

Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani
Oddelek za tehniško varnost
3. letnik – Univerzitetni študij

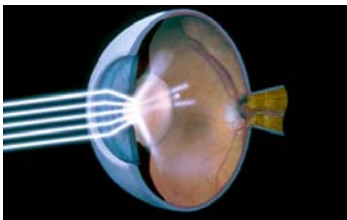
Elektrotehnika in varnost
Razsvetljava

Razsvetljava z umetno svetlobo

predavatelj
prof. dr. Grega Bizjak, u.d.i.e.

Svetloba je nujno potrebna

Naš vid in s tem naš stik z okolico je neločljivo povezan z vidom in torej s svetlobo.



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

2

Svetloba je nujno potrebna

Sonce je odličen vir svetlobe. Ampak ponoči žal ne sveti.



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

3

Svetloba je nujno potrebna

Da bi podaljšal dan, je človek začel uporabljati umetne svetlobne vire.



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

4

Svetloba je nujno potrebna

Danes si življenja ne moremo več predstavljati brez (umetne) svetlobe.



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

5

Videti in razločiti



Če želimo videti in prepoznati predmete, mora biti izpolnjenih nekaj pogojev:

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

6

Videti in razločiti



Minimalna svetlost:

stvari ki jih pri sončni svetlobi razločimo brez težav v mraku dobesedno izginejo.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

7

Videti in razločiti



Minimalen kontrast:

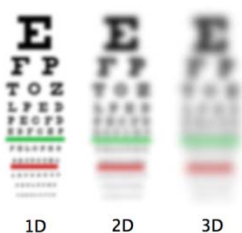
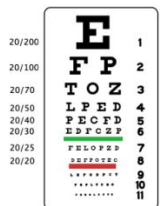
Če želimo objekt zaznati, mora imeti ali drugačno barvo ali drugačno svetlost od okolice.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

8

Videti in razločiti

Minimalna velikost:



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

9

Videti in razločiti

Minimalen čas opazovanja:



Osnovna naloga razsvetljave

Osnovna naloga razsvetljave je ustvariti dobre vidne pogoje z upoštevanjem znanja o fiziologiji in optičnih lastnostih naših oči. Torej z ustvarjanjem ustrezne:

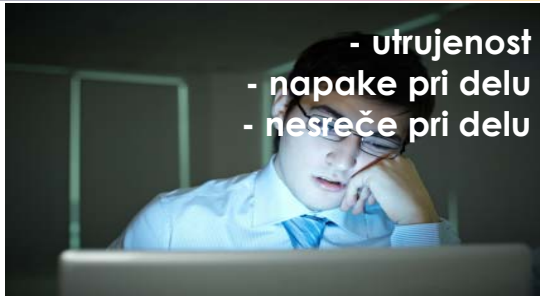
- svetlosti (osvetljenosti) in
- ustrezne enakomernosti (svetlosti ali osvetljenosti) znotraj vidnega polja.

Svetloba izboljša produktivnost



- + produktivnost
- + kakovost
- + varnost
- + motivacija

Svetloba izboljša produktivnost



- utrujenost
- napake pri delu
- nesreče pri delu

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

13

Svetloba izboljša produktivnost

Dobra razsvetljava je rentabilna investicija.

Sodobna razsvetljava prinese:

- zmanjšanje stroškov zaradi manj napak in poškodb;
- povečanje produktivnosti zaradi boljše motivacije;
- povečanje kvalitete zaradi boljše koncentracije pri delu.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

14

Lastnosti dobre razsvetljave

Tako kot se razlikujejo aktivnosti, ki jih izvajamo v različnih prostorih, tako se razlikujejo tudi zahteve za razsvetljavo teh prostorov, ki jih določa vidna naloga. Te zahteve določajo kakovostne kriterije, ki jih mora razsvetljava izpolniti:

- vidna sposobnost
- vidno udobje
- vidno okolje

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

15

Lastnosti dobre razsvetljave



Vidna sposobnost

Izvajanje vidnih nalog

Kako točno in kako hitro lahko izvajamo potrebne vidne naloge.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

16

Lastnosti dobre razsvetljave



Vidno udobje

Dobro počutje

Gledati (delati) v udobnih, prijetnih pogojih brez naprezanja, stresa in utrujenosti.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

