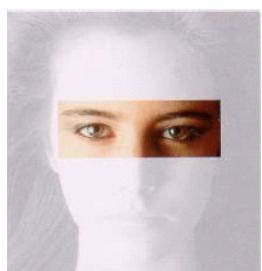


ELEKTRIČNA RASVJETA



Čovjek prvenstveno skuplja informacije vidom, budući je njegova okolina vizuelni svijet. Oko je najvažnije čulo i dobija 80% svih informacija koje čovjek prima. Bez svjetla ovo ne bi bilo moguće – svjetlo je medij koji omogućava vizuelnu percepцију. Brzina prenosa informacija vidom je gotovo 10 puta veća nego slušom.

Svjetlo ne omogućuje samo da vidimo, već i utiče na raspoloženje i osjećaje. Osvijetljenost i boja, uticaj sjenke i promjena svjetla i tame utiču na trenutne osjećaje i određuju ritam života.

Nedovoljno svijetla ili potpuni izostanak stvaraju osjećaj nesigurnosti – nedostatak informacija. Vještačko svjetlo zbog toga povećava osjećaj sigurnosti.

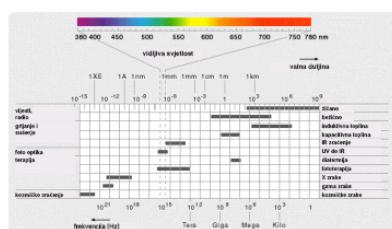
Prosječan Evropljanin provede 90% svog vremena u zatvorenom, pa je zbog toga važnost vještačke rasvjete nenadoknadiva. Sve što se želi vidjeti mora biti osvijetljeno, budući je sama svjetlosć nevidljiva.

Sunčanog dana osvijetljenost je do 100.000 lx, u hladu drveta 10.000 lx, a pri mjesecini samo 0,2 lx. Ipak, prilagodljivost oka dozvoljava da vidimo u svim ovim uslovima.

Prije 400.000 godina čovjek je počeo koristiti vatru kao izvor svjetla i toplote. Unazad nekoliko desetaka godina razvoj izvora svjetlosti i svjetiljki je izuzetno dinamičan, te uključuje najnovije tehnologije, nove optičke sisteme, nove materijale i posebno – brigu prema okolini.

Elektromagnetsko zračenje je oblik energije, a spektar takvog zračenja daje informaciju o njegovom sastavu. Kompletan spektar elektromagnetskog zračenja obuhvata od X-zraka na visokoenergetskom, kratkotalasnom području do radio talasa na niskoenergetskom, kratkotalasnom području.

Svetlost je elektromagnetsko zračenje talasnih duljina od 10^{-7} m do 10^{-3} m koje nadražuje mrežnjaku u čovječjem oku i time u organizmu izaziva osjećaj vida. Taj dio zračenja nazivamo optičko zračenje.



Svetlost se može protumačiti na dva načina,

i to u:

- fizičkom smislu (prenos energije u obliku elektromagnetskih talasa ili čestica)
- čulnom smislu (modeliranje djelovanja ljudskog oka)

Od ukupne energije koju zrači neki izvor svjetlosti, samo elektromagnetsko zračenje talasnih duljina od 380 do 780 nm može izazvati vizuelni osjećaj svjetline, i naziva se vidljivi dio spektra. Iznad i ispod tog dijela spektra nalazi se infracrveno (IR) i ultraljubičasto (UV) područje.

IR područje obuhvata talasne duljine od 780 nm do 1 mm. Ovo termičko zračenje sunca omogućuje život na zemlji.

UV zračenje (100 do 380 nm) je zbog svog biološkog učinka nužno, ali i štetno u UV-C području (ozonska rupa!)

Za tumačenje fizičkih svojstava svjetlosti koristimo se dualnom teorijom zračenja:

Talasnom teorijom: Svjetlost se širi prostorom kao elektromagnetski talas. Brzina prostiranja je: $c=f\lambda$, gdje je c brzina prostiranja (m/s), f frekvencija zračenja (Hz) i λ talasna dužna (m).

Brzina prostiranja talasa zavisi o osobinama (elastičnosti i gustini) sredina kroz koje talas prolazi, a u vakuumu iznosi 3×10^8 m/s. Kada talas prelazi iz jedne sredine u drugu ili se prostire kroz nehomogenu sredinu, brzina i talasna dužina mu se mijenjaju, a frekvencija ostaje ista.

Kvantnom teorijom: Svako je zračenje sastavljeno od elementarnih energetskih čestica (fotona). Fotoni se u vakuumu šire brzinom svjetlosti i njihova je energija veća što je frekvencija zračenja veća, odnosno što je talasna dužina manja. Količina energije definiše se kao:

$$W=h \cdot f, \text{ gdje je } h \text{ Plankova konstanta } (6,6256 \times 10^{-34} \text{ Js}) \text{ i } f \text{ frekvencija zračenja.}$$

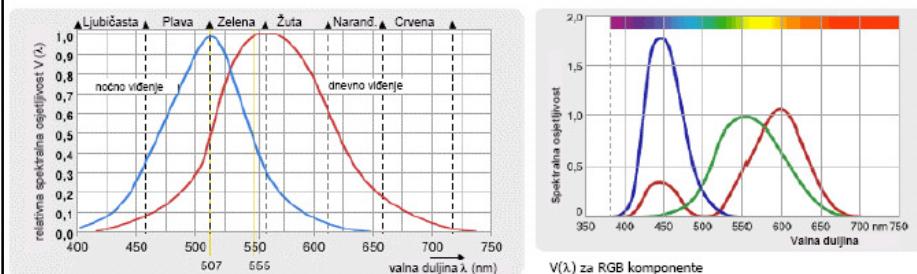
Upravo ova pretpostavka da atom ne može primiti ili emitovati bilo kakvu količinu energije, već samo neke određeno količine (kvante) dalo je teoriji ime.

Foton nema materijalne osnove, dakle ima energiju samo ako se kreće. Kada neki foton nađe na neki materijalni atom onda on nestaje i predaje mu svu energiju. Novo zračenje materije može tada imati istu ili manju energiju, te stoga ima veću talasnu dužinu. Ovo svojstvo koristi se kod izvora svjetlosti na zasnovanih na pražnjenju u gasovima, fluorescentnih materijala i fotoelementa.

I talasna i kvantna teorija zračenja koriste se za objašnjenje učinka svjetlosti i njenog ponašanja prema zakonima prirode.

Vidljivi dio spektra obuhvata zračenja talasne dulžine od **380 - 780 nm**.

Čunjići (čepići) u oku dijeli svjetlo u tri različita područja spektra, koje nazivamo crveni, zeleni i plavi (RGB), te pobuduju mozak na aditivno miješanje boja. Zbog toga ljudsko oko nije jednako osjetljivo na sve dijelove vidljivog spektra. To znači da je za talasne dulžine na krajevima vidljivog spektra potrebna veća snaga zračenja da bi se dobio utisak iste sjajnosti.



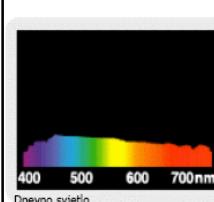
Odnos između snage zračenja pri 555 nm i snage zračenja za druge talasne dulžine naziva se relativna svjetlosna osjetljivost. Krive $V(\lambda)$ i $V'(\lambda)$ koriste se za vrednovanje stepena svjetlosnog utiska energetsko jednakačkih spektara.

Zavisno o nivou sjajnosti (luminancije), dva tipa očnih receptora - štapići i čunjići - su uključeni u proces viđenja:

- štapići su jako osjetljivi na sjajnost, a manje na boju, pa su aktivniji pri manjoj sjajnosti (noćno ili fotopsko viđenje) i njihova maksimalna osjetljivost se nalazi u plavo-zelenom području na 507 nm - $V'(\lambda)$

- čepići su osjetljiviji na boju, i preuzimaju ulogu u dnevnom (skotopskom) viđenju pri jačoj sjajnosti i njihova maksimalna osjetljivost se nalazi u žuto-zelenom području na 555 nm - $V(\lambda)$

Prema ovim krivima podešavaju se svjetlotehnički instrumenti.



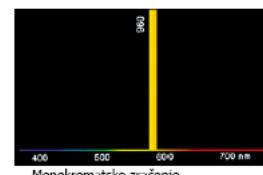
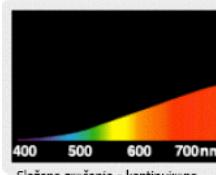
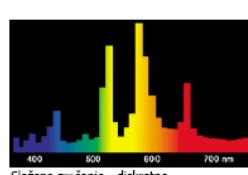
Naša percepcija svjetla zasniva se na njegovoj raspodjeli na spektralne komponente (frekventni sastav). Razlikujemo:

Monohromatsko zračenje - sastoji se od samo jedne talasne dulžine, odnosno vrlo uskog spektra koji se može tako prikazati (npr. širine 10 nm)

Složeno zračenje - sastoji se od više različitih talasnih dulžina. Dijelimo ga na:

Kontinualno zračenje - bez skokovitih promjena talasnih dulžina

Diskretno zračenje - sa skokovitim promjenama talasnih dulžina



Vidljivo zračenje može se podijeliti na:



ljubičasto 380 - 436 nm

plavo 436 - 495 nm

zeleno 495 - 566 nm

žuto 566 - 589 nm

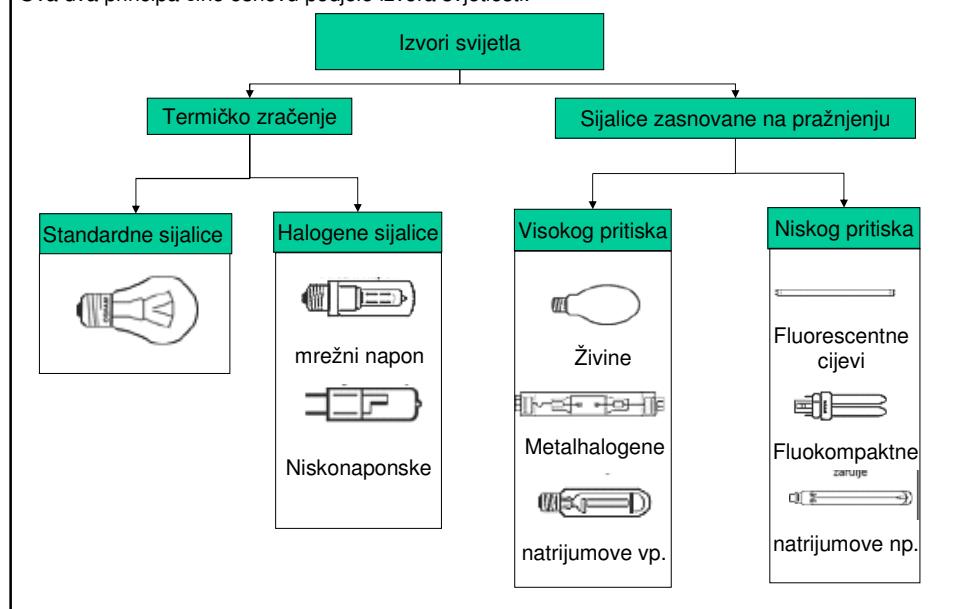
naranđasto 589 - 627 nm

crveno 627 - 780 nm

Generisanje svjetlosti

Postoje dva načina generiranja vještačkog svijetla: **termičko zračenje** i **luminiscentno zračenje**.

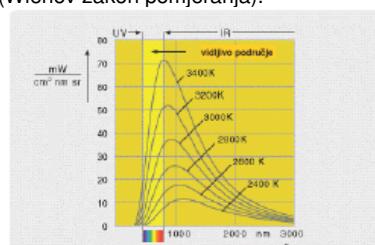
Ova dva principa čine osnovu podjele izvora svjetlosti.



Sve sijalice sa užarenom niti koriste princip **termičkog zračenja**. Užarena nit se grie prolaskom struje, i pri tome emituje spektar zračenja koje je slično zračenju crnog tijela.

Sva tijela na temperaturi iznad 0 K emituju elektromagnetsko zračenje zbog termičkog kretanja atoma.

Termičko zračenje ima kontinualni spektar zračenja koji je definisan kao funkcija temperature i faktora emisije materijala. Količina infracrvenog zračenja smanjuje se s povećanjem temperature, i ako je temperatura dovoljno visoka generiše se i vidljivo zračenje. Naime, maksimumi zračenja pomiču se prema kraćim talasnim dužinama kada temperatura raste (Wienov zakon pomjeranja).



Takvo zračenje (zračenje crnog tijela) opisuje se Stefan - Boltzmanovim zakonom koji za cijelo područje talasnih dužina glasi:

$$Me = \sigma \times T^4$$

gdje je:

Me – specifično isijavanje crnog tijela (W/m^2)

σ - konstanta ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

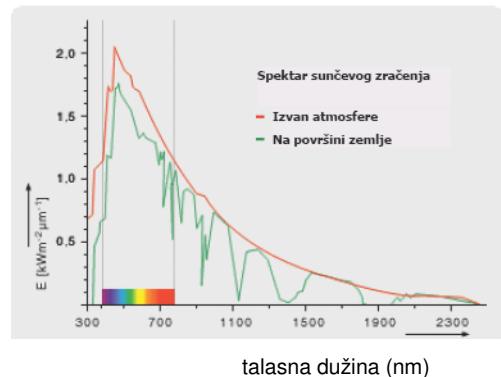
T – termodinamička temperatura (K)

Faktor emisije materijala je funkcija talasne dužine i temperature, i određuje odnos između pojedinog materijala i idealnog crnog tijela.

Koefficijent emisije tungstena (koji se koristi za žarnu nit kod standardnih i halogenih sijalica) je jako povoljan, te mu maksimum zračenja leži u vidljivom dijelu spektra.

Svetlost sunca spada u grupu **termičkih isijavanja**.

Tijekom evolucije ljudsko oko se posebno prilagodilo spektru zračenja sunca, koje prolazi kroz atmosferu u dovoljnoj količini i jednoličnosti.

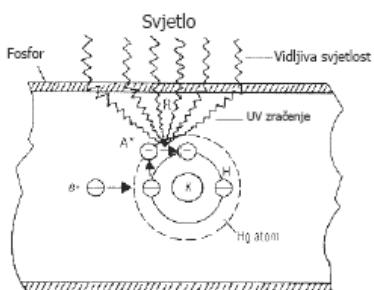


- Sunčev zračenje odgovara temperaturi crnog tijela od 5.800 K
- Specifična energija zračenja iznosi izvan atmosfere 1.374 W/m². Na morskoj površini energija je 60-70% ove vrijednosti.
- Atmosfera propušta samo zračenje između 350 i 2.500 nm. Stoga u sunčevom zračenju nema UV-C i IR-C zračenja.
- Dnevno svjetlo mješavina je direktnog i reflektovanog zračenja, te zavisi od vremenskih uslova.

Svetlosno zračenje koje se ne zasniva na termičkom zračenju naziva se **luminiscentno zračenje**. Luminiscentno zračenje nastaje kada elektroni prelaze iz jedne energetske razine u drugu. Potrebnu energiju za luminiscenciju moguće je dovesti iz različitih izvora:

Primjer	Energija	Oznaka
Elektro luminiscencija	Električna energija	Pražnjenje u gasovima, pn - prelaz
Foto luminiscencija	Elektromagnetsko zračenje	UV konverzija s luminiscentnim materijalima
Hemo i bio luminiscencija	Energija hemijske reakcije	Gorenje, oksidacija, enzimske reakcije
Termo luminiscencija	Toplotna energija	Svetlosni efekti u kristalima
Tribo luminiscencija	Mehanička energija	Svetlosni efekti u kristalima
Radio luminiscencija	Radioaktivnost	Aurora Borealis

Sijalice visokog pritiska zasnovane na pražnjenju su prema tome izvori luminiscentnog zračenja gdje se potrebna izlazna energija dobiva fluksom električne struje. Za razliku od njih, luminiscencija fluorescentnih cijevi dolazi od energije zračenja (UV zračenja).



K – Atomska jezgra

H – Elektron u nižoj orbiti

e- - Pobudni elektron

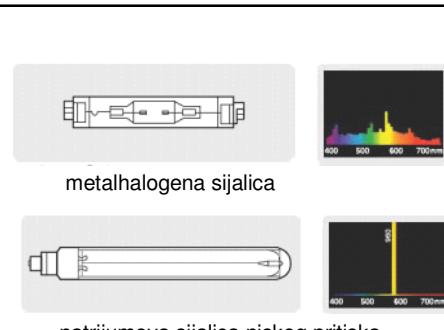
A* – Pobuđeni elektron u višoj orbiti

R – Emitovano zračenje pri prelasku A* u nižu orbitu

Atom inertnog gasa ili metalne pare sastoji se od jezgra i nekoliko elektrona koji putuju po tačno utvrđenim putanjama (energetski nivoi). Kada je atom inertnog gasa pogođen sa slobodnim elektronom ili jonom tada dolazi do prelaska elektrona u atomu na viši energetski nivo, na koji se kratko zadržava. Pri povratku na niži energetski nivo emituje se elektromagnetska energija u obliku svjetlosnog kvanta – fotona.

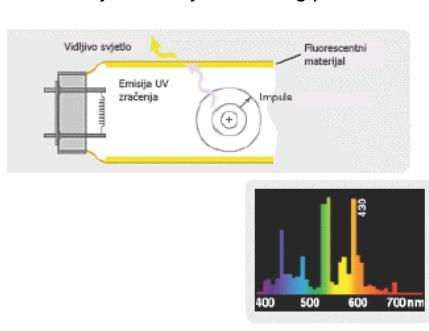
Energija fotona jednaka je razlici energetskih nivoa. U luminiscentnom zračenju postoji samo zračenje određene energije i određene talasne dulžine, koje zavisi od hemijskog sastava materije.

Luminiscentno zračenje ima diskretni spektar.



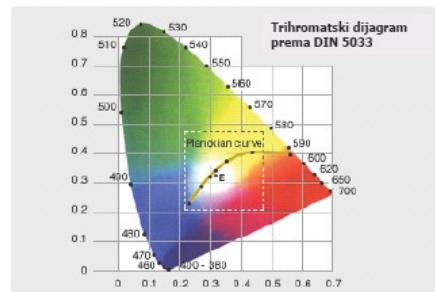
Metalhalogene sijalice spadaju u grupu sijalica visokog pritiska koje rade na principu pražnjenja. Pri visokom pritisku (~10 bar) plinsko punjenje emituje direktno vidljivo svjetlo pobuđeno elektronima. Dodavanjem elemenata rijetkih zemalja moguće je kontrolisati spektar zračenja.

Natrijumove sijalice se razlikuju od živinih sijalica niskog pritiska. Pritisak punjenja iznosi svega nekoliko milibara, ali ipak se emituje direktno vidljiva svjetlost, monohromatskog spektra zračenja (585 nm).



Kod živinih sijalica niskog pritiska (kao što su fluorescentne i fluokompaktne žarulje), za razliku od gore navedenih izvora, atomi žive ne emituju vidljivu svjetlost kao rezultat sudara, već emitiraju UV zračenje. Ovo UV zračenje pretvara se u vidljivu svjetlost zahvaljujući fluorescentnom materijalu (fosforu) koji se nalazi na unutarnjoj stani cijevi. Ovaj proces naziva se foto luminiscencija, i kao energiju pobude koristi elektromagnetsko zračenje (UV zračenje). Primjenom različitih fluorescentnih materijala (različitih fosfora) moguće je dobiti različite spekture zračenja, koji su diskretni.

Vidljivo zračenje čovjek je čini opaža samo po jačini svjetlosti već i po bojama. Taj se osjećaj naziva odražaj boja. Pri tome je svejedno da li se radi o zračenju izvora (boja svjetlosti) ili svjetljenom objektu (boja predmeta), jer je upravo svjetlost jedini izvor boje na svijetu. Svjetlost je uvijek obojena, a zastupljenost pojedinih boja može se odrediti analizom pojedinih talasnih dulžina. Svjetlost ne može proizvesti nikakvu boju koja nema u spektru te svjetlosti (primjerko kod monohromatskih izvora svjetlosti).



Definišu se trihromatske komponente:

- x - mjerilo za crvenu boju
 - y - mjerilo za zelenu boju
 - z - mjerilo za plavu boju
- $x + y + z = 1$

Theorija tri boje (crvene, zelene i plave), koje nadražuju pojedine čepićaste receptore u oku, te superponiranjem svih odražaja stvaraju zapažanje boje, osnova je kolorimetrije. Kolorimetrija ili mjerjenje boja je nauka koja se bavi kvantitativnim vrednovanjem boja. Na temelju teorije triju boja sve se boje mogu prikazati u dvodimenzionalnom koordinatnom sistemu, ako svaka tačka sistema predstavlja određenu boju, na čemu se zasniva **trihromatski dijagram**.

CIE je definisala standardni kolorimetrijski sistem 1931. godine, a standardizovan je prema DIN 5033.

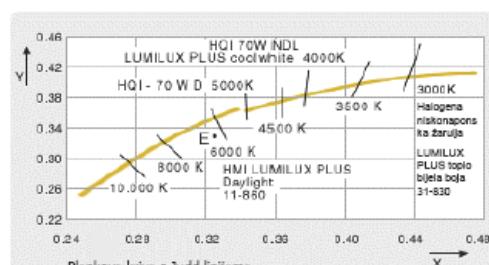
Uz pomoć trihromatskog dijagrama moguće je precizno odrediti svaku boju izvora svjetlosti uz poznati udio barem dve osnovne boje (x i y).

Za označavanje boje nekog izvora svjetlosti uz trihromatski dijagram koristi se i pojam **temperature boje**.

Temperatura boje označava boju izvora svjetlosti upoređenu sa bojom svjetlosti koju zrači idealno crno tijelo.

Temperatura idealnog crnog tijela u Kelvinima, pri kojoj ono emituje svjetlost kao mjereni izvor, naziva se temperatura boje tog izvora svjetlosti.

Kada se trihromatske komponente crnog tijela za različite temperature unesu u dijagram boja, dobija se linija koja se naziva Plankova kriva.



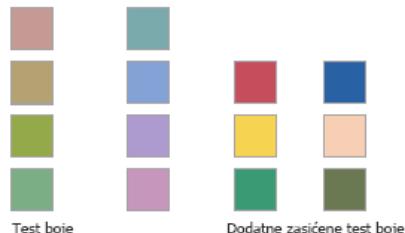
Zbog standardizacije, temperature boje izvora svjetlosti podijeljene su u tri grupe:

- dnevno svjetlo (>5.000 K)
- neutralno bijelo (3.500 - 5.000 K)
- toplo bijelo (<3.500 K)

Budući da izvori sa užarunom niti pripadaju grupi izvora s termičkim zračenjem, kao i idealno crno tijelo, njihove temperature boja leže na Plankovoj krivoj. Međutim, sijalice zasnovane na zračenju, kod kojih se svjetlo generiše principom luminiscencije, imaju bitno drugačije spektralne karakteristike, te tačke ne leže na Plankovoj krivoj nego u njenoj blizini, pa se za takve izvore koristi pojam "slične temperature boje". To je ona temperatura crnog tijela pri kojoj je njegova boja najsličnija boji izvora svjetlosti, što je određeno Judd linijama na Plankovoj krivoj.

Zavisno o primjeni, vještačko svjetlo treba da omogući da se boje vide kao da su obasjane prirodnim svjetlom. Ovaj kvaliteta izvora svjetla naziva se **reprodukcijska boja**, i izražava se faktorom reprodukcije boje (Ra faktorom). Reprodukcija boje nije povezan s temperaturom boje, te se ne može na osnovu temperature boje izvoditi zaključak o kvalitetu svjetla.

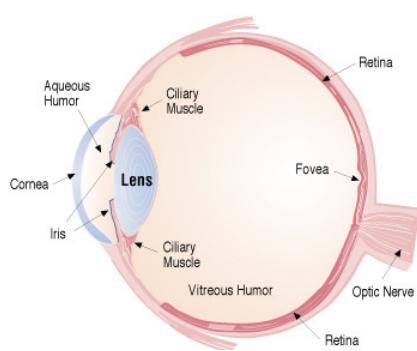
Faktor reprodukcije boje je mjera podudaranja boje objekta osvijetljenog izvorom koji se mjeri i boje tog objekta pod referentnim izvorom svjetla (s Ra=100). Što je Ra faktor izvora niži, to je reprodukcija boje tog izvora lošija.



Pri mjerenu reprodukcije boje promatra se odstupanje boje kod 8 (ili 14) testnih boja standardizovanih prema DIN 6169, do kojeg dolazi pri osvjetljavanju s mjerenim izvorom svjetlosti u odnosu na referentni izvor svjetlosti.

Zahtjeve na faktor reprodukcije boje postavlja primjena rasvjetnog sistema.

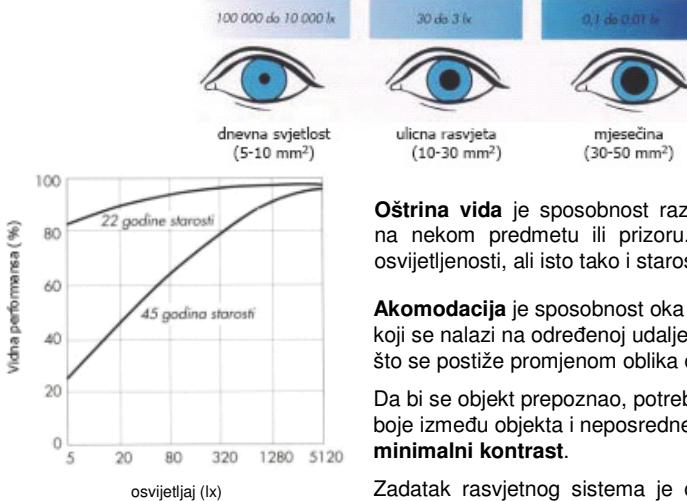
Čovječje oko



Naše oko je optički sistem za preslikavanje objekata na mrežnjaču. Može se vrlo fleksibilno prilagoditi različitim uslovima rasvjete. Granica osjetljivosti jest bilijonti dio luxa (zvijezda na noćnom nebnu). Mrežnjača je, za shvaćanje svjetla, odlučujući dio oka. Sastoji se od dva receptora različito osjetljivih na svjetlo: čunjiča (čepića), zaduženog za shvaćanje boja i štapića koji je odgovoran za visoku osjetljivost na svjetlo. Viđenje ima tri aspekta: prizor koji se gleda, slika tog prizora na mrežnjači i njegov konačni vidni doživljaj u mozgu. Poznati objekti prepoznaju se brže od novih objekata.

