

Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo
Izbirni predmet

Svetlobna tehnika

Razsvetljava proizvodnih prostorov

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

Razsvetljava in produktivnost



- Dobra razsvetljava na delovnem mestu pomeni večjo produktivnost, boljšo kakovost in večjo varnost.
- Za proizvodnjo dobrih izdelkov potrebujemo: dobro orodje, dobre stroje, dobre delavce in dobro razsvetljavo.
- Samo dobra razsvetljava omogoča ustrezno uporabo vida, ki je v današnjih proizvodnih procesih potrebna.

Svetloba motivira

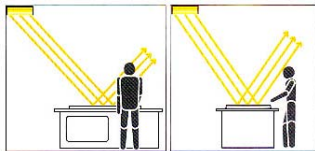


- Svetloba ne omogoča samo uporabe vida ampak ima tudi neslikovne učinke.
- Slaba razsvetljava je kot slabo vreme. Ljudje smo slabe volje in zato slabše delamo.
- Pri dobri razsvetljavi se bolje počutimo, smo dobre volje ter lažje in bolje delamo.

Slaba svetloba utruja

- Uporaba vida v normalnih pogojih porabi približno 25 % energije, ki jo za svoje delovanje potrebuje živčni sistem.

- Ob slabih vidnih pogojih se poraba energije poveča, zaradi česar utrujenost nastopi prej.



Dobra razsvetljava je rentabilna investicija



- Za ohranjanje konkurenčnosti so investicije nujne.

- Investicija naj bi zmanjšala stroške, povečala produktivnost in izboljšala kakovost.

- Dobra razsvetljava naredi točno to: zmanjša stroške, poveča produktivnost in izboljša kakovost.

Kakšna je dobra razsvetljava



- Razsvetljava mora biti prilagojena prostoru in delu oziroma vidnim nalogam.

- Oblika in višina prostora določata, kakšne svetlobne vire bomo uporabili.

- Vrsta dela (vidna naloga) določa, kakšen koncept razsvetljave bomo uporabili.

Izbira svetlobnih virov

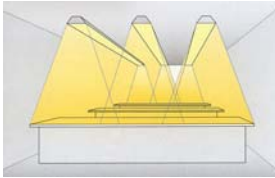


- Pri višini prostora do 4 m uporabimo fluorescenčne sijalke in kompaktne fluorescenčne sijalke.
- Za večje višine tudi lahko uporabimo (kompaktne) fluorescenčne sijalke z ustreznimi reflektorskimi ozkosnopnimi svetilkami.
- Za zelo visoke prostore uporabimo zrcalno reflektorske svetilke z VT sijalkami večjih moči.

Koncept razsvetljave

Splošna razsvetljava

Splošna razsvetljava omogoča enake vidne pogoje po celotnem prostoru.

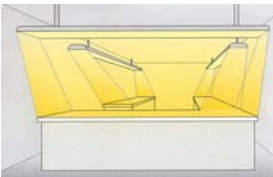


Razporeditev delovnih mest je lahko poljubna. Prostor deluje običajno pozitivno. Zaželeno je predvsem v večjih prostorih.

Koncept razsvetljave

Lokalizirana (conalna) razsvetljava

Lokalizirana razsvetljava je orientirana na (fiksna) delovna mesta, ki so bolje (drugače) osvetljena od ostalega dela prostora.



Omogoča različne osvetljenosti na različnih delovnih mestih. Zmanjša se poraba električne energije. Je pa osvetljenost v celotnem prostoru bolj neenakomerna (največ do 1:3).

Koncept razsvetljave

Lokalna razsvetljava

Lokalna razsvetljava osvetljuje le (omejeno področje) delovnega mesta.



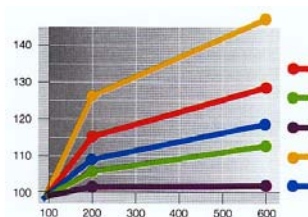
Uporablja se predvsem tam, kjer želimo na (enem) delovnem mestu doseči posebne pogoje: visoka osvetljenost, velika senčnost, določena smer svetlobe, ...