17

Lastnosti dobre razsvetljave



Vidno okolje

Pozitivno občutki, dobra volja, sproščenost

Občutiti vidno okolje pozitivno in sproščujoče.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

18

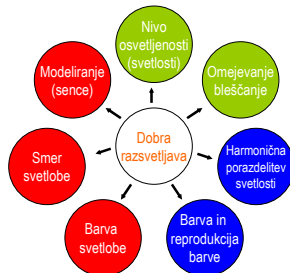
Lastnosti dobre razsvetljave



- Vidna sposobnost
- Vidno udobje
- Vidno okolje

Glede na dejavnost, prostor, okolje ... moramo razsvetljavo bolj ali manj "prilagoditi" določenim zahtevam.

Lastnosti dobre razsvetljave



- Vidna sposobnost
 - Nivo osvetljenosti (svetlosti)
 - Omejevanje bleščanja
- Vidno udobje
 - Harmonična porazdelitev svetlosti
 - Barva in reprodukcija barve
- Vizualni ambient
 - Barva svetlobe
 - Smer svetlobe
 - Modeliranje (sence)

Svetlost in osvetljenost



Svetlobni vtis okolja je odvisen od svetlosti, ta pa od osvetljenosti in odsevnosti (ρ) površin. Osvetljenost zato vpliva na vidno sposobnost.

Nivo svetlosti



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

Odsevnosti:
bela stena < 85%
opaž iz svetlega
lesa < 50%
rdeča opeka < 25%
saje < 1%

22

Nivo osvetljenosti

Zahtevnost vidne naloge je odvisna tudi od kontrasta oziroma odsevnosti npr. teksta in podlage.

Zahtevnost vidne naloge je odvisna tudi od kontrasta oziroma odsevnosti npr. teksta in podlage.

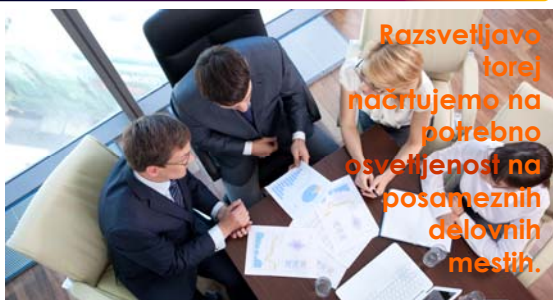
Zahtevnost vidne naloge je odvisna tudi od kontrasta oziroma odsevnosti npr. teksta in podlage.

Večja zahtevnost vidne naloge zahteva večjo osvetljenost.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

23

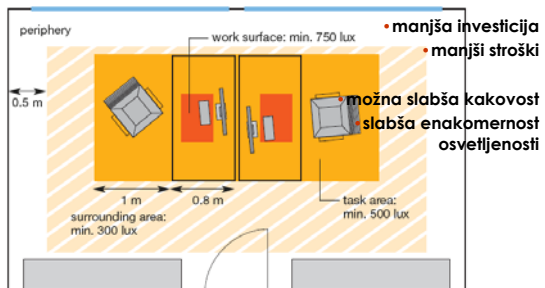
Nivo osvetljenosti



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

24

Nivo osvetljenosti



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

28

Nivo osvetljenosti

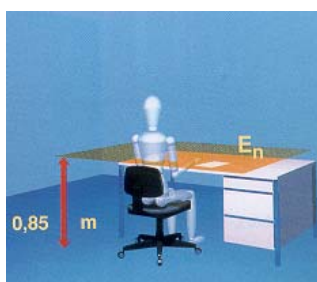
Če položaj delovnih mest ni poznan, potem poskušamo celotno področje, kjer bi lahko bila, osvetliti tako kot bi osvetlili eno področje dela.



