Razsvetljava

Učbenik za poglavja o razsvetljavi pri predmetih:

Električne inštalacije in razsvetljava
Nizkonapetostne električne inštalacije
Elektrotehnika in varnost
Svetlobna tehnika

Avtorji:

Grega Bizjak
Matej Bernard Kobav
Mitja Prelovšek

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

628.9(075.8)

BIZJAK, Grega, 1966-
Razsvetljava : učbenik za poglavja o razsvetljavi pri predmetih Električne inštalacije in razsvetljava, Nizkonapetostne električne inštalacije, Elektrotehnika in varnost, Svetlobna tehnika / avtorji Grega Bizjak, Matej Bernard Kobav, Mitja Prelovšek ; [izdajatelj] Fakulteta za elektrotehniko. - 1. izd. - Ljubljana : Založba FE in FRI, 2013

ISBN 978-961-243-246-1 (Fakulteta za elektrotehniko)
1. Kobav, Matej Bernard 2. Prelovšek, Mitja, 1981-
271268864

Copyright © 2013 Založba FE in FRI. All rights reserved.
Razmnoževanje (tudi fotokopiranje) dela v celoti ali po delih
brez predhodnega dovoljenja Založbe FE in FRI prepovedano.

Avtorji: izr. prof. dr. Grega Bizjak
as. dr. Matej Bernard Kobav
Mitja Prelovšek

Recenzenta: prof. dr. Jože Voršič, UM FERI
doc. dr. Tomaž Novljan, UL FA

Založnik: Založba FE in FRI, Ljubljana
Izdajatelj: UL Fakuleta za elektrotehniko, Ljubljana
Urednik: prof. dr. Sašo Tomažič

Natisnil:
Naklada:
1. izdaja, 2014

KAZALO

1 Uvod ... 1
2 Svetloba in človek ... 3
2.1 Človeški vid ... 3
2.1.1 Človeško oko ... 3
2.1.2 Vidno polje ... 6
2.1.3 Adaptacija ... 7
2.1.4 Dnevni, nočni in mračni vid ... 7
2.1.5 Akomodacija ... 8
2.1.6 Ostrina vida ... 8
2.1.7 Zaznavanje kontrasta svetlosti in barve ... 10
2.1.8 Hitrost zaznavanja ... 11
2.1.9 Aberacija ... 12
2.2 Zaznavanje barv ... 14
2.2.1 Različne vrste čepnic ... 14
2.2.2 Kaj vse vpliva na barvo predmeta ... 15
2.2.3 Mešanje barv svetlobe ... 16
2.3 Moteči vplivi svetlobe ... 18
2.3.1 Bleščanje ... 18
2.3.2 Odsevno bleščanje ... 20
2.3.3 Dvojna svetloba ... 20
2.3.4 Utripajoča svetloba ... 20
2.4 Vpliv svetlobe na ljudi ... 21
2.4.1 Tretji fotoreceptor ... 21
2.4.2 Ne-slikovni vplivi svetlobe na ljudi ... 22
2.4.3 Cirkadialni vpliv svetlobe ... 23
2.4.4 Direktni vpliv svetlobe ... 24
2.4.5 Svetlobna terapija ... 25
2.5 Svetloba in psiha ... 27
2.5.1 Zaznavanje okolice ... 27
2.5.2 Stalnost zaznavanja ... 28
2.5.3 Svetloba vpliva tudi na naše počutje ... 30
3 Fizikalne osnove svetlobe ... 31
3.1 Nastanek svetlobe ... 32
3.1.1 Žarenje ... 33
3.1.2 Razelektritev v plinu ... 34
3.1.3 Fluorescenca ... 35
3.1.4 Elektroluminiscenca v trdni snovi ... 35
3.2 Pojavi pri širjenju svetlobe ... 36
3.2.1 Hitrost širjenja svetlobe ... 36
3.2.2 Odboj svetlobe ... 37
3.2.3 Lom svetlobe ... 39
3.2.4 Popoln odboj svetlobe ... 40
3.2.5 Razklon ali disperzija svetlobe ... 41
3.2.6 Razprševanje svetlobe ... 42
3.2.7 Vpijanje svetlobe ... 43
3.2.8 Interferenca svetlobe ... 44
3.2.9 Uklon svetlobe ... 44
3.2.10 Polarizacija svetlobe ... 45