Zakonski okviri

- Zahteve za razsvetljavo delovnega mesta so podane v standardu SIST EN 12464 – 1 in -2.
- Zahteve v standardu so minimalne zahteve, ki jih mora razsvetljava izpolniti.
- Namesto minimalne razsvetljave je bolje predvideti optimalno, ki je prilagojena delovnemu mestu in delu in omogoča večjo produktivnost, manjšo utrujenost, manj napak pri delu in manj delovnih poškodb.

Optimalna razsvetljava

Večja osvetljenost običajno prinese večjo produktivnost



Učinek je večji na delovnih mestih, kjer se delavci srečujejo z težjimi vidnimi nalogami.

- vrhanje
- odstranjevanje izolacije
- štančanje
- obrezovanje
- žaganje

Optimalna razsvetljava

Manj napak pri delu zaradi večje osvetljenosti



Optimalna razsvetljava

Večja osvetljenost pomeni tudi manjšo utrujenost



Optimalna razsvetljava

Osvetljenost vpliva tudi na število nesreč pri delu



Vzdrževanje razsvetljave



Dobra razsvetljava potrebuje nego, saj osvetljenost s časom pada zaradi:

- zaprašnosti virov, svetilk in sten prostora;
- staranja in odpovedi svetlobnih virov;
- staranja svetilk.

Vzdrževanje razsvetljave

Standard postavlja ostre pogoje:

- srednja vrednost osvetljenosti na delovnem mestu mora biti enaka ali večja od predpisane vzdrževane osvetljenosti;
- najmanjša dovoljena osvetljenost na stalnih delovnih mestih je 200 lx.

Vzdrževanje razsvetljave

Razsvetljava mora biti zato redno pregledovana in vzdrževana:

- čiščenje vsake svetilke posamezno in menjava vsake pregorele sijalke je predraga in moti proizvodnjo;
- zato je najbolj pametno po določenem intervalu očistiti celotno razsvetljavo oziroma zamenjati vse sijalke.

Vzdrževanje razsvetljave

Izbira svetilk z daljšim intervalom vzdrževanja zmanjšuje stroške:

- uporaba sijalk z daljšo življenjsko dobo;
 - uporaba svetilk z eloksiranimi alu zrcalnimi rastrji namesto z belimi reflektorji;
- uporaba svetilk z večjo IP zaščito v zelo umazanih prostorih.



Kovinarski obrat



- Zelo različna dela in zahteve: od skladišča do pisarn.
 - Splošna razsvetljava ali lokalizirana razsvetljava orientirana na delovna mesta.
- Svetilke postavljene paralelno z okni ali glede na raspored strojev.
 - Reflektorske ali zrcalno-reflektorske svetilke, ustrezen IP, svetilke na strojih.

Kovinarski obrati

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
groba ključavničarska dela	300	22	60
fina ključavničarska dela	500	19	60
začrtovanje, nadzorovanje	750	19	60
izdelava orodja	750	19	60
galvanizacija	300	25	80
precizna in mikro mehanika	1000	19	80

Kovinarski obrat



Posebnosti:

- Svetilke brez stroboskopskega pojava.
- Pri strožnicah dodatna svetilka pravokotno na gred, da ni izrazitih senc.
- Pri vrtnih strojih usmerjena svetilka od strani-zgoraj, da se dobro vidijo oznake in sveder.

Avtomehanična delavnica



- Zelo različna dela in zahteve, zato mora biti razsvetljava prilagojena posameznim delovnim mestom.
- Lokalizirana razsvetljava za posamezna delovna mesta.
- Večja osvetljenost določenih delovnih mest: kontrola, ...
 - Razmestitev svetilk sledi razmestitvi delovnih mest.
- Reflektorske ali rasterske svetilke za suhe prostore.