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

29

Nivo osvetljenosti



Višina za izračun
če ne poznamo
delovnih mest:
85 cm
oziroma
75 cm
če gre za sedeče
delo.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

30

Nivo osvetljenosti

Nekaj okvirnih vrednosti:

- gibanje na prostem: 30 lx
- gibanje, orientacija, občasno bivanje 100 lx
- občasno delo 150 lx
- opravila pri majhnih zahtevah videnja 300 lx
- opravila pri povprečnih zahtevah videnja 500 lx
- opravila pri večjih zahtevah videnja 750 lx
- opravila pri velikih zahtevah videnja 1000 lx
- opravila pri posebnih zahtevah videnja 1500 lx
- zelo natančne vidne naloge nad 2000 lx

Nivo osvetljenosti

Predpisane vrednosti za posamezne prostore (primeri):

- koncertne dvorane: 100 lx
- knjižnice 200 lx
- čitalnice 500 lx
- pisarne (splošno) 500 lx
- stopnišča in hodniki 150 lx, 100 lx
- učilnice in predavalnice 500 lx
- risalnice 750 lx
- laboratoriji 500 lx
- operacijske dvorane (mesto operacije) nad 10000 lx

Enakomernost osvetljenosti

V standardu podane vrednosti so vedno **povprečne vrednosti**.

Da bi se izognili prevelikim razlikam v osvetljenosti znotraj vodnega polja je predpisana tudi **enakomernost osvetljenosti**.

Enakomernost osvetljenosti

$$U = \frac{E_m}{E_{av}}$$

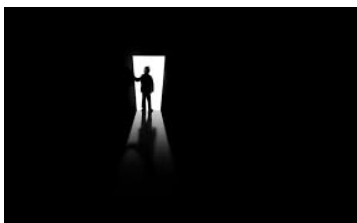
Enakomernost osvetljenosti

Table 5.18 — Industrial activities and crafts – Metal working and processing

Ref. no.	Type of area, task or activity	E_{lx}	UGR_L	U_0	R_a	Specific requirements
5.18.1	Open die forging	200	25	0,60	80	
5.18.2	Drop forging	300	25	0,60	80	
5.18.3	Welding	300	25	0,60	80	
5.18.4	Rough and average machining: tolerances $\geq 0,1$ mm	300	22	0,60	80	

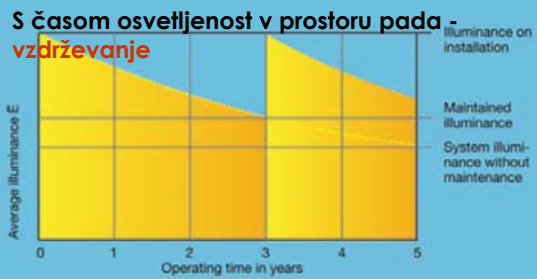
Enakomernost osvetljenosti

Upoštevamo tudi enakomernost osvetljenosti med posameznimi prostori:



1:5.

Časovna enakomernost



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

37

Faktor vzdrževanja

Časovno padanje osvetljenosti pri projektiranju upoštevamo s faktorjem vzdrževanja:
vzdrževana E =
=faktor vzdrževanja x E na začetku.

Običajno 0,8 ali 0,66 (včasih celo 0,5).

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

38

Posebne zahteve

V določenih primerih je potrebna večja osvetljenost delovne površine, kot je priporočena:

- na delovnem mestu so prisotni nenormalno nizki kontrasti,
 - težje vidne naloge,
 - nujno zmanjšanje števila napak pri delu,
- točnost in produktivnost dela sta zelo pomembna,
 - vidna sposobnost delavcev je pod povprečjem.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

39

Posebne zahteve

Višja osvetljenost olajša izvrševanje težjih vidnih nalog:

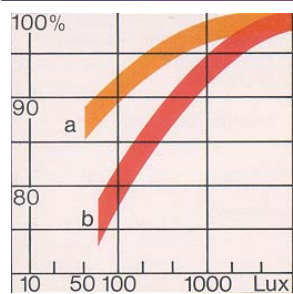
Večji kontrast omogoča lažje branje – vidna naloga je lažja. Večji kontrasti so dobro vidni tudi pri nižjih osvetljenostih.

Ce je kontrast manjši je branje bolj naporno – vidna naloga je težja. Pri manjših kontrastih močno pomaga večja osvetljenost.