Mrežnjača predstavlja "projekciono platno" sa 130 miliona receptorskih ćelija, koje su uključene u proces viđenja zavisno od svjetlosnog nivoa. 120 miliona štapića osjetljivo je na svjetlo, i koristi se za osvijetljenost manju od 1 lx, a 7 miliona čepića koristi se za prepoznavanje boja.

Mogućnost oka da se prilagođuje na više ili manje nivoje sjajnosti naziva se **adaptacija**. Mogućnost adaptacije ljudskog oka kreće se unutar opsega sjajnosti od 1: 10 milijardi. Trajanje procesa adaptacije zavisi od sjajnosti na početku i kraju procesa. Adaptacija na manju sjajnost traje duže od adaptacije na višu sjajnost. Proces adaptacije omogućuje složena mreža ganglija - nervnih ćelija, koje prenose informacije do mozga.



Oština vida je sposobnost razlikovanja finih detalja na nekom predmetu ili prizoru. Na nju utječe nivo osvijetljenosti, ali isto tako i starost posmatrača.

Akomodacija je sposobnost oka da se prilagodi predmetu koji se nalazi na određenoj udaljenosti i da ga oštro vidi, što se postiže promjenom oblika očnog sočiva.

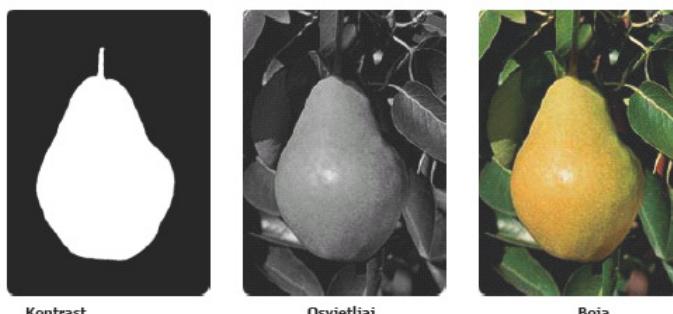
Da bi se objekt prepoznao, potrebna je razlika sjajnosti ili boje između objekta i neposredne okoline, što se naziva **minimalni kontrast**.

Zadatak rasvjetnog sistema je da stvori dobre vizuelne uslove poznavajući način rada oka - npr. postizanjem odgovarajuće osvijetljenosti i njene ravnomjerne raspodjele.

Trodimenzionalno ili stereoskopsko viđenje moguće je zahvaljujući činjenici da su naše oči međusobno razmaknute. Kada se fokusira objekt, likovi koji se stvaraju na mrežnjaci oka se neznatno razlikuju za svako oko zbog drukčije perspektive, a mozek koristi ove informacije da bi "izračunao" utisak prostora, što omogućava stvaranje utiska udaljenosti.

Kada se gleda u daljinu mozek razlikuje bliže i dalje objekte po plavoj komponenti njihovog svjetla. Bliži objekti imaju toplije i intenzivnije tonove, a dalji plavičasti i bleđi izgled.

Ljudski sistem percepcije koristi sljedeće informacije:



Na ljudsku percepciju bitno utiče izvor svjetlosti sa svojim karakteristikama boje svjetla i reprodukcije boje!

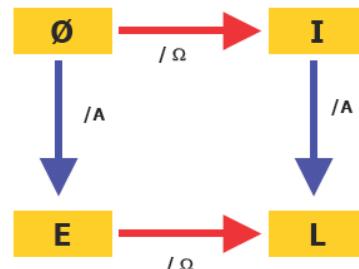
Svetlost se vrednuje na dva načina: fizičkim veličinama i svjetlotehničkim veličinama.

Fizičkim se veličinama svjetlost opisuje u onom djelu gdje svjetlost posmatramo energetski, kao elektromagnetski talas ili kao energetsku česticu.

Svetlotehničke odnosno **fotometrijske** veličine vrednuju svjetlost na temelju čulnog efekta i ograničene su samo na vidljivo zračenje spektra 380 do 780 nm.

Da bi se ove jedinice razlikovale dodaje im se indeks **e** za fizičalne i **v** za fotometrijske. Ako se odnose samo na određenu talasnu dužinu dodaje se još oznaka λ , a ako se odnose na neki spektar onda se u zagradi piše npr. $V(\lambda)$.

Veličina	Oznaka	Formula	Mjerna jedinica
Svetlosni fluks	\emptyset	$\emptyset = I \times \Omega$	Lumen (lm)
Intenz. svjetlosti	I	$I = \emptyset / \Omega$	Candel (cd)
Osvjetljaj	E	$E = \emptyset / A$	Lux (lx)
Sjajnost (luminancija)	L	$L = I / A$	Candel po kv.metru (cd/m^2)

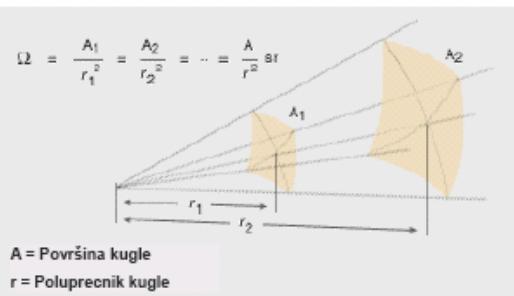


A - osvijetljena ili svjetleća površina (m^2)

Ω- prostorni ugao (sr)

Fotometrijske formule:

Jacina svjetlosti I	Svetlosni fluks u određenom smjeru Prostorni ugao	$I[cd] = \emptyset[lm]/\Omega[sr]$
Svetlosni fluks \emptyset	Jacina svjetlosti \times Prostorni ugao	$\emptyset[lm] = I[cd] \times \Omega[sr]$
osvjetljenost E	$\frac{\text{Svetlosni tok}}{\text{osvjetljena površina}} = \frac{\text{Jacina svjetlosti}}{\text{Kvadrat udaljenosti}}$	$E[lx] = \emptyset[lm]/A[m^2] = I[cd]/d^2[m^2]$
Luminancija L	$\frac{\text{Jacina svjetlosti}}{\text{Svjetleća površina}}$	$L[cd/m^2] = I[cd]/A[m^2]$
Svetlosna iskoristivost η	$\frac{\text{Svetlosni fluks}}{\text{Električna snaga}}$	$\eta[lm/W] = \emptyset[lm]/P[W]$

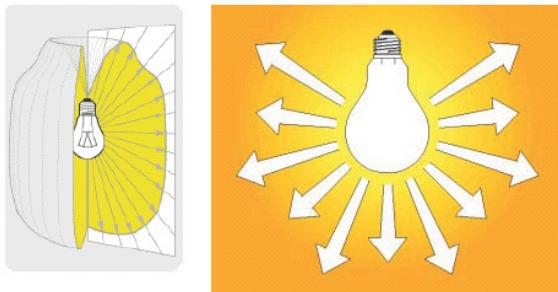


Prostorni ugao predstavlja odnos površine kugle (A) i kvadrata njenog poluprečnika (r).

$$\Omega = A/r^2$$

SI jedinica mjere je steradijan (sr). Puni prostorni ugao iznosi 4π sr.

Svetlosni fluks predstavlja snagu zračenja koju emituje izvor svjetla u svim smjerovima. Ovo zračenje ljudsko oko vrednuje kao svjetlost prema krivoj osjetljivosti ljudskog oka. Jedinica za svjetlosni fluks je lumen (lm). To je izvedena jedinica SI sistema - tačkasti izvor svjetla ima svjetlosni fluks od 1 lm kada u prostorni ugao od 1 sr zrači intenzitetom svjetlosti od 1 cd.



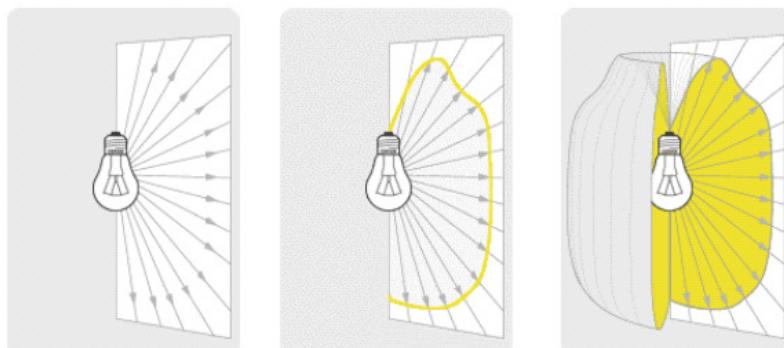
Svetlosni fluks standardne sijalice sa užarenom niti snage 100 W iznosi 1.380 lm, a kvalitetne fluorescentne cijevi snage 18 W iznosi 1.350 lm.

Da bi mogli povezati fotometrijske i fizičke veličine, koristimo konstantu srazmernosti $K(\lambda)$, koju nazivamo fotometrijski ekvivalent zračenja. Tako vrijedi:

$$\Phi = \Phi_v = K_m \int \Phi_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

gdje je K_m maksimalni fotometrijski ekvivalent zračenja i iznosi **683 lm/W** kod monohromatskog zračenja od **555 nm**.

Intenzitet svjetlosti predstavlja snagu zračenja koju emituje izvor svjetla u određenom smjeru. Jedinica za intenzitet (jačinu) svjetlosti je candela (cd). To je osnovna jedinica SI sustava - definisana kao intenzitet svjetlosti koju u određenom smjeru zrači monohromatski izvor svjetla frekvencije 540×10^{12} Hz i snage zračenja u tom smjeru od $1/683$ W/sr.



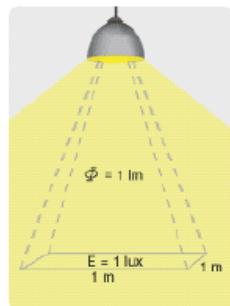
Intenzitet svjetlosti može se predstaviti vektorom. Spajanjem svih vrhova vektora u jednoj ravnini izvora svjetlosti dobija se kriva distribucije intenziteta svjetlosti (fotometrijska kriva). Obično se kod prikaza fotometrijske krive odabiraju standardne ravni.

Izvori svjetlosti sa simetričnom karakteristikom definišaju se svjetlosnim fluksom u lumenima, i za njih vrijedi da je $\Phi = 4\pi I$, a ostali (npr. reflektorske sijalice) pomoću intenziteta svjetlosnog fluksa.

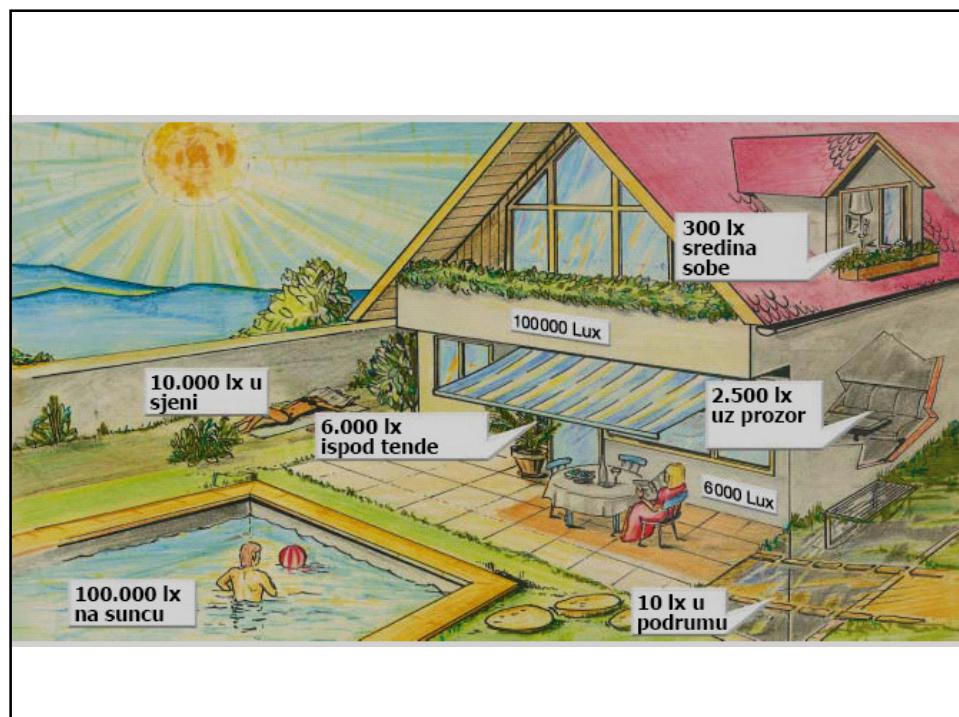
Važi: $I = I_v = d\Phi_v / d$, odnosno za konačni fluks: $I = \Phi/\Omega$

Osvijetljenost (osvjetljaj) je mjerilo za količinu svjetlosnog fluksa koja pada na određenu površinu. Jedinica za osvijetljenost je lux (lx) i to je izvedena jedinica SI sistema. Lux je definisan kao osvijetljenost 1 kvadratnog metra na koji pada ravnomjerno raspodijeljen svjetlosni fluks od 1 lm. Radi se o isključivo **računskoj** veličini, koju naše oko ne primjećuje.

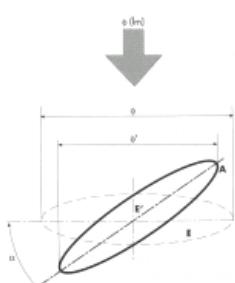
Primjeri nivoa osvijetljenosti:



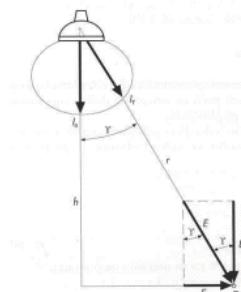
Primjer	Rasvijetljenost [lx]
Rasvjeta operacijskog stola	20.000 - 120.000
Sunčan ljetni dan	60.000 - 100.000
Oblačan ljetni dan	20.000
Oblačan zimski dan	3.000
Dobro rasvijetljeno radno mjesto	500 - 750
Pješačka zona	5 - 100
Noć s punim mjesecom	0,25
Noć s mladim mjesecom	0,01



Razlikujemo dvije vrste osvjetljenosti: **osvijetljenost površine** i **osvijetljenost u tački**.



osvijetljenost površine



osvijetljenost u tački.

Osvijetljenost površine je odnos svjetlosnog fluksa izvora svjetlosti koji pada normalno na zadatu površinu i zadane površine. U slučaju da svjetlosni fluks pada na zadatu površinu pod uglom γ , osvijetljenost je manja i iznosi:

$$E' = \Phi / A = \Phi \times \cos \alpha / A = E \times \cos \alpha.$$

Osvijetljenost tačke određene površine je odnos intenziteta izvora svjetlosti koja pada normalno na tu tačku i kvadrata udaljenosti, i iznosi $E = I / r^2$. U slučaju da svjetlosni fluks pada na tačku pod uglom γ , osvijetljenost u toj tački dobijamo kao rezultantu horizontalne i vertikalne osvijetljenosti: E_h i E_v .

$$E_h = E \times \cos \gamma; E_v = E \times \sin \gamma$$

Važe sljedeće formule za izračunavanje osvijetljenosti u tački:

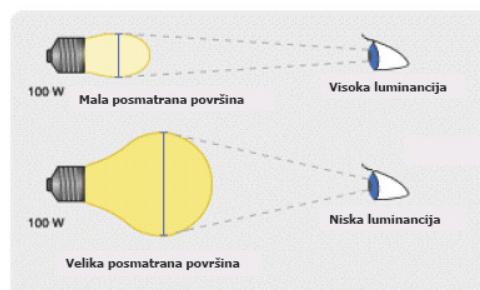
OSVJETLJAJ	POMOĆU r	POMOĆU h
E	$E = \frac{I}{r^2}$	$E = \frac{I}{h^2} \times \cos^2 \gamma$
E_h	$E_h = \frac{I}{r^2} \times \cos \gamma$	$E_h = \frac{I}{h^2} \times \cos^3 \gamma$
E_v	$E_v = \frac{I}{r^2} \times \sin \gamma = E_h \times \tan \gamma$	$E_v = \frac{I}{h^2} \times \cos^2 \gamma \times \sin \gamma =$ $= E_h \times \tan \gamma$

Srednja vrijednost osvijetljenosti neke površine izračunava se kao srednja vrijednost osvijetljenosti određenog broja tačaka te površine, tako da vrijedi:

$$E_M = \sum_{i=1}^N \frac{E_i}{N}$$

Ovaj izraz je izuzetno pogodan za proračun srednje osvijetljenosti, te je osnova rada većine programa za svjetlotehnički proračun. Raster tačaka za proračun definisan je međunarodnim standardima, ili prilagodljiv specifičnim zahtjevima.

Luminancija (L) (SJAJNOST) je sjajnost osvijetljene ili svjetleće površine kako je vidi ljudsko oko. Mjeri se u candelama po površini (cd/m^2), a za izvore svjetlosti često se koristi i prikladniji oblik (cd/cm^2). Oko posebno dobro vidi razliku između luminancija. Luminancija je jedina fotometrijska veličina koju ljudsko oko može direktno vidjeti.

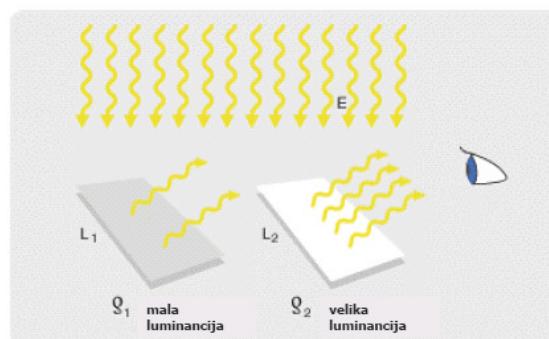


Primjer različitih izvora svjetlosti jednakog intenziteta svjetlosti, ali različite luminancije, koju primjećuje ljudsko oko.

Izvor svjetla	Prosječna luminancija [cd/m^2]
Suncе u podne	$1,6 \times 10^9$
Xenon kino sijalica	$0,2 - 5 \times 10^9$
Bistra standardna sijalica	$2 \times 10^6 - 2 \times 10^7$
Fluorescentna cijev	$1,2 \times 10^4$
Bijeli oblak	1×10^4
Svijeća	7.500
Vedro nebo	3.000 - 5.000
Mjesec	2.500
Ugodna unutarnja rasvjeta	50 - 500
Bijeli papir pri 500 lx	100
Bijeli papir pri 5 lx	1
Noćno nebo	10^{-3}

Luminancija ili sjajnost opisuje fiziološki uticaj svjetlosti na oko, te predstavlja najvažniji činilac projektovanja javne rasvjete. Kod difuznih refleksnih površina (faktor refleksije jednak u svim smjerovima), kakve se uglavnom nalaze kod unutrašnjih prostora, moguće je jednostavno povezati luminanciju i osvijetljenost sljedećim izrazom:

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi}$$



Zavisnost luminancije od površine

Budući da je luminanciju u tom slučaju jednostavno izračunati putem osvijetljenosti (koja se može jednostavno dobiti proračunom), onda se vrijednosti za unutrašnju rasvjetu uvijek daju u lx (osvijetljenost). Kod javne rasvjete, gdje okolina nema karakteristike difuzne refleksije, već prevladava miješana refleksija, ovaj izraz ne vrijedi, i vrijednosti za javnu rasvjetu daje se u cd/m^2 (luminancija).

Pri tome se definije koeficijent luminancije q (sr^{-1}), koji osim od vrste materijala zavisi i od položaja izvora svjetlosti i posmatrača, a da pri tome vrijedi: $L = q \times E$.

Količina svjetlosti - cijelokupna svjetlost koju neki izvor zrači fluksom vremena.

$$Q = Q_v = \int \Phi_v dt, \quad Q = \Phi_v t$$

Ekspozicija – ravanska gustina isijavanje količine svjetlosti

$$H = H_v = \frac{dQ_v}{dA} = \int E_v dt$$

Svjetlosno isijavanje –

isijavanje na tački izvora svjetla je svjetlosni fluks kojeg zrači jedinična površina u toj tački.

$$M = M_v = \frac{d\Phi_v}{dA}$$

Svjetlosna iskoristivost zračenja – odnos između svjetlosnog fluksa i pripadajuće snage zračenja

$$K = \frac{\Phi_v}{\Phi_e} = \frac{\Phi}{\Phi_e}$$

Φ_v svjetlosni fluks (svjetrotehnički), a Φ_e svjetlosni fluks (fizički), (Im/W). Budući da je vrijednost K zavisna od talasne dužine zračenja, definije se fotometrijski ekvivalent zračenja K(λ):

$$K(\lambda) = \frac{\Phi_{v,\lambda}}{\Phi_{e,\lambda}} = K_m V(\lambda)$$

Gdje je **K_m**= 673 Im/W, i predstavlja maksimalni fotometrijski ekvivalent zračenja. K(λ) je fotometrijski ekvivalent zračenja talasne dužine λ.

Svjetlosna iskoristivost zračenja – odnos između fluksa zračenja po V(λ) krivoj i fizičkog fluksa zračenja

$$V = \frac{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} d\lambda} = \frac{K}{K_m}$$

ili za vidljivi dio spektra

$$V = \frac{\int_{380nm}^{780nm} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} \Phi_{e,\lambda} d\lambda}$$

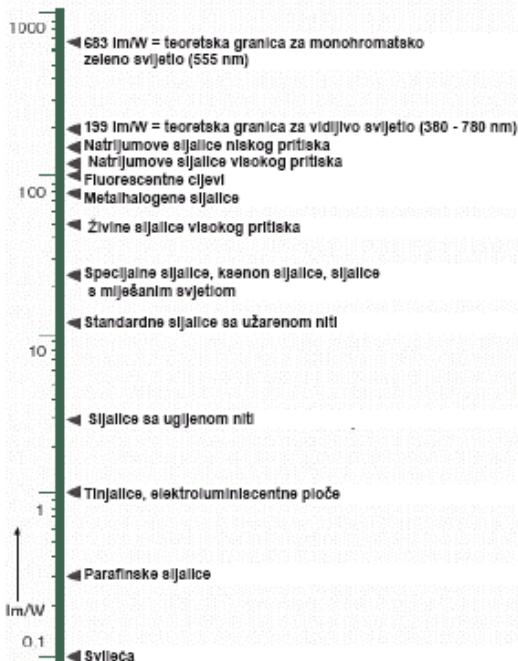
Svetlosna iskoristivost izvora svjetlosti definše se kao odnos dobijenog svjetlosnog fluksa izvora svjetlosti i uložene snage:

$$\eta = \Phi / P \text{ [lm/W]}$$

Svetlosna iskoristivost pokazuje iskoristivost kojom se uložena električna energija pretvara u svjetlost.

Teoretski maksimum iskoristivosti, pri kojem se sva energija pretvara u vidljivo svjetlo iznosi 683 lm/W. U stvarnosti vrijednosti su puno manje i iznose između 10 i 150 lm/W.

Svetlosna iskoristivost predstavlja jedan od osnovnih parametara za ocjenu ekonomičnosti rasvjjetnog sistema.



Kada svjetlo obasjava neki materijal, kao npr. prozorsko staklo, dešavaju se tri različite pojave.

Dio svjetla se reflektuje, dio apsorbuje a ostatak provodi (transmituje). Rezultantne komponente svjetlosnog fluksa Φ nazivaju se: Φ_p (reflektirani svjetlosni fluks), Φ_a (apsorbirani svjetlosni fluks) i Φ_t (transmitovani svjetlosni fluks).

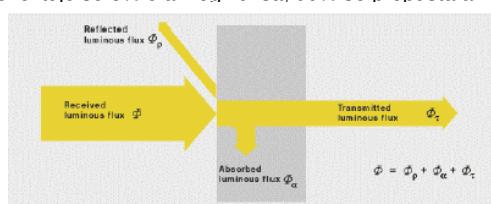
Za kvantitativnu analizu definišu se sljedeći koeficijenti:

$\rho = \Phi_p / \Phi$ – koeficijent refleksije – svojstvo materijala da vraća svjetlosne zrake. Postoje različiti tipovi refleksije, kao što je ogledalna, miješana, potpuno difuzna i nejednoliko difuzna refleksija. U unutrašnjoj rasvjeti koristi se gotovo isključivo difuzna refleksija.

$\alpha = \Phi_a / \Phi$ – koeficijent apsorpcije – svojstvo materijala da pretvara ulazni svjetlosni fluks u različite oblike energije, najčešće toplotu.

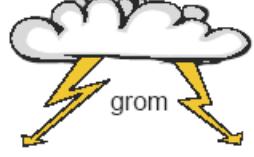
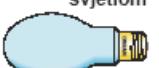
$\tau = \Phi_t / \Phi$ – koeficijent transmisije – svojstvo materijala da propušta svjetlosni fluks bez ikakve promjene.

Svetlosni fluks koji se apsorbuje u materijalu pretvara se u toplotu, što podiže temperaturu materijala. Što je materijal tamniji, više svjetlosnog fluksa se apsorbuje. Na staklu debljine 4mm reflektuje se 8% ulaznog fluksa, 90% se propušta a 2% se apsorbuje.



