą pada światło. Odbija się ono od powierzchni i trafia do oka obserwatora. Powierzchnia wysyłająca światło posiada określoną luminancję, którą widzi człowiek.

Luminancja jest to iloraz strumienia świetlnego wychodzącego, padającego lub przenikającego przez elementarne pole powierzchni otaczające rozpatrywany punkt i rozchodzącego się w określonym stożku obejmującym ten kierunek, przez iloczyn kąta bryłowego tego stożka i rzutu prostokątnego elementarnego pola na płaszczyznę prostopadłą, do tego kierunku.

Luminancja odzwierciedla ilość światła, która jest widziana przez obserwatora:

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\omega \cdot dS \cdot \cos \alpha}$$

W wyniku przekształceń wzór można sprowadzić do postaci:

$$L = \frac{I}{S'}$$

przy czym  $S'$  jest powierzchnią pozorną świecącej powierzchni widzianą przez obserwatora.

**Oświetlenie** stanowi jeden z podstawowych składników środowiska pracy i wypoczynku, mający znaczny wpływ na bezpieczeństwo i higienę pracy, jej wydajność i jakość. Stanowi on o zdrowiu, a niekiedy o życiu człowieka.

Bezpośrednią przyczyną około 20% wypadków przy pracy w przemyśle są złe warunki oświetleniowe. Nieodpowiednie oświetlenie miejsca pracy (za niskie natężenie oświetlenia, niewłaściwy rozkład luminacji w polu widzenia, olśnienie, tętnienie strumienia świetlnego) powoduje: przekrwienie spojówek, dwojenie się obrazu, łzawienie, nieostre widzenie szczegółu, bóle głowy, zmęczenie wzroku połączone z uczuciem pieczenia, zapalenie spojówek, powoduje przedwczesne zmęczenie fizyczne.

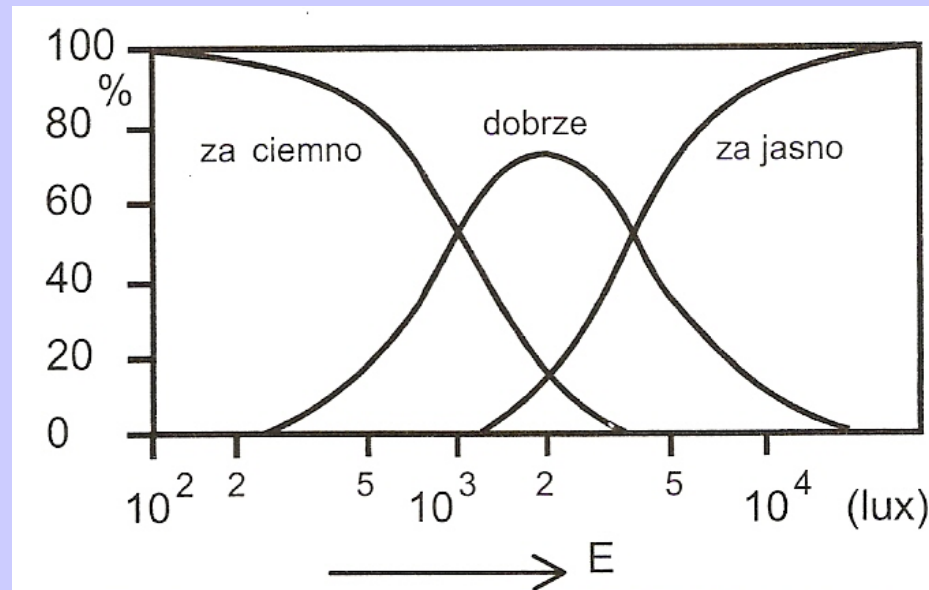
Na warunki widzenia wpływają następujące czynniki:

- 1) natężenie oświetlenia,
- 2) rodzaj wykonywanej czynności (szczegółu pracy wzrokowej),
- 3) równomierność oświetlenia,
- 4) wiek obserwatora,
- 5) temperatura barwowa,
- 6) wskaźnik oddawania barw.

Najważniejszym czynnikiem jest **natężenie oświetlenia**.

Zdecydowana większość uważa, że przy  $E \leq 100 \text{ lx}$  jest za ciemno, natomiast przy  $E \geq 10000 \text{ lx}$  otoczenie odbierane jest za jasne.

Jako optymalne uważa się  $E = 2000 \text{ lx}$ .



Rys. 10. Wrażenie ilości światła u różnych obserwatorów

Norma oświetleniowa PN/E-02033 wprowadzała 9 stopni natężenia oświetlenia, uzależniając wymaganą wartość od rodzaju wykonywanych czynności i szczegółów pracy wzrokowej.

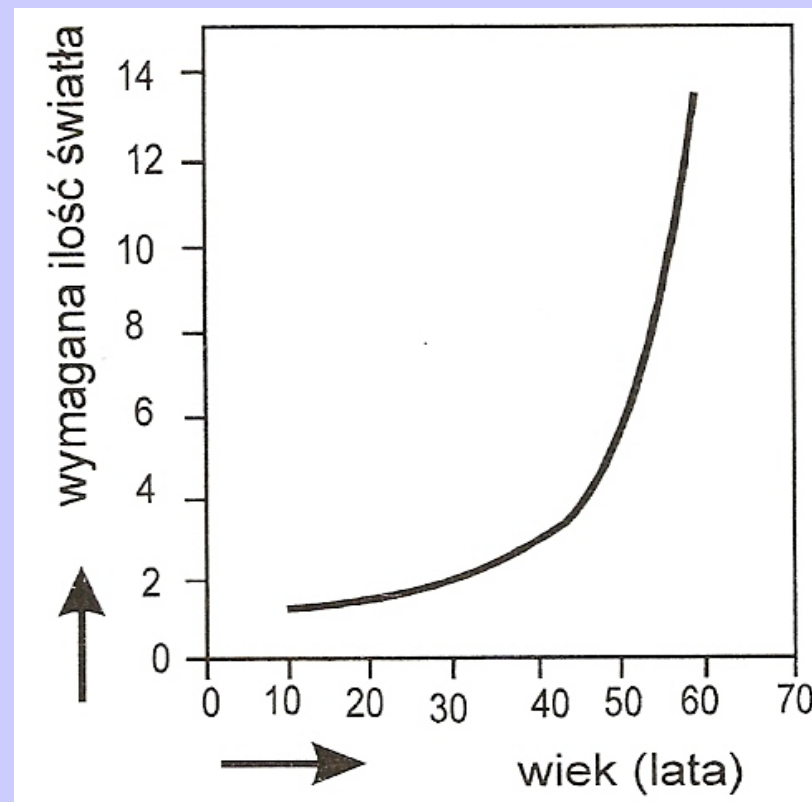
### 3. Czynniki wpływające na warunki widzenia (3)

19

Tabela 2. Wymagany poziom natężenia oświetlenia w zależności od wykonywanej czynności.

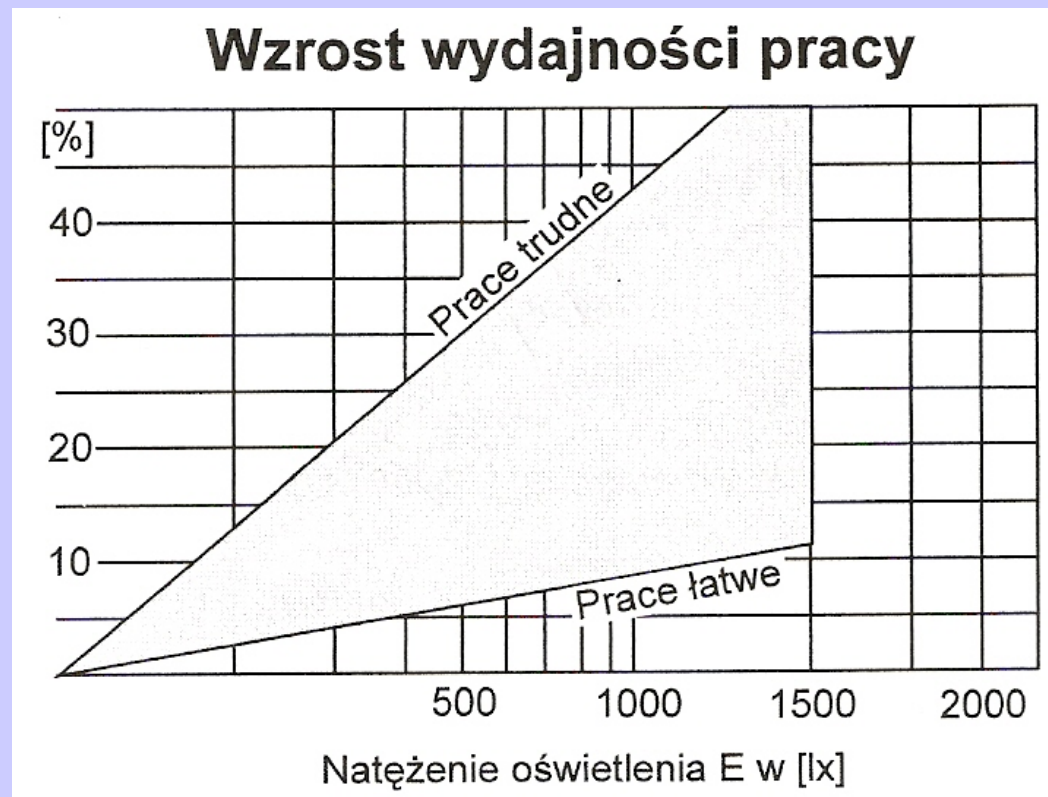
| Dopuszczalne<br>E <sub>sr</sub> [lx] | Rodzaje czynności lub pomieszczenia                                                                                                          |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10                                   | ogólna orientacja w pomieszczeniach                                                                                                          |
| 20                                   | orientacja w pomieszczeniach z rozpoznaniem cech średniej wielkości oraz w piwnicach, na strychach i w składach materiałów                   |
| 50                                   | krótkotrwałe przebywanie połączone z wykonywaniem prostych czynności oraz korytarze i schody, sale kinowe podczas przerw                     |
| 100                                  | praca nieciągła i czynności dorywcze przy bardzo ograniczonych wymaganiach wzrokowych oraz w pomieszczeniach sanitarnych, holach wejściowych |
| 200                                  | praca przy ograniczonych wymaganiach wzrokowych oraz jadalnie, bufety, świetlice, sale gimnastyczne, aule i portiernie                       |
| 300                                  | praca przy przeciętnych wymaganiach wzrokowych np. średnio dokładne prace ślusarskie                                                         |
| 500                                  | praca przy dużych wymaganiach wzrokowych np. dokładne prace ślusarskie, ręczne rytownictwo                                                   |
| 750                                  | długotrwała i wytężona praca wzrokowa np. bardzo dokładne prace ślusarskie, prace kreślarskie                                                |
| 1000                                 | długotrwała i wyjątkowo wytężona praca wzrokowa np. montaż najmniejszych części i elementów elektronicznych                                  |

Ilość światła wymagana do wykonywania tej samej czynności wzrokowej np. czytanie zależy silnie od wieku obserwatora, im jest on starszy, tym potrzebuje więcej światła.



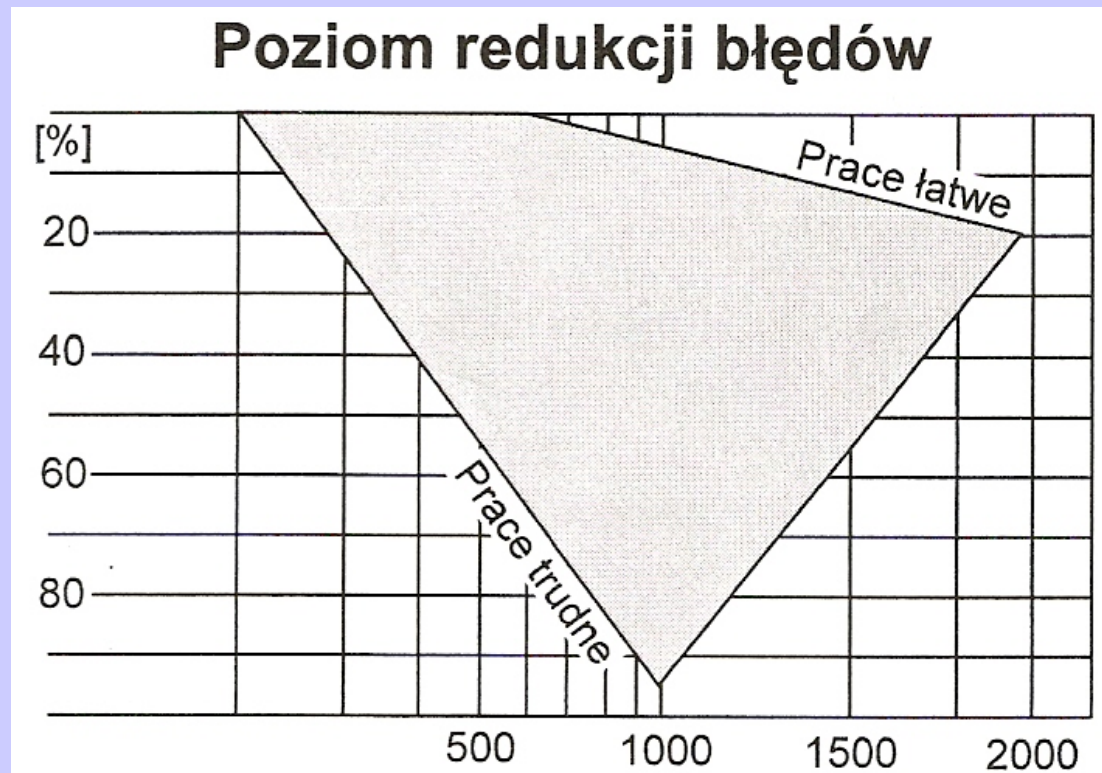
Rys. 11. Wymagana ilość światła w zależności od wieku obserwatora

Od poziomu natężenia oświetlenia zależy wydajność pracy, ze wzrostem natężenia wydajność wzrasta, z tym, że wzrost jest zdecydowanie szybszy przy pracach trudnych.