Črno na belem: 95% učinkovitost branja pri 250 lx

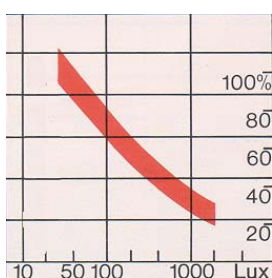
Črno na sivem: 95% učinkovitost branja pri 1000 lx

Posebne zahteve



Relativna sposobnost vida narašča s povečano osvetljenostjo:
a ... črno na belem
b ... črno na sivem

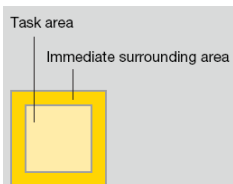
Posebne zahteve



Utrujenost delavcev pada s povečano osvetljenostjo.

Neposredna okolica

Osvetljenost neposredne okolice delovne naloge mora biti usklajena z osvetljenostjo delovne naloge, tako da zagotavlja ustrezno porazdelitev svetlosti.

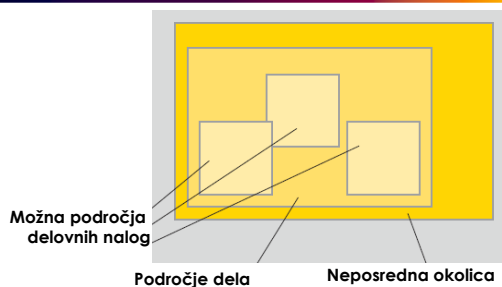


EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

Pod neposredno okolico delovne naloge (površine) se šteje tisti del, ki ga ima delavec med opravljanjem dela v svojem vidnem polju oziroma vsaj 0,5 m pas okoli delovne površine.

43

Neposredna okolica



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

44

Neposredna okolica

Osvetljenost površine neposredne okolice mora ustrezati osvetljenosti delovnega področja (SIST EN 12 464-1):

Osvetljenost delovnega področja (lx)	Osvetljenost neposredne okolice (lx)
>750	500
500	300
300	200
200	150
<200	Edn

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

45

Ozadje

Ozadje – površina v vidnem polju, ki obkroža površino neposredne okolice (vsaj 3 m širok pas tik ob površini neposredne okolice in omejen s prostorom)

Zahtevana vzdrževana osvetljenost:

$$E_{\text{ozadje}} > 1/3 E_{\text{neposredna okolica}}$$

Enakomernost neposredne okolice

Zahtevana enakomernost osvetljenost pri umetni razsvetljavi ali razsvetljavi s svetlobniki:

- neposredna okolica $U_o \geq 0,40$;
- ozadje $U_o \geq 0,10$.

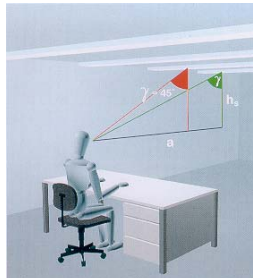
Pri razsvetljavi z naravno svetlobo (okna): na večjih območjih, delokrogih in površinah ozadja dnevna svetloba hitro upada z oddaljenostjo od oken. Dodatne prednosti uporabe dnevne svetlobe lahko nadomestijo pomanjkanje enakomernosti.

Omejevanje bleščanja



Bleščanje povzroča neugodje (psihološko bleščanje) lahko pa tudi zmanjša vidne sposobnosti (fiziološko bleščanje); torej ga je potrebno omejiti.

Direktno bleščanje



Direktno bleščanje povzroča vir svetlobe v vidnem polju. Kritično koti so pod 45°.

Direktno bleščanje

Na direktno bleščanje vpliva:

- razporeditev delovnih mest,
- osvetljenost v prostoru,
- lastnosti svetilk,
- razporeditev svetilk.

Direktno bleščanje

V standardu SIST EN 12 464-1 je bleščanje opredeljeno s faktorjem bleščanja (UGR – Unified Glare Rating):

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

Direktno bleščanje

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

- L_b ... svetlost ozadja v cd/m², izračunana iz izraza E_{ind}/π , kjer je E_{ind} vertikalna indirektna osvetljenost pri opazovalčevem očesu.
 L ... svetlost svetleče površine vsake svetilke v smeri opazovalčevega očesa podana v cd/m².
 ω ... prostorski kot (v steradianih) svetlečega dela vsake svetilke glede na opazovalčevo oko.
 p ... Guth-ov indeks glede na položaj vsake od svetilk (odmik svetilke od linije pogleda)