Avtomehanična delavnica

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
popravilo avtomobila	300	25	80
izdelava in montaža karoserije	500	22	80
tapetniška dejavnost	1000	19	80
končna kontrola	1000	19	80

Avtomehanična delavnica



Posebnosti:

- Svetilke za vlažne prostore (pralnice) z ustrezno IP zaščito.
- Dodatne ročne svetilke za težko dostopna mesta; zaščitni razred III.
- Stranska razporeditev svetilk v montažnih kanalih.

Avtoličarska delavnica



- Zelo specifično delovno mesto z visokimi zahtevami glede barvne reprodukcije in bleščanja.

- Ustrezno nameščena lokalizirana razsvetljava.
 - Enakomerna razmestitev svetilk po stenah ali stropu.
- Priporočen zelo svetel strop.
- Zaprte svetilke s simetrično ali asimetrično razporeditvijo svetilnosti in ustrezno Ex-zaščito.

Avtoličarska delavnica

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
lakiranje, lakirne kabine	750	22	80
lakiranje: popravljanje in nadziranje	1000	16	90

Kovinsko-predelovalna industrija



- Zelo različna dela in zahteve: od kovanja do fine obdelave, od 200 do 1000 lx.
- Splošna razsvetljava preračunana na višino delavnega mesta.
- Pri višjih prostorih posamezne svetilke z VT sijalkami, pri nižjih prostorih trakovi svetilk z fluorescenčnimi sijalkami.

Kovinsko-predelovalna industrija



- Dodatna svetilka za varjenje; očala imajo zelo majhno svetlobno prepustnost.
- Pri stružnicah svetilke pravokotno na os.
 - pri ločanju dodatne svetilke z opalnim steklom – bleščanje.
- Pri finomehančnih delih vsaj 500 lx, omejevanje bleščanja s svetlimi stenami.

Kovinsko-predelovalna industrija



- Pri tekočih trakovih montiramo svetilke paralelno s trakom.
- Na delovnih mestih za kontrolo in meritve osvetljenost med 750 in 1000 lx in kombinacija direktno indirektno razsvetljave, da je dobro vidna hrapavost površin.
- Danes je priporočena uporaba svetilk, ki jih je možno premeščati, če se spremeni proizvodnja v prostoru.

Kovinsko-predelovalna industrija

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
kovanje	200	25	60
varjenje	300	25	60
začrtovanje, nadzorovanje	750	19	60
izdelava orodja	750	19	60
precizna in mikro mehanika	1000	19	80
končna kontrola	1000	19	80

Kovinsko-predelovalna industrija

Posebnosti:

- Pri delu z majhnimi izdelki so potrebne osvetljenosti do 1500 lx.



• Pri strojih s slikovnimi zasloni (CNC stroji) je potrebno paziti na bleščanje.

- Dodatne svetilke pri obdelovalnih strojih.

Elektro industrija



- Zelo različna dela z majhnimi in velikimi aparati.

• Splošna in lokalizirana razsvetljava, dodatne svetilke na določenih delovnih mestih.

- Pri delu na večjih električnih aparatih je potrebna ustrezna vertikalna osvetljenost – širokosnopne ali asimetrične svetilke.

Elektro industrija



- Pri proizvodnji elektronskih naprav so potrebne osvetljenosti 500 lx ali več.
- Reflektorske ali rasterske svetilke s fluorescenčnimi sijalkami.
- Pri montaži miniaturnih delov je potrebno vsaj 1000 lx: splošna razsvetljava s 500 lx in dodatne svetilke na delovnih mestih.

Elektro industrija

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
izdelava kablov in vodnikov	300	25	80
navijanje srednje velikih tuljav	500	22	80
navijanje finih tuljav	750	19	80
groba montažna dela	300	25	80
montaža telefonskih aparatov	750	19	80
montaža merilne opreme	1000	16	80
delavnice za elektroniko, preizkušanje, umerjanje	1500	16	80

Elektro industrija

Posebnosti:

- Pri lotanju – svetilke z opalnim steklom za difuzno svetlobo.