Rys. 12. Zależność produktywności od natężenia oświetlenia

Poziom natężenia wpływa też na liczbę popełnianych błędów, przy czym wpływ ten jest szczególnie duży przy pracach trudnych i złożonych.



Rys. 13. Zależność redukcji błędów od natężenia oświetlenia

### 3. Czynniki wpływające na warunki widzenia (7)

23

Równomierność oświetlenia na płaszczyźnie pracy określa się jako:

$$\delta = \frac{E_{\min}}{E_{\text{śr}}}$$

gdzie:  $E_{\min}$  – natężenie minimalne,  
 $E_{\text{śr}}$  – natężenie średnie.

$$E_{\text{śr}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$$

Norma oświetleniowa wymagała, aby:

- przy czynnościach ciągłych:
  - w pomieszczeniu, w którym są wykonywane czynności jednolite z punktu widzenia wymagań oświetleniowych

$$\delta = \frac{E_{\min}}{E_{\text{śr}}} \geq 0,65$$

w całości pomieszczenia, z wyjątkiem pasa 0,5 m wzdłuż ścian;

- w pomieszczeniu, w którym istnieją strefy odrębnych czynności dla każdej ze stref  $\delta \geq 0,65$ , dla całego pomieszczenia  $\delta \geq 0,3$ ;

- przy czynnościach dorywczych oraz na klatkach schodowych i w korytarzach  $\delta \geq 0,4$ .

Za praktycznie bardzo dobrą równomierność oświetlenia uważa się równomierność, przy której:

$$\frac{E_{\min}}{E_{\text{śr}}} \geq 0,85$$

jednocześnie

$$\frac{E_{\max}}{E_{\text{śr}}} \leq 1,2$$

**Temperatura barwowa  $T_c$**  – temperatura ciała czarnego, w której wysyła ono promieniowanie o tej samej chromatyczności co promieniowanie rozpatrywane. Innymi słowy, jest to obiektywna miara wrażenia barwy danego źródła światła np.:

temperatura barwowa 2700 K – barwa ekstra ciepłobiała (żarówkowa),  
temperatura barwowa 3000 K – barwa ciepłobiała,  
temperatura barwowa 4000 K – barwa biała,  
temperatura barwowa >5000 K – barwa chłodnobiała.

**Wskaźnik oddawania barw** (współczynnik oddawania kolorów), oznaczany jako  $R_a$ , niesie informacje, o tym, w jakim stopniu dane źródło światła umożliwia obserwację kolorów. Np:

$R_a \geq 90$  (1A) – bardzo dobre oddawanie kolorów,

$90 > R_a \geq 80$  (1B) – dobre oddawanie kolorów,

$80 > R_a \geq 70$  (2A) – średnie oddawanie kolorów,

$70 > R_a \geq 60$  (2B) – mniej niż średnie oddawanie kolorów,

$60 > R_a \geq 40$  (3) – słabe oddawanie kolorów,

$40 > R_a \geq 20$  (4) – mniej niż słabe oddawanie kolorów.

W zależności od wykonywanej czynności zaleca się stosowanie źródeł światła o **wskaźniku oddawania barw**:

- dużym  $R_a > 85$  (np. żarówki, lampy ksenonowe, świetlówki o bardzo dobrym oddawaniu barw) – w przemyśle tekstylnym i poligraficznym przy dobieraniu barw, w szpitalach, mieszkaniach, hotelach i restauracjach;
- średnim  $70 \leq R_a \leq 85$  (np. świetlówki o dobrym oddawaniu barw) – w biurach, szkołach, domach towarowych i w przemyśle precyzyjnym;
- małym  $R_a < 70$  (np. świetlówki o gorszym oddawaniu barw, lampy rtęciowe z luminoforem, lampy rtęciowo-żarowe) – we wnętrzach, gdzie rozróżnianie barw ma małe znaczenie.

### 3. Czynniki wpływające na warunki widzenia (11)

27

Tabela 3. Zestawienie parametrów świetlnych podstawowych źródeł światła

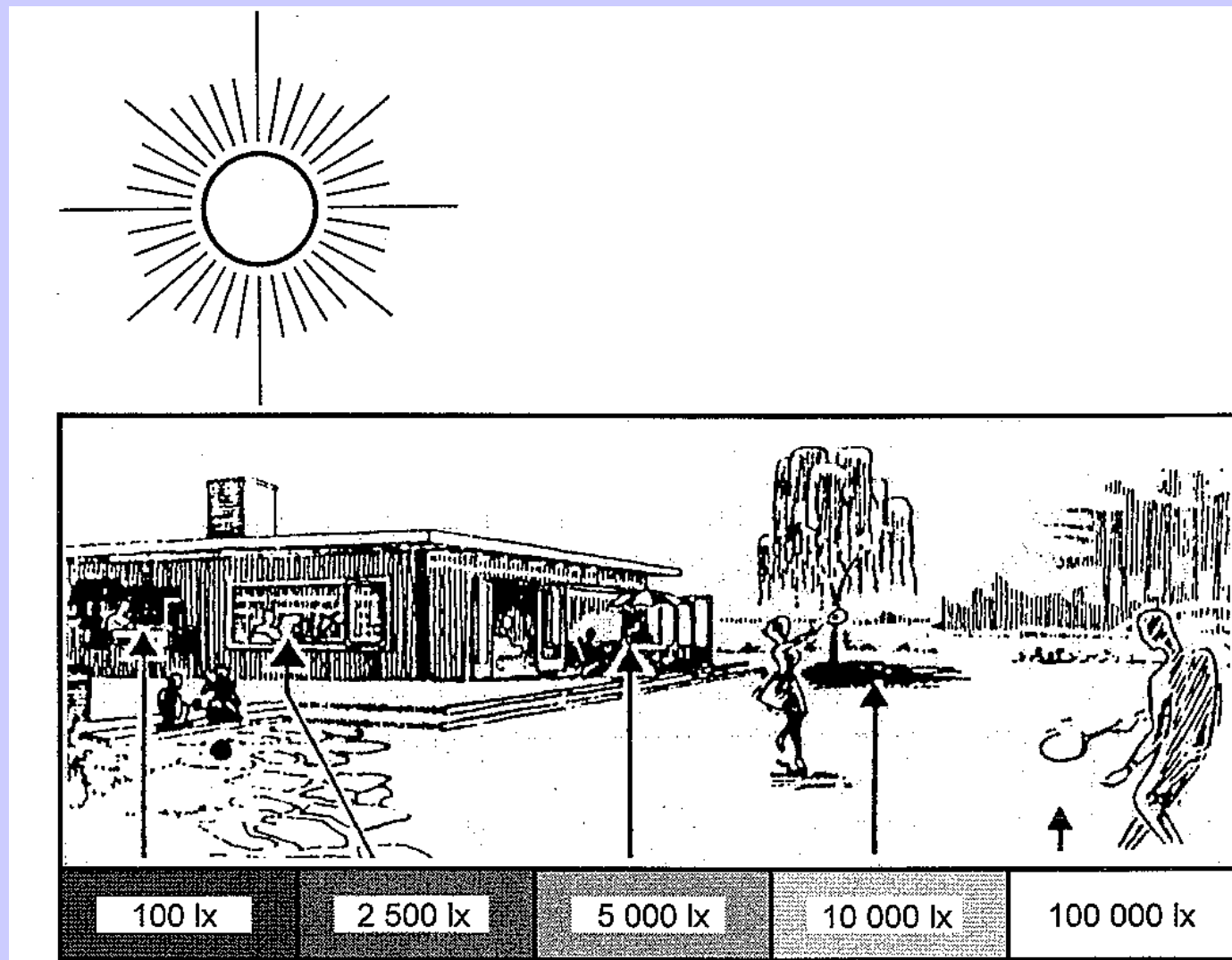
| Rodzaj źródła światła                                      | Skuteczność świetlna ( $\eta_z$ ) [lm/W] | Temperatura barwowa ( $T_c$ ) [K] | Wskaźnik oddawania barw ( $R_a$ ) |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Żarowe                                                     | 8 ÷ 18                                   | 2 700                             | 100                               |
| Halogenowe                                                 | 20 ÷ 33                                  | 3 400                             | 100                               |
| Fluorescencyjne                                            | 50 ÷ 104                                 | 2 700 ÷ 6 500                     | 50 ÷ 98                           |
| Wysokoprężne rtęciowe                                      | 40 ÷ 60                                  | 3 000 ÷ 4 200                     | 40 ÷ 59                           |
| Metalohalogenkowe                                          | 60 ÷ 95                                  | 3 000 ÷ 6 000                     | 75 ÷ 100                          |
| Rtęciowo - żarowe                                          | 11 ÷ 28                                  | 3 000 ÷ 4 200                     | 50 ÷ 69                           |
| Wysokoprężne sodowe                                        | 64 ÷ 115                                 | 2 050                             | 25                                |
| Wysokoprężne sodowe o polepszonej zdolności oddawania barw | 80 ÷ 100                                 | 2 200                             | 60 ÷ 69                           |
| Niskoprężne sodowe                                         | 100 ÷ 183                                | ---                               | ---                               |
| Indukcyjne                                                 | 48 ÷ 71                                  | 2 700 ÷ 4 000                     | ≥ 80                              |

Rozróżnia się:

- 1) System oświetlenia dziennego (słonecznego),
- 2) System oświetlenia sztucznego (elektrycznego),
- 3) System mieszany,

W systemie oświetlenia dziennego wykorzystywane jest słońce jako najsilniejsze źródło światła.

Natężenie oświetlenia powstałe od tego naturalnego źródła, przy jego najwyższym położeniu i bezchmurnym niebie, na otwartej przestrzeni jest rzędu 100 000 lx, w miejscach zacienionych 10 000 lx, w pobliżu budynku 5000 lx. We wnętrzu budynku przy odsłoniętych oknach powstaje około 2500 lx, a przy zasłoniętych około 100 lx. Dzięki światłu słonecznemu uzyskujemy o wiele razy większe natężenie oświetlenia, niż wynikałoby to z wymagań dotyczących oświetlania wnętrz światłem elektrycznym. Przykładowo, w sali lekcyjnej wymagane jest 300 lx, jadalni, bufecie i świetlicy 200 lx, natomiast na korytarzu i schodach 50 lx.



Rys. 14. Porównanie natężeń oświetlenia w różnych miejscach w słoneczne południe

### Oświetlenie dzienne pomieszczeń:

- zapewnia najlepsze warunki pracy i wypoczynku,
- promieniowanie słoneczne jest przyjazne dla oczu ludzkich,
- wiernie oddaje barwy oświetlanych przedmiotów,
- charakteryzuje się:
  - dużą dynamiką zmian (zależne od pory dnia i stanu pogody),
  - wprowadzeniem nadmiernej insolacji (nagrzewania pomieszczeń).

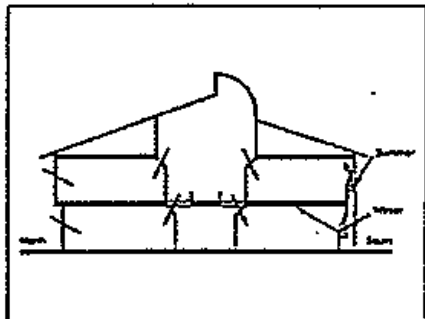
### Oświetlenie dzienne może być:

- bocznym,
- górnym,
- mieszanym.

### W Rozporządzeniu MI z 12.04.2002r.:

- § 13 ust. 1 – odległość budynku od innych obiektów powinna umożliwiać ośw. pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi.
- § 57 ust. 1 – pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi powinny mieć zapewnione oświetlenia dzienne, dostosowane do jego przeznaczenia, kształtu i wielkości.
- § 57 ust. 2 – wymaga, aby stosunek powierzchni okien do powierzchni podłogi wynosił co najmniej:
  - 1 : 8 – dla pom. przeznaczonych na stały pobyt ludzi,
  - 1 : 12 – w innych pomieszczeniach, w których ośw. dzienne jest wymagane ze względu na przeznaczenie.
- § 60 – wymagany czas nasłonecznienia w pokojach mieszkalnych, żłobkach, przedszkolach i szkołach powinien wynosić co najmniej przez 3 godziny dziennie.