3.3 Svetloba in barve ... 46
3.3.1 CIE barvni sistem ... 46
3.3.2 Barvna temperatura ... 51
3.3.3 Munsellov barvni sistem ... 52
3.3.4 Drugi barvni sistemi ... 54
3.3.5 Indeks barvnega videza ... 55
4 Merjenje svetlobe ... 59
4.1 Radiometrija ... 59
4.1.1 Sevalni tok ... 59
4.1.2 Jakost sevanja ... 59
4.1.3 Obsevanost ... 60
4.1.4 Sevalnost ... 60
4.2 Fotometrija ... 60
4.2.1 Svetlobni tok ... 62
4.2.2 Svetilnost ... 63
4.2.3 Osvetljenost ... 65
4.2.4 Svetlost ... 67
4.2.5 Prostorski kot ... 68
4.2.6 Svetlobni izkoristek ... 69
4.2.7 Življenjska doba svetlobnega vira ... 69
4.3 Merjenje fotometričnih veličin ... 70
4.3.1 Realizacija kandele ... 70
4.3.2 Meritev svetilnosti ... 71
4.3.3 Fotoelement in meritev osvetljenosti ... 72
4.3.4 Merjenje svetlosti ... 78
4.3.5 Merjenje svetlobnega toka ... 79
4.3.6 Meritev prostorske porazdelitve svetilnosti ... 82
5 Svetlobni viri ... 85
5.1 Kratka poljudna zgodovina svetlobnih virov ... 85
5.1.1 Prvi začetki (13.000 let pr. n. št.) ... 85
5.1.2 Oljne lončene svetilke – Grčija (600 let pr. n .št.) ... 86
5.1.3 Svetilke z oljnim rezervoarjem (500 let pr. n .št.) ... 86
5.1.4 Svetilnik iz Aleksandrije (280 let pr. n .št.) ... 87
5.1.5 Sveča (400) ... 87
5.1.6 Svetilke s krožnim plamenom (1784) ... 88
5.1.7 Betty svetilke (1790) ... 88
5.1.8 Obločnice (1809) ... 89
5.1.9 Razsvetljava s plinskimi svetilkami (1814) ... 90
5.1.10 Magnezijeva svetilka (1826) ... 91
5.1.11 Vžigalice (1827) ... 92
5.1.12 Kerozinske svetilke ali petrolejke (1853) ... 92
5.1.13 Prve električne žarnice (1820 - 1875) ... 93
5.1.14 Yablochkova sveča (1876) ... 94
5.1.15 Swanova žarnica (1879) ... 95
5.1.16 Edisonova žarnica (1879) ... 96
5.1.17 Visokotlačne sijalke (1901) ... 97
5.1.18 Živosrebrove sijalke (1901) ... 97
5.1.19 Žarnice z volframovo žarilno nitjo (1907) ... 98
5.1.20 Žarnice polnjene s plinom (1913) ... 98
5.1.21 Nizkotlačne natrijeve sijalke (1932) ... 99
5.1.22 Fluorescenčne sijalke (1937) ... 99
5.1.23 Halogenske žarnice (1960) ... 100