Boja	ρ	Materijal	ρ
Bijela	0,8	Gips	0,8
Svetlo žuta	0,7	Svijetle ploče	0,7
Svetlo siva	0,4	Cement	0,3
Svetlo smeđa	0,3	Tamno drvo	0,2
Tamno crvena	0,1	Crvena cigla	0,2
Crna	0,1	Tamni materijal	0,1

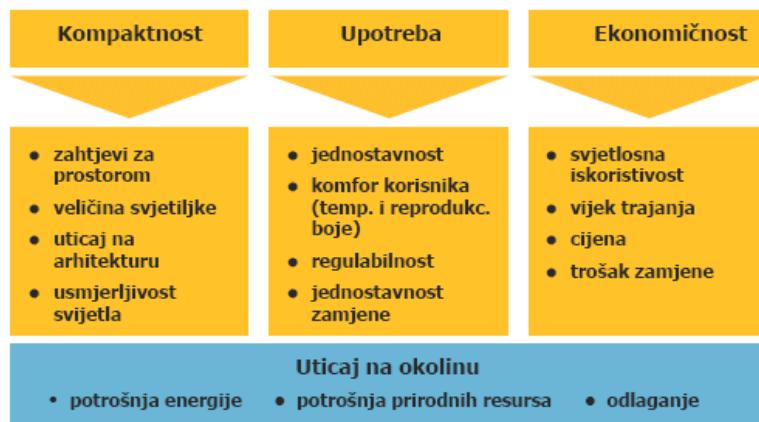
Izvore svjetlosti prvenstveno dijelimo prema načinu generisanja svjetlosti – principom termičkog zračenja (sijalice sa užarenom niti) i principom luminiscencije (zračenja).

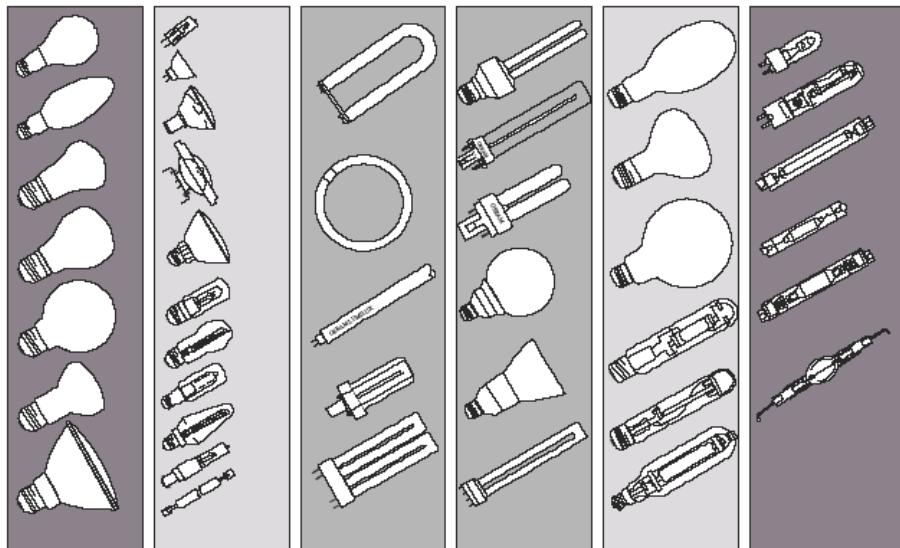
	Termičko zračenje	Električno zračenje	Luminiscencija
Prirodni izvori svjetla	 sunce	 grom	 svitac
Vjestacki izvori svjetla	standardna sijalica  halogena žarulja  sijalica s mješanim svjetлом 	živina sijalica metalhalogenka sijalica natrijumova sijalica  fluorescentne cijevi 	dioda 

Izvori svjetlosti su okarakterisani osnovnim veličinama:

- svjetlosni fluks
- intenzitet svjetlosti
- reprodukcija boje
- temperature boja
- svjetlosna iskoristivost

Takođe se posmatraju i sljedeća svojstva:





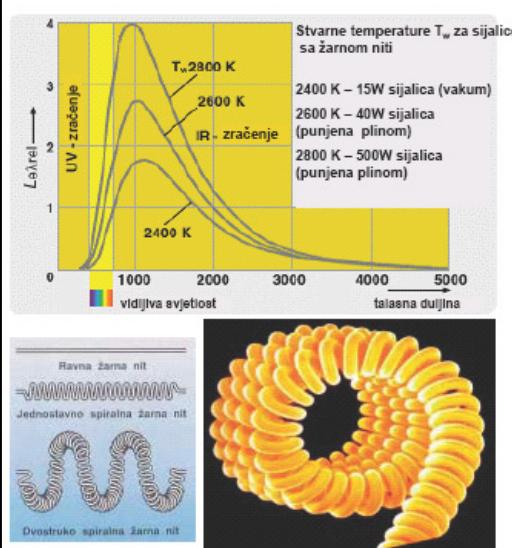
Izvori svjetla za opštu rasvjetu

1879 Standardna žarulja s ugljenom nitijem - Thomas A. Edison		1968 POWERSTAR HQI metalhalogenka žarulja		1985 OSRAM DULUX® EL stedna žarulja	
1910 Standardna žarulja s Wolfranskim zárom niti		1970 HMI METALLOGEN® žarulja		1987 POWERSTAR HQI-T kompaktna metalhalogenka žarulja	
1925 BILUX® žarulja s dvije žarne niti		1971 BILUX® H4 halogenka žarulja za automobile		1991 D1 žarulja na izboj u plinu	
1931 Niskotlačna natrijeva žarulja		1973 HALOSTAR niskonaponska halogenka žarulja		1993 COLORSTAR DSX-T 80W natrij-ksenon žarulja	
1933 Živina visokotlačna žarulja		1979 LUMILUX® fluocijev		1993 FM minijaturna fluocijev	
1936 Fluocijev		1980 QUICKTRONIC® DE LUXE		1995 FH T5 fluocijevi	
1954 XBO visokotlačna Xenon žarulja		1982 OSRAM DULUX® L fluokompenzirana		1996 FQ 15 fluocijevi	
1968 VIALOX® NAV Standard visokotlačna natrij žarulja		1984 DECOSTAR niskonaponska halogenka žarulja s reflektorom		1997 OSRAM ENDURA fluorescentna žarulja bez elektrode	

•Razvoj izvora svjetlosti je konstantan: OSRAM postiže više od 30% svog prometa s proizvodima koji nisu stariji od 5 godina!

•Sijalice sa užarenom niti generišu svjetlo principom termičkog zračenja.

•Svetlost nastaje tako što struja teče kroz užarenu nit od Wolframa i zagrijava je na temperaturu od 2.600 – 3.000 K i usijava. Većina zračenja emituje se u IR dijelu spektra.



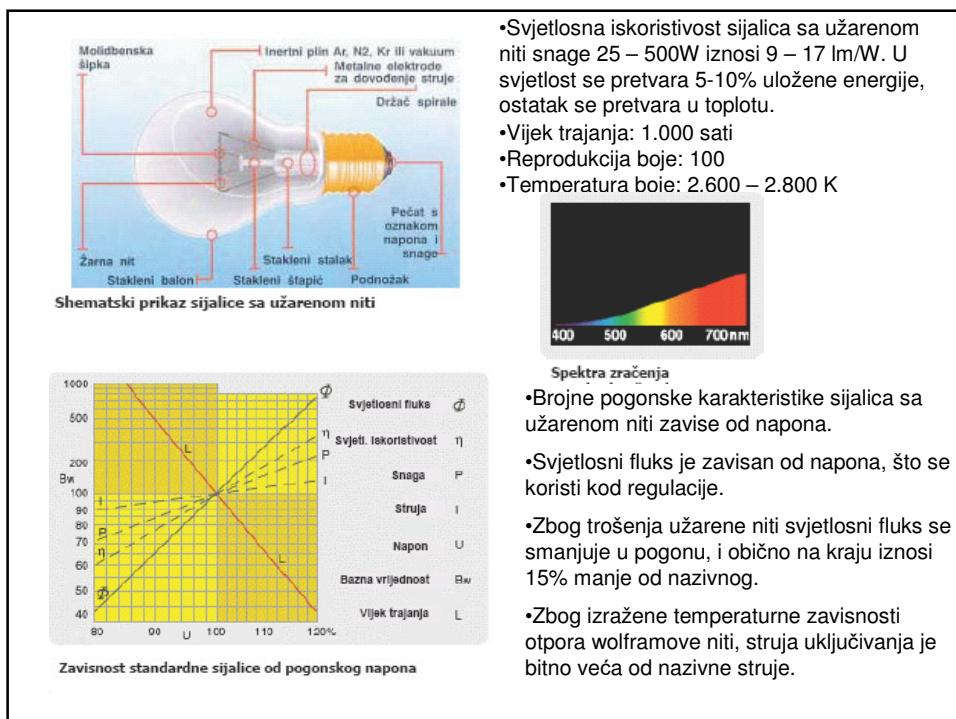
•Na osnovna svojstva standardne sijalice – svjetlosnu iskoristivost i vijek trajanja – najviše utiče temperatura užarene niti. Sto je ona viša, svjetlosna iskoristivost je veća, a vijek trajanja kraći.

•Vijek trajanja se smanjuje zbog naglog porasta broja atoma wolframa koji se odvajaju sa užarene niti pri porastu temperature. Ovaj proces ne samo da proizvodi tamni sloj na unutrašnjoj strani staklenog balona (što dovodi do smanjenja svjetlosnog fluksa), već i dovodi do pučanja užarene niti – pregorijevanja sijalice.

•Ovaj proces može se bitno umanjiti dodavanjem inertnog gasa (Argon, Krypton ili Xenon) u punjenje balona, čime se podiže temperatura užarene niti (time i iskoristivost) i smanjuje isparavanje wolframa. Danas standardno punjenje čine plinovi Argon i Azot, a Krypton ili Xenon dodaju se zbog poboljšanja iskoristivosti.

•Dalji korak u poboljšanju iskoristivosti je način motanja spirale – dvostrukim motanjem spirale smanjuje se površina isijavanja, a time i gubici.

•Pr: Za standardnu sijalicu snage 100W potrebno je 1m Wolframa debljine niti kose, a dužina užarene niti je 3 cm.



Spektra zračenja

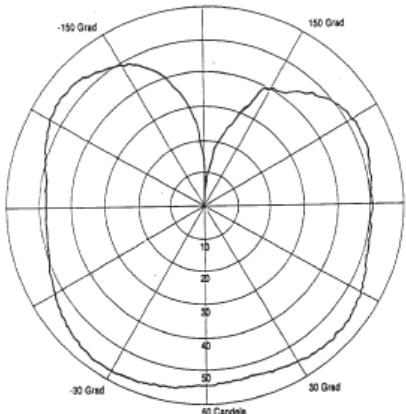
•Brojne pogonske karakteristike sijalica sa užarenom niti zavise od napona.

•Svetlosni flukus je zavisan od napona, što se koristi kod regulacije.

•Zbog trošenja užarene niti svjetlosni flukus se smanjuje u pogonu, i obično na kraju iznosi 15% manje od nazivnog.

•Zbog izražene temperaturne zavisnosti otpora wolframove niti, struja uključivanja je bitno veća od nazivne struje.

- Sijalice sa užarenom niti imaju široku primjenu (pogotovo u domaćinstvu) i proizvode se u različitim izvedbama.
 - Takođe postoji i niz posebnih izvedbi – s povećanom sigurnošću (T), za visoke temperature, u boji ...



Izokandelni dijagram standardne sijalice (normiran za svjetlosni flukus od 1,000 lx)



Standardna sijalica - bistra



Standardna sijalica - mat



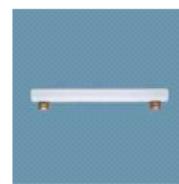
Sijalica oblike svijeće



Sijalicas opalnim staklom –
PELUKUM SOFT - matic



Dekorativna GLOBE sijalica



Linijska sijalica - LINESTRA

- Posebnu grupu standardnih sijalica čine reflektorske sijalice. Reflektorom se postiže usmjeravanje svjetlosnog fluksa u željenom smjeru, što podiže iskoristivost rasvjetnog sistema. Širinu snopa svijetla određuje reflektor.



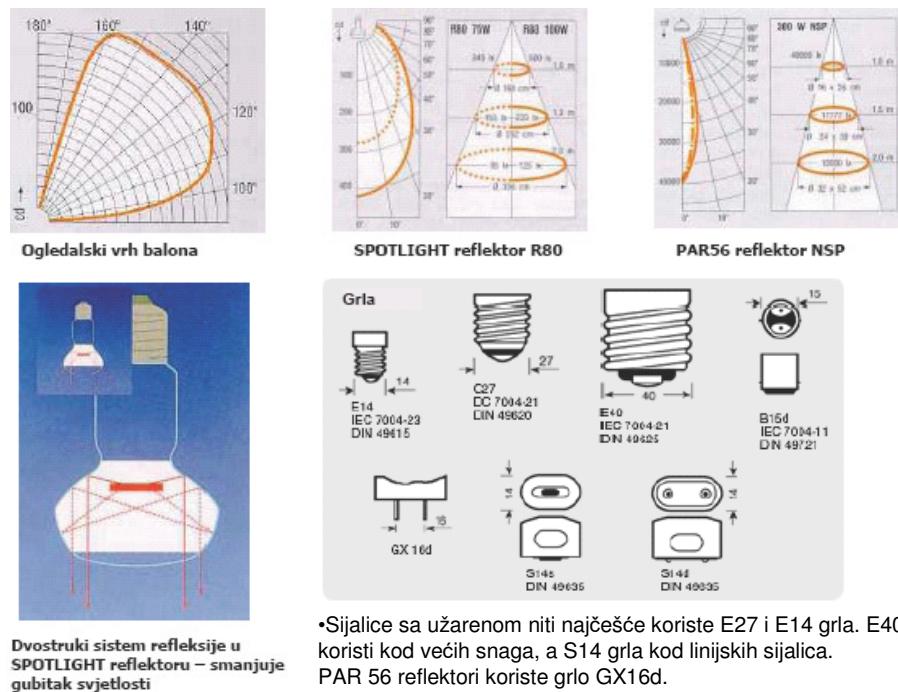
- sijalica s ogledalskim vrhom balona – svjetlost se reflektuje prema nazad, čime se postiže difuzna, neblješća rasvjeta.



•sijalica sa SPOTLIGHT posrebrenim reflektorom – svjetlost se usmjeruje prema naprijed, čime se dobija na dinamičnosti rasvjete, uz povećanu iskoristivost.



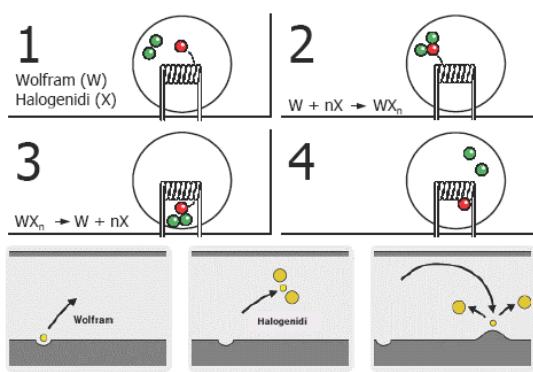
• sijalica s PAR reflektorom i prešanim stakлом. Staklo predstavlja dodatno sočivo, čime se poboljšava usmjerenost snopa. Moguće je postići jako uski snop. Zbog svoje povećane zaštite može se koristiti na otvorenom. Trajinost 2.000 sati.



- Sijalice sa užarenom niti najčešće koriste E27 i E14 grla. E40 se koristi kod većih snaga, a S14 grla kod linijskih sijalica.
PAR 56 reflektori koriste grlo GX16d.

- Halogene sijalice su takođe sijalice sa užarenom niti, pa koriste princip termičkog zračenja pri generisanju svjetla. Dodatak halogenida (brom, hlor, flor i jod) punjenju gotovo potpuno sprečava crnjenje balona sijalice, čime se održava gotovo konstantan svjetlosni fluks kroz cijeli vijek trajanja. Zbog toga je moguće napraviti balon puno manjih dimenzija, s višim pritiskom punjenja, čime se dodatno povećava iskoristivost inertnih gasova u punjenju – Kryptonu i Xenonu. Takođe, moguće je užarenu nit zagrijati na puno višu temperaturu, čime se podiže svjetlosna iskoristivost (ovo nije bilo moguće kod standardne sijalice zbog pojačanog isparavanja Wolframa pri višim temperaturama).

- Glavna karakteristika halogenih sijalica je halogeni kružni proces.

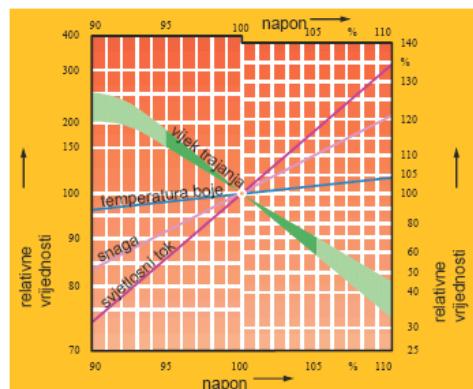


- Wolfram koji isparava sa užarene niti odlazi prema staklu balona, gdje se pri temperaturi < 1400 K spaja s halogenidima. Termičko strujanje odvodi ovaj spoj bliže prema užarenoj niti, gdje se pri temperaturi > 1400 K razgradije, a atom Wolframa se ponovno vraća na užarenu nit. Pri tome on ne dolazi na staro mjesto, tako da ipak dolazi do pucanja užarene niti na kraju vijeka trajanja.

- Pri ovom procesu temperatura užarene niti dostiže 3.000 K, a stakla i do 250°C. Zbog toga se mora koristiti balon od kvarcnog stakla, koje je specijalno dotirano tako da ujedno i zadržava štetno UV zračenje.

•Osnovne prednosti halogene sijalice u odnosu na standardnu sijalicu su:

- viša svjetlosna iskoristivost (do 25 lm/W)
- duži vijek trajanja (do 4.000 sati)
- optimalna kontrola svjetla
- male dimenzije
- konstantan svjetlosni fluks tokom vijeka trajanja
- viša temperatura boje – sjajno, bijelo svjetlo

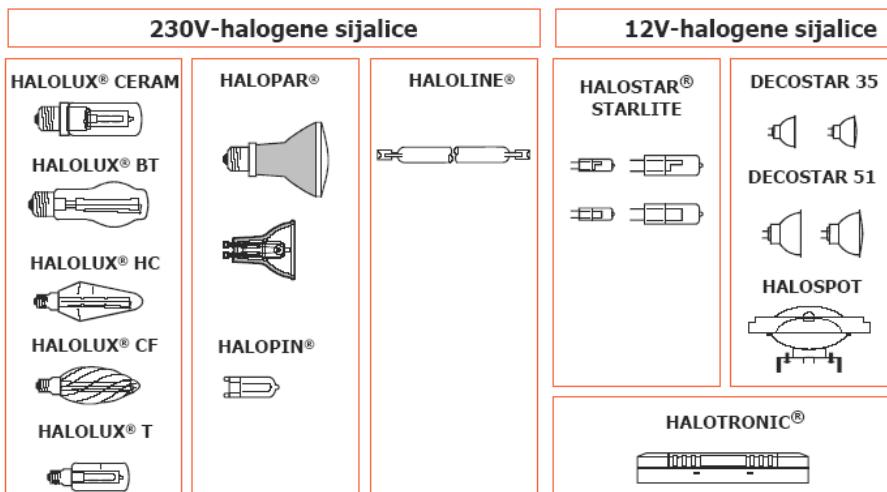


Pri smanjenju napona dolazi do blagog povećanja vijeka trajanja, ali ne takvog kao kod standardnih sijalica.

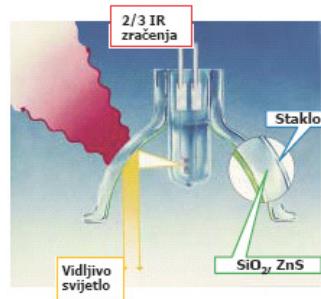
Kao i standardna sijalica sa užarenom niti, halogene sijalica takođe je osjetljiva na promjene pogonskog napona.

Pogotovo kod niskonaponskih sijalica (12 V AC), do izražaja dolazi osjetljivost vijeka trajanja od napona. Zbog toga povećanje pogonskog napona od samo 5% (12,6 V) donosi smanjenje vijeka trajanja za 40%!!! Do ovakve drastične promjene dolazi zbog toga što se halogeni kružni proces odvija samo u strogim temperaturnim (naponskim) granicama, te prestaje pri većim odstupanjima, čime se automatski znatno smanjuje vijek trajanja.

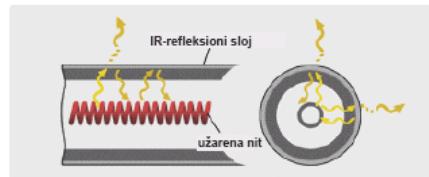
Do povećanja napona dolazi uglavnom zbog neodgovarajućih transformatora (magnetski transformatori imaju nelinearnu karakteristiku, pa pri rasterećenju dolazi do rasta napona). Zbog toga savremeni rasvjetni sistemi koriste elektronske transformatore.



Osnovna podjela halogenih sijalica – sijalice na linijski napon i niskonaponske halogene sijalice



Princip dvostrukog odsjaja kod halogenih sijalica, čime se toplota odvodi iz sijalice, dalje od osvijetljenog objekta



Energetski bilans halogene sijalice



Nove tehnologije omogućuju dodatno poboljšanje iskoristivosti halogene sijalice. Upotrebom specijalnog IR reflektivnog sloja (IRC – Infra Red Coating), moguće je dio generisranog IR zračenja vratiti natrag na užarenu nit, te ga upotrijebiti za zagrijavanje užarene niti, zbog čega je potrebno dovesti manje el. energije.

Na ovaj način postiže se povećana iskoristivost halogenih sijalica do 30%



Izokandelni dijagram za 12V/50W halogenu sijalicu s odsjaćem, snopa 38°



Niskonaponska halogena sijalica s dikroičkim odvijačem



Niskonaponska
halogenova sijalica



Linijska halogena sijalica
za mrežni napon



Grla za halogene sijalice



Halogena žarulja s
dikroičkim odsijačem
za mrežni papir

LUMINISCENCIJA

Fotoluminiscencija

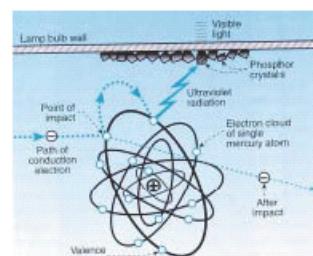
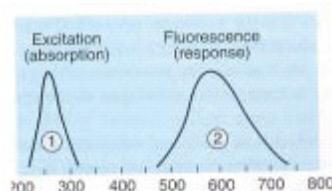
proboj u gasu - pri proboru u gasovima, koje nastaje zbog djelovanja električnog polja, moguće je dobiti i zračenje u vidljivom dijelu spektra (npr. živine sijalice, natrijumove sijalice, metalhalogene sijalice)

Fluorescencija - kod fluorescentnih cijevi i fluokompaktnih sijalica, pri proboru u živinom gasu generše se gotovo islučivo UV zračenje, koje se pretvara u vidljivo zračenje fosfornim omotačem koji je nanešen na unutrašnjost staklene cijevi. Budući da ovo zračenje traje samo dok traje pobuda, govorimo o fluorescenciji. Danas se najviše koriste kalcijum halofosfatni fosfori u kombinaciji s fosforima koji se aktiviraju elementima rijetkih zemalja.

Fosforescencija - kod nekih fluorescentnih materijala elektroni mogu ostati u metastabilnom pobuđenom stanju kroz neki period koji traje od milisekunda do dana. Nakon prelaska iz tog stanja oni emituju svjetlost. Ova pojava naziva se fosforescencija. Za prelazak iz metastabilnog stanja u stanje u kojem se emituje svjetlost potrebna je dodatna energija, koja se obično dobija IR zračenjem (toplotoom). Kratkotrajna fosforescencija se koristi kod fluorescentnih cijevi, kako bi se smanjio utjecaj treptanja zbog pogona na naizmjenični napon.

Elektroluminiscencija

Određeni materijali pretvaraju električnu energiju direktno u svjetlo, bez probora u gasu (npr. LED)

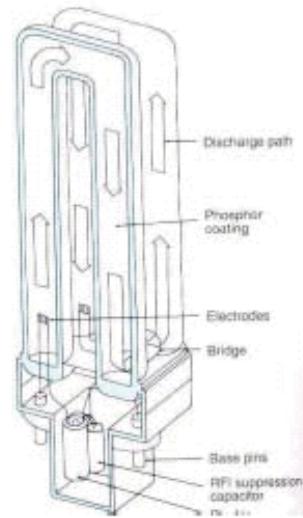


Fluokompaktne sijalice

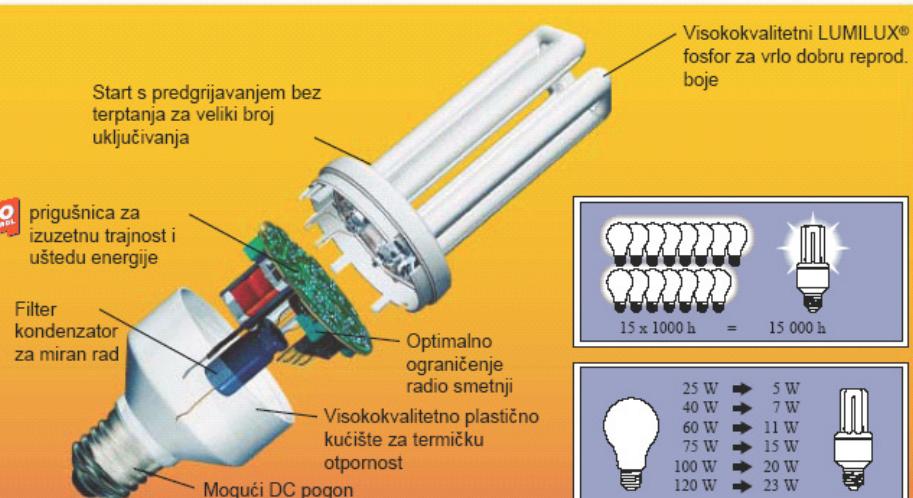
Fluokompaktne sijalice su zapravo savijene fluorescentne cijevi, čime se postižu manje ukupne dimenzije izvora svjetlosti, dok se zadržavaju sve karakteristike rada fluorescentnih cijevi (zbog toga i naziv - "Compact Fluorescent Lamps - CFL"). Fluokompaktne sijalice pripadaju grupi sijalica na probor niskog pritiska, pri čemu se svjetlost generiše principom fotoluminiscencije. Probor se dešava između elektroda u živinim parama, pri pritisku od cca 1,07 Pa (pritisak para tekuće žive pri temperaturi od 40°C). Pritisak bitno zavisi od najniže temperaturi u cijevi (cold spot), gdje se kondenzuje tekuća živa koja nije u gasovitom stanju. Osim žive u punjenju se obično nalazi i neki inertni gas, kao pomoć pri startovanju (argon, kripton, neon, ksenon, ...). Količina žive se bitno smanjuje, i iznosi 5-10 mg u kvalitetnijim cijevima.