Sposoby optymalnego wykorzystania światła dziennego:



- Odpowiednia powierzchnia okien,
- Wprowadzenie światła dziennego przez sztolnie (szyby) zlokalizowane w centralnej części budynków,
- Zastosowanie folii odbijających światło w sposób kierunkowy,
- Wykorzystanie świetlików dachowych,
- Stosowanie świetlików rurowych,
- Stosowanie systemów światłowodowych,
- Półki świetlne.

Rys. 17. Urządzenia oświetlenia dziennego

W pomieszczeniach bezokiennych stosowany jest system oświetlenia elektrycznego (rzadko występuje jako samodzielny).

Najczęściej w praktyce występuje system mieszany, w którym system oświetlenia słonecznego jest uzupełniony systemem oświetlenia elektrycznego.

Udział obu tych systemów w tworzeniu tych warunków oświetleniowych zależy od:

- pory dnia i roku,
- warunków atmosferycznych,
- wielkości pomieszczeń.

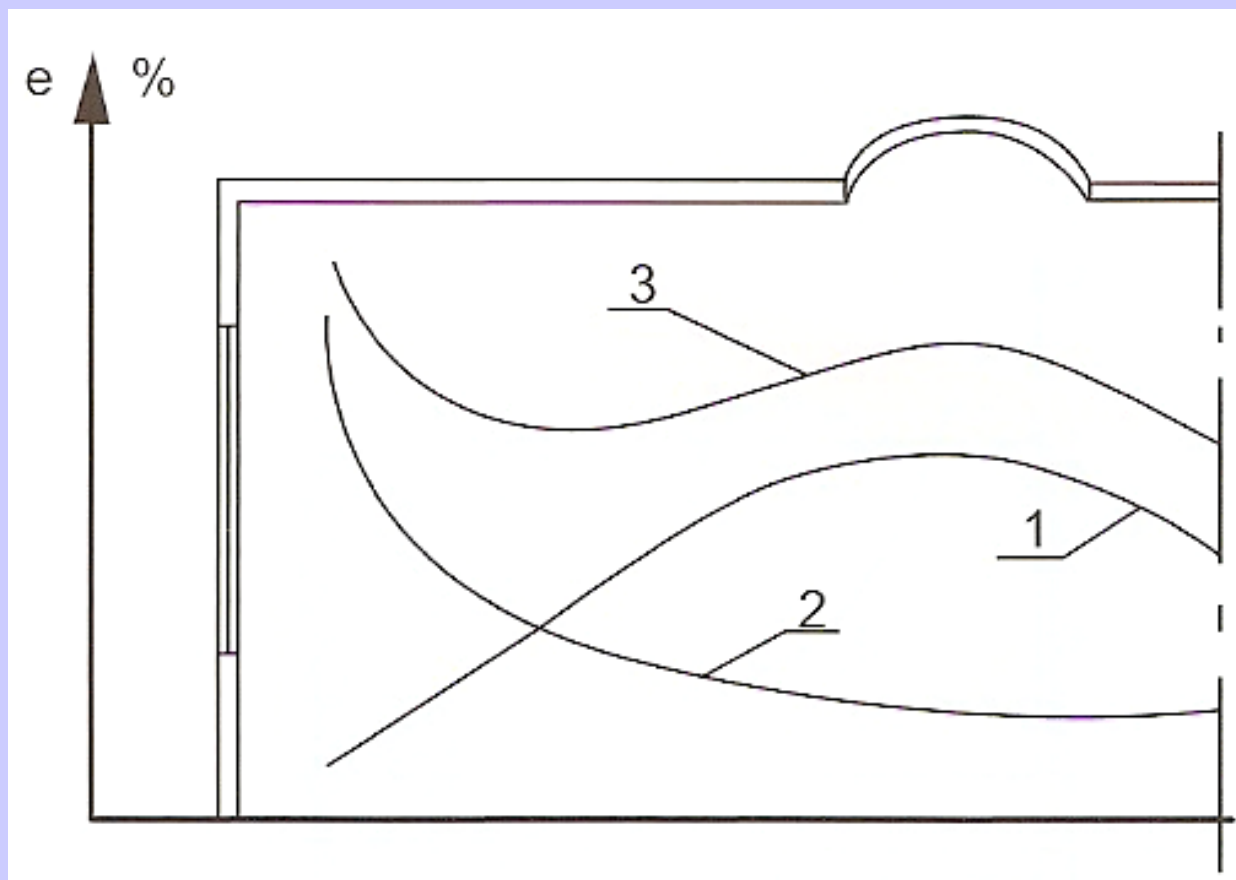
### Oświetlenie dzienne słoneczne:

- świetliki dachowe (gąsienicowe, motylkowe, trapezowe),
- pasma świetlne.

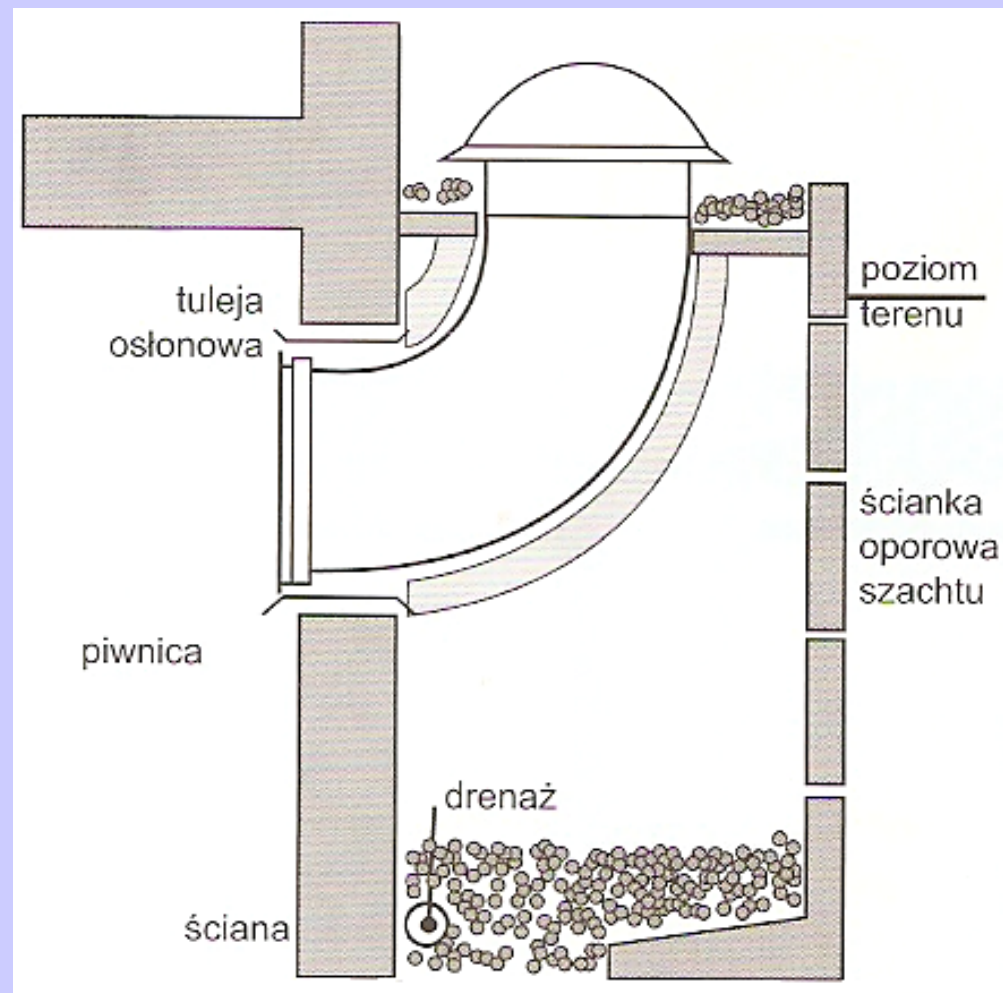
Mniejsze znaczenie odgrywają okna w ścianach budynków (gł. w pom. biurowych i technicznych).



Rys.18. Przykład pasm świetlnych rozmieszczonych prostopadle do kalenicy.



Rys. 21. Rozkład wartości względnej współczynnika oświetlenia dziennego w pomieszczeniu z oświetleniem mieszanym, gdzie:  
1 – oświetlenie górne, 2 – oświetlenie boczne, 3 – oświetlenie łączne (szkic)



Rys. 23. Świetlik rurowy do oświetlenia piwnicy

### Systemy kształtowania oświetlenia dziennego:

- systemy pryzmatyczne (przepuszczanie, załamanie i odbicie),
- systemy odbłyśnikowe (powierzchnie lustrzane),
- systemy świetlików rurowych.

### Zadania systemów oświetlenia dziennego:

- w maksymalnie możliwym stopniu wykorzystanie światła dziennego,
- ograniczenie bezpośredniej insolacji pomieszczeń,
- ukierunkowanie strumienia świetlnego,
- ograniczenie możliwości olśnienia.

Rozróżnia się:

- Lampy żarowe (temperaturowe),
- Lampy wyładowcze,
- Diody świecące LED (elektroluminescencyjne).

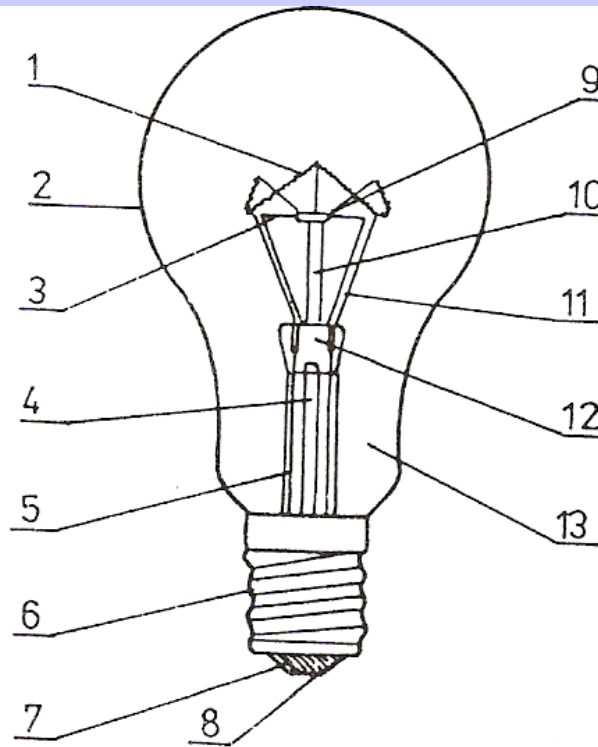
Lampy żarowe (żarówki)

Zalety:

- jasnożółta barwa światła wywiera dobre samopoczucie,
- dobre oddawanie barw,
- wysoki wskaźnik  $R_a = 100$ ,
- natychmiastowy rozruch.

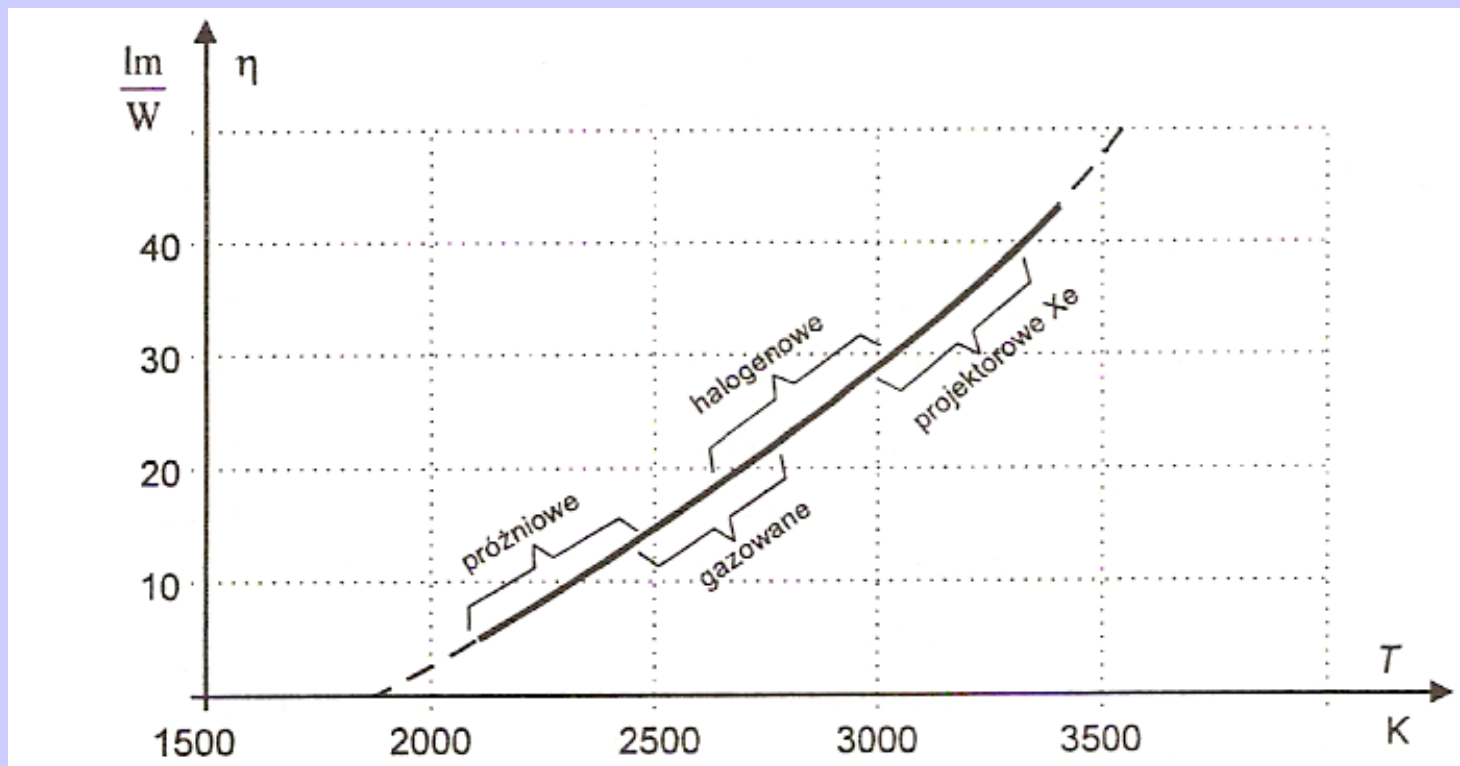
Wady:

- silne rozgrzewanie i promieniowanie ciepła,
- tylko 5% energii zamieniana na światło,
- duża luminancja, powodująca olśnienie,
- mała trwałość (ok. 1000 h),
- mała skuteczność świetlna,
- odparowanie wolframu,
- silny wpływ zmian napięcia.