Direktno bleščanje

Table 5.18 — Industrial activities and crafts – Metal working and processing

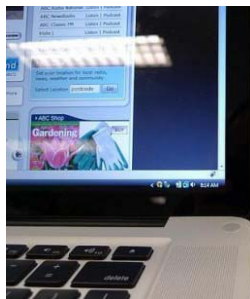
Ref. no.	Type of area, task or activity	E_{lx}	UGR	U_0	R_a	Specific requirements
5.18.1	Open die forging	200	25	0,60	80	
5.18.2	Drop forging	300	25	0,60	80	
5.18.3	Welding	300	25	0,60	80	
5.18.4	Rough and average machining; tolerances $\geq 0,1$ mm	300	22	0,60	80	

Direktno bleščanje



Bleščanje lahko povzroča tudi dnevna svetloba. Okna (svetlobniki) morajo biti opremljeni s senčili.

Odsevno bleščanje

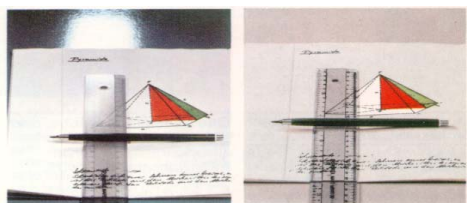


Odsevno bleščanje –
odsevi svetilk, oken
ali svetlih površin
na gladkih
("svetlečih")
odsevnih površinah
npr. na gladkem
papirju ali
računalniškem
zaslonu.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

55

Odsevno bleščanje



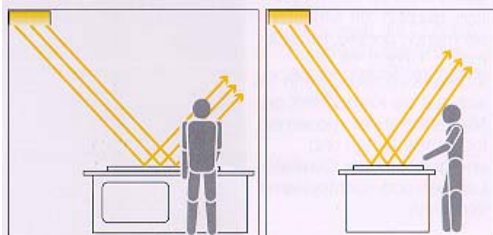
Refleksno bleščanje lahko zmanjšamo z
uporabo mat ("nesvetlečih") površin.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

56

Odsevno bleščanje

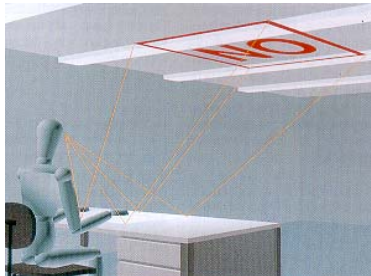
Ali s pravilno postavitvijo svetilk.



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

57

Odsevno bleščanje

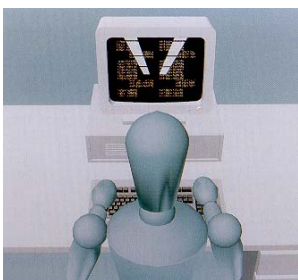


Pri načrtovanju razsvetljave je torej potrebno paziti na položaj svetil oziroma delovnih mest

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

58

Omejevanje bleščanja - odsev

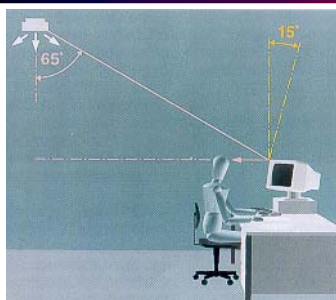


Svetle površine oziroma svetila lahko odsevajo tudi v slikovnih zaslonih, kar je še posebej moteče.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

59

Odsevno bleščanje



Srednja svetlost svetilke ne sme presegati 200 cd/m^2 do $1,000 \text{ cd/m}^2$ nad kritičnim kotom 65° .

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

60

Harmonična porazdelitev svetlosti

Velike razlike v svetlosti predmetov v vidnem polju zmanjšujejo vidne sposobnosti in povzročajo nelagodje, zato niso dopustne.

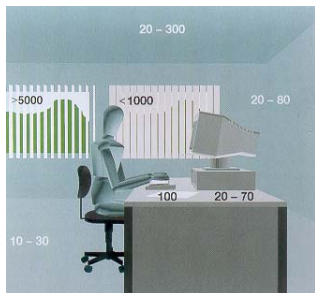
Svetlost mize oziroma delovne ploskve ne sme biti manjša od 1/3 svetlosti dokumenta, ki ga prebiramo. Podobno velja tudi za svetlost okolice proti svetlosti mize (delovne ploskve).