Kazalo

5.1.24 Kovinsko-halogenidne sijalke (1960) ... 101
5.1.25 Svetleča dioda - LED (1965) ... 101
5.1.26 Visokotlačne natrijeve sijalke (1966) ... 102
5.1.27 Visokotlačna ksenonska sijalka (1969) ... 102
5.1.28 Žveplove sijalke (1994) ... 103
5.2 Sodobni svetlobni viri ... 104
5.2.1 Navadna žarnica ... 104
5.2.2 Halogenska žarnica ... 105
5.2.3 Fluorescenčna sijalka ... 106
5.2.4 Kompaktna fluorescentna sijalka ... 110
5.2.5 Visokotlačna živosrebrova sijalka ... 111
5.2.6 Žarnica za mešano svetlobo ... 113
5.2.7 Nizkotlačna natrijeva sijalka ... 113
5.2.8 Visokotlačna natrijeva sijalka ... 115
5.2.9 Visokotlačna kovinsko halogenidna sijalka ... 117
5.2.10 Svetleče diode (LED) ... 120
5.2.11 Primerjava karakteristik svetlobnih virov ... 123
5.3 Predstikalne naprave ... 124
5.3.1 Napetostni pretvorniki za NN halogenske žarnice ... 125
5.3.2 Klasične predstikalne naprave za fluorescentne sijalke ... 126
5.3.3 Elektronske predstikalne naprave za fluorescenčne in kompaktne fluorescenčne sijalke 127
5.3.4 Elektromagnetne predstikalne naprave za visokotlačne sijalke ... 129
5.3.5 Elektronske predstikalne naprave za visokotlačne sijalke ... 131
5.3.6 Napajalniki za svetleče diode ... 132
6 Svetilke ... 135
6.1 Delitev svetilk ... 135
6.2 Splošne značilnosti in sestavni deli sodobnih svetilk ... 137
6.3 Svetilke za notranjo razsvetljavo ... 139
6.3.1 Viseče svetilke ... 139
6.3.2 Stropne svetilke ... 140
6.3.3 Stenske svetilke ... 142
6.3.4 Stoječe svetilke ... 143
6.4 Svetilke za zunanjo razsvetljavo ... 144
6.4.1 Svetilke za cestno razsvetljavo ... 144
6.4.2 Svetilke za razsvetljavo predorov ... 146
6.4.3 Svetilke za razsvetljavo peščevih površin ... 148
6.4.4 Žarometi ... 149
6.4.5 Vgradne zunanje svetilke ... 150
6.4.6 Svetilke za pokrite zunanje površine ... 152
6.5 Podajanje karakteristik svetilk ... 153
6.5.1 Osnovni podatki o svetilki ... 153
6.5.2 Prostorska porazdelitev svetilnosti ... 155
6.5.3 Porazdelitev svetlobnega toka ... 160
6.5.4 Kotna porazdelitev svetlosti ... 160
6.5.5 Izkoristek svetilke ... 161
6.5.6 Zastrtost svetilke ... 162
6.5.7 Oznaka IP in IK stopnje zaščite ... 163
6.5.8 Zaščita pred dotikom delov pod napetostjo ... 165
6.5.9 Oznaka protipožarne zaščite ... 167
6.5.10 Ostale oznake in certificiranje svetilk ... 167
7 Načrtovanje razsvetljave ... 169
7.1 Kakovost notranje razsvetljave ... 169

7.1.1 Optimalna razsvetljava ... 170
7.1.2 Lastnosti dobre razsvetljave ... 171
7.1.3 Nivo osvetljenosti ... 172
7.1.4 Omejevanje bleščanja ... 178
7.1.5 Harmonična porazdelitev svetlosti ... 181
7.1.6 Barva svetlobe in indeks barvnega videza ... 183
7.1.7 Smer svetlobe in senčnost ... 185
7.2 Ostali vidiki načrtovanja razsvetljave ... 188
7.2.1 Integracija svetlobnotehnične opreme ... 188
7.2.2 Energetska učinkovitost razsvetljave ... 191
7.2.3 Vzdrževanje razsvetljave ... 192
7.2.4 Stroški načrtovanja, inštalacije in opreme ... 194
7.3 Zakonodajne omejitve ... 194
7.3.1 Zakonodajne omejitve za notranjo razsvetljavo ... 194
7.3.2 Zakonodaja na področju zunanje razsvetljave ... 196
7.4 Proces načrtovanja razsvetljave ... 198
7.4.1 Lastnosti projekta ... 198
7.4.2 Cilji projekta oziroma razsvetljave ... 199
7.4.3 Idejna zasnova razsvetljave ... 199
7.4.4 Projekt razsvetljave ... 199
7.4.5 Izvedba razsvetljave ... 200
8 Razsvetljava notranjih prostorov ... 201
8.1 Razsvetljava pisarn ... 201
8.1.1 Premisleki pri načrtovanju razsvetljave ... 202
8.1.2 Priporočila ... 206
8.1.3 Pristopi k razsvetljavi pisarn ... 210
8.2 Razsvetljava proizvodnih obratov ... 213
8.2.1 Premisleki pri načrtovanju razsvetljave ... 213
8.2.2 Priporočila ... 216
8.2.3 Pristopi k razsvetljavi industrijskih prostorov ... 218
8.3 Razsvetljava izobraževalnih objektov ... 222
8.3.1 Premisleki pri načrtovanju razsvetljave ... 222
8.3.2 Priporočila ... 226
8.3.3 Pristopi k razsvetljavi izobraževalnih ustanov ... 229
8.4 Razsvetljava trgovskih prostorov ... 233
8.4.1 Premisleki pri načrtovanju razsvetljave ... 233
8.4.2 Priporočila ... 237
8.4.3 Pristopi k razsvetljavi trgovin ... 238
8.5 Razsvetljava muzejev in galerij ... 241
8.5.1 Premisleki pri načrtovanju razsvetljave ... 241
8.5.2 Priporočila ... 244
8.5.3 Pristopi k razsvetljavi muzejev in galerij ... 244
8.6 Razsvetljava zdravstvenih ustanov ... 247
8.6.1 Premisleki pri načrtovanju razsvetljave ... 247
8.6.2 Priporočila ... 249
8.6.3 Pristopi k razsvetljavi zdravstvenih ustanov ... 251
8.7 Razsvetljava bivalnih prostorov ... 253
8.7.1 Premisleki pri načrtovanju razsvetljave ... 253
8.7.2 Priporočila ... 256
8.7.3 Pristopi k razsvetljavi bivalnih prostorov ... 257
8.8 Razsvetljava športnih objektov ... 260
8.8.1 Premisleki pri načrtovanju razsvetljave ... 261