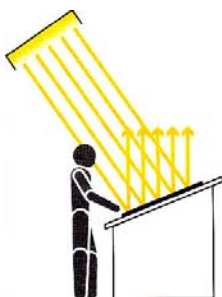
- Posebne svetilke za prostore za proizvodnjo elektronskih komponent, kjer je zahtevana ustrezna čistost zraka.

Grafična industrija



- V grafičnih delavnicah so zahteve za razsvetljavo velike, saj delo zahteva dobre vidne sposobnosti: barve, silke, tekst, hitri stroji, ...
- V tiskarnah in knjigoveznih je potrebna osvetljenost minimalno 300 lx, pri kontroli večbarvnega tiska pa celo 1500 lx.
- Delo s slikovnimi zasloni (priprava za tisk) zahteva popolno odpravo bleščanja (direktnega in refleksnega).

Grafična industrija



- Splošna ali lokalizirana na delovna mesta orientirana razsvetljava.
- Razvrstitev mora zmanjšati bleščanje na najmanjšo možno mero.
- Pri velikih tiskarskih strojih je potrebna ustrezna vertikalna osvetljenost.

Grafična industrija



- Uporaba svetilk s širokim kotom sevanja za enakomerno osvetljenost.
- Uporaba dodatnih reflektorjev, reflektorskih in rasterskih svetilk kjer je potrebna večja osvetljenost.
- Dodatne svetilke z viri z visokim Ra, kjer se vrši kontrola barv. Osvetljenost 1500 do 2000 lx.

Grafična industrija

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
prerezovanje, okraševanje, graviranje	500	19	80
sortiranje papirja in ročno tiskanje	500	19	80
retuširanje, litografija, stavek	1000	19	80
kontrola barv	1500	16	90
graviranje v jeklo in baker	2000	16	80

Grafična industrija

Posebnosti:



- Zaradi dela z barvami je potreben zelo dober indeks barvnega videza Ra.

- Kjer se uporablja visokosijajen papir, fojile, ... je priporočena uporaba indirektna razsvetljave.

Kemična industrija

- Posamezni procesi so tako različni, da običajno potrebujejo prilagojene rešitve, splošnih rešitev praktično ni.



- Dobra vidljivost strojev, inštrumentov ... zahteva ustrezno vertikalno osvetljenost.

- Razsvetljava mora omogočati, da je dobro vidno tudi dno posod.

Kemična industrija



- Posebne izvedbe zaprtih svetilk in Ex izvedbe za določene prostore.
- V splošnem uporabljamo lokalizirano razsvetljavo glede na delovna mesta.
- na določenih delovnih mestih je potrebna dodatna razsvetljava, da dosežemo ustrezno osvetljenost.

Kemična industrija



- V laboratorijih uporabljamo direktno-indirektno razsvetljavo da dobimo dovolj indirektno svetlobe.
- Potreben je tudi dober Ra in zelo omejeno bleščanje.
- Enako pomembno je, da uporabimo svetilke brez stroboskopskega efekta.

Kemična industrija

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
daljinsko upravljane procesne naprave	50	-	20
delovna mesta pri procesnih napravah s stalno prisotnostjo	300	25	80
precizne merilnice, laboratoriji	500	19	80
izdelava zdravil	500	22	80
kontrola barv	1000	16	90

Kemična industrija

Posebnosti:

- Kjer imamo velike lokalne osvetljenosti je treba ustrezno povečati tudi splošno osvetljenost – adaptacija.



- Kjer se lota ali vliva kovine, osvetljenost ne sme preseči 300 lx.
- Ponekod je zelo pomembno, da razsvetljava omogoča ustrezne kontraste.

Živilska industrija



- Čistoča in higiena sta zelo pomembni v živilskih obratih, zato morajo biti prostori svetli in prijazni.
- Zaradi tega se običajno projektira večja osvetljenost, kot je potrebna zaradi samega dela.

Živilska industrija

- Običajno uporabimo splošno razsvetljavo.



- Svetilke so zaprte z visoko stopnjo IP zaščite (vlaga, para, vročina, hlad, ...).
- Kjer se dela z živilji je zelo pomemben dober indeks barvnega videza Ra.