Tu gre za okolico, ki je širša od neposredne okolice delovne naloge, ki je definirana v standardu.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

61

Harmonična porazdelitev svetlosti



Tudi razlike med svetlostjo vidne naloge in oddaljenimi ploskvami ne smejo biti prevelike (10:1 oziroma celo samo 5:1)

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

62

Harmonična porazdelitev svetlosti



Premajhne razlike v svetlosti tudi niso priporočljive, ker v tem primeru prostor deluje dolgočasno.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

Harmonična porazdelitev svetlosti



Prevelike razlike v svetlosti pa delujejo preveč trdo in dramatično. Zaradi tega se v takem prostoru težko sprostimo in smo hitreje utrujeni.

EV R: Razsvetljava z umelno svetlobo

Harmonična porazdelitev svetlosti



Pri pravilni porazdelitvi svetlosti prostor ne deluje monotono in tudi ne utruja.

EV R: Razsvetljava z umelno svetlobo

Harmonična porazdelitev svetlosti

kako doseči harmonično porazdelitev svetlosti:

- splošna ali lokalna razsvetljava;
- uporaba direktno indirektnih svetilk;
- ustrezno razmerje med minimalno in srednjo osvetljenostjo E_{min}/E_{avg} okoli 1/1,5;
- zadostne odsevnosti stropa, sten in ral (strop > 70%, stene > 50%, tla > 20%).

EV R: Razsvetljava z umelno svetlobo

Harmonična porazdelitev svetlosti



Primer svetlosti v delovnem okolju

(v cd/m²)

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

67

Barva svetlobe

V razsvetljavi uporabljamo belo svetlobo, ki pa je lahko bolj rumenkasta ali bolj modrikasta!

Barva svetlobe se običajno podaja s pomočjo barvne temperature v kelvinih (K).

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

68

Barva svetlobe



Če (kovinski) predmet segrevamo, začne oddajati energijo v obliki vidne svetlobe. Najprej je temno rdeč, nato njegova barva prehaja preko oranžne in rumene v belo in na koncu v modro.

Torej lahko določene barve opišemo s temperaturo, ki jo ima predmet, ko žari v določeni barvi.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

69

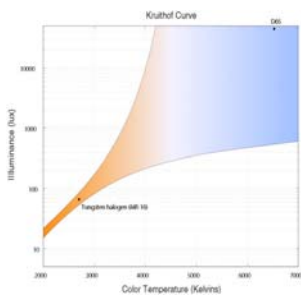
Barva svetlobe



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

70

Barva svetlobe



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

71

Barvni videz



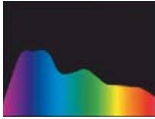
Barvni videz predmeta je odvisen tako od njegove barve kot tudi od spektra svetlobe s katero je osvetljen, pa tudi od tega kako opazovalec dojema barve.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

72

Barvni videz

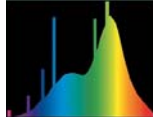
Svetlobni viri z enako barvo svetlobe (belo) in tudi z enako barvno temperaturo svetlobe imajo lahko zelo različen spekter svetlobe.



bela sončna svetloba



bela svetloba navadne žarnice

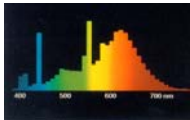


bela svetloba fluorescenčne sijalke

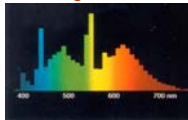
Barvni videz

Spekter svetlobe vpliva na barvni videz predmeta.

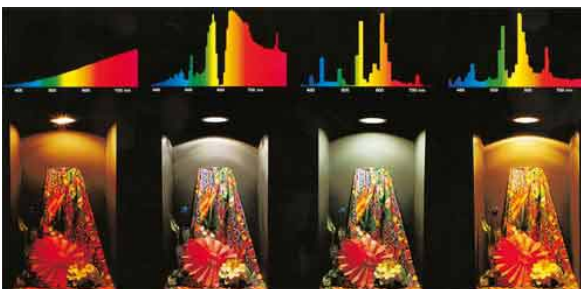
Več rdeče svetlobe v spektru poudari predvsem rdeče predmete.