Kao i većina sijalica na proboj, fluokompaktne sijalice moraju u pogonu imati, redno spojenu, napravu za ograničavanje struje. Ova predspojna naprava, koja se naziva prigušnica, ograničava pogonsku struju na vrijednost za koju je sijalica napravljena, te osigurava potreban startni i pogonski napon.

Temperaturu boje svjetla koju daju fluokompaktne sijalice moguće je kontrolisati fosfornim omotačem, kao i kod fluorescentnih cijevi. Standardno se koriste trokomponentni fosfori. Zahvaljujući svojim kompaktnim dimenzijama fluokompaktne sijalice razvijene su prvenstveno kao zamjena za standardne sijalice snage 25-100W, ali se zahvaljujući konstantnom razvoju njihovo područje primjene znatno proširilo, te danas predstavljaju jedan od najpopularnijih izvora svjetlosti, budući da spajaju visoku iskoristivost fluorescentnih cijevi i kompaktne dimenzije. Fluokompaktne sijalice proizvode se u snagama od 3 -57W. Postoje izvedbe s integriranom elektronskom prigušnicom i standardnim grlom E27 i E14, koje mogu zamijeniti gotovo svaku standardnu sijalicu, ostvarujući pri tome uštedu energije od gotovo 80%. Za ovakvu izvedbu fluokompaktnih sijalica koristi se naziv – štedne sijalice.



Štedna sijalica– fluokompaktna sijalica s integrisanom el. prigušnicom



Fluokompaktnе sijalice – pogonske karakteristike

Vijek trajanja fluorescentnih i fluokompaktnih sijalica određen je gubitkom emisijskog sloja na elektrodama (zbog toga dolazi do zatamnjivanja rubova fluocijevi pri kraju životnog vijeka) do kojeg dolazi pri svakom paljenju, ali i normalnim pogonom. Elektronske predspojne naprave s predgrijavanjem elektroda znatno produžavaju njihov vijek trajanja, budući da zagrijavaju elektrode, čime povećavaju njihov otpor (otporn wolframove niti ima pozitivan temp. koeficijent) i time smanjuju startnu struju, odnosno gubitak emisijskog sloja pri startovanju. Vijek trajanja standardnih fluorescentnih cijevi s magnetskom predspojnom napravom iznosi 8.000 sati, a s elektronskom predspojnom napravom i trokomponentnim fosforom produžuje se i do 20.000 sati.

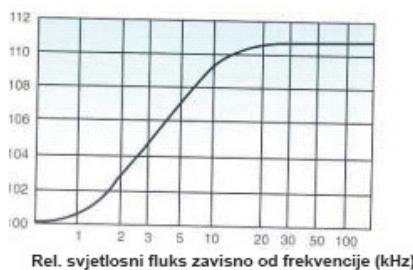
Svjetlosni tok fluorescentnih i fluokompaktnih sijalica se smanjuje tokom korišćenja zbog fotohemiske degradacije fosfornog omotača i sklupljanja naslaga unutar cijevi koje apsorbuju svjetlo. Korišćenjem kvalitetnih fosfora i elektronskih predspojnih naprava moguće je postići održavanje svjetlosnog fluksa i do 92% nakon 20.000 sati upotrebe.

Fluokompaktne sijalice su još osjetljivije na radnu temperaturu od fluorescentnih cijevi, te postoje i specijalne izvedbe koje koriste amalgam umjesto žive, kako bi postigli manju zavisnost svjetlosnog fluksa od temperature, što je pogotovo primjetno kod svjetiljki manjih dimenzija.

Iskoristivost fluorescentnih/fluokompaktnih sijalica bitno se poboljšava upotrebom elektronskih predspojnih naprava koje rade na višoj frekvenciji (obično 20-30 kHz), zbog smanjenih gubitaka anode. Zbog toga sijalice s elektronskim prigušnicama obično rade s manjom snagom, uz isti svjetlosni flukus.

Elektromagnetske smetnje (radio smetnje)

Izboj u živi stvara i elektromagnetsko zračenje, koje se mora smanjiti odgovarajućim filterima (kondenzatorima) i dizajnom same svjetiljke. Zbog toga je definisan cijeli niz standarda i propisa koji moraju zadovoljavati svjetiljke.



Predspojne naprave

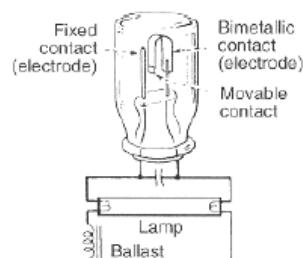
Predspojne naprave prvenstveno služe za ograničavanje struje, zbog negativne U-I karakteristike sijalica na proboj. Uz to predspojna naprava osigurava i dovoljan napon za početak proboga u gasu. Budući da predspojna naprava osigurava pogonske uslove sijalice na proboj, potrebno je da njene karakteristika odgovaraju izvoru svjetlosti, inače može doći do velikih odstupanja svjetlosnih karakteristika i vijeka trajanja izvora svjetlosti. Predspojne naprave uvije troše električnu energiju, te smanjuju iskoristivost kompletног sistema.

Starter

Start fluorescentnih cijevi dešava se u dvije faze: elektrode trebaju biti dovoljno zagrijane da počnu emitovati elektrone i mora postojati dovoljno veliko električno polje između elektroda da se ionizuje punjenje i da dođe do proboga.

Za startovanje fluorescentnih cijevi i fluokompaktnih sijalica koje koriste vanjski startni element koristi se starter, koji se spaja između elektroda.

Zahvaljujući bimetalnom kontaktu, on osigurava predgrijavanje elektroda i postiže dovoljno veliki naponski impuls (300 - 800 V) za početni probog.

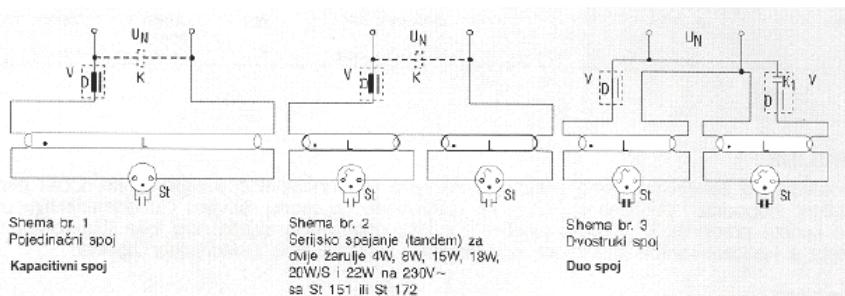


Prigušnica

Služi za ograničavanje struje, te može biti magnetska ili elektronska (objedinjuje i funkciju startera). Sistem sa magnetskom prigušnicom predstavlja induktivno opterećenje, pa se uvijek koristi kompenzaciji kondenzator.

Zbog relativno visokih gubitaka u magnetskim prigušnicama (i do 25%), te niz drugih prednosti, sve više se koriste elektronske predspojne naprave. Elektronske predspojne naprave omogućavaju i regulaciju (nije moguće samo smanjiti napon kao kod sijalica sa užarenom niti, budući da bi to prekinulo probog).

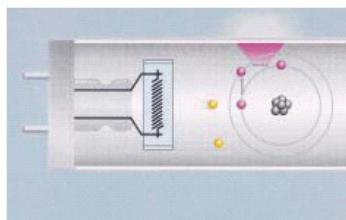
Spojevi fluorescentnih i fluokompaktnih sijalica



Neon

Fluorescentne cijevi i fluokompaktne sijalice koriste "tople elektrode", koje su obično napravljene od wolframove žice. Za razliku od njih, neonske cijevi koriste tinjajuće elektrode ("hladne elektrode") koje koriste jako male struje (rade na povišenom naponu, a za start trebaju do 15 kV). Neonske cijevi ne koriste fosforni omotač na staklu, već se dodatkom žive ili argona (plava boja) ili obojenim staklom mijenja boja neona (koji je u osnovi crven). Neonske cijevi koriste se prvenstveno za različite efekte (reklame, ...), ali zbog dodatnog transformatora predstavljaju relativno skupi sistem, koji se sve više mijenja fluorescentnim cijevima, svjetlovodima ili LED sistemima.

Kod **sijalica na principu zračenja** svjetlost se generše principom luminiscentnog zračenja



Prednosti pred izvorima svjetlosti sa užarenom niti su:

- veća svjetlosna iskoristivost (do 180lm/W)
- duži vijek trajanja (do 20.000 sati)
- veliki svjetlosni fluks (do 320.000 lm)

Električni luk dešava se u cijevi napunjenoj gasom ili parama zbog djelovanja električnog polja između dvije elektrode. Pri tome u gasu, koji prije dovođenja napona na elektrode nije provodan, nastaju slobodni nosioci u obliku jona i elektrona. Slobodni elektroni, pod djelovanjem električnog polja, mogu s atomima gase izazvati sljedeće vrste sudara:

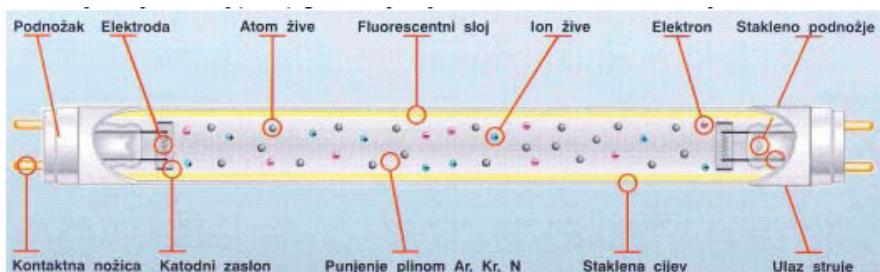
mala brzina elektrona (elastični sudar) – elektron se u sudaru s atomom gase samo reflektuje uz neznatni gubitak energije (koja se pretvara u toplotu)

srednja i visoka brzina (pobudni sudar) – elektron podiže energiju atoma gase na viši nivo, pri čemu atom nakon kraćeg vremena zrači jedan foton.

vrlo visoka brzina (ionizirajući sudar) – elektron izbacuje iz atoma gase elektron, čime atom prelazi u pozitivni ion. Tako nastaju pozitivni i negativni nosioci, te raste struja. Bez ograničenja struje razvio bi se lavinski efekt, pa se koriste ograničivači struje (prigušnice). Prigušnice su induktiviteti koji se spajaju u red s izvorom svjetlosti.

Savremeni rasvjetni sistemi sve više koriste i elektronske prigušnice.

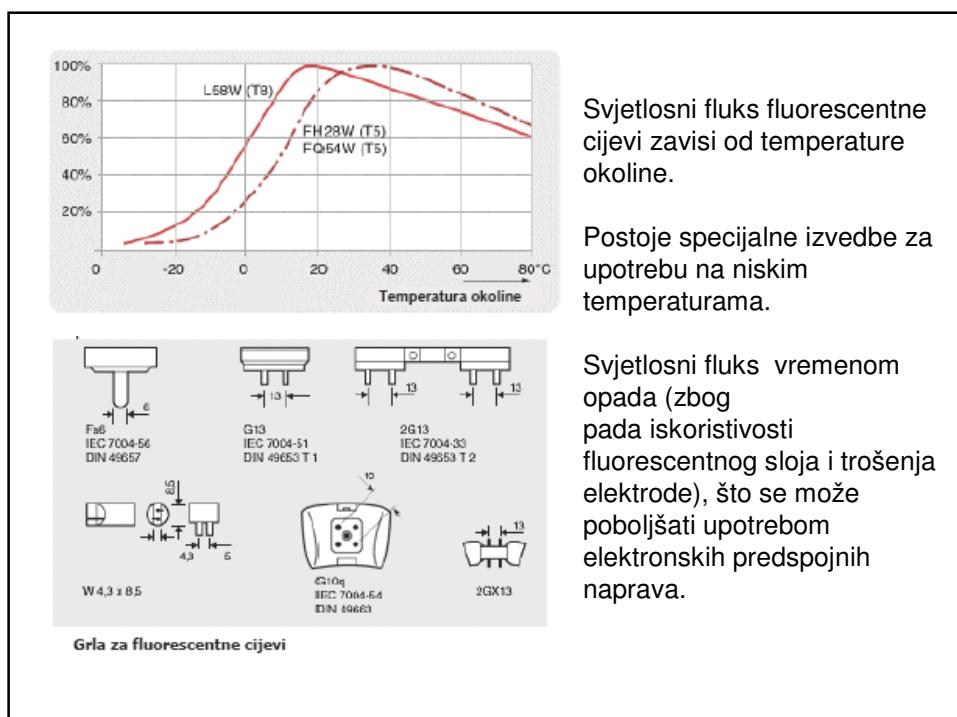
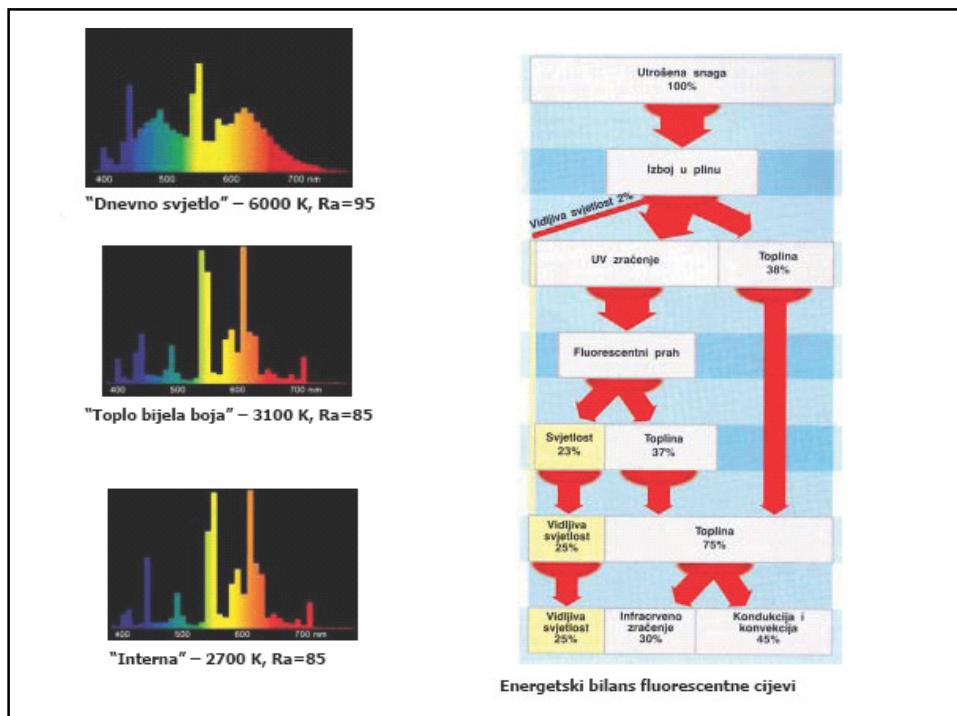
Fluorescentne sijalice pripadaju grupi izvora niskog pritiska. Svjetlost se generše probojem u živim parama visoke luminoznosti, pri čemu se stvara uglavnom nevidljivo UV zračenje, koje se fosfornim slojem na unutrašnjoj strani cijevi pretvara u vidljivo svjetlo. Ovaj princip generisanja svjetla naziva se foto-luminiscencija.



Spektar zračenja koji daje fluorescentna cijev je složeni, a upotrebom različitih fluorescentnih materija moguće je dobiti drukčije karakteristike – temperature boje, faktora reprodukcije boja i svjetlosne iskoristivosti.

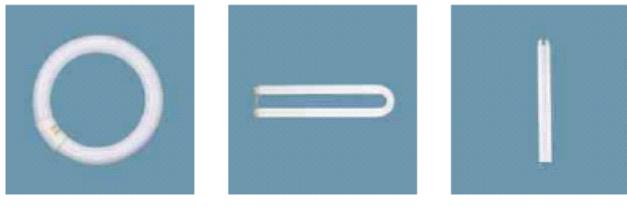
Postoje i okrugle i fluorescentne cijevi U-oblika. Dimenzije cijevi se smanjuje, čime se postiže veća iskoristivost svjetlosnog sistema (izvor svjetlosti je bliži tačkastom). Danas se najčešće koriste cijevi prečnika 26 mm (T8 – 8/8"), a flucijevi nove generacije imaju prečnika od 16 mm (T5). Postoje i 38 mm (T12) i 7 mm (T2) flucijevi.

Kao i sve sijalice na proboj, fluorescentne cijevi ne mogu se priključiti direktno na mrežni napon, već trebaju prigušnicu i starter (pri paljenju viši napon nego u pogonu).



Osnovne karakteristike fluo cijevi

Opis i oznaka	Svj. fluk (lm)	Svj. iskoristivost (lm/W)	Temp. boje (K)	Uzvrat boje (reproduk)	Luminancija (cd/cm ²)	Dimenzije
Standard 36W/20 standardna izvedba – koristi halofosfatni omotač	2.850	79	4.000	2B (65)	0,86	1200 mm, Ø=26mm
LUMILUX 36W/21 izvedba s poboljšanom iskoristivošću i uzvratom boja – koristi tri-fosforni omotač	3.350	93	4.000	1B (85)	1,20	1200 mm, Ø=26mm
LUMILUX 36W/12 izvedba s jako dobrim uzvratom boja – koristi pet-fosforni omotač	2.350	65	5.400	1A (98)	0,60	1200 mm, Ø=26mm
FH 35/840 nova generacija T5 – maksimalna iskoristivost	3.650	104	4.000	1B (85)	1,70	1450 mm, Ø=16mm
FQ 39/840 nova generacija T5 – minimalne dimenzije	3.500	90	4.000	1B (85)	2,70	850 mm, Ø=16mm



Sijalice visokog pritiska na principu zračenja

Ova grupa izvora svjetlosti obuhvata - živine sijalice, metalhalogene sijalice i natrijumove sijalice visokog pritiska.

Proboj u gasu dešava se u žišku, između elektroda. Žižak uvijek sadrži neki startni gas, koji se lako ionizuje i neki element koji isprava pri proboru, i pri tome stvara karakteristično svjetlo. Tako živine sijalice koriste živu, natrijumove natrijum, a metalhalogene sijalice mješavinu natrijauma, skandijuma, tulijuma, holmija i disprozijuma. Žižak se pravi od kvarcnog stakla ili specijalne keramike.

Zižak se obično nalazi unutar zaštitnog balona, koji štiti žižak i električne kontakte od vanjskih utjecaja. Osima toga, vanjski balon služi i kao zaštita od UV zračenja, često ima i sloj difuznog materijala, koji smanjuje blještanje samog izvora. Kod živinih sijalice, vanjski balon sadrži i sloj fosfora, koji služi za pretvaranje dijela UV zračenja u vidljivu svjetlost.

Takođe, vanjski balon može sadržati i uređaj za prečišćavanje atmosfere unutar balona (obično vakum) koji se naziva geter.

Zbog različitih principa generisanja svjetla, sijalice visokog pritiska na principu zračenja imaju bitno različite karakteristike.

Sijalice visokog pritiska na principu zračenja koriste različita grla.

Živine sijalice su najstarije sijalice na proboj.

Svetlost generišu probojem u živim parama, koji počinje isparavati nakon što se pojavi početni proboj u argonu.

Pogonski pritisak iznosi od 200 - 400 kPa, i bitno utiče na karakteristike spektra zračenja, koji je uglavnom u hladnjem području (4000 K), te ostvaruje iskoristivost do 60 lm/W.

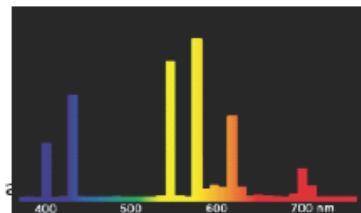
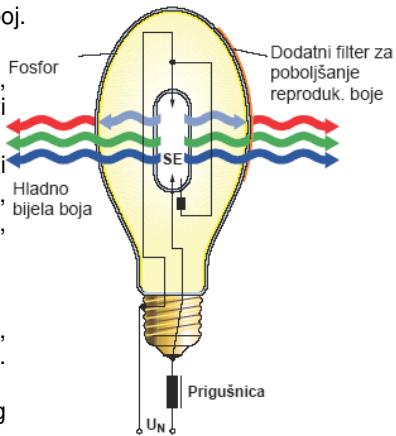
Faktor uzvrata boje je kategorije 3.
Start se postiže pomoću startne elektrode (SE), a za pogon je potreban prigušnica.

Postupak paljenja traje od 3-6 min, a ponovnog paljenja na toplo 5-10 min.

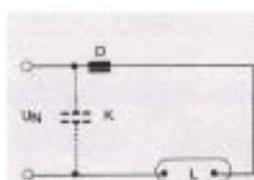
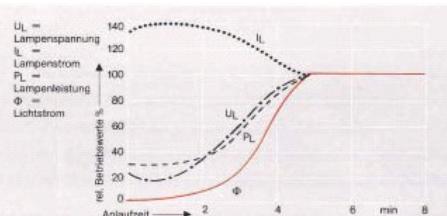
Prosječan vijek trajanja je 16.000 sati.
Ne preporučuje se za nove instalacije, zbog velike količine žive bit će zabranjena u EU, već je zabranjena u SAD.

Primjene: javna rasvjeta i ind. rasvjeta

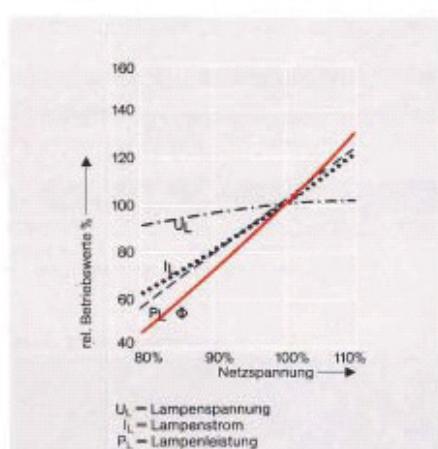
Snaga: 50-1000W, 230V



Pogonske karakteristike živine sijalice



U_N = Nennspannung
 220 V ~
 K = Kompensations-
 Kondensator
 D = Drosselspule
 L = Lampe



U_L = Lampenspannung
 I_L = Lampenstrom
 P_L = Lampenleistung
 Φ = Lichtstrom

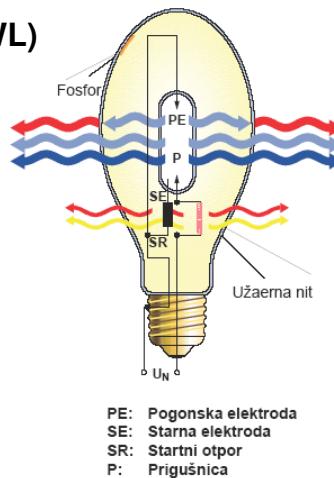
Sijalica sa mješanim svjetлом (HWL)

Sijalica sa mješanim svjetлом je u principu živina sijalice, u kojoj užarena nit koja je dodata u seriju "glumi" ulogu prigušnice.

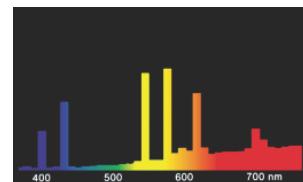
Postiže se nešto toplija temperatura boje (3.800 K) i poboljšani faktor uzvrata boje (kategorija 2B), kao rezultat djelovanja užarene niti, ali se iskoristivost smanjuje na 20-30 lm/W.

Proizvodi se u snagama 160W - 500W, i prvenstveno se koristi kao zamjena za velike sijalice sa užarenom niti, gdje donose uštede energije do 30%.

Postupak paljenja traje do 2 min, a ponovnog paljenja na toplo 3-5 min.
Kao i živine sijalice, koriste se sve manje.



PE: Pogonska elektroda
SE: Starna elektroda
SR: Startni otpor
P: Prigušnica



Metalhalogenena sijalica (HQI/HCI)

Koriste sličan princip kao i živine sijalice, s tim da kao dodatak živinom punjenju koriste različite metal halogenide kao dodatak.

Metalhalogenidi se raspadaju pri višim temperaturama, nakon čega metali generišu vidljivo zračenje kompletног spektra.

Približavanjem hladnjem zidu balona, oni se ponovo rekomбинuju i ciklus se ponavlja.

Pritisak gase je 400 kPa - 2 hPa.

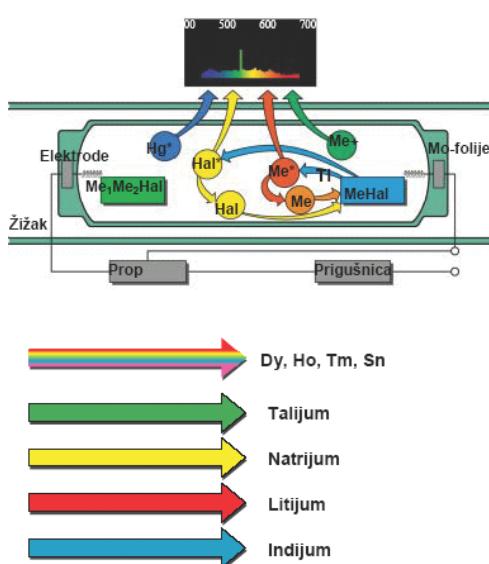
Dodatkom metalhalogenida postiže se puno kvalitetnije svjetlo (uzvrat boje 1A) i viša iskoristivost (do 120 lm/W). Kombinovanjem različitih metala moguće je dobiti i različite temperature boja - od 3.000 K do 6.500 K.