Živilska industrija

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
pivovarne, polnjenje, kuhanje, konzerviranje,	200	25	80
pranje, mletje, mešanje, pakiranje, klavnice, mlekarne, rezanje sadja	300	25	80
proizvodnja delikates, tobačnih izdelkov,	500	22	80
kontrola steklenic, dekoriranje	1000	16	90
kontrola barv, laboratoriji			

Živilska industrija

Posebnosti:



- Za kontrolo čistosti in nepoškodovanosti steklenic uporabimo enakomerno svetlečo površino z majhno svetlostjo.
- Pločevinke pregledujemo v posebni kabini z indirektno osvetlitvijo zaradi bleščanja.

Tekstilna industrija



- V tekstilni industriji so vidne naloge precej podobne: struktura tekstila mora biti dobro vidna, enako tudi barve.
- Zato je potrebna ustrezna splošna osvetljenost (vsaj 500 lx) in dober Ra.

Tekstilna industrija

- Kjer so potrebne večje osvetljenosti (vezenje, šivanje, ...) problem rešujemo z lokalno razsvetljavo delovnega mesta (750-1000 lx).



- Indeks barvnega videza mora biti ustrezno velik, barva svetlobe čim bližje barvi dnevne svetlobe.

- Izogibati se moramo dvojni svetlobi.

Tekstilna industrija

- Svetilke so običajno nameščene v svetlobnih trakvih pravokotno na stroje za predenje in tkanje.



- Pri visokih strojih senčne predele osvetlimo z lokalnimi svetilkami.

- Zaradi prahu je potrebna ustrezna Ex ali D izvedba svetilk.

Tekstilna industrija

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
sušilni prostor	100	28	60
barvanje v kadeh	200	25	60
pranje, likanje, česanje, grobo predenje	300	22	80
predenje, navijanje, tkanje	500	22	80
avtomatsko tiskanje na blago	500	25	80
tiskanje, šivanje	750	22	90
kontrola blaga in barve	1000	16	90
neopazno krpanje	1500	19	90

Tekstilna industrija

Posebnosti:

- V barvarnah uporabljamo korozijsko zaščitene svetilke.



- Za kontrolo blaga moramo doseči ustrezno senčnost –
- poševna smer svetlobe.
- Pri delu z barvnimi vzorci uporabimo posebne kabine s svetlobo barve dnevne svetlobe.

Lesno predelovalna industrija



- Vidne naloge v lesni industriji so zelo različne. Za žaganje zadošča 200 lx, za furniranje in poliranje jih je potrebno 500 lx.
- Pomembna je smer svetlobe, da se izognemo motečim sencam in s tem nevarnosti.

Lesno predelovalna industrija

- Običajno uporabimo linijske svetilke s fluorescenčnimi sijalkami.



- Na določenih mestih so potrebne dodatne lokalne svetilke (stroji).
- Uporabimo EPN, da preprečimo stroboskopski pojav.

Lesno predelovalna industrija

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
parne kopeli	150	28	40
žaganje	300	25	60
oblanje, lepjenje, sestavljanje	300	25	80
struženje, žlebljenje, izravnavanje	500	19	80
poliranje, lakiranje	750	22	80
izbira lesa za furniranje, rezbarjenje	750	22	90
kontrola kakovosti	1000	19	90

Lesno predelovalna industrija

Posebnosti:



- V določenih prostorih so potrebne Ex oziroma D izvedbe svetilk.
- Pri kontroli površin potrebujemo položno smer svetlobe z ustrežno visoko senčnostjo.

Predelava plastike



- Pri predelavi plastike srečamo tri postopke, ki jih je treba prilagoditi razsvetljavo.
- Običajno uporabimo lokalizirano razsvetljavo glede na postavitev strojev z dodatnimi svetilkami po potrebi.

Predelava plastike



- Pri brizganju moramo zagotoviti ustrezno osvetljenost v področju menjave orodja.
- Pri estrudiranju dodatno osvetlimo mesta, kjer se plastika reže.
- Pri strojih za reakcijsko mešanje plastike so potrebne svetilke v Ex izvedbi.