1 – żarnik, 2 – bańka, 3 – podpórki molibdenowe,  
4 – rurka pompowa, 5 – talerzyk, 6 – trzonek, 7 – izolator, 8 – płytki kontaktowa,  
9 – perełka, 10 – szupek szklany, 11 – doprowadniki prądu,  
12 – spłaszcz, 13 – gaz lub próżnia

Rys. 25. Budowa żarówki



Rys.27. Skuteczność świetlna żarówek w zależności od temperatury roboczej żarnika wolframowego

Odmianą **żarówki halogenowe**:

- Zasilanie napięciem 230 V,
- Zasilanie napięciem obniżonym 12 V,

**Ich zalety:**

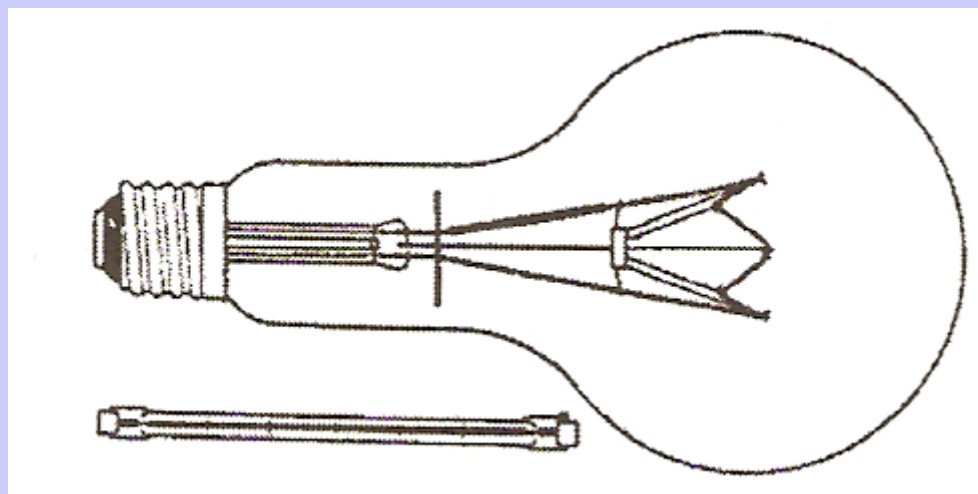
- większy strumień,
- większa trwałość,
- większa skuteczność świetlna,
- wyższa temperatura

## 5. Źródła światła elektrycznego (5)

42

Tabela 5. Porównanie skuteczności i trwałości żarówek halogenowych 1000W, 230 V o różnym przeznaczeniu

| Wykonanie                         | Skuteczność świetlna<br>lm/W | Trwałość<br>h |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------|
| do ogólnych celów oświetleniowych | 22                           | 2000          |
| do oświetlenia studia TV          | 25                           | 200           |
| do wideofilmowania                | 27,5                         | 75            |
| do celów fotograficznych          | 33                           | 15            |



Rys. 28. Porównanie wymiarów dwóch żarówek 1000 W: zwykłej (u góry) i halogenowej liniowej dwustronnie trzonkowanej (u dołu)

### Lampy wyładowcze:

- świetlówki (lampy fluorescencyjne),
- lampy rtęciowe,
- lampy rtęciowo – żarowe,
- lampy metalohalogenkowe,
- lampy sodowe wysokoprężne i niskoprężne,
- lampy indukcyjne.

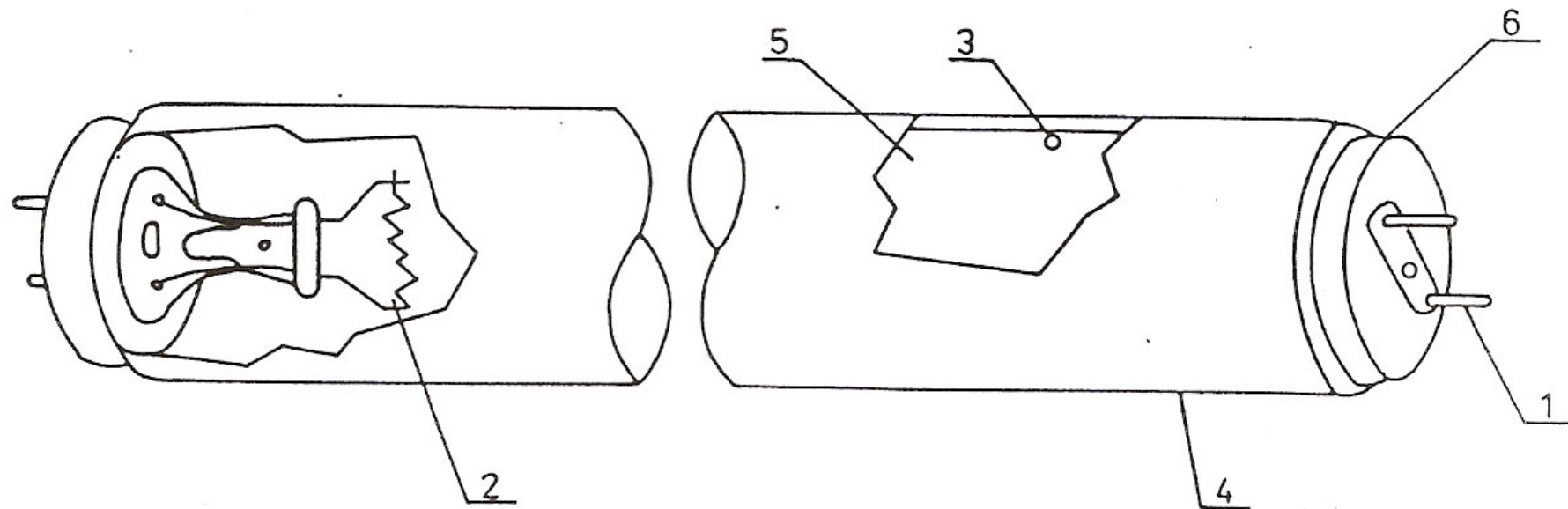
### Lampy fluorescencyjne (światłówki)

#### Zalety:

- możliwość zmiany barwy światła
- niska temperatura pracy,
- mała luminancja,
- wyższa skuteczność świetlna,
- wyższa trwałość.

#### Wady:

- tętnienie światła – zjawisko stroboskopowe,
- niższy wskaźnik  $R_a$ .



1 – kołki stykowe, 2 – elektroda, 3 – rtęć w stanie zimnym,  
4 – rura szklana pokryta wewnątrz luminoforem, 5 – wypełnienie gazowe (argon),  
6 – trzonek G13 lub G5

Rys. 29. Budowa świetlówki

Tabela 7. Porównanie żarówek i świetlówek kompaktowych pod względem strumienia świetlnego

| Typ lampy                                                  | Strumień świetlny w [lm] |      |      |       |
|------------------------------------------------------------|--------------------------|------|------|-------|
|                                                            | 400                      | 600  | 900  | 1250  |
| żarówka                                                    | 40 W                     | 60 W | 75 W | 100 W |
| świetlówka kompaktowa SL                                   | 9 W                      | 13 W | 18 W | 25 W  |
| świetlówka kompaktowa PL (ze statecznikiem elektronicznym) | 7 W                      | 11 W | 15 W | 20 W  |

### Lampy rtęciowe

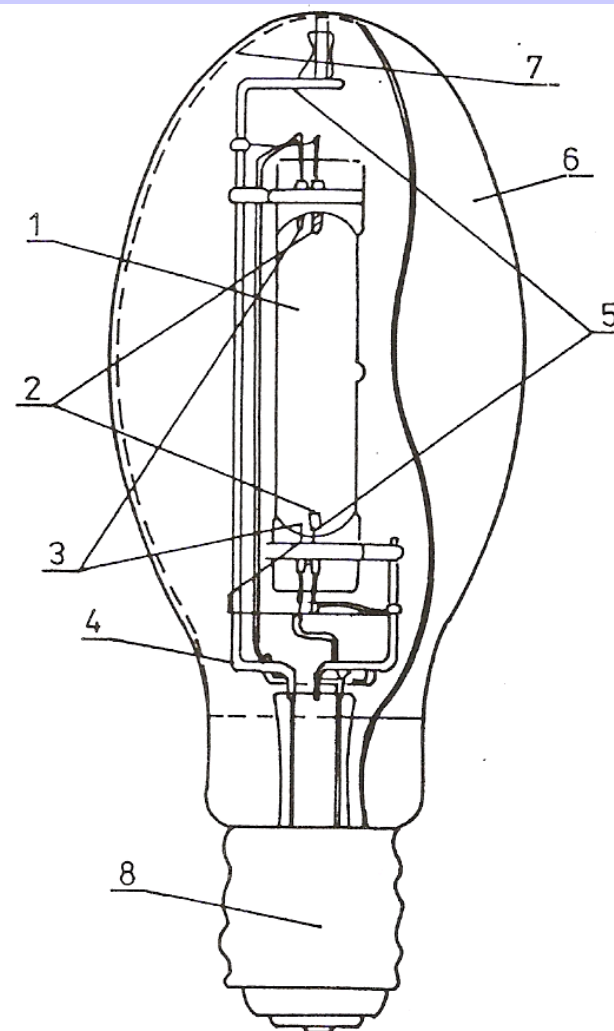
#### Zalety:

- brak zewnętrznych urządzeń zapłonowych,
- wysoka skuteczność świetlna,
- mały wpływ zmian napięcia,
- niewielki spadek strumienia z czasem.

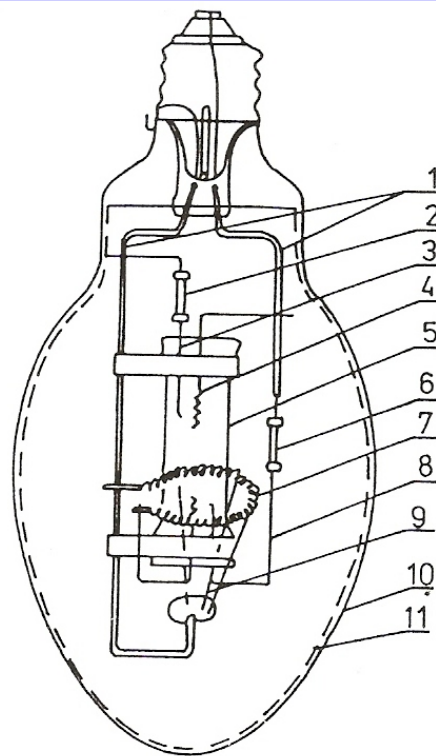
#### Wady:

- długi czas rozruchu (do 3 min.),
- czas ponownego rozruchu do 5 min.,
- słabsze oddawanie barw.

Rys. 31. Budowa lampy  
rtęciowej



1 – rura wyładowcza ze szkła kwarcowego, 2 – elektrody główne, 3 – elektrody pomocnicze, 4 – opornik zapłonowy, 5 – konstrukcja wsporcza, 6 – bańka ze szkła twardego, 7 – warstwa luminoforu, 8 – łzonek z gwintem E27 lub E40



Budowa lampy rtęciowo-żarowej: 1 – doprowadniki prądu, 2,6 – oporniki elektrod zapłonowych, 5,8 – elektrody zapłonowe, 4 – elektrody główne, 5 – jarznik, 7 – żarnik, 9 – podpórka żarnika, 10 – bańka ze szkła twardego, 11 – luminofor

Rys. 32. Budowa lampy rtęciowo-żarowej.