Kazalo

8.8.2 Priporočila ... 264
8.8.3 Pristopi k razsvetljavi športnih objektov ... 267
9 Zunanja razsvetljava ... 271
9.1 Razsvetljava zunanjih delovnih mest ... 271
9.1.1 Premisleki pri načrtovanju razsvetljave ... 271
9.1.2 Priporočila ... 273
9.1.3 Pristopi k razsvetljavi zunanjih delovnih mest ... 273
9.2 Cestna razsvetljava ... 275
9.2.1 Terminologija in izrazi ... 276
9.2.2 Prometne površine za motorni promet – skupina razredov M ... 278
9.2.3 Prometne površine konfliktnih področij – skupina razredov C ... 280
9.2.4 Razsvetljava površin za pešce – skupina razredov P ... 282
9.2.5 načrtovanje in izvedba cestne razsvetljave ... 285
9.2.6 Razsvetljava prehodov za pešce ... 293
9.2.7 Razsvetljava predorov ... 296
9.2.8 Razsvetljava pokritih površin ... 298
9.2.9 Poraba energije za cestno razsvetljavo ... 298
9.2.10 Primeri dobrih in slabih praks v javni razsvetljavi ... 300
9.3 Razsvetljava fasad in kulturnih spomenikov ... 305
10 Izračuni s programskim paketom DIALux ... 309
10.1 Uporabniški vmesnik ... 309
10.1.1 CAD vmesnik ... 309
10.1.2 Upravitelj projekta ... 311
10.1.3 Vodič ... 315
10.1.4 Urejevalni način ... 316
10.2 Nov projekt ... 316
10.3 Odpiranje obstoječega projekta ... 317
10.4 Obdelava geometrije prostora ... 318
10.4.1 Urejanje podatkov o prostoru ... 320
10.4.2 Spreminjanje lastnosti posameznih sten ... 321
10.5 Vstavljanje elementov v prostor ... 322
10.5.1 Spreminjanje prostora z prostorskimi elementi ... 322
10.5.2 Vnos pohištva ... 323
10.5.3 Okna in vrata ... 324
10.5.4 Vstavljanje tekstur ... 325
10.6 Vnos in urejanje svetilk in sistemov svetilk ... 326
10.6.1 Vnos posameznih svetilk ... 328
10.6.2 Vnos polja svetilk ... 329
10.6.3 Usmerjenost svetilk ... 330
10.6.4 Barva svetlobe svetilke ... 331
10.6.5 Svetlobne scene ... 332
10.7 Vstavljanje površin za izračun ... 335
10.8 Izračun svetlobno tehničnih razmer ... 337
10.8.1 Izračun osvetljenosti v prostoru ... 337
10.8.2 Izračun dnevne svetlobe ... 338
10.8.3 Izračuni cestne razsvetljave ... 339
10.9 Rezultati izračuna ... 351
10.9.1 Izpis rezultatov v obliki poročila ... 352
10.9.2 Izdelava 3D foto-realističnih slik ... 354
10.9.3 Izdelava 3D videa. ... 355
10.10 Nastavitve programa ... 356
11 Meritve razsvetljave ... 359