Proizvode se u snagama od 35W - 3500 W, sa izuzetno širokim područjem primjene (od unutrašnje do javne rasvjete, foto rasvjete, efekt rasvjete do auto rasvjete).

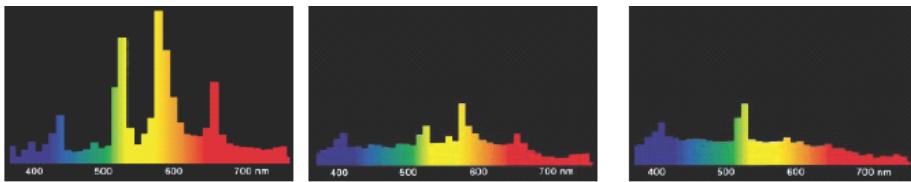
Za pogon trebaju poseban visokonaponski startni element (propaljivač) koji daje potreban naponski impuls od 3-6 kV.

Postupak paljenja traje do 3 min, a ponovnog paljenja na toplo 5-20 min.

Kod specijalnih izvedbi moguće je postići trenutan start na toplo uz odgovarajući propaljivač (naponi i do 40 kV)



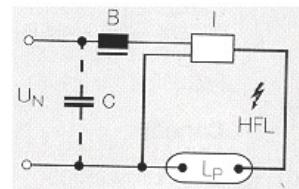
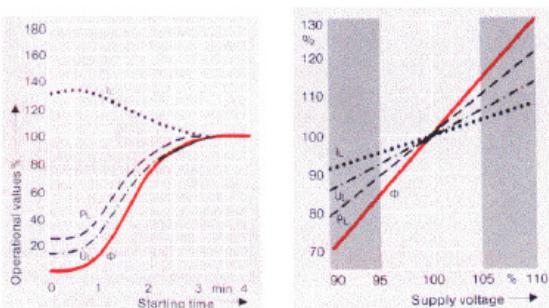
Metalhalogena sijalica (HQI/HCI) – Pogonske karakteristike



Toplja temp. boje – 3100 K

Hladnija temp. boje – 4200 K

Najhladnija temp. boje – 6500 K



Natrijumove sijalice (NAV)

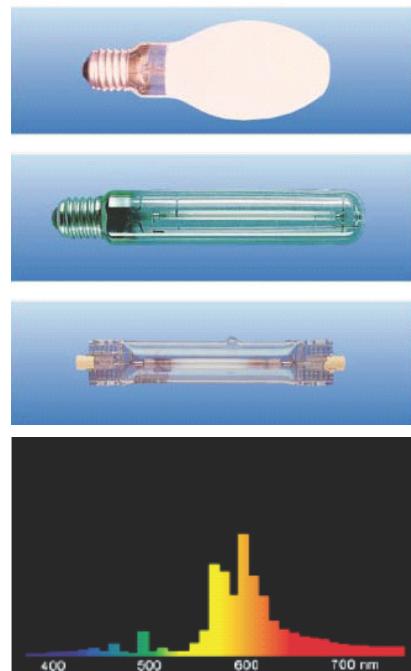
Kod natrijumovih sijalica proboj se događa u natrijumovim parama uz dodatak ksenona za lakši start i povećanu iskoristivost i male količine žive. Pogonski pritisak je 20-40 kPa. Natrijumove sijalice postižu najveću iskoristivost do 150 lm/W, ali uz slabiji uzvrat boje (kategorija 4, 20-30) i toplu (žutu) temperaturu boje (2000 K).

Ove karakteristike nas zadovoljavaju, i natrijumove sijalice predstavljaju najbolje rješenje za putnu rasvjetu.

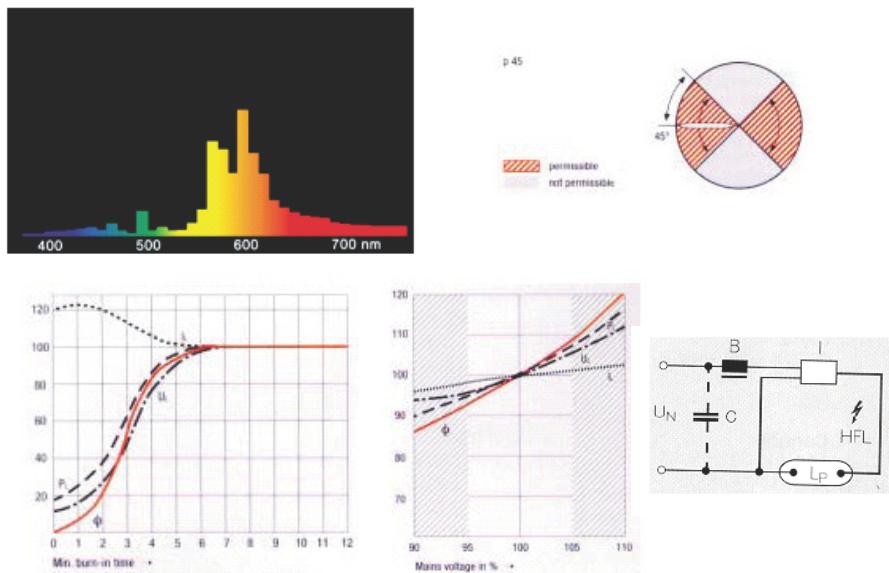
Postižu prosječan vijek trajanja od 32.000 sati, uz veliku sigurnost (preživljavanje do 95% nakon 16.000 sati pogona - 4 godine u javnoj rasvjeti).

Postupak paljenja traje do 5 min, a ponovnog paljenja na toplo 1-2 min. Ponovno paljenje je brže nego kod metalhalogenih sijalica, zbog manjeg pogonskog pritiska.

Naime, kod višeg pogonskog pritiska ionizacija nije moguća s dovedenim naponom, već je potrebno čekati da se sijalica ohladi, čime joj i pada pritisak.



Natrijeve sijalice (NAV) – Pogonske karakteristike

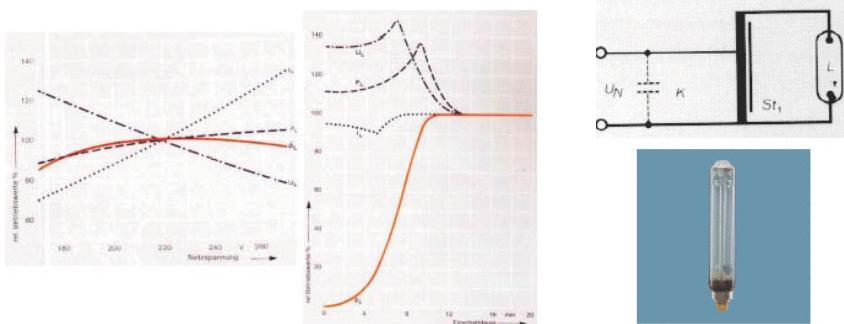


Natrijumove sijalice niskog pritiska

Svetlost se generiše u natrijumovim parama pri niskom pritisku (0,7 Pa), čime se postiže gotovo monohromatsko žuto svjetlo (589,0 i 589,6 nm) i izuteno visoka iskoristivost do 200 lm/W. Kao startni gas koristi se neon.

Pri ovako niskom pritisku, natrijumove pare imaju temperaturu od 260°C, koja se održava vanjskim balonom u kojem je vakum. Svako odstupanje od ove temperature dovodi do bitnih odstupanja od nazivnih pogonskih parametara.

Period startovanja traje do 20 minuta, a u početku u proboru dominira neon (crvena boja), kojeg poslije zamjenjuje izrazito žuta boja natrijuma. Ponovno plajenje je gotovo trenutno. Kao predspojna naprava najviše se koristi autotransformator, koji daje potreban startni napon od 400 - 550V.



LED RASVJETA



Original	LED Zamjena	Ušteda
100W Obična sijalica	7W LED sijalica	93% el. energije
18W Fluo cijev	6W LED Cijev(nije potreban starter ni prigušnica)	66% el. energije
50W Halogena sijalica	7W LED sijalica	70% el. energije

LED Rasvjeta je najnoviji tip super štedne rasvjete koja se sasvim razlikuje od današnjih štednih (CFL), običnih Wolfram sijalica, sijalica visokog pritiska i sl. Sastoje se od svjetlećih dioda (LED eng. Light Emitting Diode) potpomognutih CREE čipom koji im daje super performanse od 90-100 lumena po jednom wattu.

LED rasvjetni proizvodi za zamjenu svih današnjih tipova rasvjetnih proizvoda omogućavaju uštedu el. energije do 80% te dugi vijek trajanja od preko 50.000 sati uz garanciju do 3 godine.

- Šta je LED rasvjetu učinilo tako privlačnom?

Prednosti su mnogobrojne. Prije svega visoka efikasnost u pretvaranju električne energije u svjetlosnu (što povlači manje zagrijavanje svjetlosnog izvora, jer se inače "višak" pretvara u toplotu), male dimenzije, lako podešavanje jačine osvjetljenja (a uz odgovarajući sklop-RGB kontroler- i izbor boje, do punog zasićenja), bitno duži radni vijek u kome nema naglog pregorijevanja izvora svjetla a još manje neprijatnog treperenja pri kraju radnog vijeka kao kod fluroscentnih cijevi, odsustvo infracrvenog i ultraljubičastog opsega, otpornost na udarce i vibracije, trenutno postizanje pune snage kao i otpornost na često uključivanje i isključivanje.

LED RASVJETA	HALOGENA RASVJETA
prosječan vijek trajanja do 50.000 časova	prosječan vijek trajanja do 2.000 časova
LED lampe nisu pod pritiskom	halogene lampe su pod pritiskom
lampa nije osjetljiva na dodir	lampa je osjetljiva na dodir
bezopasna za ljude i okolinu	nije bezopasna za ljude i okolinu
ne emituje UV ili IR zračenje	emituje UV ili IR zračenje
ne troši energiju na zagrijavanje	troši energiju na zagrijavanje
ekonomski isplativa	ekonomski neisplativa
kolor temperatura svjetla do 7.000 K sa mogućnošću izbora boje (RGB, bijela)	kolor temperatura svjetla do 3.200 K bez mogućnosti izbora boje
radna temperatura do 70 C	radna temperatura do 250 C
velika energetska efikasnost	mala energetska efikasnost
niski dugoročni operativni troškovi	visoki dugoročni operativni troškovi

Tabela koju smo prikazali jasno govori o svim prednostima LED rasvjete nad običnom ili halogenom rasvjetom. Ove prednosti još više dolaze do izražaja ako se LED rasvjeta upoređe sa rasvetom baziranom na žarnim nitima.

Svetiljka je naprava koja služi za kontrolu, distribuciju, filtriranje i transformisanje svjetla koje proizvode izvori svjetla.

Svetiljka se sastoji od: jednog ili više izvora svjetlosti, optičkih uređaja za distribuciju svjetla, grla za pozicioniranje i priključak izvora svjetlosti na napajanje, predspojnih naprava za pogon izvora svjetlosti (ako su potrebne), i mehaničkih elemenata za montažu i zaštitu. Svjetiljke je moguće podijeliti prema:

vrsti izvora svjetlosti koji se koristi

prema raspodjeli svjetlosnog fluksa (uglavnom za unutrašnju rasvjetu)

- direktne (90-100% svj. fluksa usmjeren je prema dole)
- poludirektne (60-90% svj. fluksa usmjeren je prema dole)
- difuzne (kada su komponente svj. fluksa prema dolje i gore podjednake - svaka iznosi 40- 60%)
- poluindirektne (60-90% svj. fluksa usmjeren je prema gore)
- indirektne (90-100% svj. fluksa usmjeren je prema gore)

prema raspodjeli intenziteta svjetlosti (uglavnom za spoljašnju rasvjetu)

- sa izuzetno uskom, simetričnom distribucijom
- sa uskom distribucijom
- sa širokom distribucijom
- sa izuzetno širokom distribucijom
- sa simetričnim kružnim tipom osvijetljenosti
- sa simetričnim kvadratnim tipom osvijetljenosti

prema simetriji rasporedjele intenziteta svjetlosti

- rotaciono simetrične
- osno simetrične
- asimetrične

prema stepenu zaštite (mehaničke ili električne)

prema načinu montaže

prema području primjene:

- ugradne "downlight" svjetiljke
- nadgradne svjetiljke
- "wall washer" svjetiljke
- akcentne "spotlight" svjetiljke
- linearne indirektne svjetiljke
- šinske svjetiljke
- industrijske svjetiljke
- reflektori
- ulične svjetiljke



Mehanički stepen zaštite izražava se prvenstveno kao klasa zaštite od prašine, čvrstih stvari i vode. Klase zaštite definisane su prema DIN 40050 kao IP XY (X - zaštita od stranih tijela i protiv udarca, Y - zaštita od vode).



Zaštita od stranih tijela:

- 5 – prašina ne ometa pogon
6 – prahotjesna svjetiljka

dust-tight

dust protected

5 6



rainproof



splash-proof



jetproof



waterproof

3

4

5

7

Zaštita od vode:

- 3 – zaštita od vode koja pada pod kutem manjim od 60°
4 – zaštita od vode koja pada pod bilo kojim uglom
5 – zaštita od mlaza vode
7 – moguće uranjanje pod vodu uz određeno trajanje

Zaštita od strujnog udara iskazana je klasom zaštite (SK ili PC):



- svjetiljka ima zaštitni provodnik na koji moraju biti spojeni svi metalni dijelovi kako ne bi mogli provoditi struju ni u slučaju kvara

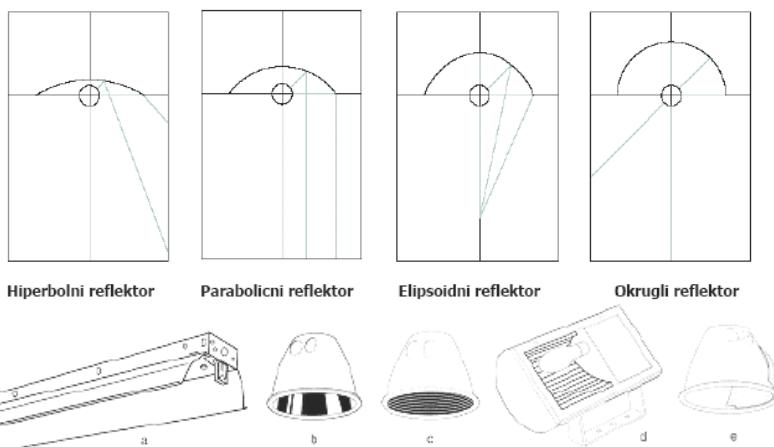


- svjetiljka nema izloženih metalnih dijelova koji bi mogli provoditi struju u slučaju kvara, pa nema priključni terminal za zaštitni provodnik.

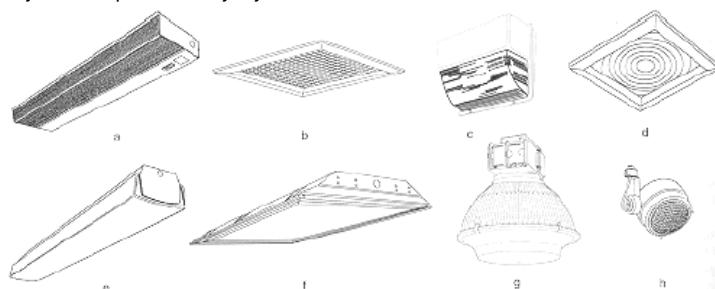
Kontrola svjetla u svjetiljci

Najvažniji elementi svjetiljke su elementi za optičku kontrolu svjetla - reflektori, refraktori, difuzori i rasteri.

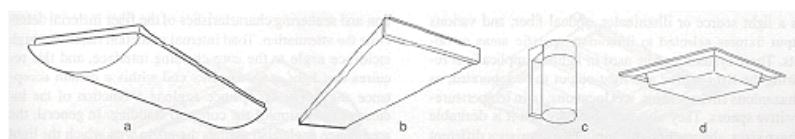
Reflektor je element (obično od metala ili plastike) s visokim koeficijentom refleksije koji je oblikovan tako da na željeni način usmjerava svjetlo izvora svjetlosti. Dijelimo ih na divergentne i konvergentne. Kod konvergentnih reflektora postoje: sferični - svjetlost se usmjerava u fokus; eliptični - usmjeravaju svjetlost u drugi fokus; parabolični - usmjeravaju svjetlost paralelno.



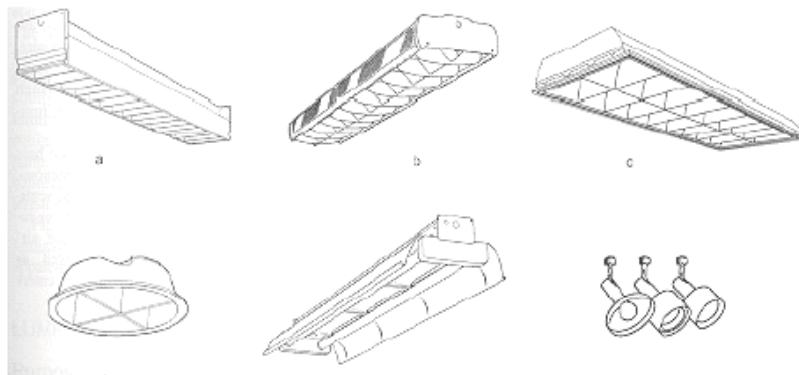
Refraktor je element za kontrolu koji koristi svojstvo da svjetlo mjenja smjer pri prelasku između dva materijala (npr. vazduh-staklo ili vazduh-plastika). Uglavnom se koriste plastični materijali u nekoj strukturi (prizme ili piramide), koji dodatno usmjeravaju svjetlo, ili stvaraju utisak da svjetli veća površina svjetiljke.



Difuzori raspršuju svjetlo u više smjerova, i smanjuju luminanciju povećanjem površine iz koje svjetlo izlazi iz svjetiljke.



Rasteri su elementi koji smanjuju ili otklanjaju direktni pogled na izvore svjetlosti u svjetiljci. Osim toga, oni dodatno usmjeravaju svjetlo.

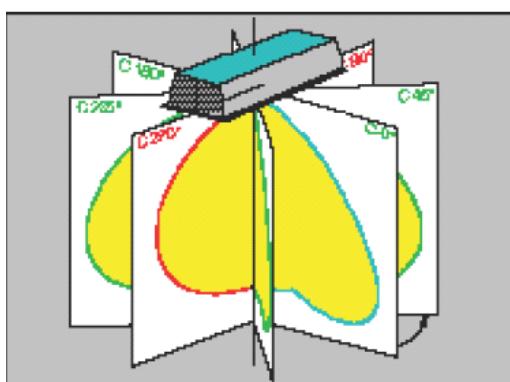


Sistemi za kontrolu svjetla bitno utiču na **svjetlosnu iskoristivost svjetiljke**, koja se definije kao odnos između ukupnog svjetlosnog fluksa ugrađenih izvora svjetlosti i svjetlosnog fluksa koji izlazi iz svjetiljke.

Za standardnu svjetiljku iskoristivost je 0,6, dok kod visokokvalitetnih svjetiljaka iznosi i do 0,95. Proizvođači uglavnom daju podatke za **pogonsku** svjetlosnu iskoristivost svjetiljke, koja uzima u obzir specifičan položaj ili uticaj temperature okoline.

Fotometrijske karakteristike svjetiljke

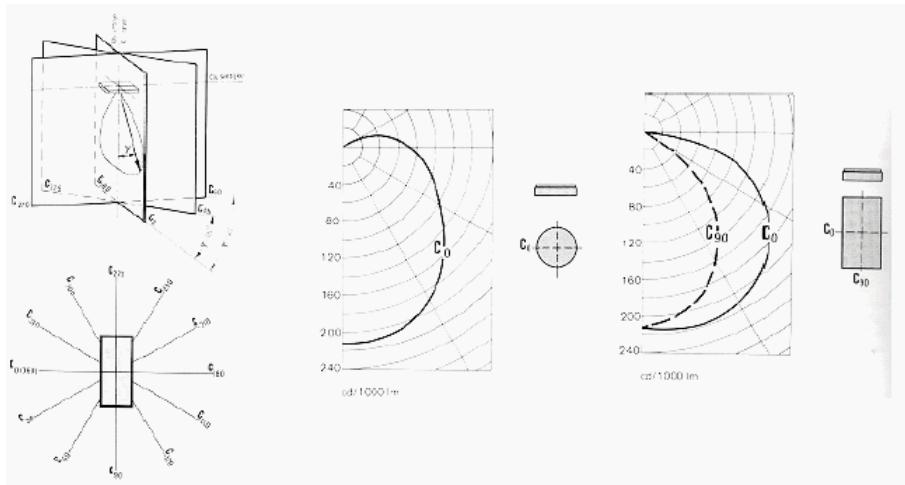
Kod proračuna rasvijete najvažniju informaciju predstavlja fotometrijska karakteristika svjetiljke - opis raspodjele intenziteta svjetlosti u cijeli prostor (**izokandelni dijagram**). Da bi se fotometrijska karakteristika neke svjetiljke mogla koristiti za različite izvore svjetlosti, fotometrijska karakteristika se obično normira za 1.000 lm, odnosno izražava u cd/klm.



Prostor oko svjetiljke tretira se kao više ravni. Najčešće se za izražavanje fotometrijskih karakteristika koristi C sistem ravnih. Ravan 0-180 postavljena je normalno na uzdužnu osu svjetiljke.

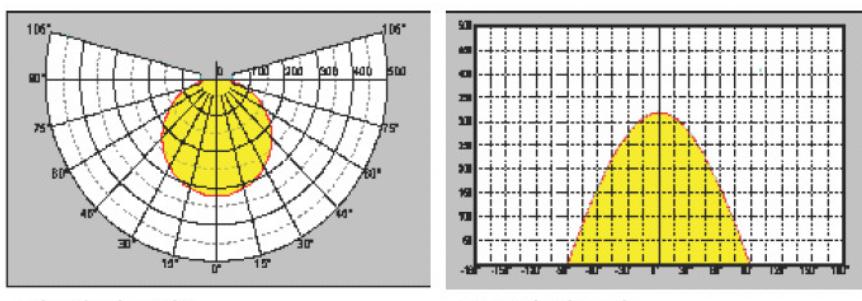
Ukoliko je karakteristika u ravnim simetrična za pozitivne i negativne uglove isijavanja, govorimo o simetričnoj krivoj, za razliku od asimetrične krive.

Za rotaciono simetrične svjetiljke, fotometrijska karakteristika je definisana samo jednom krivom, dok je kod osno simetričnih svjetiljaka (npr. fluorescentne svjetiljke) potrebno definisati dvije krive.



Polarna i linearna karakteristika

Osim polarne karakteristike koristi se i linearna karakteristika (pogotovo kod reflektora).



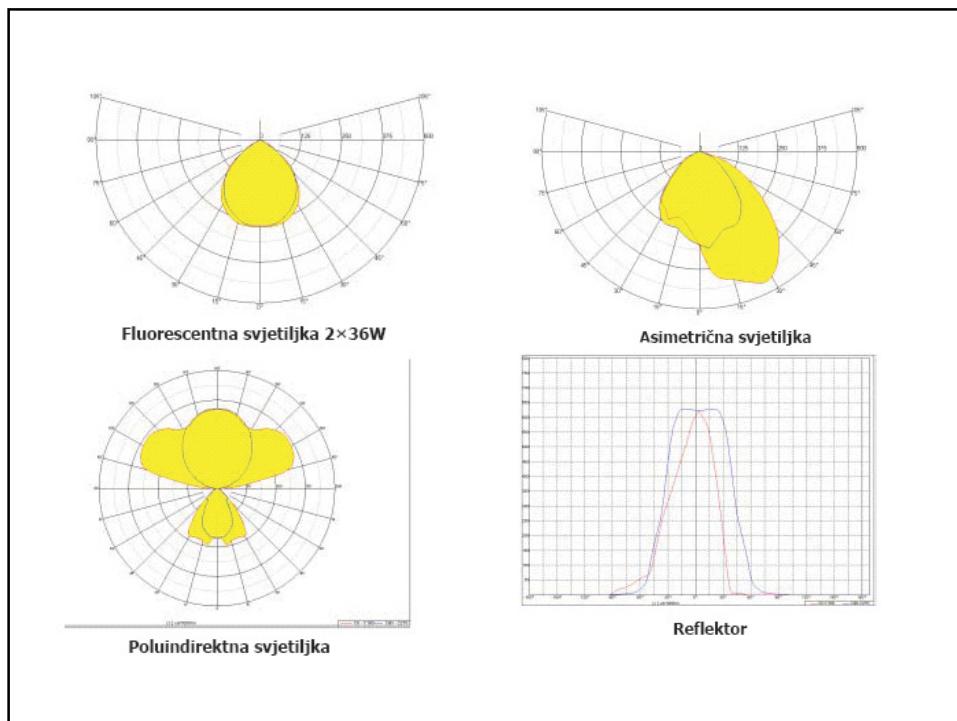
Polarna karakteristika obično pokazuje C₀-180 i C₉₀-270 ravni.

Ukoliko svjetiljka ima rotaciono simetričnu karakteristiku, prikazuje se samo jedna ravan.

Centar dijagrama je sredina svjetiljke.

Kod linearne karakteristike uglov isijavanja nanešeni su na x-osi.

Vrijednosti su obično cd/klm.