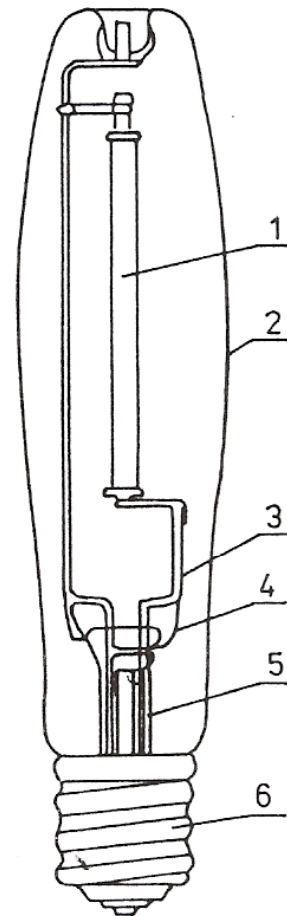
### Lampy sodowe

#### Zalety:

- wysoka skuteczność świetlna,
- w miarę stabilne parametry,
- duża trwałość.

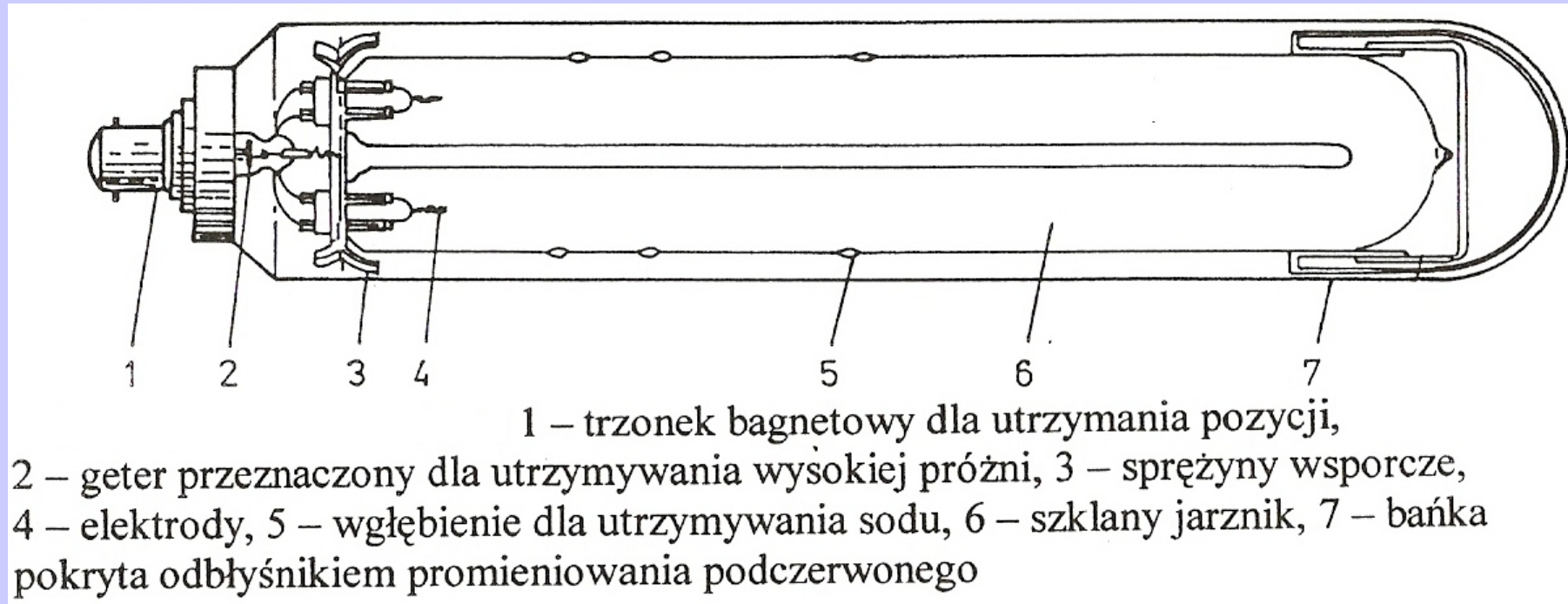
#### Wady:

- wymagają zastosowania statecznika ograniczającego prąd,
- wymagają sterowania zewnętrznym układem zapłonowym,
- słabe oddawanie barw.



1 – jarznik, 2 – bańka zewnętrzna,  
3 – wspornik, 4 – geter, 5 – nóżka szklana z przepustami prądowymi, 6 – trzonek

Rys. 33. Budowa wysokopięrnej lampy sodowej



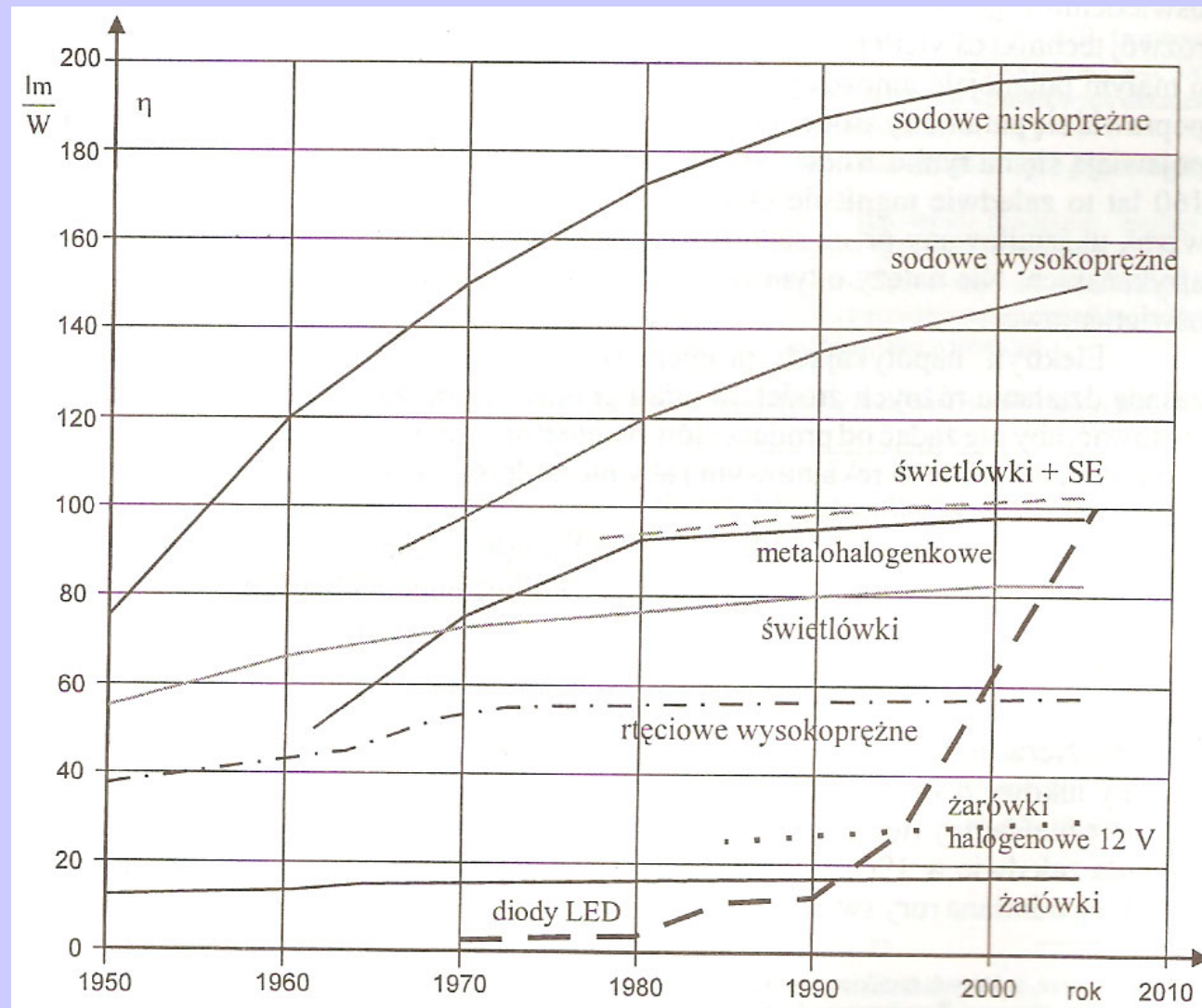
Rys. 35. Budowa niskoprężnej lampy sodowej

Tabela 8. Charakterystyczne właściwości dla różnego rodzaju źródeł światła

| Rodzaj źródła światła                      | -    | żarowe      | halogenowe  | rtęciowe              | światłówki                  | sodowe<br>wysokoprężne | sodowe<br>niskoprężne |
|--------------------------------------------|------|-------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| Moc pojedynczego źródła światła            | W    | 15+500      | 75+200      | 50+1000               | 15+40                       | 50+1000                | 18+180                |
| Strumień świetlny                          | lm   | 120+8400    | 975+50 000  | 1800+58 800           | 750+14 600                  | 3300+130 000           | 1800+36 000           |
| Skuteczność świetlna                       | lm/W | 8+17        | 13+25       | 36+58                 | 50+104                      | 66+138                 | 100+200               |
| Barwa światła                              | -    | ciepłobiała | ciepłobiała | pośrednia             | ciepłobiała do<br>dziennej  | żółtobiała             | żółta                 |
| Oddawanie kolorów                          | -    | dobre       | idealne     | słabe lub dostateczne | dostateczne do<br>idealnego | słabe lub dostateczne  | brak                  |
| Czas rozruchu<br>(uzyskania światła)       | min. | 0           | 0           | 3                     | 0                           | 5                      | 10                    |
| Czas ponownego rozruchu<br>(po wyłączeniu) | min. | 0           | 0           | 5                     | 0                           | <1                     | 2                     |

Tabela 9. Historia i trendy w rozwoju źródeł światła

| Rok wprowadzenia | Typ lampy                                              | Skuteczność świetlna w czasie wprowadzenia na rynek [lm/W] | Skuteczność świetlna obecnie [lm/W] |
|------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1880             | <b>Lampy żarowe</b><br>żarnik węglowy                  | do 3                                                       | -                                   |
| 1906             | żarnik wolframowy                                      | do 8                                                       | do 18                               |
| 1958             | lampa halogenowa                                       | do 18                                                      | do 30                               |
| 1932             | <b>Lampy wyładowcze</b><br>wysokoprężne lampy rtęciowe | do 32                                                      | do 60                               |
| 1991             | lampy indukcyjne                                       | do 65                                                      | do 70                               |
| 1980             | światłówki kompaktowe                                  | do 50                                                      | do 87                               |
| 1964             | lampy metalohalogenkowe                                | do 65                                                      | do 100                              |
| 1938             | światłówki                                             | do 25                                                      | do 106                              |
| 1965             | wysokoprężne lampy sodowe                              | do 90                                                      | do 150                              |
| 1932             | niskoprężne lampy sodowe                               | do 67                                                      | do 206                              |



Rys. 36. Ewolucja skuteczności świetlnej wybranych źródeł światła (SE – statecznik elektroniczny)

### KILKA SŁÓW O LAMPACH DIODOWYCH:

- pozwalają zaoszczędzić do 80% energii elektrycznej, a nawet więcej,
- świecą 100% strumieniem światła przez ok. 50 000 h (10-12 lat),
- nie emitują szkodliwego promieniowania UV,
- pracują zasilane 180-230 V AC lub 12-24 V DC – idealne jako oświetlenie awaryjne,
- emitują stałe światło – brak efektu stroboskopowego,
- są ekologiczne,
- mają wskaźnik oddawania barw bliski 100%,
- występują w różnej emisji barwy światła,
- charakteryzują się bezgłośną pracą w każdych warunkach,
- z uwagi na zasadę działania łatwo można regulować natężenie światła,
- są odporne na wibracje i wstrząsy,
- oświetlają zadaną z góry i stałą powierzchnię.

Diody LED dzięki swoim właściwościom znajdują coraz to szersze zastosowanie w wielu instalacjach oświetleniowych, takich jak:

- wskaźniki świetlne w miernikach laboratoryjnych,
- wyłącznikach podświetlanych,
- przyciskach sterujących,
- sprzęcie komputerowym,
- urządzeniach audio/video,
- telefonach komórkowych,
- aparatach fotograficznych,
- elementach sygnalizacyjnych i informacyjnych,
- motoryzacji,
- oświetleniu zewnętrznym,
- iluminacji obiektów architektonicznych.



Rys. 38. Oświetlenie o podobnej intensywności z trzech epok (od lewej do prawej):  
żarowe 20 W, fluorescencyjne 7 W i LED 3,5 W

### PORÓWNANIE KOSZTÓW

|                     | <u>Lampa sodowa 100 W</u> | <u>Lampa LED SP-90 o mocy 35 W</u> |
|---------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Cena:               | ok. 30 zł                 | ok. 500 zł                         |
| Czas świecenia:     | 10h/dz                    | 10h/dz                             |
|                     | 3650 h/rok                | 3650 h/rok                         |
| Zuż. energii:       | 3650 kWh                  | 128 kWh                            |
| Przy cenie en. el.: | 0,4 zł/kWh                |                                    |
| Opłaty:             | 146 zł/rok                | 51 zł/rok                          |
| Żywotność:          | 8-12 tyś. h               | 50-70 tyś. h (10-15 lat)           |

Zwrot inwestycji po ok. 5 latach

Bilans ulegnie poprawie jeśli uwzględnimy wzrost cen energii.