11.1 Meritve notranje razsvetljave ... 360
11.1.1 Meritve v neopremljenih prostorih ... 360
11.1.2 Meritve v opremljenih prostorih ... 361
11.2 Meritve cestne razsvetljave ... 362
11.2.1 Meritve svetlosti cestne razsvetljave ... 362
11.2.2 Meritve osvetljenosti cestne razsvetljave ... 366
11.3 Meritve svetlosti fasad in kulturnih spomenikov ... 368
12 Priloga – zahteve za razsvetljavo ... 369
12.1 Splošni prostori in prometne površine v različnih stavbah ... 369
12.2 Kmetijstvo in živilska industrija ... 369
12.3 Industrija in obrt ... 370
12.4 Energetika ... 373
12.5 Poslovne in upravne stavbe ... 373
12.6 Trgovina in storitvene dejavnosti ... 373
12.7 Prireditveni in javni prostori ... 374
12.8 Gostinstvo ... 374
12.9 Šolstvo ... 374
12.10 Zdravstveni domovi in bolnišnice ... 375
12.11 Letališča in železnica ... 376
13 Viri in literatura ... 379

1 UVOD

Svetloba je fascinantna spremljevalka človeka skozi vso njegovo zgodovino. Energija, ki jo dojemamo kot svetlobo in toploto, je dar sonca, ki je omogočilo nastanek življenja na zemlji. Če bi sonce "ugasnilo", bi se življenje na Zemlji zelo hitro ustavilo. Sicer ne zaradi pomanjkanja svetlobe, to znamo danes zelo uspešno nadomestiti z umetno, pač pa zaradi pomanjkanja toplote. Zemlja bi se ohladila, voda bi zamrznila, prav tako energenti od katerih smo danes zelo odvisno: nafta in zemeljski plin. Tako bi praktično vsi viri energije na Zemlji postali neuporabni in velika večina življenja na Zemlji bi izumrla.

Posledice takega scenarija človek nosi v svoji podzavesti že zelo dolgo, zato je večina človeških civilizacij na tak ali drugačen način častilo sonce kot božanstvo. S tem so si želele zagotoviti njegovo naklonjenost in preprečiti, da se sonce naslednje jutro mogoče ne bi pojavilo. Kadar je izgledalo, da čaščenje z besedami ni dovolj, so soncu - božanstvu darovali različne darove in celo žrtve.

Danes vemo, da je tak scenarij sicer mogoč, vendar pa se ne more uresničiti kar čez noč. Sonce je izgubilo vlogo božanstva, nismo pa izgubili tesne povezanosti z njim. Tekom evolucije smo se tako prilagodili sončevemu dnevnemu ritmu, da naš organizem še vedno potrebuje praktično dnevni stik s soncem. In to povezavo danes zagotavlja svetloba.

Svetloba je tako pomembna, da se brez nje počutimo izgubljene in zato človeštvo že več kot 400.000 let uporablja umetne svetlobne vire za prostore in čas, kjer in ko dnevne sončne svetlobe ni ali je ni dovolj. Umetna svetloba – razsvetljava – je tako postala naša vsakodnevna spremljevalka, brez katere si ni več moč predstavljati našega življenja. Seveda pa je odnos vsakega izmed nas do razsvetljave nekoliko drugačen. Nekomu zadošča že gola žarnica pod stropom da zadovolji vse svoje potrebe po svetlobi. In zakaj pravzaprav ne, za delovanje vida zadošča že razmeroma malo svetlobe in v resnici je zelo malo takih prostorov ali situacij, kjer ne bi videli vsaj toliko, da se lahko v prostoru orientiramo. Nevarnost pa se pojavi, ko je tak človek odgovoren za razsvetljavo oziroma delovno in življenjsko okolje drugih. V tem primeru vstopi v čisto nov svet, ki zahteva vse njegovo znanje in vso njegovo domišljijo in vse njegove sposobnosti. Z razsvetljavo delovnega okolja namreč vplivamo na delovne sposobnosti delavcev s tem pa tudi na njihovo uspešnost pri delu in posledično tudi v življenju. Če želimo biti pri tem uspešni moramo biti kreativni, natančni in prepričani v svoje znanje in sposobnosti ter v orodje, ki nam je na voljo. Na začetku pa se moramo vedno vprašati: »Kaj je svetloba in kako svetloba vpliva na človeka?«

2 SVETLOBA IN ČLOVEK

Toplota in svetloba sonca na Zemlji omogočata življenje. In ker sta neločljivi spremljevalki človeka od njegovih najzgodnejših dni, smo se nanju zelo dobro prilagodi. Tako kot ostali organizmi si organiziramo prostor glede na energijo (toploto), ki nam je na voljo in čas glede na svetlobo, ki nam jo sonce in vrtenje Zemlje odmerjata v dnevnem ciklu.