Zahtjevi pri projektovanju rasvjete

Namjena prostora određuje jačinu i tip rasvjete

Geometrija prostora određuje izvedbu (način ugradnje)

Specifični zahtjevi

Nivo osvijetljenosti (Em) propisan je DIN standardom

- DIN 5035 (Artificial lighting of interiors)
- DIN 66234 (VDU workstations)
- DIN 6169 (Color rendering)
- CIE No. 29.2 (Guide on interior lighting)

Standard (preporuke) propisuju prosječnu osvijetljenost, minimalni faktor

reprodukcije boje, ograničenje blještanja ili neki specifičan zahtjev

Ispravna rasvjeta omogućuje vizuelni komfor (ugodnost) !

odgovarajući nivo osvijetljenosti

ravnomjernost rasvjetlenosti

jednolika luminancija (sjajnost)

ograničenje luminancije izaziva humor

zadovoljavajući kontrast potrebno je razlikovati objekt i njegovu pozadinu

ispravno usmjerenje rasvjete osigurava 3D percepciju

ugodna sjenovitost postiže se kombinacijom difuzne i direktnе rasvjete

odgovarajući faktor reprodukcije boje

odgovarajuća temperatura boje svjetlosti

atmosfera moguće ju je stvoriti rasvetom

efikasnost sistema rasvjete smanjenje potrošnje električne energije

smanjeni troškovi održavanja rasvetnog sistema

1000 lx

- Otvoreni kancelarijski prostor, prosječna refleksija
- Upoređivanje boja, kontrola boja, kontrola roba
- Sastavljanje precizne opreme (električne)
- Proizvodnja nakita, retuširanje, itd.

750 lx

- Otvoreni kancelarijski prostor, visoka refleksija
- Tehničko čitanje (na pločama)
- Obrada metala i pregled
- Kontrola
- Kontrola greške (drvo, koža, itd.)

500 lx

- Uredi za obradu podataka
- Obrada stakla, graviranje, precizno sastavljanje
- Sastavljanje malih motora
- Rad na strojevima za obradu drveta

300 lx

- Kancelarije sa stolovima isključivo pored prozora, sobe za sastanke i konferencije
- Enameliranje, duvanje stakla, polu-precizno sastavljanje
- Kontrolni prostori
- Prodajni prostori

200 lx

- Skladišta s neophodnim čitanjem, ekspedicija
- Ostave
- Grubo sastavljanje
- Metalne konstrukcije
- Pomoćni prostori, hodnici

100 lx

- Skladišta
- Svlačionice, sanitarije
- Stepeništa, liftovi
- Rampe za utovar
- Proizvodnja s povremenom ručnom intervencijom

Ograničenje blještanja



Direktno blještanje

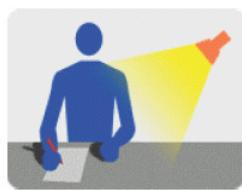
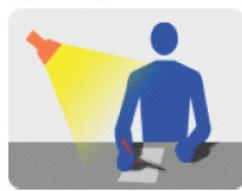


Indirektno blještanje

Pri izboru i pozicioniranju svjetiljaka treba voditi računa o blještanju.

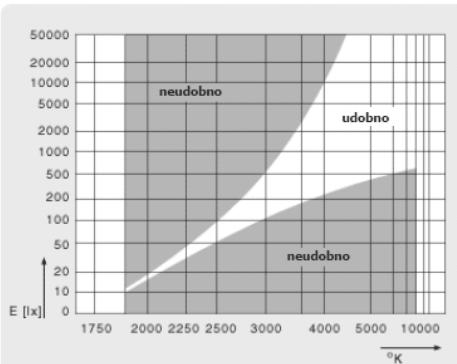
Neodgovarajuća pozicija može proizvesti direktno ili indirektno blještanje, što ometa gledanje. Zbog toga se biraju mat radne površine, a luminancija unutar sobe ne bi smjela biti veća od 200 cd/m².

Ugodna sjenovitost



Kontrast i sjenovitost omoguju naglašavanje objekta.

Udobnost svjetla



Kruithof-ova kriva

Kruithof-ova kriva pokazuje koje su vrijednosti osvijetljenosti udobne pri određenim temperaturama boja. Uopšteno, viša temperatura boje traži i višu osvijetljenost.

Temperaturom svjetla postavljamo atmosferu rasvjetnog sistema. Tako se npr. za intimnu atmosferu preporučuje korišćenje toplijih temperatura boja, što i bolje odgovara manjim nivoima osvijetljenosti.

Zavisno od tipa radnog zadatka koji se obavlja, potrebno je odabrat i izvore svjetla sa odgovarajućim faktorom reprodukcije boje.

Posebna se pažnja posvećuje ergonomiji na radnom mjestu – postizanju udobne rasvjete. Ovdje posebnu ulogu imaju elektronske predspojne naprave, koje osiguravaju mirno svjetlo bez treperenja i stroboskopskog efekta na 50 Hz, budući da rade na frekvencijama od 20-30 kHz. Takođe omogućuju i dodatnu udobnost korištenjem regulacije svjetlosnog fluksa.

Kontrola blještanja

Razlikujemo **psihološko blještanje** (utiče na vizuelne performanse) i **fiziološko blještanje** (može izazvati zamor).

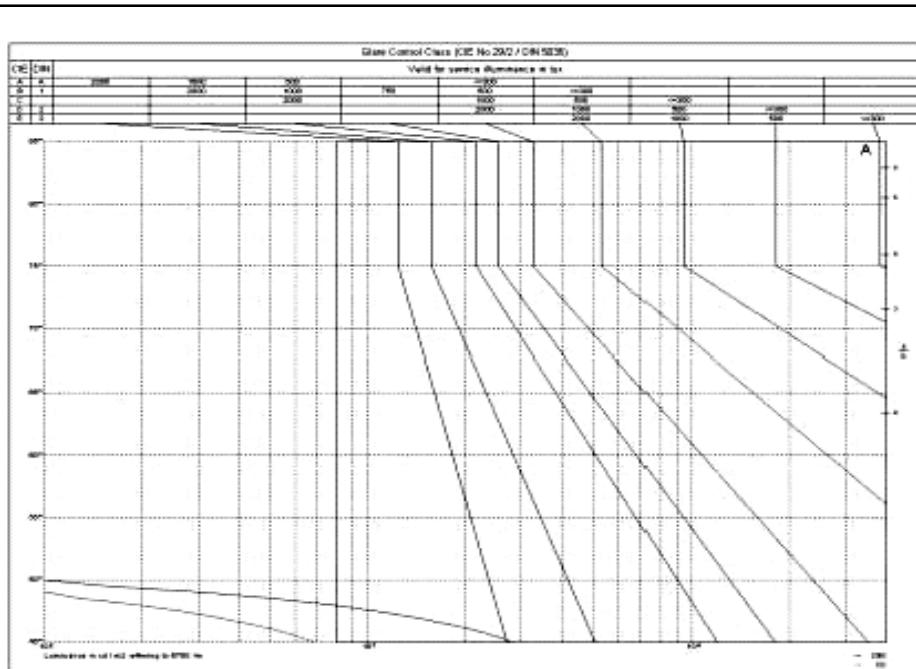
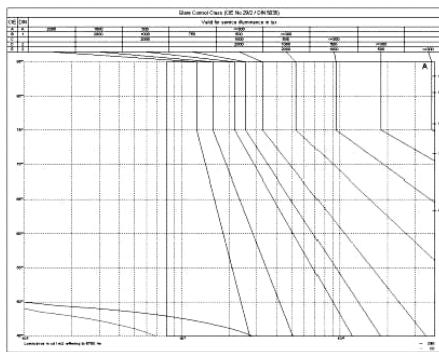
Direktno blještanje je moguće kontrolisati izborom odgovarajućih svjetiljaka. Pri tome se smatra da je kontrola uspješna ako sjajnost (luminancija) za uglove gledanja između 45° i 85° stepeni ne prelazi vrijednosti u krivima ograničenja blještanja (tzv. Söllner krive).

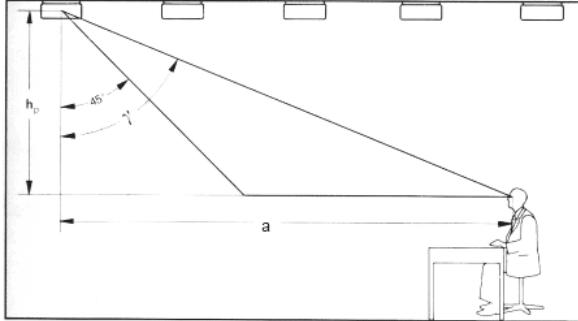
Krive blještanja dostupne su kod proizvođača svjetiljaka, pri čemu ograničenje blještanja zavisi od nivoa osvjetljenosti i položaju svjetiljke i posmatrača (odnos a/d).

Standardi propisuju određene klase kontrole blještanja zavisno od aktivnosti i prostora.

Blještanje je kontrolisano ako se kriva za svjetiljke (posmatraju se samo krive za C0/180 i C90/270) nalazi lijevo od graničnih krivih blještanja.

Ova metoda se napušta, budući da uzima u obzir samo blještanje pojedine svjetiljke, a ne cijelog sistema. Zbog toga je razvijena metoda **UGR (Unified Glare Rating)** koja uzima u obzir uticaj svih svjetiljki i sjajnost pozadine. UGR će biti ugrađen u nove CIE preporuke.





UGR se računa prema sljedećoj formuli:

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

- L_b = sjajnost pozadine
- L = sjajnost svjetiljke u smjeru posmatrača
- ω = prostorni ugao posmatrača
- p = Guth indeks

Najviša vrijednost dobijena za sve moguće kombinacije posmatrača i svjetiljke uzima se kao UGR indeks prostorije (obično između 10 – bez blještanja i 30 – naglašeno psihološko blještanje).

Ravnomjernost osvjetljenosti

Ravnomjernost osvjetljenosti je odnos minimalne i prosječne vrijednosti osvjetljenosti (E_{min}/E_m).

Potrebno je osigurati što ravnomjerniju osvjetljenost radne površine, pri čemu za radnu površinu ovaj odnos ne bi smio biti manji od **0,7**, a za okolinu radnog mesta ne manji od **0,5**.

Svetlotehnički proračun

U projektovanju unutrašnje rasvjete najvažniji je proračun nivoa osvjetljenosti. Vodeći računa o svim predušlovima za dizajn rasvjetnog sistema, pred projektanta se postavlja pitanje koliko svjetiljki i s kojim izvorima svjetlosti je potrebno koristiti da se postigne određeni nivo osvjetljenosti. Osim toga, često se provodi i proračun blještanja.

Postoji više metoda za proračun osvjetljenosti:

- **Metoda iskoristivosti (lumen metoda)**
- **Proračun osvjetljenosti u tački (metoda tačke)**
- **Metoda izoluks krivih**

Metoda iskoristivosti

Metoda iskoristivosti je jednostavna i dovoljno precizna metoda za proračun jednostavnijih unutrašnjih prostora. Do šire upotrebe računara u procesu projektovanja, ovo je bila najšire korišćena metoda za proračun unutrašnje rasvjete.

Ovom metodom proračunava se prosječna osvjetljenost nekog prostora, odnosno moguće je za željeni nivo osvjetljenosti proračunati potreban broj svjetiljki. Metoda kreće od osnovne pretpostavke da je prosječna osvjetljenost radne ploče:

$$E_m = (\text{ukupan svj. fluks na radnoj ploči}) / (\text{površina radne ploče})$$

Pri tome se koristi **faktor iskoristivosti prostora** η_R , koji pokazuje odnos između svjetlosnog fluksa svjetiljke i svjetlosnog fluksa koji pada na radnu ploču. Faktor iskoristivosti prostora definisan je u tabelama u priručnicima, a zavisi od dimenzija prostora i faktorima refleksije ploča.

$\eta_R = f(k, p)$, gdje je k faktor prostora, i iznosi ,
gdje je $h = H - 0,85$ (udaljenost radne ploče od plafona)

$$k = \frac{a \times b}{h(a+b)}$$

$$E = \frac{n_s \times n_i \times \Phi \times \eta_l \times \eta_r \times f}{a \times b}$$

n_s - broj svjetiljki

n_i - broj izvora svijetla u svjetiljki

Φ – svjetlosni fluks izvora svjetla

η_l – pogonska iskoristivosti svjetiljke

η_r – faktor iskoristivosti prostora

f- faktor održavanja

a, b- dimenzije prostora

Faktor održavanja uzima u obzir smanjenje svjetlosnog fluksa svjetiljke tokom pogona, i to zbog smanjenja svjetlosnog fluksa izvora i zbog prljanja same svjetiljke. Iznosi 0,7 - 0,9, zavisno od prostora i rasvjetnog sistema. Često se definiše i faktor planiranja (1/f), koji nam govori koliko višu osvijetljenost trebamo planirati zbog smanjenja u pogonu.

Primjer proračuna

Potrebito je izračunati potreban broj svjetiljki za rasvjetu konferencijske dvorane sljedećih dimenzija:

a= 15 m

b= 8 m

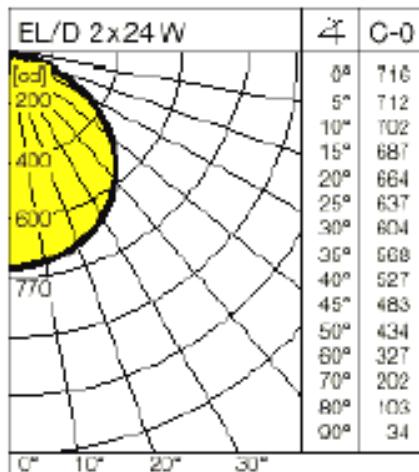
H= 3,4 m

h = 2,55 m

Prema preporukama potrebno je postići prosječnu osvijetljenost od 300 lx.

S obzirom na prostor bira se nadgradna svjetiljka s dvije fluokompaktnе sijalice OSRAM DULUX L 24W/31, temperature boje 3100 K sa svjetlosnim fluksom od 1800 lm.

Iz kataloga proizvođača svjetiljaka očita se podatak o iskoristivosti svjetiljke $\eta_L = 0,58$, uz prikazanu fotometrijsku karakteristiku.



Poznata je i refleksija površina u prostoru:

Plafon=0,8

Zidovi = 0,5

Radna površina = 0,3

Budući da vrijedi da je:

$$k = \frac{a \times b}{h(a+b)} = \frac{15 \times 8}{2,55(15+8)} = 2,05$$

Iz tabele slijedi da je $\eta_R = 0,91$

Potreban broj svjetiljki je:

$$n_s = \frac{E \times a \times b}{n_i \times \Phi \times \eta_l \times \eta_r \times f} = \frac{300 \times 15 \times 8}{2 \times 1800 \times 0,58 \times 0,91 \times 0,8} = 23,7$$

Koriste se **24** svjetiljke.

Zbog dimenzija prostorije, kako bi se postigla što veća jednolikost, svjetiljke se raspoređuju 3×8.

Nadgradne svjetiljke Faktor refleksije									
Faktor prostora k	0,6	0,8	0,8	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5
Strop	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5
Zidovi	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,3	0,5	0,3
Radna ploča	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Faktor iskoristivosti prostora %									
0,6	73	46	37	44	35	66	36	42	35
0,8	82	57	47	54	45	74	45	51	44
1,0	91	66	56	62	54	80	53	59	52
1,25	98	75	65	70	62	85	61	66	60
1,5	103	82	73	76	69	89	67	72	66
2,0	109	91	82	84	78	94	75	78	73
2,5	114	98	90	90	84	97	81	83	79
3,0	117	103	96	95	90	99	86	87	83
4,0	120	109	103	100	95	101	91	91	86
5,0	122	113	107	103	98	103	93	93	91

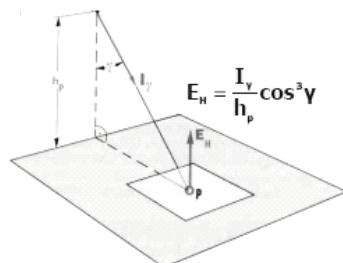
Metoda tačke

Ova metoda daje puno preciznije rezultate o osvjetljenosti, i može se koristiti za proračun osvjetljenosti u proizvoljnoj tački. Pogotovo je pogodna kod proračuna računarom, budući da se prostor može podijeliti u proizvoljno veliki broj tačaka, u kojim se proračuna osvjetljenost u tački, a zatim se prosječna osvjetljenost računa kao aritmetička sredina svih osvjetljenosti.

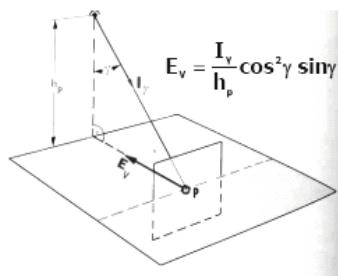
Osvjetljenost u svakoj ravni ima vertikalnu i horizontalnu komponentu (koja se češće koristi).

U proračunu unutrašnje rasvjete računa se direktna i indirektna komponenta rasvjete (uz ograničen broj iteracija), kao i uticaj namještaja na refleksiju svjetla.

Ako je odnos udaljenosti tačke P i najveće dimenzije svjetiljke veći od 5, svjetiljka se aproksimira tačkastim izvorom svjetla



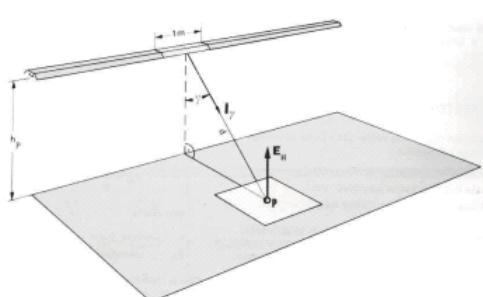
Horizontalna osvjetljenost u tački



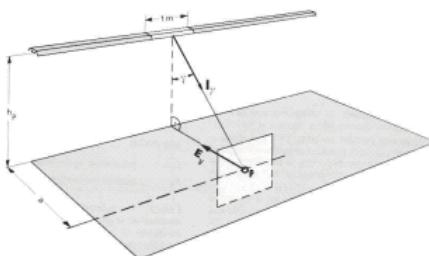
Vertikalna osvjetljenost u tački

Sabira se doprinos svih izvora u prostoru, kao i refleksija.

Kada se svjetiljka ne može aproksimirati tačkastim izvorom svjetla (npr. fluorescentne svjetiljke), osvjetljenost u tački se dobija integracijom. Pri tome je vrijednost I_y uvijek dostupna iz fotometrijske karakteristike svjetiljke.



Horizontalna osvjetljenost u tački za linijski izvor



Vertikalna osvjetljenost u tački za linijski izvor

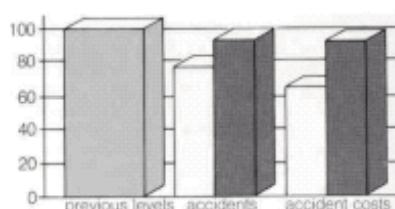
Spoljašnja rasvjeta

Spoljašnju rasvjetu moguće je podijeliti na **uličnu** rasvjetu (rasvjeta puteva), **urbanu** rasvjetu (rasvjeta trgovina i pješačkih zona) i **reflektorsku** rasvjetu (rasvjeta fasada i pretižnih objekata).

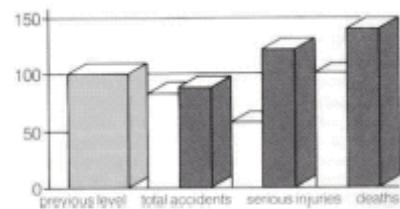
Osnovna uloga spoljašnje (vanske) rasvjete je:

- dobra rasvjeta smanjuje broj nesreća i povećava sigurnost na putevima, te osigurava vidljivost pješacima i biciklistima
- rasvjeta povećava zaštitu i sigurnost ljudi i objekata
- rasvjeta omogućuje pravovremeno uočavanje opasnih i novonastalih situacija na cesti
- položaj svjetiljaka pokazuje putanju ceste, odnosno djeluje kao "vodič"
- rasvjeta omogućuje orijentaciju tj. izbor pravog puta
- u gradovima rasvjeta naglašava rezidencijalnu vrijednost i stvara urbanu atmosferu
- rasvjeta predstavlja važan element kvaliteta ljudskog života

Brojna istraživanja pokazala su da korištenje cestovne rasvjete bitno smanjuje broj nesreća.



50% smanjenje luminancije



isključenje rasvjete



rel. broj nesreća u zavisnosti od luminanciji

Ograničenje blještanja

Blještanje izaziva vidnu nelagodu, te ga je potrebno što više ograničiti. Razlikujemo:

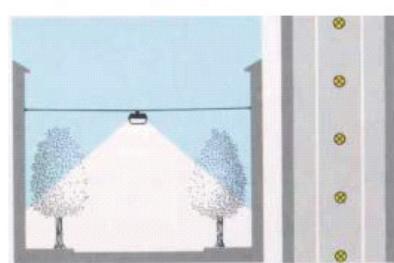
Psihološko blještanje smanjuje vidnu udobnost zapažanja vozača zbog zamora oka, izazvanog trajno prisutnim blještanjem izvora svjetlosti. Oznakom G utvrđena je (na osnovu iskustva u praksi) mjera kontrole psihološkog blještanja na skali 1 (neprimjetno) – 9 (nepodnošljivo). Lako postoji i način proračuna za G, iskustvo je pokazalo da je psihološko blještanje zadovoljavajuće ako su zadovoljeni kriteriji za ograničenje fiziološkog blještanja.

Fiziološko blještanje (smanjuje vidnu sposobnost) - utječe na smanjenje kontrastne osjetljivosti (razlika luminancije između objekta i pozadine) i smanjenje brzine percepције. Vrednuje se preko **relativnog porasta praga TI**.

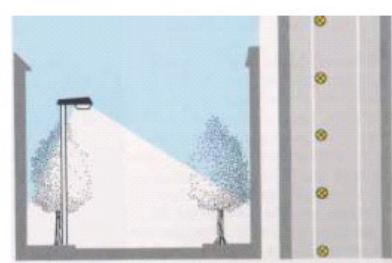
Za raspoznavanje objekata potrebno je osigurati razliku luminancije između objekta i pozadine, i što je ona veća, objekt je bolje vidljiv. Pri većim vrijednostima luminancije pozadine, i kontrast (razlika luminancije) mora biti jači.

Minimalni kontrast, pri kojem je kod određene vrijednosti luminancije pozadine, objekt vidljiv, naziva se **prag prepoznavanja razlike luminancije (ΔL_{min})**.

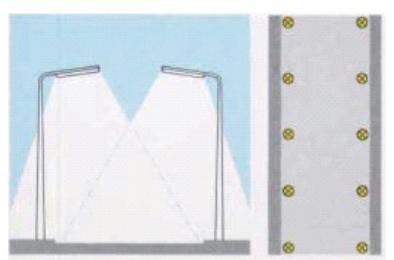
Raspored svjetiljki



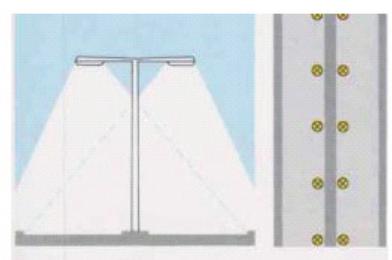
Aksijalni raspored (nosive žice)



Jednostrani raspored

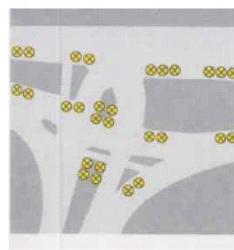
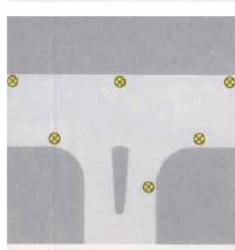
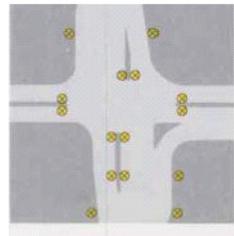
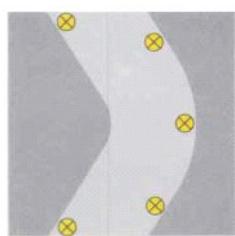


Dvostrani raspored (izvori paralelno)



Centralni raspored

Raspored svjetiljki - primjeri

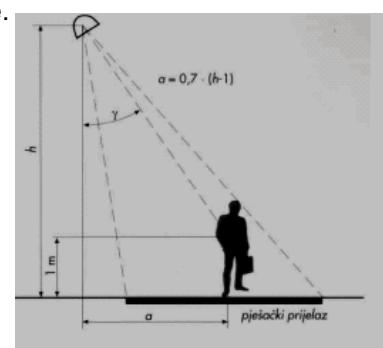
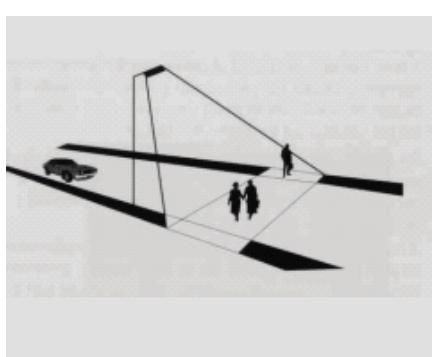


Kod raskrsnica se mora postići luminancija najbolje osvijetljene ceste koja ulazi u raskrsnicu.

Kod krivina veliku ulogu ima i vizuelno vođenje (određivanje smjera ceste). Svjetiljke se obično stavlju na vanjsku stranu krivina, a ako zbog širine ceste terba koristiti dvostrani raspored, onda se izbjegava naizmjenično postavljanje.

Rasvjeta pješačkih prijelaza

Pješački prelaz nije potrebno posebno osvjetjavati, ako je postignuta prosječna luminancija kolovoza od min. 2 cd/m^2 u području 50m ispred i iza prelaza, te ako su zadovoljeni preporučeni uslovi jednolikosti. Ako to nije slučaj, pješački prelaz se mora posebno osvijetliti, tako da se postigne pozitivni kontrast između pješaka i kolovoza (luminancija pješaka je veća od luminancije kolovoza), što se obično postiže upotrebom svjetiljke posebnih fotometrijskih karakteristika koja se postavlja ispred pješačkog prijelaza (gledano iz smjera vožnje) sa svake strane.