Tabela 10. Porównanie cech wybranych źródeł światła

| TABLICA 2. Porównanie cech wybranych źródeł światła |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Typ źródła światła                                  | Cechy dodatnie                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Cechy ujemne                                                                                                                                                                                          |
| żarówka standardowa                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>* niska cena</li> <li>* możliwość zastosowania prostego ściemniacza</li> <li>* brak układu stabilizująco-zapłonowego</li> <li>* dobre oddawanie barw</li> </ul>                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>* niska skuteczność świetlna</li> <li>* niska trwałość</li> </ul>                                                                                              |
| żarówka halogenowa                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* możliwość zastosowania prostego ściemniacza</li> <li>* brak układu stabilizująco-zapłonowego</li> <li>* dobre oddawanie barw</li> </ul>                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>* niewielka skuteczność świetlna</li> <li>* niewielka trwałość</li> </ul>                                                                                      |
| światłówka liniowa starszej generacji               | <ul style="list-style-type: none"> <li>* mierna skuteczność świetlna</li> <li>* średnia trwałość</li> <li>* dobre oddawanie barw</li> </ul>                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>* zależność trwałości od liczby włączeń</li> <li>* migotanie w trakcie zapłonu</li> <li>* znaczny spadek strumienia świetlnego w czasie użytkowania</li> </ul> |
| światłówka liniowa najnowszej generacji             | <ul style="list-style-type: none"> <li>* wysoka skuteczność świetlna</li> <li>* bardzo duża trwałość</li> <li>* zapłon bez migotania</li> <li>* doskonałe oddawanie barw</li> <li>* stabilność strumienia świetlnego przez cały czas żywotności lampy</li> <li>* duży udział światła o niebieskiej barwie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* stosunkowo wysoka cena</li> </ul>                                                                                                                            |
| światłówka kompaktowa                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>* małe gabaryty</li> <li>* w wersji zintegrowanej wymiennność z żarówkami</li> <li>* dobra skuteczność świetlna</li> <li>* duża trwałość</li> </ul>                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>* dużo wyższa cena w stosunku do żarówek</li> </ul>                                                                                                            |
| lampa indukcyjna                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>* bardzo wysoka trwałość</li> <li>* wymiennność z żarówkami</li> </ul>                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>* bardzo wysoka cena w porównaniu z innymi lampami o podobnej mocy</li> </ul>                                                                                  |
| dioda luminescencyjna LED                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>* bardzo wysoka trwałość</li> <li>* wymiennność z żarówkami</li> </ul>                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>* wysoka cena w porównaniu z innymi lampami o podobnej mocy</li> <li>* aktualnie niezbyt wysoka skuteczność świetlna</li> </ul>                                |

**Oprawa** - urządzenie służące do rozsyłania, filtrowania lub przekształcania światła lampy lub lamp w niej zawartych, które zawiera niezbędne elementy do mocowania i ochrony lamp oraz przyłączenia ich do sieci zasilającej.

**Zadaniem opraw jest:**

- zamocowanie i połączenie z instalacją elektryczną źródła światła (w określonych rozwiązaniach także zapłonika i statecznika),
- mechaniczna ochrona źródła światła,
- ochrona źródła światła przed wpływami środowiska;
- ukształtowanie bryły światłości, czy też sposobu wypromieniowania strumienia świetlnego;
- ograniczenie możliwości olśnienia poprzez utworzenie kąta ochrony i eliminację bezpośredniego promieniowania źródła światła.

Z punktu widzenia efektywności energetycznej istotne zadanie spełnia odbłyśnik oraz klosz. Oba te elementy wraz z ew. rastrem decydują o sprawności oprawy.

### Klasyfikacja opraw:

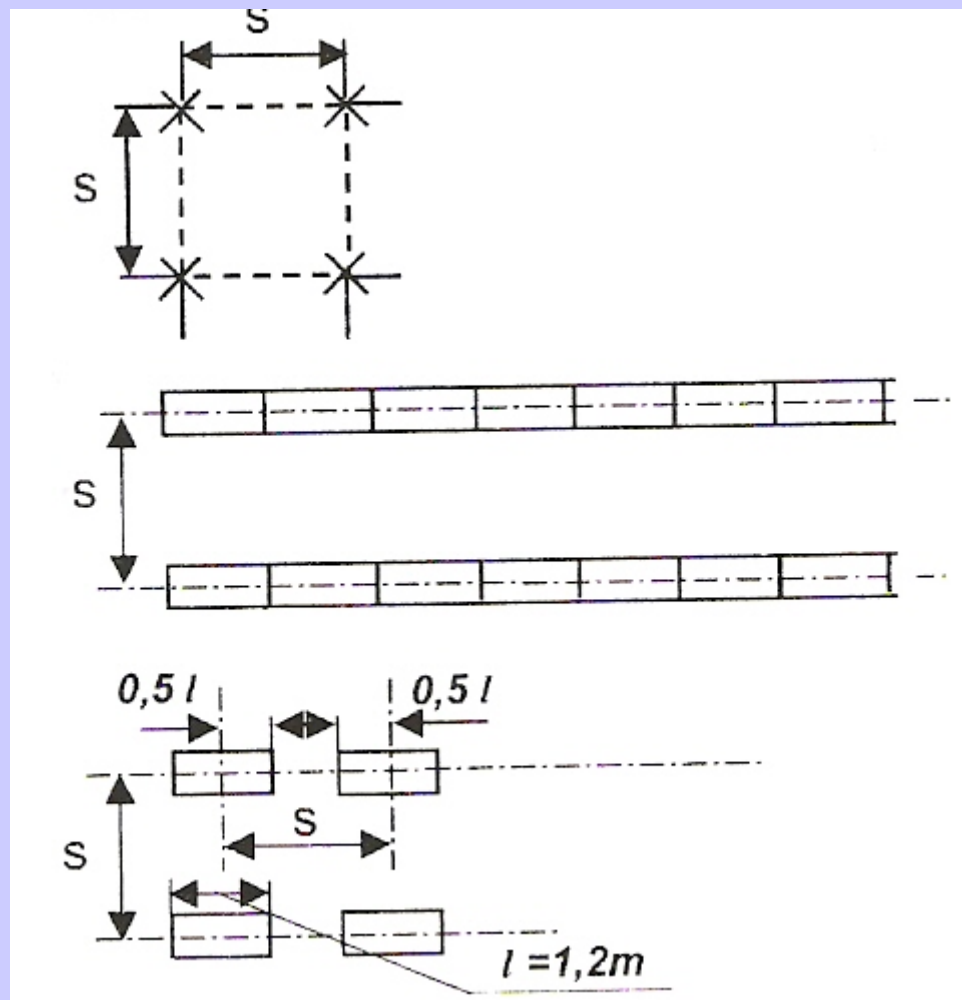
Z uwagi na sposób rozsyłania strumienia świetlnego dzieli się oprawy na klasy od I do V, zgodnie z podanymi wyżej klasami oświetlenia.

Ze względu na rodzaj oświetlenia wyróżnia się oprawy do:

- żarówek,
- świetlówek,
- lamp rtęciowych,
- lamp rtęciowo-żarowych,
- innych źródeł światła (np. do lamp sodowych).

Z punktu widzenia umiejscowienia i sposobu zamocowania oprawy oświetleniowe dzieli się na oprawy:

- do oświetlenia ogólnego,
- do oświetlenia miejscowego: stołowe, ściennie, podłogowe, obrabiarkowe i ręczne,
- stałe, przenośne lub nieprzenośne, do zawieszania lub nabudowania.



Rys. 39. Podstawowe racjonalne układy rozmieszczenia opraw

Osprzęt pomocniczy dla wyładowczych źródeł światła obejmuje:

- startery (zapłonniki) i stateczniki,
- zapłonniki tradycyjne lub elektroniczne do świetlówek,
- kondensatory do poprawy  $\cos\varphi$

Należy podkreślić rolę zapłonników elektronicznych, które:

- poprawiają komfort użytkowania opraw,
- bezmigotliwy zapłon,
- eliminują cykliczne rozbłyski świetlówek,
- zwiększają żywotność lamp, zwłaszcza często zaświecanych,
- nie wymagają wymiany w czasie użytkowania,
- są jednak o wiele droższe od tradycyjnych.

Zalety stateczników elektronicznych z ciepłym startem do lamp fluorescencyjnych:

- energooszczędność (redukcja kosztów nawet do 30 %);
- brak efektu stroboskopowego;
- strumień świetlny i moc lampy niezależne od zmian napięcia zasilania;
- automatyczne wyłączenie lamp podczas pojawienia się pierwszych efektów "starzenia" lampy;
- redukcja kosztów eksploatacyjnych dzięki rzadszej wymianie źródeł światła;
- pełna współpraca z detektorami ruchu;
- ekologia – niższy pobór energii wiąże się z niższą emisją CO<sub>2</sub> (1 kWh – 0,4 kg CO<sub>2</sub>).

### Sprawność oprawy

Stosunek strumienia świetlnego oprawy do strumienia świetlnego źródła światła określany jest mianem sprawności oprawy:

$$\eta_{opr} = \frac{\Phi_{opr}}{\Phi_{\acute{z}r}}$$

Poniższa tabela przedstawia dane przykładowej oprawy. Informacje zawarte w niej obejmują sprawność oprawy  $\eta_{opr}$  oraz stosunek odstępu między oprawami do wysokości S/R. S/R jest parametrem określającym stosunek odstępu między rzędami opraw i wysokością zawieszenia opraw nad płaszczyzną roboczą. Rozmieszczenie opraw tak, by odstępy między nimi były nie większe niż odległości wynikające z parametru S/R, daje możliwość uzyskania dobrej równomierności oświetlenia na płaszczyźnie roboczej ( $E_{min}/E_{max} > 0.6$ ).

Tabela 11. Klasy opraw oświetleniowych.

| Klasa                                                                                    | Nazwa klasy                         | $(\Phi_v / \Phi) \cdot 100$ [%] |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| I                                                                                        | oświetlenie bezpośrednie            | 90–100                          |
| II                                                                                       | oświetlenie przeważnie bezpośrednie | 60–90                           |
| II                                                                                       | oświetlenie mieszane                | 40–60                           |
| IV                                                                                       | oświetlenie przeważnie pośrednie    | 10–40                           |
| V                                                                                        | oświetlenie pośrednie               | 0–10                            |
| $\Phi_v$ – strumień półprzestrzenny dolny oprawy.<br>$\Phi$ – strumień całkowity oprawy. |                                     |                                 |

W zależności od źródła światła oprawy dzieli się na następujące:

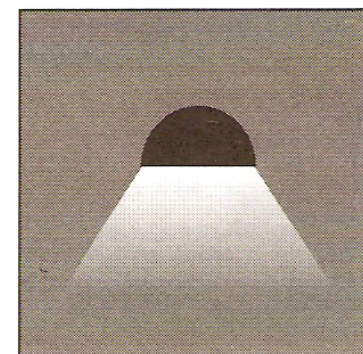
- oprawy do żarówek,
- oprawy do świetlówek,
- oprawy do lamp rtęciowych,
- oprawy do lamp sodowych,
- oprawy do lamp rtęciowo – żarowych.

### Klasa oświetleniowa oprawy

Według Polskiej Normy oprawy oświetleniowe podzielone są na pięć klas. W zależności od tego, ile światła wysyła oprawa w półprzestrzeń górną, a ile w dolną, przypisana jest jej odpowiednia klasa.

Klasa I - oprawa do oświetlenia bezpośredniego

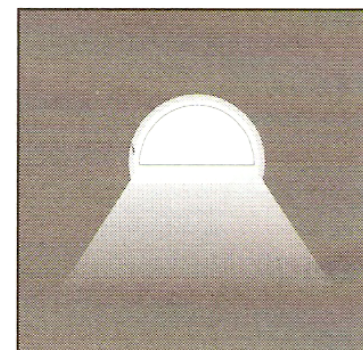
gdzie:  $0\% \leq \Phi_{\wedge} < 10\%$  ,  
 $90\% < \Phi_{\vee} \leq 100\%$  .



Rys. 1. Oprawa w klasie I.

Klasa II - oprawa do oświetlenia przeważnie bezpośredniego

gdzie:  $10\% \leq \Phi_{\wedge} < 40\%$  ,  
 $60\% < \Phi_{\vee} \leq 90\%$  .

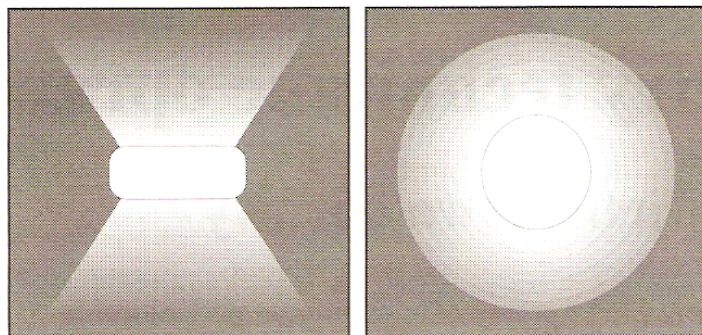


Rys. 2. Oprawa w klasie II.