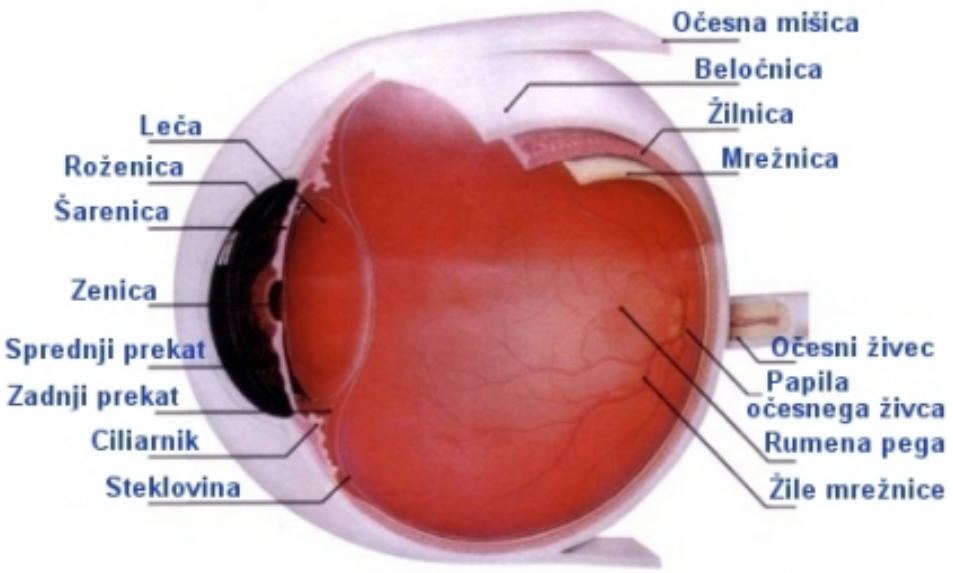
Ko pomislimo na svetlobo najprej pomislimo na vid. Ni pa vid edina povezava z okoljem, ki jo omogoča svetloba. Sigurno imajo slikovni učinki svetlobe na naše življenje največji vpliv. Vendar pa svetloba na naše telo deluje tudi preko neslikovnih učinkov in posredno preko čustev, ki jih povzroča.

2.1 ČLOVEŠKI VID

Človeški vid je posledica delovanja več organov, ki s skupnim delovanjem omogočajo, da zaznamo in razumemo oziroma si predstavljamo svojo vizualno okolico. To so obe očesi, vidni živci in center za vid v možganih. Zgolj z njihovim skupnim delovanjem lahko v naši okolici prepoznamo barve, oblike in pomen stvari, ki nas obdajajo.

2.1.1 ČLOVEŠKO OKO

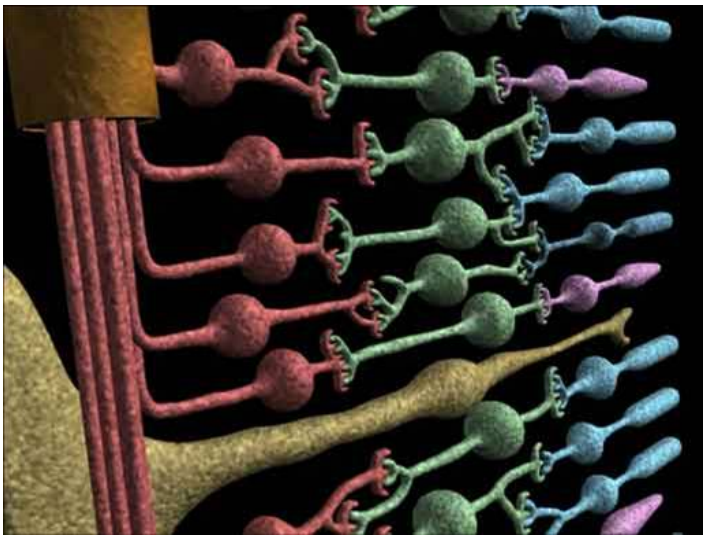
Človeško oko je vstopna točka za preko 80 % informacij, ki jih človek dobi iz svojega okolja. Ljudje se namreč pri naših stikih z okoljem zanašamo v največji meri na oči, za razliko od nekaterih živali, ki za to uporabljajo druge čute: na primer pes (voh), sova (sluh) ali krt (tip in voh).