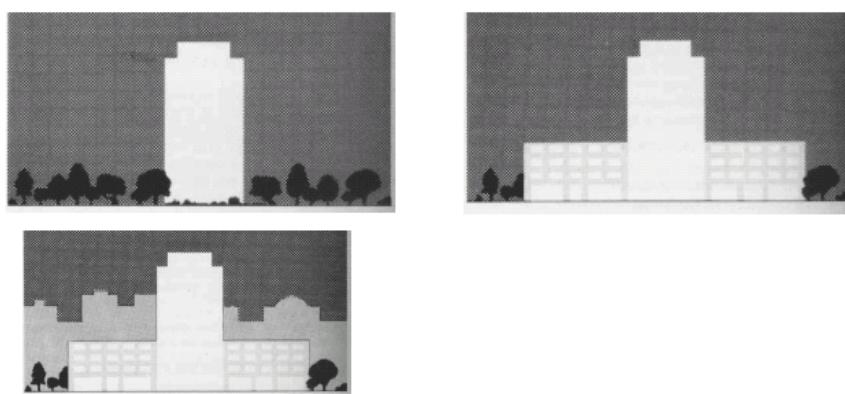


Reflektorska rasvjeta

Kod reflektorske rasvjete fasada proračunava se prosječna osvijetljenost. Pri odabiru ciljane osvijetljenosti, u obzir treba uzeti i uticaj okoline (nivo osvijetljenosti okoline).

Reflektorska rasvjeta fasada ima pretežno arhitektonsku ulogu, ali utiče i na podizanje nivoa osvijetljenosti ulica.

Specijlani dio reflektorske rasvjete je i rasvjeta sportskih terena, gdje se često moraju poštovati visoki zahtjevi za TV snimanja.



Plafonske svetiljke



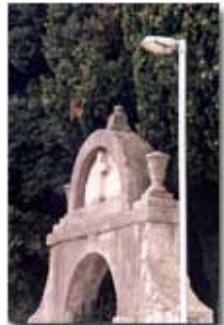
Parkovske svetiljke



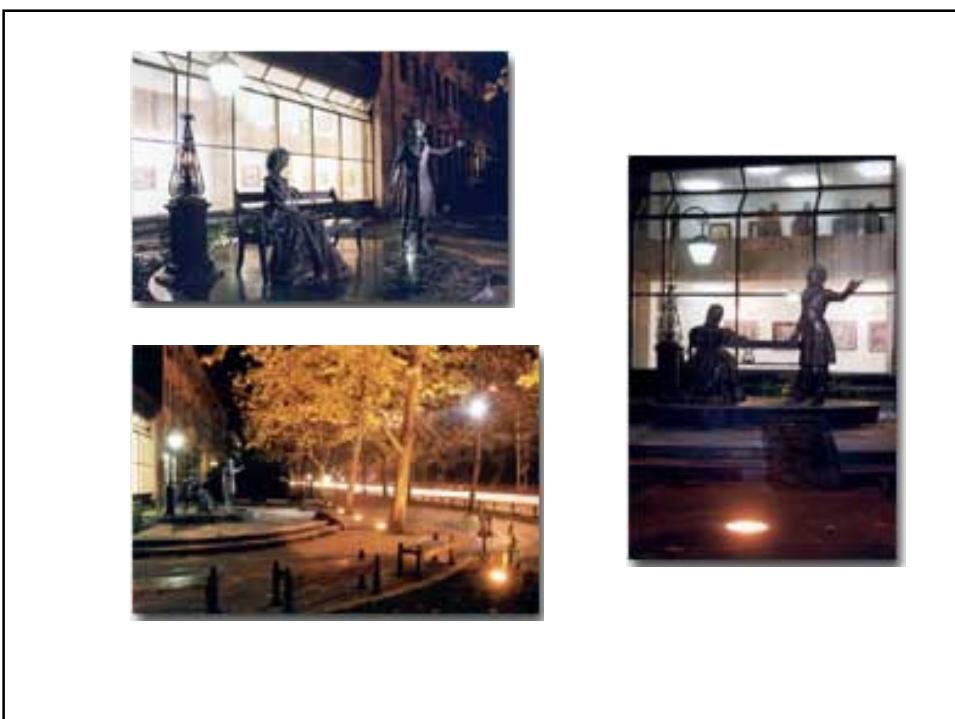
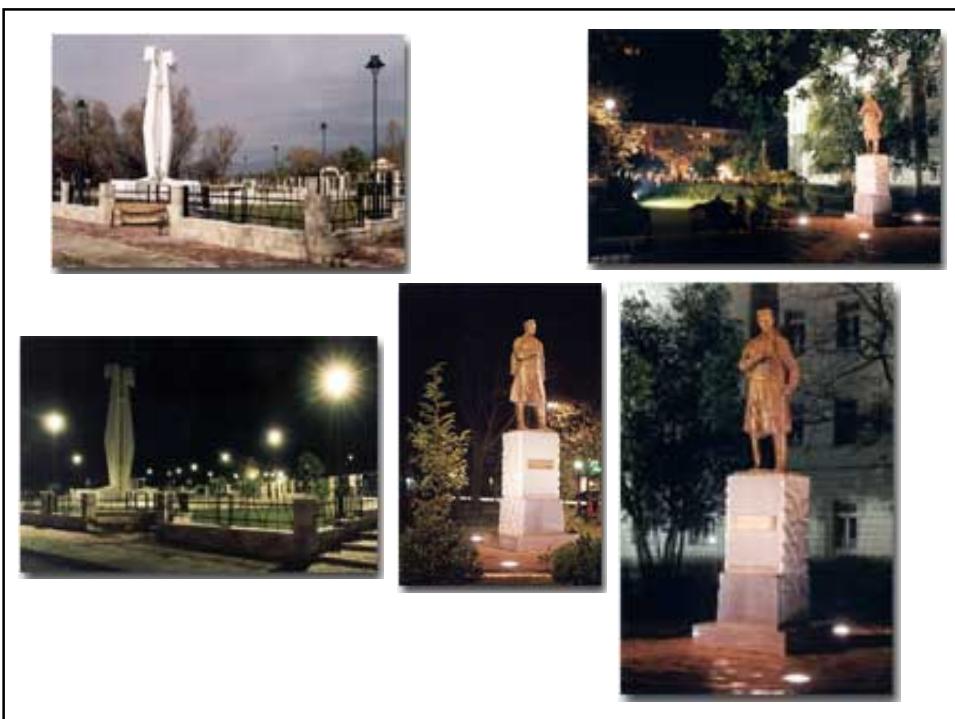
Brodske svetiljke

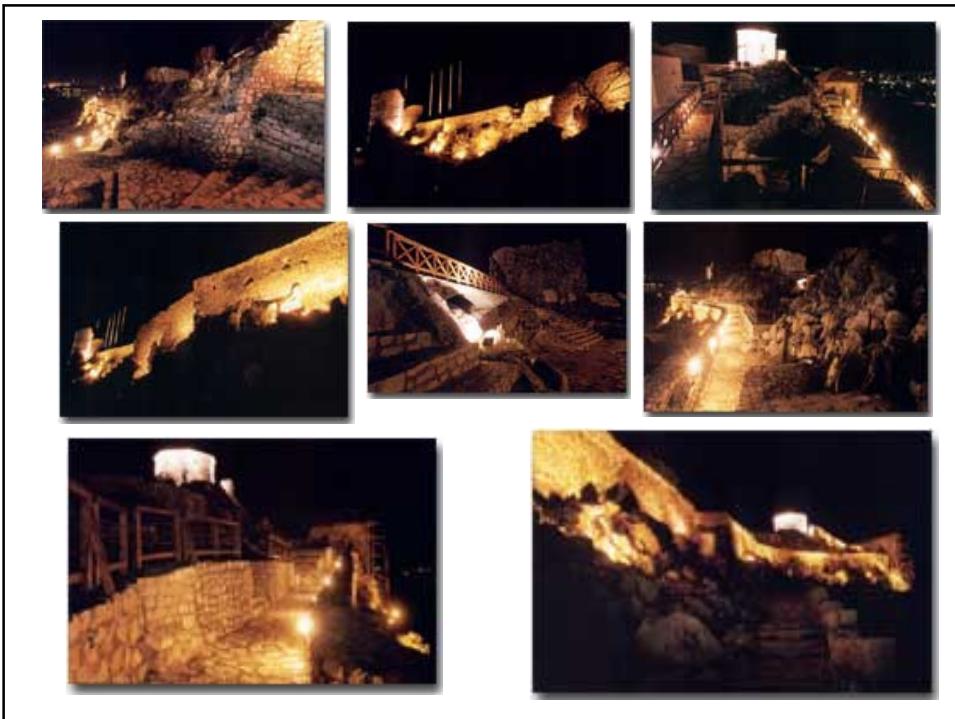


Svetiljka višestruke primjene



ONYX 2





Svetiljke

Svetiljke su naprave koje treba da omoguće:

- nošenje i pogon izvora svjetlosti
- postizanje željene raspodjele svjetlosnog fluksa
- smanjenje sjajnosti izvora svjetla
- zaštita izvora svjetla i dodatne opreme
(od vlage, prašine, fizičkih oštećenja)
- održavanje radne temperature
- jednostavna montaža i održavanje
- dovoljno visok stepen iskorišćenja
- prijatan estetski izgled i mogućnost uklapanja u arhitekturu okoline

Svetlotehnički djelovi svjetiljke

(utiču na raspodjelu svjetlosnog fluksa):

- **reflektori** (usmjereni, poludifuzni i difuzni)
- **refraktori** (koriste pojavu prelamanja svjetlosti)
- **difuzori** (tzv. prozračne materije koje difuzno propuštaju svjetlost)
- **štitnici** (sakrivanje izvora svjetlosti od pogleda iz određenih pravaca) i
- **filteri** (za potenciranje različitih svjetlosnih efekata)

Materijali za izradu mehaničkih elemenata svjetiljki

Čelik (za izradu kućišta svjetiljki sa fluo cijevima, mehanički se obrađuje, lim se farba bijelom bojom u cilju difuzne refleksije i antikorozivne zaštite)

Aluminijum (lagani, koroziono otporan materijal dobrih toplotnopravodnih k-ka, koristi se kako za izradu kućišta tako i reflektora i štitnika)

Plastika (relativno niska cijena i širok opseg relevantnih k-ka, otpornost na atmosferske uticaje, čvrstina, krutost, toplotna otpornost, otpornost na UV zračenje)

Staklo (u tehnici osvjetljenja koriste se obično staklo i staklo povećane tvrdoće – bor silikatno staklo 230 °C, alumino silikatno 400 °C)

Fizička zaštita svjetiljki

Svjetiljke se štite kako od prodora čvrstih tijela (čestica prašine) i vlage, tako i od slučajnih i namjernih fizičkih oštećenja.

Zaštita svjetiljki od prodora vlage i prašine – zahtjevi za ovom vrstom zaštite su uslovjeni područjem primjene svjetiljki.

"Sealsafe" sistem zastite zasniva se na stvaranju natpritska nakon uključivanja svjetlosnog izvora.

U slučajevima kada postoji mogućnost nenamjernog fizičkog oštećenja postavljaju se žičane mreže ispred protektora svjetiljki. U slučaju postojanja destruktivnog djelovanja vandala koriste se protektori od polikarbonata.

Fotometrijski podaci o svjetiljkama

Tabela svjetlosnog intenziteta (dobija se mjeranjem svjetlosnih intenziteta u određenom broju pravaca koji prolaze kroz optički centar svjetiljke u fotometrijskoj laboratoriji i predstavlja osnovni podatak o svjetiljci; podaci se daju u normiranoj formi za izvor svjetlosti fluksa 1000 Lm) Polarni dijagrami

Stepen iskorišćenja svjetiljki – definiše se kao odnos fluksa koji izrači svjetiljka i ukupnog fluksa svih izvora svjetlosti u njoj.

Faktor korisnosti – definiše se za svjetiljke koje se koriste u unutrašnjoj rasvjeti i to kao odnos svjetlosnog fluksa radne ravni prostorije i ukupnog fluksa svih izvora svjetlosti u njoj.

Tabele i dijagrami raspodjele sjajnosti – kod svjetiljki za unutrašnje osvjetljenje dijagram raspodjele sjajnosti se koristi za kontrolu snošljivog psihološkog blještanja.

Fotometrijski podaci o svjetiljkama

Izokandelni dijagram - izrađuje se za svjetiljke za vanjsku rasvjetu i predstavlja skup krivih od kojih svaka sadrži tačke osvetljivane površine istog svjetlosnog intenziteta

Izoluksni dijagrami – skup krivih od kojih svaka sadrži tačke horizontalne površine iste horizontalne osvijetljenosti

Dijagram K-krivih – daje se kao svjetlotehnički podatak za svjetiljke za osvjetljavanje puteva. Sastoji se iz K1 i K2 krive za čiju izradu osnovu predstavlja tabela svjetlosnog intenziteta. Namjena ovih krivih je izračunavanje srednje osvijetljenosti kolovoza, odnosno određivanja rastojanja između susjednih stubova da bi se postigao željeni nivo osvijetljenosti kolovoza.

Dijagram iskoristivosti sjajnosti – svjetiljke za osvjetljavanje puteva koristi se za izračunavanje srednje sjajnosti kolovoza, odnosno određivanje rastojanja između susjednih stubova da bi se postigao željeni nivo sjajnosti kolovoza.

Efikasnost (iskoristivost) uređaja za osvjetljenje

Efikasnost svjetiljki za unutrašnje osvjetljenje

– zavisi od svjetlosne iskoristivosti izvora, stepena iskorišćenja svjetiljke i veličine onog dijela svjetlosnog fluksa koji “padne” na radnu ravan. Ako je ekonomski aspekt dominantan i ukoliko je problem pojave blještanja od malog značaja preporučuju se svjetiljke koje svjetlost izvora pretežno usmjeravaju na radnu ravan koje su sa kvalitetnim protektorom i reflektorom. Ako su neophodni štitnici preporučuju se svjetiljke sa rasterima. Svjetiljke sa opalnim difuzorima se odlikuju najlošijom efikasnošću.

Postizanje veće efikasnosti svjetiljki za unutrašnju rasvjetu je ograničeno potrebom kreiranja povoljnog utiska o prostoriji kao cjelini, što podrazumijeva kako adekvatno osvjetljenje tavanica i zidova, tako i stvaranje odgovarajućih sjenki.

Efikasnost (iskoristivost) uređaja za osvjetljenje

Efikasnost svjetiljki za osvjetljenje puteva – zavisi od svjetlosne iskoristivosti izvora, stepena iskorišćenja svjetiljke i veličine onog dijela svjetlosnog fluksa koji je usmjeren prema kolovozu.

Tip izvora svjetlosti	Svjetlosna iskoristivost izvora (lm/W)	Svjetlosna iskoristivost svjetiljke(lm/W)
Živin izvor visokog pritiska	42-55	13-17
Na-izvor vis.prit. sa fluorescent. oblogom	59-119	18-36
Bistra Na-sijalica visokog pritiska	67-129	30-58
Na-izvor niskog pritiska	99-180	25-43

Efikasnost (iskoristivost) uređaja za osvjetljenje

Efikasnost reflektorskih svjetiljki

Mjerilo efikasnosti kod ovog tipa svjetiljki je tzv. Faktor svjetlosnog snopa, koji se definiše kao odnos svjetlosnog fluksa svjetiljke koji se emituje u okviru njenog svjetlosnog snopa i svjetlosnog fluksa izvora.

Ugao zračenja se definije kao ugao između dva pravca čiji je svjetlosni intenzitet jednak polovini maksimalne vrijednosti (koja se ima u osi reflektora) pri čemu ovi pravci pripadaju istoj ravni koja sadrži osu reflektora.

Klasifikacija reflektora prema uglu zračenja:

uskosnolini ($\alpha < 20^\circ$),

srednjesnolini ($20^\circ < \alpha < 40^\circ$) i

širokosnolini ($\alpha > 40^\circ$).

PRIMJER $4^\circ - 5^\circ / 24^\circ$

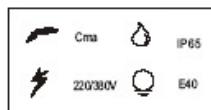
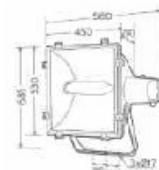
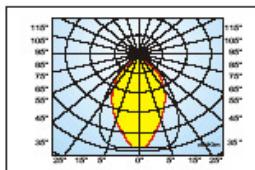
Reflektori za rasvjetu iz velike udaljenosti i velikih površina: sportskih terena, otvorenih parkirališta, skladista.
Zamjena žarulje sa zadnje strane bez pomicanja reflektora.
Odvjene napojne jedinice.

Reflektor 1000W



Tehnički podaci:

Artikl	Snaga	Gruša	Težina
Reflektor1000	HDI-T1000/D	E40	33
Reflektor1000	NAV-T1000	E40	33



Napojna jedinica IP 65
Kućište: iz prešanog aluminija.
Boja: crna.
220V ili 380V
Težina 18kg.



Klasifikacija – podjela svjetiljki

-prema distribuciji svjetlosnog fluksa

Svjetiljke za ... osvjetljenje	Procenat fluksa emitovan u ... poluprostoru	
	gornjem	donjem
Direktno	0-10	90-100
Poludirektno	10-40	60-90
Jednolikoo	40-60	40-60
Poliindirektno	60-90	10-40
indirektno	90-100	0-10

- prema mogućnosti montaže na podloge različitog
stepena zapaljivosti (materijali se dijele na normalno zapaljive
potrebno je bar 200°C i ostale koji se
nazivaju lakozapaljivim)



-prema stepenu zaštite od prodora čvrstih tijela i vlage –

IP (Ingress Protection) sistem klasifikacije

Prva cifra	Kratak opis	Druga cifra	Kratak opis
0	nezaštićena	0	nezaštićena
1	Prodor čvrstih tijela većih od 50mm (ljudska ruka)	1	Zaštićene od kapajuće vode
2	Prodor čvrstih tijela većih od 12mm (prsti i sl. ne duže od 80 mm)	2	Zaštićene od kapajuće vode ako je nagnuta pod uglom $< 15^\circ$
3	Prodor čvrstih tijela većih od 2.5mm (alatke, žice i sl.)	3	Zaštićena od kiše
4	Prodor čvrstih tijela većih od 1mm (preciznije alatke, tanje žice i sl.)	4	Zaštićena od prskajuće vode
5	Zaštićena od prodora prašine	5	Zaštićena od vodenog mlaza
6	Prahozaptivena (cementare npr.)	6	Zaštićena od udara velikih morskih talasa
		7	Zaštićena od efekta uranjanja
		8	Zaštićena od efekta potapanja

-klasifikacija prema vrsti električne zaštite

Klasa svjetiljke	Opis električne zaštite	Simbol
0	Svetiljka ima samo osnovnu radnu izolaciju i ne posjeduje stezaljku za uzemljenje. Proboj na elektroprovodnom dijelu dovodi do pojave trenutnog opasnog napona dodira	Bez simbola
I	Svetiljka ima samo radnu izolaciju ali je opremljena stezaljkom za uzemljenje.	Bez simbola
II	Svetiljka je u potpunosti sa dvojnom izolacijom i bez kontakta za uzemljenje.	
III	Svetiljka koja je konstruisana za priključak na mali napon (do 50 V) i u kojoj se ne generišu od njega veći naponi.	

Unutrašnji prostori se mogu podijeliti na tri cjeline: radne prostorije, komunikacijski prostori i prostorije za socijalne kontakte i relaksaciju.

Faktori kvaliteta unutrašnjeg osvjetljenja

- nivo osvjetljenosti
- ravnomjernost osvjetljenosti
- raspodjela sjajnosti
- ograničenje blještanja
- smjer upada svjetlosti i modelovanje
- boja i
- ograničenje treperenja svjetlosti i stroboskopskog efekta

Nivo osvjetljenosti

- minimalni nivo osvjetljenosti u komunikacijskim prostorima (za prag raspoznavanja crta lica neophodna je sjajnost približno 1 cd/m^2 čemu odgovara vertikalna osvjetljenost od 10 luxa odnosno horizontalna od 20 luxa)

- minimalni nivo osvjetljenosti za radne prostorije

(za zadovoljavajuće raspoznavanja crta lica neophodna je sjajnost između 10 i 20 cd/m^2 čemu odgovara vertikalna osvjetljenost od najmanje 100 luxa odnosno horizontalna od najmanje 200 luxa)

- optimalni nivo osvjetljenosti u radnim prostorijama

(opšte osvjetljenje daje optimalne rezultate u području osvjetljenosti od 1000-2000 luxa, međutim kod vidnih zadataka velikih zahtjeva potrebna je sjajnost do 1000 cd/m^2 kojoj odgovara osvjetljenost od 20 000 luxa; on se postiže kombinovanjem opšteg i dodatnog osvjetljenja)

Ravnomjernost osvjetljenosti

Ovaj faktor je važan sa dva aspekta: povećanja oštrine vida i smanjenja zamaranja oka.

Raspodjela sjajnosti

Sa jedne strane određuje kontrast a sa druge strane na zamaranje oka.

Sjajnost svjetiljki opšte rasvjete $1000 - 10000 \text{ cd/m}^2$

Sjajnost svjetiljki za prostore u kojima se obavlja rad sa terminalima, personalnim računarima manji od 200 cd/m^2

Sjajnost predmeta koji predstavljaju elemente vidnog zadatka
 $100 - 500 \text{ cd/m}^2$

Sjajnost neposrednog okruženja radnog polja može da bude manja ali ne više od $1/3$ ove sjajnosti.

Odnos sjajnosti radnog polja i sjajnosti dalje okoline ne treba da bude veći od $1:10$

Sistemi osvjetljenja

Kod unutrašnjeg osvjetljenja uglavnom se upotrebljavaju sledeći sistemi osvjetljenja:

- **opšte osvjetljenje** (manje ili više ravnomjeran raspored svjetiljki po plafonu do 1000 luxa)
- **zonalno opšte osvjetljenje** (uglavnom u velikim industrijskim halama gdje ima više zona sa različitim vidnim uslovima)
- **lokalno osvjetljenje** (neophodan je za dodatno osvjetljavanje radnih mesta i po pravilu se upotrebljava u kombinaciji sa prethodna dva sistema)

U posebnim slučajevima se upotrebljavaju:

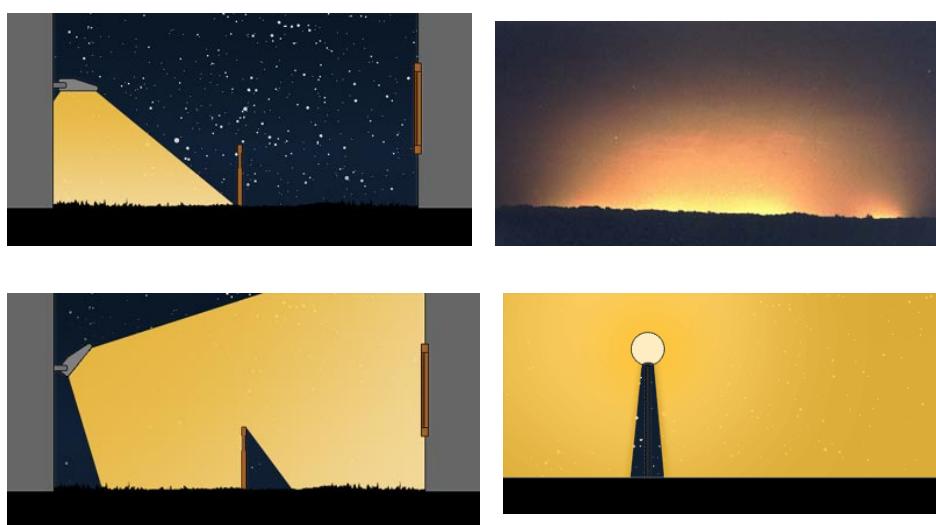
- kombinacija dnevnog i vještačkog osvjetljenja
- sigurnosno osvjetljenje

Integrисani sistemi

Kod projektovanja i izvođenja savremenih zgrada, kao što su upravne i reprezentativne zgrade, poslovne zgrade, banke i sl. moguće je postići optimalna tehnička i ekomska rješenja samo onda kada se kao cjelina rješavaju sljedeća područja:

- tehniku osvjetljenja
- tehniku klimatizacije
- tehniku akustike i
- stropni sistemi (plafoni)