Klasa III - oprawa do oświetlenia mieszanego

gdzie:  $40\% \leq \Phi_{\wedge} < 60\%$ ,

$40\% < \Phi_{\vee} \leq 60\%$ .

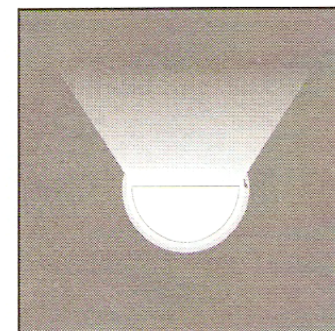


Rys. 3. Oprawa w klasie III.

Klasa IV - oprawa do oświetlenia przeważnie pośredniego

gdzie:  $60\% \leq \Phi_{\wedge} < 90\%$ ,

$10\% < \Phi_{\vee} \leq 40\%$ .

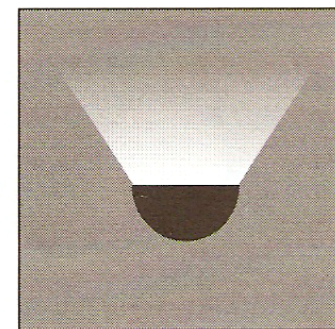


Rys. 4. Oprawa w klasie IV.

Klasa V - oprawa do oświetlenia pośredniego

gdzie:  $90\% \leq \Phi_{\wedge} < 100\%$ ,

$0\% < \Phi_{\vee} \leq 10\%$ .



Rys. 5. Oprawa w klasie V.

Analogicznie do klasyfikacji opraw określa się klasy oświetlenia.

Potrzeba stosowania regulacji strumienia świetlnego wynika ze względów:

- **ekonomicznych** (oszczędność energii),
- **estetycznych** (iluminacja i oświetlenie widowiskowe),
- **funkcjonalnych** (audytoria, sale wykładowe).

Stosowane są 2 **sposoby regulacji (ściemniania)**:

- skokowa
- ciągła

Dwa systemowe sposoby ściemniania:

1. poprzez obniżenie napięcia zasilającego (zalecany głównie do żarówek konwencjonalnych).

Obniżenie  $U$  powoduje zmianę temperatury barwowej  $T_c$  w kierunku barw cieplejszych (więcej czerwieni), co jest wadą tej metody.

2. poprzez elektroniczną regulację wartości prądu lampy (lamp) – wymaga specj. stateczników do świetlówek.

Szeroka oferta producentów ściemniaczy i systemów oszczędności energii do różnych rodzajów źródeł światła.

Możliwość stosowania czujników ruchu i inteligentnych systemów zał./wyl. oświetlenia sterownikami.

Zastosowania systemu sterowania oświetleniem obejmują:

- załączanie w funkcji czasu,
- załączanie w zależności od natężenia oświetlenia zewnętrznego,
- utrzymywanie stałego natężenia oświetlenia,
- załączanie w zależności od obecności ludzi,
- realizację wielu funkcji centralnego załączania dla dowolnie wybranych fragmentów budynku,
- pełną kontrolę oświetlenia z pomieszczenia ochrony budynku.

- |                                 |                                                                                           |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. PN – 84/E – 02033            | Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym.                                                 |
| 2. PN – EN 12464 – 1 : 2003 (U) | Światło i oświetlenie -<br>Oświetlenie miejsc pracy. Cz.1.<br>Miejsca pracy we wnętrzach. |
| 3. PN – EN 12464 – 1 : 2005     | Światło i oświetlenie -<br>Oświetlenie miejsc pracy. Cz.1.<br>Miejsca pracy we wnętrzach. |
| 4. PN – EN 13201 : 2005         | Oświetlenie dróg (cz. 2, 3 i 4)                                                           |
| 5. PN – EN 1838: 2002 (U)       | Zastosowania oświetlenia.<br>Oświetlenia awaryjne (EN-1999)                               |
| 6. PN – EN 1838: 2004           |                                                                                           |

Tabela 12. Najmniejsze dopuszczalne średnie natężenie oświetlenia dla wybranych pomieszczeń przemysłowych

| Lp. | Rodzaj pomieszczenia, urządzenia lub czynności                    | $E_{sr}$ [lx]    |                  |
|-----|-------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
|     |                                                                   | wg PN-84/E-02033 | wg PN-EN 13461-1 |
| 1.  | Przemysł metalowy                                                 |                  |                  |
| 1.1 | Kucie i spawanie                                                  | 200              | 300              |
| 1.2 | Zgrubna i średnia obróbka skrawaniem tolerancja $\geq 0,1$ mm     | 300              | 300              |
| 1.3 | Precyzyjna obróbka skrawaniem, szlifowanie: tolerancja $< 0,1$ mm | 750              | 500              |
| 1.4 | Stanowiska trasowania i kontroli                                  | 750              | 750              |
| 1.5 | Walcowanie na zimno                                               | 100              | 300              |
| 1.6 | Produkcja rur i drutu, cięcie i profilowanie taśm                 | 200              | 300              |
| 1.7 | Montaż:                                                           |                  |                  |
|     | – zgrubny                                                         | 200              | 200              |
|     | – średniodokładny                                                 | 300              | 300              |
|     | – precyzyjny                                                      | 500              | 500              |
| 2.  | Przemysł chemiczny                                                |                  |                  |
| 2.1 | Urządzenia technologiczne zdalnie sterowane                       | 50               | 50               |
| 2.2 | Urządzenia technologiczne sporadycznie obsługiwane ręcznie        | 100              | 150              |
| 2.3 | Stałe stanowiska pracy przy urządzeniach produkcyjnych            | 200              | 300              |
| 2.4 | Stanowiska kontrolne i pomiarowe, laboratoria, konfekcjonowanie   | 300              | 500              |
| 2.5 | Kontrola barw                                                     | 500              | 1000             |

Czynniki decydujące o jakości oświetlenia:

- natężenie oświetlenia,
- rozkład luminacji,
- olśnienie,
- barwa światła,
- oddawanie barw,
- modelowanie,
- migotanie światła.

### Rodzaje oświetlenia:

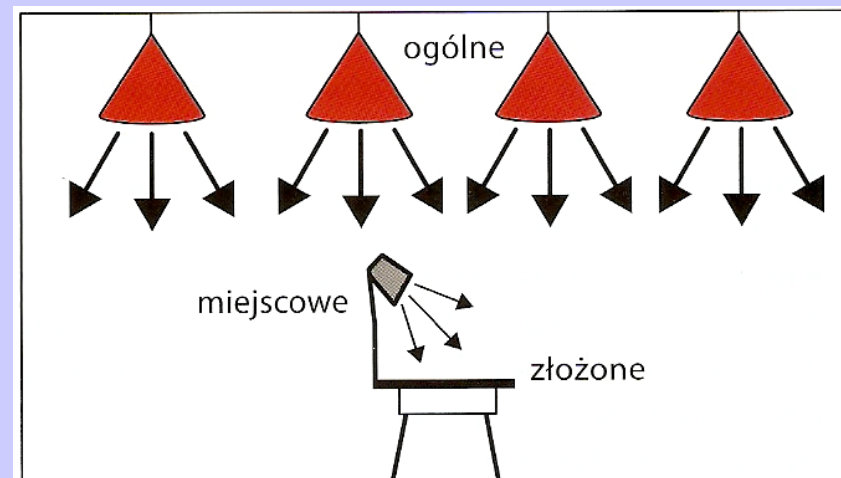
Wyróżnia się następujące rodzaje oświetlenia:

- oświetlenie ogólne,
- oświetlenie zlokalizowane (ogólne zlokalizowane),
- oświetlenie miejscowe,
- oświetlenie złożone,

### Klasy oświetlenia:

Wyróżnia się pięć klas oświetlenia (pięć klas opraw oświetleniowych).

- **oświetlenie ogólne** – równomierne oświetlenie pewnego obszaru bez uwzględnienia szczególnych wymagań dotyczących oświetlenia poszczególnych obszarów,
- **oświetlenie miejscowe** – dodatkowe oświetlenie przedmiotu pracy wzrokowej, z uwzględnieniem szczególnych potrzeb oświetleniowych, uwidocznienia szczegółów itp., załączane niezależnie od oświetlenia ogólnego,
- **oświetlenie złożone** – oświetlenie składające się z oświetlenia ogólnego i oświetlenia miejscowego.



Obliczenia oświetleniowe mają na celu:

- wyznaczenie natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej,
- wyznaczenie mocy źródeł światła
- wyznaczenie zapotrzebowania energii na cele oświetleniowe.

Metody obliczeń:

- Metoda sprawności oświetlenia (strumieniowa),
- Metoda punktowa,
- Metoda jednostkowego zapotrzebowania mocy.

Sposób obliczeń rocznego zapotrzebowania energii na potrzeby oświetlenia podaje Rozp. MI. z 06.11.2008r.

### Rozporządzenie MI z 06.11.2008r.

§ 180a. W budynku użyteczności publicznej, o którym mowa w poniższej tabeli, wartość mocy jednostkowej oświetlenia nie może przekraczać określonych wielkości dopuszczalnych:

| Typ budynku                                                                                                                                                                                                                                                                         | Maksymalna wartość mocy jednostkowej<br>[W/m <sup>2</sup> ] |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----|----|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Klasa kryteriów <sup>*)</sup>                               |    |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                     | A                                                           | B  | C  |
| Biura                                                                                                                                                                                                                                                                               | 15                                                          | 20 | 25 |
| Szkoły                                                                                                                                                                                                                                                                              | 15                                                          | 20 | 25 |
| Szpitala                                                                                                                                                                                                                                                                            | 15                                                          | 25 | 35 |
| Restauracje                                                                                                                                                                                                                                                                         | 10                                                          | 25 | 35 |
| Sportowo-rekreacyjne                                                                                                                                                                                                                                                                | 10                                                          | 20 | 30 |
| Handlowo-usługowe                                                                                                                                                                                                                                                                   | 15                                                          | 25 | 35 |
| <sup>*)</sup> Ustala się następujące klasy kryteriów:<br>A - spełnianie kryteriów oświetlenia w stopniu podstawowym<br>B - spełnianie kryteriów oświetlenia w stopniu rozszerzonym<br>C - spełnienie kryteriów oświetlenia w stopniu pełnym z uwzględnieniem komunikacji wizualnej. |                                                             |    |    |

[illegible]

### Przyczyny spadku poziomu natężenia oświetlenia:

Wyróżnia się 6 podstawowych przyczyn spadku poziomu natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej:

- zmiany temperatury otoczenia, napięcia zasilającego i parametrów stateczników,
- starzenie się materiałów zastosowanych w oprawach oświetleniowych,
- zabrudzenie pomieszczenia,
- wygasanie źródeł światła,
- spadek skuteczności świetlnej źródeł światła,
- zabrudzenie opraw.

W praktyce, w większości przypadków, wpływ dwu pierwszych przyczyn jest pomijany, a uwzględnia się tylko wpływ pozostałych.

Poziom natężenia oświetlenia ulega w trakcie użytkowania obniżeniu spowodowanym przez:

- stopniowy spadek strumienia świetlnego wytwarzanego przez źródła światła,
- pogorszenie stanu odbłyśników i kloszy opraw,
- gromadzenie się zanieczyszczeń na oprawach i źródłach światła (im stopień szczelności oprawy wyposażonej w klosz jest wyższy, tym zanieczyszczenie odbłyśnika i lampy jest mniejsze),
- zanieczyszczenia i zniszczenia powierzchni otaczających (dotyczy wnętrza).

Z tych względów w okresach założonych w dokumentacji należy dokonywać zabiegów konserwacyjnych polegających na:

- czyszczeniu z kurzu opraw oświetleniowych,
- myciu odbłyśników i kloszy opraw,
- myciu źródeł światła.

### Systemy konserwacji:

Wyznaczenie systemu konserwacji polega na określeniu:

- rodzaju wymiany źródeł światła,
- okresu wymiany źródeł światła w przypadku wymiany grupowej,
- okresu odnawiania pomieszczenia,
- okresu czyszczenia opraw oświetleniowych.

Określenie okresów konserwacyjnych powinno odbywać się na podstawie kryteriów technicznych i ekonomicznych.

Tabela 15. Orientacyjne okresy zabiegów konserwacyjnych

| Osadzanie się zanieczyszczeń | Przykładowe pomieszczenia                                         | Miesięczny spadek natężenia oświetlenia [%] | Częstotliwość zabiegów [miesiące] |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|
| Silne                        | kotłownie, huty, zakłady włókiennicze                             | 15-20                                       | 2                                 |
| Średnie                      | zakłady przemysłu metalowego, prefabrykacja elementów budowlanych | 8-10                                        | 5                                 |
| Słabe                        | biura, pomieszczenia klimatyzowane, przemysł spożywczy            | 4-5                                         | 10                                |

Zużycie energii elektrycznej na cele oświetleniowe w Polsce w 1999r.:

Łącznie 26 TWh (~19% całkowitego zużycia energii elektrycznej)

Z tego: ok. 55% - oświetlenie gospodarstw domowych i rolnych,  
ok. 20% - oświetlenie lokali handlowych, lokali użyteczności publicznej,  
ok. 18% - oświetlenie w przemyśle,  
ok. 7% - oświetlenie dróg i ulic.