Pri spektru z malo rdeče svetlobe predeči predmeti izgledajo "dolgočasno".



Barvni videz



Smer svetlobe in modeliranje



Brez svetlobe ne vidimo predmetov, brez senc jih vidimo samo kot dvodimenzionalne slike. Ustrezna smer svetlobe in sence (modeliranje) omogočijo 3D zaznavo.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

79

Smer svetlobe in modeliranje

Svetloba, usmerjena skoraj vzporedno z površino, s pomočjo senc omogoči pravo predstavo o gladkosti površine.



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

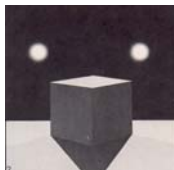
80

Smer svetlobe in modeliranje

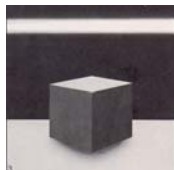
Smer svetlobe in sence so odvisni od postavitve svetlobnih virov v prostoru.



Samo en svetlobni vir povzroči zelo temne sence.



Pri več svetlobnih virih so sence svetljeješe.



Porazdeljen svetlobni vir (nebo) skoraj ne povzroča senc.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

81

Smer svetlobe in modeliranje

V notranji razsvetljavi so zaželene zmerno temne sence z zabrisanimi robovi.

Če senc sploh ni, potem je oteženo 3D zaznavanje.

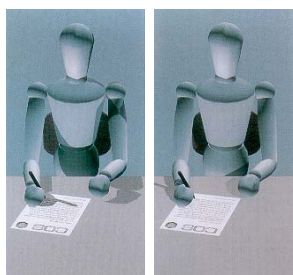
Če imamo tudi dnevno svetlobo, naj bi bila smer umetne svetlobe enaka (podobna) smeri naravne svetlobe.

Smer svetlobe in modeliranje



Pri določenih vrstah dela pa namenoma svetlobo usmerimo tako da (ne)povzroča sence.

Smer svetlobe in modeliranje



Sence lahko pri delu tudi motijo zato:

- svetloba z leve za desničarje in
- svetloba z desne za levičarje.

Smer svetlobe in modeliranje

V delovnih prostorih delovna mesta običajno postavljamo tako, da je smer dnevne svetlobe ustrezna (prihaja od levo - zgoraj). V takih primerih je potrebno umetno razsvetljavo tudi prilagoditi tej razporeditvi. Uporabimo linijske svetilke, razporejene paralelno z okni, ki omogočajo, da lahko preostre sence zaradi močne dnevne svetlobe omilimo.



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

85

Smer svetlobe in modeliranje

V prostorih z dnevno svetlobo:

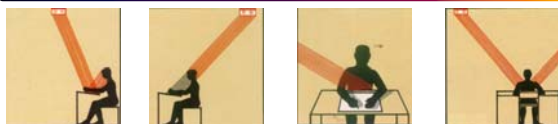
- omogočimo uravnavanje dnevne svetlobe s senčili;
- svetilke namestimo v vrste, ki so vzporedne z okni (enaka smer svetlobe);
- vsaka vrsta ima ločeno stikalo (varčevanje z energijo).



EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

86

Smer svetlobe in modeliranje



Narobe:
Svetloba od spredaj povzroča odseve in bleščanje.

Narobe:
Svetloba od zadaj povzroča sence in zmanjšuje osvetljenost na področju dela.

Narobe:
Svetloba z desne povzroča moteče sence med delom.

Pravilno:
Svetloba z leve ne povzroča odsevov niti motečih senc desničarjem.

EV R: Razsvetljava z umetno svetlobo

87

Kaj je pomembno ...

Načrtovanje notranje razsvetljave je zahtevna naloga, pri kateri moramo upoštevati vsaj:

- svetlost oziroma osvetljenost prostora;
 - bleščanje in njegovo omejevanje;
 - ustrezno porazdelitev svetlosti;
- barvo svetlobe in reprodukcijo barv ter
 - smer svetlobe in sence.

... in na koncu

Vprašanja?