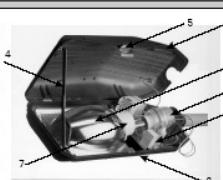
Svjetlosno zagađenje, šematski prikaz



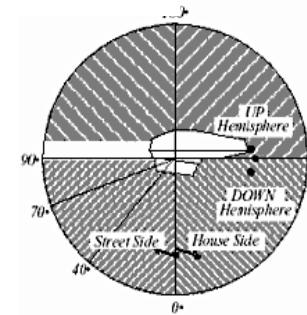


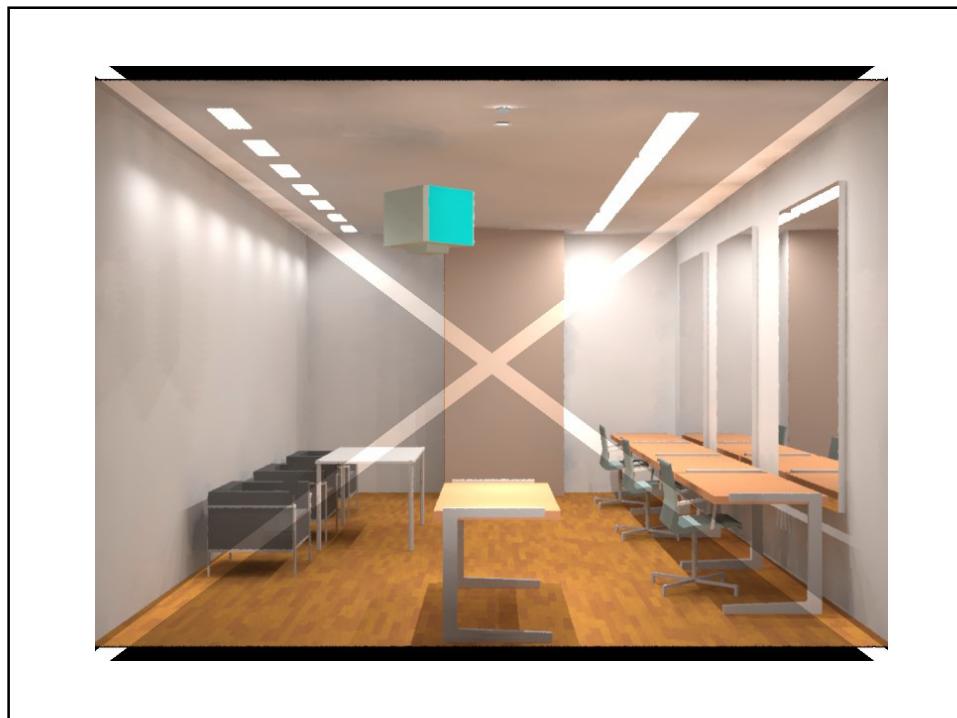
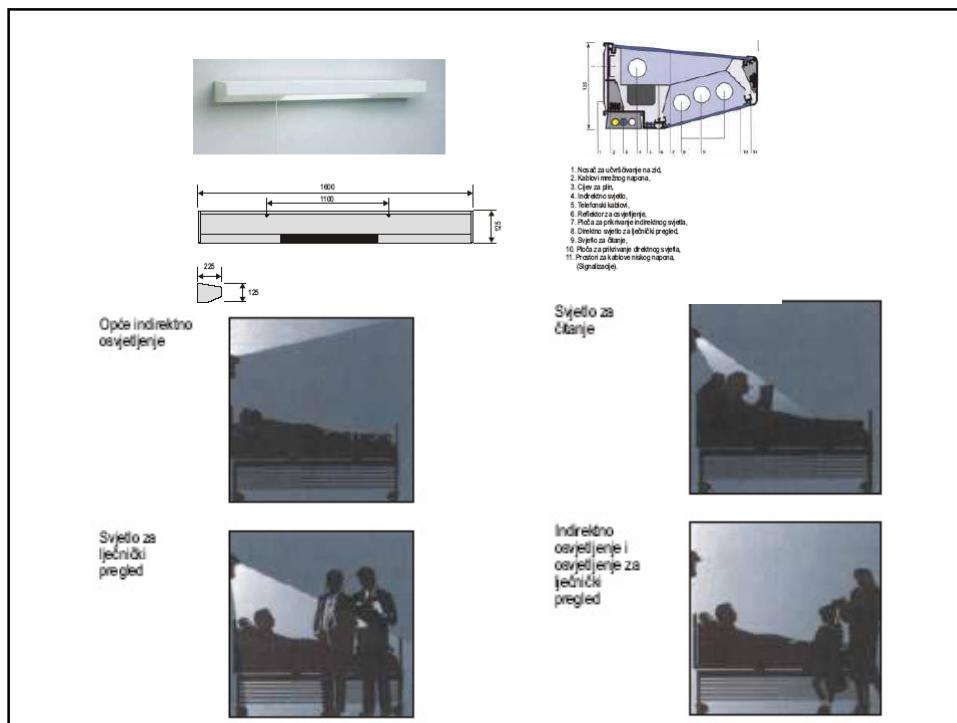
Minel-Schréder
Schréder Group GIE

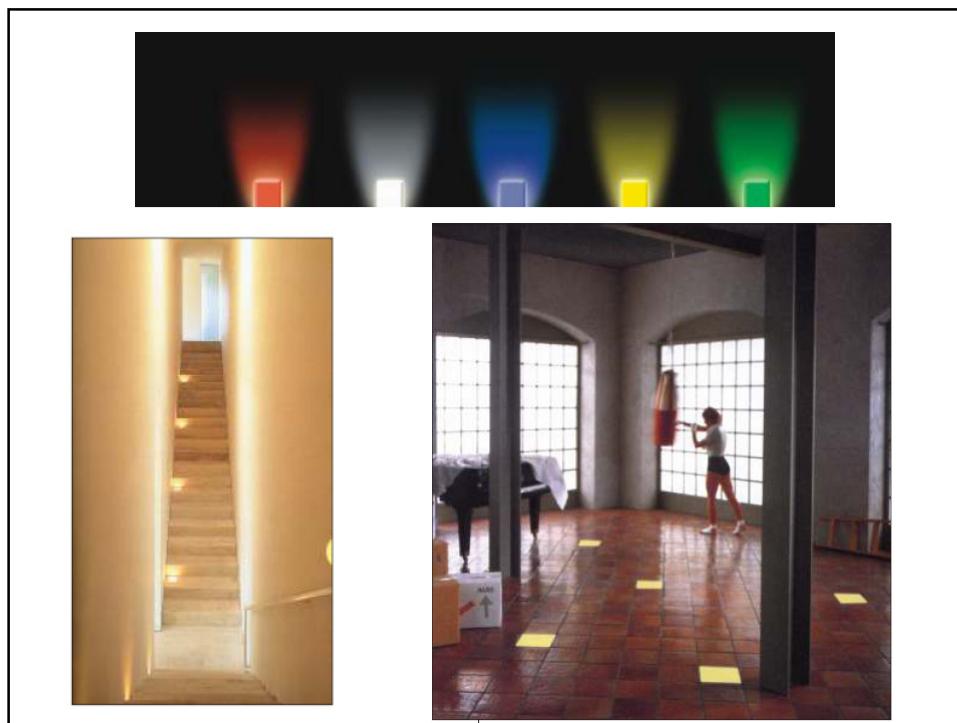
ONYX 2

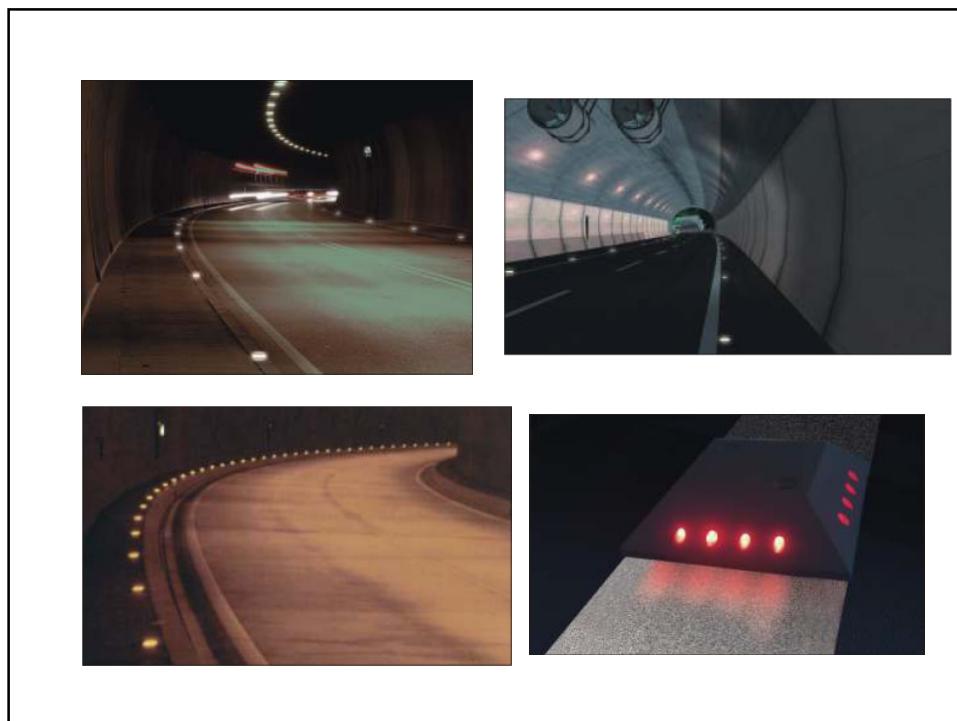


1. Poklopac
2. Kridla
3. Objedalo
4. Mekane
5. Zavarev
6. Novac predispolnjog uređaja
7. Montazna podešavajuća nosačica
8. Podesivi nosač giba

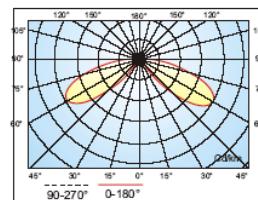
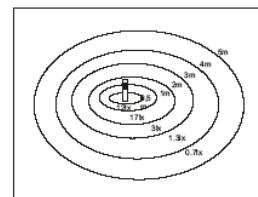
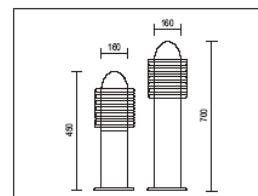




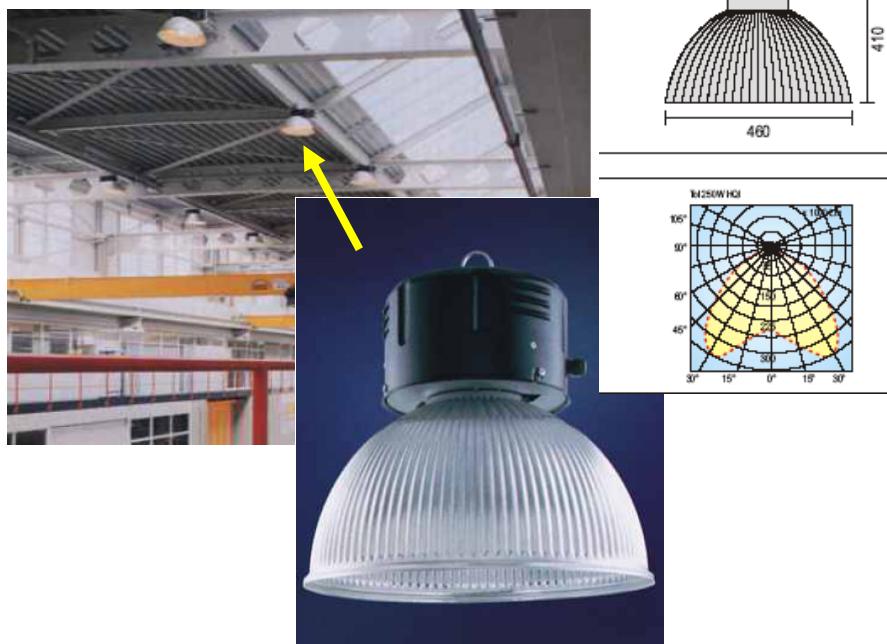




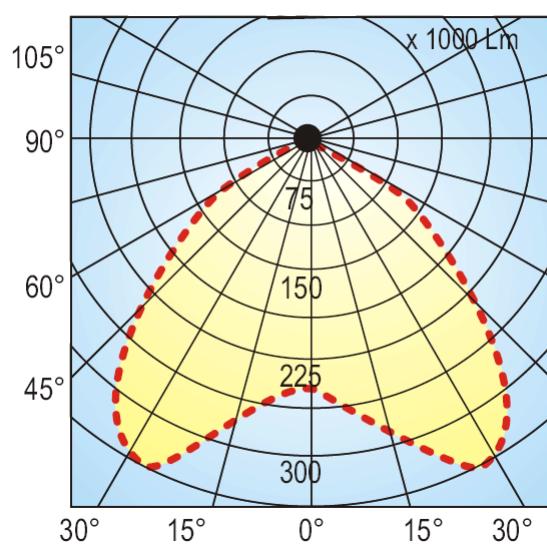
VRATNA RASUJETA



Rasvjeta industrijskih hala



Tol 250W HQI



Rasvjeta unutrašnjih prostorija

Unutrašnji prostori se mogu podijeliti na tri cjeline: radne prostorije, komunikacijski prostori i prostorije za socijalne kontakte i relaksaciju.

Faktori kvaliteta unutrašnjeg osvjetljenja

- nivo osvjetljenosti
- ravnomjernost osvjetljenosti
- raspodjela sjajnosti
- ograničenje blještanja
- smjer upada svjetlosti i modelovanje
- klima boja i
- ograničenje treperenja svjetlosti i stroboskopskog efekta

Nivo osvjetljenosti

- minimalni nivo osvjetljenosti u komunikacijskim prostorima (za prag raspoznavanja crta lica neophodna je sjajnost približno 1 cd/m^2 čemu odgovara vertikalna osvjetljenost od 10 luxa odnosno horizontalna od 20 luxa)

- minimalni nivo osvjetljenosti za radne prostorije

(za zadovoljavajuće raspoznavanja crta lica neophodna je sjajnost između 10 i 20 cd/m^2 čemu odgovara vertikalna osvjetljenost od najmanje 100 luxa odnosno horizontalna od najmanje 200 luxa)

- optimalni nivo osvjetljenosti u radnim prostorijama (opšte osvjetljenje daje optimalne rezultate u području osvjetljenosti od 1000-2000 luxa, međutim kod vidnih zadataka velikih zahtjeva potrebna je sjajnost do 1000 cd/m^2 kojoj odgovara osvjetljenost od 20 000 luxa; on se postiže kombinovanjem opšteg i dodatnog osvjetljenja)

Na osnovu iznesenih razmatranja proizilaze tri glavna područja nivoa osvijetljenosti u radnim prostorijama:

20 – 200 luxa za opšte osvjetljenje u prolaznim i malo upotrebljavanim prostorijama

200 – 2000 luxa za opšte osvjetljenje u radnim prostorijama

2000 – 20 000 luxa za dodatno osvjetljenje radnih mjesta kod vrlo fino vidnih zadataka

Ravnomjernost osvijetljenosti

Ovaj faktor je važan sa dva aspekta: povećanja oštine vida i smanjenja zamaranja oka.

Vidni zahtjevi	Ravnomjernost osvijetljenosti Emin:Esr
Vrlo mali	1:6 do 1:3
Mali	1:3
Srednji	1:2,5
Veliki, vrlo veliki, vanredno veliki	1:1,5

Raspodjela sjajnosti

Sa jedne strane određuje kontrast a sa druge strane na zamaranje oka.

Sjajnost svjetiljki opšte rasvjete $1000 - 10000 \text{ cd/m}^2$

Sjajnost svjetiljki za prostorije u kojima se obavlja rad sa terminalima, personalnim računarima manji od 200 cd/m^2

Sjajnost predmeta koji predstavljaju elemente vidnog zadatka

$100 - 500 \text{ cd/m}^2$

Sjajnost neposrednog okruženja radnog polja može da bude manja ali ne više od $1/3$ ove sjajnosti.

Odnos sjajnosti radnog polja i sjajnosti dalje okoline ne treba da bude veći od 1:10

Ovdje se proučava opšta i dodatna rasvjeta. Dopunska rasvjeta omogućava viši nivo rasvjete, pojačava kontrast i time olakšava rad.

Nivo opšte rasvjete mora biti bar 20% od lokalne. Zavisno od namjene prostorija, odnosno poslova koji se obavljaju u toj prostoriji definisani su maksimalni osvjetljaji. Ovaj osvjetljaj se računa na visini 0,85 m od poda.

stopen	zahtjevi	E(Lx)	OPIS
1	Vrlo mali	60	Sporedne prostorije, orientacija, prolazi
2	mali	120	Lako vidni zadaci, veliki detalji sa jakim kontrastom
3	srednji	250	Normalno vidni zadaci, veliki detalji sa srednjim kontrastom
3a	srednji	500	
4	veliki	1000	Teško vidni zadaci, mali detalji, slab kontrast
5	Vrlo veliki	1500	Teško vidni zadaci, mali detalji, vrlo slab kontrast
6	Izvanredno veliki	2000	Vrlo teško vidni zadaci, vrlo mali detalji, vrlo slab kontrast

U prostorijama gdje se trajno boravi minimalni osvjetljaj je 120 Lx. U literaturi se nalaze preporuke za minimalni osvjetljaj u zavisnosti od namjene prostorije. Navećemo samo neke karakteristične:

- vrlo mali (60 Lx) - hodnici, stepeništa, predvorja, podumske prostorije
- mali (120 Lx) – kupatila
- srednji (250 Lx) - kuhinje, dnevne sobe i trpezarije, prostorije za peglanje
- srednji (500 Lx) - mjesta za čitanje, ispred ogledala i dodatno kod kreveta za čitanje
- veliki (1000 Lx) – tehničko crtanje, operaciona sala (opšta rasvjeta)
- vrlo veliki (1500 Lx) - kontrola boja u višebojnoj štampi, izrada elektronskih sklopova
- izuzetno velika (20.000 Lx) – zlatarstvo, izrada preciznih mjernih instrumenata.

Radno mjesto za operaciju 20.000 Lx, za obdukciju 5000 Lx.

Ravnomjernost - odnos sjajnosti (luminancije) između radne površine i okoline treba da bude manji od 3:1, a od udaljenih predmeta 10:1.

Stroboskopski efekat - u pogonima sa rotirajućim djelovima pojava stroboskopskog efekta se smanjuje priključenjem na tri faze ili korišćenjem duo spoja.

Bještavost svjetiljke - Propisima je utvrđena kriva dopuštene sjajnosti svjetiljke koju vidi oko najudaljenijeg posmatrača pod uglom većim od 45° .

Klima boja - boja svjetlosti i reprodukcija boja

Svetlotehnički proračun unutrašnjeg osvjetljenja

Kod projektovanja unutrašnjeg osvjetljenja upotrebljavaju se uglavnom sledeće metode izračunavanja i ocjenjivanja:

- metoda iskoristivosti
- metoda tačke
- metoda izoluks dijagrama
- metoda proračuna srednje sjajnosti površine
- metoda graničnih krivih sjajnosti

METODA ISKORISTIVOSTI

Namijenjena je za izračunavanje srednje osvijetljenosti na nekoj ravni u prostoriji. Pri tome se uzima u obzir svjetlosni fluks, koji pada direktno na ravan (direktna komponenta) i reflektovana svjetlost sa ostalih ravnih prostorija (indirektna komponenta).

Pomoću ove metode se izračunavaju:

- srednja osvijetljenost (E_{sr})
- srednja osvijetljenost zida (E_{srz}) i
- srednja osvijetljenost plafona (E_{srp})

$$E_{sr} = \frac{\Phi \eta_r f}{A}$$

gdje su:

Φ – ukupni svjetlosni fluks svih izvora svjetlosti u prostoriji (Lm)

$$E_{srz} = \frac{\Phi \eta_z f}{A_z}$$

$A_{z,p}$ – korisna površina (m^2)

$$E_{srp} = \frac{\Phi \eta_p f}{A_p}$$

$\eta_{r,p,z}$ - stepen iskoristivosti osvjetljenja

f - faktor koji uračunava normalno zaprašivanje i starenje

Ukupan potrebni fluks za određenu prostoriju je

$$\Phi = \frac{f E A}{\eta} \quad (\text{Lm})$$

gdje su:

E - deklarisani osvjetljaj za datu prostoriju u (Lx)

A - površina prostorije u m^2

η - stepen iskoristivosti

f - faktor koji uračunava normalno zaprašivanje i starenje

Stepen iskoristivosti se određuje iz literature. Za to je neophodno prethodno sračunati indeks prostorije.

Dimenzije prostorije su

a ... dužina (m)

b ... širina (m)

h ... visina (m)

Indeks prostorije zavisi od dimenzija prostorije i načina pričvršćenja svjetiljki.

$$k = \frac{ab}{h_k(a+b)} \quad h_k = h - h_d(-h_v)$$

FAKTORI REFLEKSIJE

Faktori refleksije plafona, zidova i poda određuju se na osnovu refleksnih svojstava materijala i premaza sa kojima su pomenute površine završno obrađene

Boja površine	Faktor refleksije (ρ)
Bijele ili vrlo svijetle boje	0,7
Svijetle boje	0,5
Tamnije boje	0,3
Tamne boje	0,1

Izbor izvora svjetlosti

Kompaktni fluo izvori (8000 h, 70 lm/W)

Podaci o kompatibilnim kompaktnim fluo izvorima (Philips)-mogu se koristiti u postojećim instalacijama direktno se ugrađujući umjesto izvora sa užarenom niti.

Naziv	Snaga (W)	Dimenzije (mm)		podnožje	Svetlosni fluks (lm)
		prečnik	dužina		
PL E – C5W	5(25)	39	116	E14	200
PL E – C9W	9(40)	39	116	E14	400
PL E – C9W	9(40)	50	113	E27/B22	400
PL E – C11W	11(60)	39	134	E27/B22	600
PL E – C15W	15(75)	39	152	E27/B22	900
PL E – T15W	15(75)	55	127	E27/B22	900
PL E – T20W	20(100)	55	146	E27/B22	1200
PL E – T23W	23(100)	55	159	E27/B22	1500

IZBOR SVJETILJKE

ISKORISTIVOST OSVJETLJENJA η – sa grafika ili tabela, funkcija je koeficijenata refleksije(zidova, plafona i poda) i indeksa prostorije

FAKTOR ZAGAĐENJA (ZAPRAŠENJA) I STARENJA

$$f = f_z f_s$$

f_z – zavisi od konstrukcije svjetiljke, atmosferskih uslova u prostoriji i predviđenog vremena čišćenja

f_s – odnosi se na izvor svjetlosti i zavisi od kvaliteta izvora, kvaliteta pretpojne naprave i vrste električnog spoja kao i pogonskih uslova

Kada je poznat potreban fluks računamo, nakon izbora cijevi odnosno sijalica, broj cijevi odnosno sijalica.

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_c} = \frac{f E A}{\Phi_c \eta}$$

Zavisno od geometrije i raspoloživog tipa svetiljke biramo n' sijalica ili cijevi i stvarni osvjetljaj je:

$$E = \frac{n' \Phi_c \eta}{f A}$$

METODA TAČKE

Namijenjena je za izračunavanje osvjetljenosti u bilo kojoj tački posmatrane ravni.

Osvjetljenost u nekoj tački (P) sastavljena je od:

direktne komponente i

indirektne komponente

Direktna komponenta može biti izražena, u odnosu na ravan poda prostorije, kao:

horizontalna osvjetljenost i

vertikalna osvjetljenost

<p>Horizontalna osvijetljenost</p> <p>Tačkasti izvor svjetla</p> $E_H = \frac{I_\gamma}{h_p^2} \cos^3 \gamma$ <p>Svetlosna traka</p> $E_H = \frac{\pi I_\gamma}{2 h_p} \cos^2 \gamma$	<p>Vertikalna osvijetljenost</p> <p>Tačkasti izvor svjetla</p> $E_V = \frac{I_\gamma}{h_p^2} \cos^2 \gamma \sin \gamma$ <p>Svetlosna traka</p> $E_H = \frac{\pi I_\gamma}{2 h_p} \cos \gamma \sin \gamma$
---	---

Smjernice za projektovanje osvjetljenja industrijskih prostora

Uređenje industrijskog pogona se vrši po pravilu prema toku tehnološkog procesa.

Zbog toga se raspoređivanje svjetiljki mora prilagoditi u prvom redu prema njemu pa i prema konstrukciji tavanice.

Industrijski objekti se mogu, obzirom na način osvjetljenja podijeliti na:

- prizemne zgrade bez nadsvjetla
- prizemne zgrade sa nadsvjetлом
- zgrade bez prozora
- višespratne zgrade
- visoke hale

Prizemne zgrade bez nadsvjetla

- imaju visinu 3,5 – 7 m;
- primjenjuju se skoro isključivo svjetiljke sa fluo cijevima;
- montiraju se u vidu svjetlosnih traka;
- razmak između traka iznosi 1,5 puta visina montaže svjetiljki iznad radne ravni;
- kod isprekidanih svjetlosnih traka uzdužni razmak između središta pojedinih svjetiljki ne smije biti veći od 2/3 korisne visine;
- svjetlosne trake treba da budu orijentisane normalno na redove stolova ili mašina (bolji vidni uslovi u odnosu na ugodniji svjetlosni utisak);
- svjetiljke sa rasterom imaju prednost u odnosu na gole izvore.

Prizemne zgrade sa nadsvjetlom

- imaju visinu 3,5 – 7 m, tavanice sa nadsvjetlom i "šed" krov;
- primjenjuju se najčešće reflektorske svjetiljke;
- svjetiljke su sa gornje strane djelimično otvorene, čime se smanjuje kontrast između svjetiljke i plafona;
- montaža svjetiljke je najbolja na donjoj ivici šed konstrukcije;
- u slučaju niske visine ili u slučaju velikog razmaka šed modula svjetlosne trake se mogu pričvrstiti i na ljske šed krova.

Zgrade bez prozora

- određeni proizvodni procesi zahtijevaju konstantnu klimu u radnim prostorijama, pa se takvi objekti grade bez prozora;
- psihološko djelovanje osvjetljenosti na ljudi u zatvorenoj prostoriji, zbog toga se preporučuje osvjetljenost veća od preporučene (preporučuje se 1000 lx);
- osjećaj izolovanosti se smanjuje primjenom slijepih prozora sa opalnim stakлом, koji su intezivno osvjetljeni sa "vanjske" strane.

Višespratne zgrade

Visoke hale

- iznad 7 m visine svjetiljke se moraju montirati na velikoj visini zbog proizvodnih ili kranskih uređaja;
- umjesto fluo cijevi koriste se svjetiljke sa sjajnim reflektorom opremljene sijalicama visokog pritiska (živine, metal halogene ili natrijumove);
- ovi izvori imaju veću svjetlosnu iskoristivost, veću koncentraciju svjetlosnog fluksa po svjetiljci, manje troškove održavanja i niže investicione i montažne troškove;
- prema visini montaže biraju se svjetiljke sa širokim ili uskim snopom zračenja;
- Primjer: u fabrici aviona ili brodogradilištu visina vješanja iznosi preko 30m (svetiljka 2x400W ili 1x1000W)