Szacuje się, że do 2030r. światowe zapotrzebowanie na energię, a więc i na poziom emisji CO<sub>2</sub> **wzrośnie o 60%**.

Bardzo istotne znaczenie nabiera **oszczędność energii**

- Ograniczone zasoby energii
- Zanieczyszczenie środowiska (gazy cieplarniane i metale ciężkie)

Na oświetlenie elektryczne w różnych obiektach zużywa się od ok. 10% do ok. 55% energii elektrycznej.

Tabela 16. Struktura zużycia energii elektrycznej i mocy zainstalowanej

| Kategoria finalnego zużycia energii | Roczne zużycie energii (GWh) | % całej kategorii odbiorców | Całkowita moc zainstalowanych urządzeń (kW) |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|
| Gospodarstwa domowe:                |                              |                             |                                             |
| oświetlenie                         | 14 550                       | 55%                         | 13 250                                      |
| lodówki                             | 5 412                        | 21%                         | 3 288                                       |
| bojlery                             | 1 160                        | 4%                          |                                             |
| Lokale niemieszkalne:               |                              |                             |                                             |
| oświetlenie                         | 5 321                        | 54%                         | 2 163                                       |
| Przemysł:                           |                              |                             |                                             |
| silniki                             | 29 771                       | 58%                         | 11 173                                      |
| oświetlenie                         | 4 507                        | 9%                          | 1 132                                       |

### Potencjalne oszczędności w oświetleniu gospodarstw domowych

W 1999r. zużycie energii elektrycznej na cele oświetleniowe gospodarstw domowych wynosiło 14,5 TWh

Liczba gospodarstw domowych: ok. 11 mln

Zużycie energii elektrycznej na 1 gosp. domowe:

- rocznie - 1318 kWh
- miesięcznie - 110 kWh
- dziennie - 3,66 kWh

Oszacowana liczba żarówek w mieszkaniach – 100 mln.

Skuteczność świetlna żarówek –  $10 \div 15 \text{ lm/W}$

Skuteczność świetlna żarówek kompaktowych –  $60 \div 75 \text{ lm/W}$

Potencjalne oszczędności wynikające wymiany żarówek na świetlówki kompaktowe: ~80%

Potencjalna oszczędność roczna:

– w skali gosp. dom. – 1050 kWh

– w skali kraju – 11,6 TWh

Szacuje się, że dotychczas wykonana wymiana wynosi ok. 20%, stąd potencjalne możliwości oszczęd. w oświetleniu w gospodarstwie domowym wynoszą:

ok. 9,3 TWh

Warunki osiągnięcia tych oszczędności:

- **ekonomiczne** – zmiana relacji cen żarówek i świetlówek kompaktowych (częściowe dotowanie)
- **mentalne** – przekonanie społeczeństwa o braku szkodliwości oddziaływania świetlówek kompaktowych

Potencjalne oszczędności w oświetleniu pomieszczeń przemysłowych i pom. użyteczności publicznej:

Łączne zużycie energii elektrycznej na cele oświetleniowe w 1999r.: 10 TWh,

W tym: 4,6 TWh – oświetlenie pomieszczeń przemysłowych

5,4 TWh – oświetlenie obiektów użyteczności publicznej

Możliwe oszczędności (dwa etapy):

- Etap I : Wymiana źródeł światła na źródła o większej skuteczności świetlnej

Zrealizowany w ok. 50%, potencjalne możliwe oszczędności – 5 TWh,  
czyli 2,5 mln. ton węgla

- Etap II : Dostosowanie się do wymagań PN-EN 12464-1 obejmujące:
  - lepsze wykorzystanie światła dziennego,
  - wprowadzenie bardziej racjonalnych opraw,
  - wprowadzenie systemów regulacji i włączania oświetlenia,
  - stosowanie systemu konserwacji oświetlenia,

Potencjalne oszczędności łącznie rzędu 50% czyli **2,5 TWh**

**Łączne potencjalne oszczędności** na oświetleniu obiektów budowlanych:

**$9,3 + 5 + 2,5 = 16,8$  TWh (ok. 70%)**

Inne sposoby inwestycyjne i eksploatacyjne sprzyjające zmniejszeniu energochłonności oświetlenia elektrycznego wewnątrz:

- optymalny wybór sprzętu oświetleniowego:
  - źródeł światła o wysokiej skuteczności świetlnej,
  - opraw o odpowiednich systemach optycznych,
  - sprzętu stabilizacyjno – zapłonowego,
- optymalny wybór systemu oświetlenia (oświetlenie mieszane z dużym udziałem oświetlenia miejscowego),
- optymalna eksploatacja:
  - czystość opraw,
  - wymiana źródeł światła,
  - malowanie ścian i sufitów pełniących rolę wtórnych źródeł światła rozproszonego,

## 12. Możliwości zmniejszenia zużycia energii (10)

94

Tabela 17. Nakłady inwestycyjne jednostkowe, oszczędność energii elektrycznej i okresy samospłaty inwestycji związanych z modernizacją oświetlenia

| Krok inwestycyjny                                                                          | Koszt ECU                 | Oszczędność energii w % | Okres samospłaty [lat]             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Wymiana żarówek na świetlówki kompaktowe                                                   | 15÷25<br>każda nowa lampa | 40÷70                   | 1÷3                                |
| Wymiana świetlówek o średnicy 38mm na świetlówki o średnicy 26mm                           | 4÷6 każda nowa lampa      | 8                       | <2                                 |
| Wymiana naświetlaczy żarówkowych na naświetlacze z żarówkami halogenowymi                  | 20÷35 każda nowa lampa    | 30÷75                   | 2÷3                                |
| Montaż stateczników wysokiej częstotliwości do świetlówek                                  | 20÷65 na każdą oprawę     | 15÷20                   | 5÷15                               |
| Wymiana odbłyśników rozpraszających na kierunkowe i wymiana rastrów na klosze pryzmatyczne | 30÷60 na każdą oprawę     | 20-50                   | 2÷6 jeżeli potrzeba niewiele opraw |
| Montaż automatycznych regulatorów oświetlenia                                              | -                         | 20-50                   | 2÷5                                |
| Montaż oświetlenia miejscowego zamiast ogólnego                                            | -                         | 60-80                   | 4÷8                                |

## 12. Możliwości zmniejszenia zużycia energii (11)

95

Tabela 18. Oszczędności w zużyciu energii elektrycznej wynikające z wymiany źródeł światła (jedno za jedno)

| Źródło światła „stare”                         | Źródło światła „nowe”                                                            | Oszczędność energii elektrycznej (%) |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Żarówka gł. szeregu<br>100W/100W/1250lm/1000h* | Świetlówka 40W/Ø38<br>40W/50W/2560lm/>6000h                                      | 76,4                                 |
| Żarówka gł. szeregu<br>100W/100W/1250lm/1000h  | Świetlówka 36W/Ø26<br>36W/46W/3000lm/7500h                                       | 80,8                                 |
| Żarówka gł. szeregu<br>100W/100W/1250lm/1000h  | Świetlówka 36W/Ø26 st.<br>(statecznik elektroniczny)<br>36W/36W/3200lm/10000h    | 85,9                                 |
| Żarówka gł. szeregu<br>100W/100W/1250lm/1000h  | Świetlówka kompaktowa ze<br>statecznikiem indukcyjnym<br>18W/24W/1200lm/8000h    | 75                                   |
| Żarówka gł. szeregu<br>100W/100W/1250lm/1000h  | Świetlówka kompaktowa ze<br>statecznikiem elektronicznym<br>20W/20W/1200lm/8000h | 79,2                                 |
| Rtęciówka<br>250W/271W/11500lm/6000h           | Sodówka z mieszaniną Pheninga<br>210W/231W/19000lm/7000h                         | 45,7                                 |
| Rtęciówka<br>250W/271W/11500lm/6000h           | Sodówka<br>250W/281W/27000lm/15000h                                              | 55,8                                 |

\*kolejne liczby oznaczają: moc źródła/moc zespołu źródło-statecznik/strumień świetlny/  
/trwałość.

Tabela 20. Oszczędności w zużyciu energii elektrycznej wynikające z bezpośredniej wymiany źródeł światła

| Lp. | Źródło światła „stare”                               | Źródło światła „nowe”                                                                          | Oszczędność energii elektrycznej [%] |
|-----|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1   | Żarówka zwykła<br>100 W/100 W/1250 lm/1000 h         | Świetlówka kompaktowa Dulux EL<br>20 W ze stateczn. elektronicznym<br>20 W/20 W/1200 lm/8000 h | 79,2                                 |
| 2   | Rtęciówka<br>250 W/271 W/11500 lm/6000 h             | Sodówka z mieszaniną Penninga<br>210 W/231 W/18000 lm/7000 h                                   | 45,7                                 |
| 3   | Rtęciówka<br>250 W/271 W/11500 lm/6000 h             | Lampa halogenkowa HQI-T-250, prod. OSRAM 250 W/275 W/19000 lm/5000 h                           | 38,6                                 |
| 4   | Świetlówka 40 W/ ø 38 mm<br>40 W/50 W/2650 lm/6000 h | Świetlówka 36 W/ø26 mm<br>36 W/46 W/3000 lm/7500 h                                             | 18,8                                 |
| 5   | Żarówka zwykła<br>100 W/100 W/1250 lm/1000 h         | Sodówka<br>70 W/84 W/6500 lm/5000 h                                                            | 83,8                                 |

## 12. Możliwości zmniejszenia zużycia energii (13)

97

Tabela 27. Sposoby oszczędzania energii elektrycznej i oświetleniu wnętrz

|                                                                                                                                      | biu-<br>ra | szko-<br>ły | prze-<br>mysł | szpitale | obiekty<br>handlo-<br>we | obiekty<br>wypoczyn-<br>kowe |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|---------------|----------|--------------------------|------------------------------|
| optymalizowane oświetlenie dzienne<br>wewnątrz budynku                                                                               | x          | x           | x             | x        | x                        | x                            |
| instalowanie energooszczędnych<br>źródeł światła:                                                                                    |            |             |               |          |                          |                              |
| wymiana żarówek na świetlówki<br>kompaktowe,                                                                                         | x          | x           | x             | x        | x                        | x                            |
| wymiana świetlówek o średnicy 36mm<br>na świetlówki o średnicy 26 mm,                                                                | x          | x           | x             | x        | x                        | x                            |
| wymiana oświetlenia<br>żarówkowego na halogenowe lub z<br>lampami wyładowczymi<br>wysokoprężnymi,                                    | x          | x           |               |          | x                        | x                            |
| instalowanie bardziej<br>energooszczędnych opraw                                                                                     | x          | x           | x             | x        | x                        | x                            |
| montaż stateczników wysokiej<br>częstotliwości do świetlówek                                                                         | x          | x           | x             | x        | x                        | x                            |
| regularna wymiana i czyszczenie<br>źródeł oraz opraw oświetleniowych                                                                 | x          | x           | x             | x        | x                        | x                            |
| montaż oświetlenia miejscowego<br>zamiast ogólnego                                                                                   | x          |             | x             |          |                          |                              |
| zachęcanie do wyłączania ręcznego<br>źródeł gdy oświetlenie nie jest<br>konieczne, gdy nie wykorzystuje się<br>oświetlenia dziennego | x          | x           | x             | x        | x                        | x                            |
| montaż wyłączników oświetlenia<br>odpowiadających obszarom zadań<br>wzrokowych                                                       | x          |             | x             |          |                          | x                            |
| montaż automatycznych regulatorów<br>oświetlenia                                                                                     | x          | x           | x             | x        | x                        |                              |

### Systemy sterowania oświetleniem w dużych obiektach użyteczności publicznej

- System tradycyjny
  - Rozdzielnice oświetleniowe
  - Przełączniki z opisem obwodów
- Zegary sterujące (oświetlenie pełne – ośw. oszczędne)
  - Kłopoty z programowaniem zegara tygodniowego
- Panele dotykowe współpracujące ze zintegrowanym sterownikiem
  - Uprozczone oprzewodowanie
  - Prosta intuicyjna obsługa
  - Możliwość programowania paneli i tworzenia różnych możliwości sterowania
- Zastosowanie przekaźników programowalnych
- Przekaźniki programowalne współpracujące z panelami dotykowymi.

1. Oświetlenie powinno zaspokoić potrzeby właścicieli i użytkowników oświetlanych przestrzeni, w tym także w zakresie ekonomii.
2. Często kryteria ekonomiczne ograniczają rozwiązania oświetleniowe w zakresie realizacji potrzeb psychofizjologicznych i estetycznych.
3. Koszt oświetlenia powinien uwzględniać:
  - koszty inwestycyjne (w tym sterowania oświetlenia).
  - Koszty eksploatacyjne (zużywana energia i konserwacja)

4. Należy dążyć do tzw. oświetlenia zrównoważonego uwzględniającego potrzebę:

- minimalizowania zużycia energii elektrycznej,
- max wykorzystania oświetlenia dziennego w oświetlaniu,
- poprawy jakości oświetlenia,
- stosowania przyjaznego środowiskowo sprzętu oświetleniowego i jego utylizacji.

**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ**

Dr inż. Jan Strzałka

e-mail: [biuro@sep.krakow.pl](mailto:biuro@sep.krakow.pl)