Predelava plastike

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
pihanje in stiskanje plastike	300	25	80
brizganje plastike	500	22	80

Predelava plastike

Posebnosti:

- Večina strojev ima slikovne zaslone za upravljanje – bleščanje je lahko problem.



Skladiščenje in logistika



- Skladiščne hale so običajno brez dnevne svetlobe z visokimi regali med katerimi so ozke transportne poti.
- Glede na način dela je potrebno zagotoviti ustrezno vertikalno osvetljenost na policah (200 lx).

Skladiščenje in logistika



- V skladiščih večinoma uporabljamo linijske svetilke s fluorescenčnimi sijalkami.
- Za zelo visoka skladišča so primerni tudi asimetrični reflektorji z VT sijalkami.

Skladiščenje in logistika

Zahtevane vrednosti po SIST EN 12464

Delo –	E (lx)	UGR	Ra
avtomatska visokoregalna skladišča	20	-	20
skladišča za enake in velike predmete	50	28	20
skladišča, kjer je potrebno iskati blago	100	25	60
skladišča, kjer je potrebno branje	200	25	60
nakladalne ploščadi	150	25	40
prostori za pakiranje in odpošiljanje	300	25	60

Skladiščenje in logistika

Posebnosti:

- Zelo pomembna je ustrezna vertikalna osvetljenost.



- Svetilke morajo zagotoviti ustrezno enakomernost vertikalne osvetljenosti in onemogočiti bleščanje.

Svetlobni viri



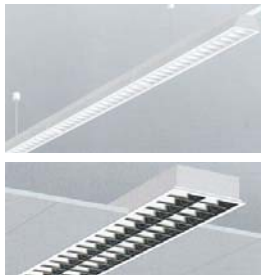
- fluorescenčne sijalke
- kompaktne fluorescenčne sijalke brez vgrajene predstikalne naprave

Svetlobni viri



- halogenske žarnice
- indukcijske sijalke
- visokotlačne sijalke (VT Na, VT MH (VT Hg))

Svetilke



- vgradne in nadgradne reflektorske in rasterske svetilke
- linijske svetilke
- reflektorji

Svetilke



- svetilke v Ex in D izvedbi
- dodatne reflektorske svetilke
- dodatne namizne svetilke

Zaščita svetilk



Električna zaščita:

Razred 0: samo delovna izolacija;

Razred 0I: delovna izolacija in ozemljilna sponka brez možnosti priključka na zaščitni kontakt vtičnice (prenosne svetilke);



Razred I: delovna izolacija in ozemljitev kovinskih delov;

Razred II: dvojna izolacija in brez ozemljitve;



Razred III: mala napetost ($U < 42 \text{ V}$).







Zaščita svetilk

IP sistem označevanja zaščite:

IP 45 S

- črki IP, dve ciferi in dodatne črke
prva cifra: zaščita pred vdorom tujkov
druga cifra: zaščita pred vdorom vode (vlage)
dodatne črke

Oznaka protipožarne zaščite

- Dovoljena montaža na materiale z vnetiščem nad 180 °C. 
- Dovoljena montaža na (v) pohoščeno iz materialov z vnetiščem nad 180 °C. 
- Dovoljena montaža na (v) pohoščeno iz poljubnega materiala (upoštevati navodila). 
- Svetilka z omejeno temperaturo površine (pri montaži upoštevati navodila proizvajalca) 
- Dovoljen položaj montaže (horizontalno) 
- Prepovedan položaj montaže (horizontalno) 

Za konec

Pri razsvetljavi proizvodnih prostorov ne smemo pozabiti na:

- dobra razsvetljava pomeni večjo produktivnost pa tudi večjo varnost;
- investicija v razsvetljavo je rentabilna investicija;
- koncept razsvetljave, svetlobne vire, svetilke ... moramo prilagoditi delu in prostoru.

... in še:



Vprašanja?