Slika 2.1: Skica človeškega očesa.

Zgornja slika prikazuje človeško oko in nekatere njegove dele. Oko je zelo kompleksen organ in še vedno najboljši optični inštrument, kar jih poznamo. Na tem mestu se bomo posvetili samo nekaterim od njegovih delov:

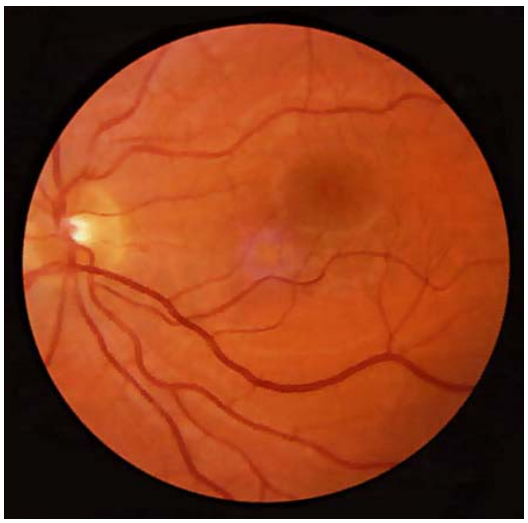
- **beločnica** je ovoj, ki obdaja oko. Nanj so pritrjene očesne mišice, ki oko vrtijo, tako da je usmerjeno proti točki gledanja. Na sprednjem delu očesa ima beločnica izboklino, ki je prozorna;
- **zenica** je odprtina skozi katero svetloba prodira v notranjost očesa. S spreminjanjem velikost zenice oko uravnava količino svetlobe, ki vstopa vanj in se tako prilagaja svetlosti okolice;
- **šarenica** je obarvan kolobar, ki obdaja zenico. Kolobar se širi in oži in s tem spreminja velikost zenice. Barva šarenice je odvisna od količine pigmenta podobno kot barva kože. Modra barva pomeni manjšo količino pigmenta, rjava pa večjo;
- **leča** je del očesa, ki je zadolžen za ostrenje slike na mrežnici. Nanjo so pritrjene posebne mišice, ki jo lahko bolj ali manj stisnejo in s tem odebelijo ter tako spremenijo njeno goriščno razdaljo. Leča je prozorna, vendar s starostjo porumeni in postane manj elastična. Zato starejši ljudje slabše vidijo na blizu, imajo več težav z bleščanjem in so manj občutljivi na modro svetlobo;
- **mrežnica** je plast na notranji strani očesa, kjer se nahajajo strukture, ki so občutljive na svetlobo in jih zato imenujemo fotoreceptorji. V človeškem očesu obstajata dve vrsti fotoreceptorjev in sicer čepnice in paličnice:
    - **Čepnice** so fotoreceptorji, ki so za razliko od paličnic manj občutljivi za svetlobo. Zato jih uporabljamo, ko je svetlobe dovolj, torej v dnevnem času (dnevni ali fotopski vid). V povprečnem človeškem očesu jih je med 4 in 5 milijoni in se nahajajo predvsem v rumeni pegi in njeni okolici. Vse čepnice niso enake ampak razlikujemo tri vrste, ki nam omogočajo zaznavanje barve.
    - **Paličnice** so bolj občutljive za svetlobo, zato jih uporabljamo, ko je svetlost okolice nizka (nočni ali skotopski vid). V povprečnem očesu jih najdemo med 100 in 120 milijoni, razporejene pa so predvsem po perifernem področju mrežnice. V rumeni pegi jih ne najdemo. Za razliko od čepnic paličnice ne ločijo barv, zato ponoči barv ne vidimo. Od tod izvira tudi pregovor: »Ponoči so vse krave črne«.



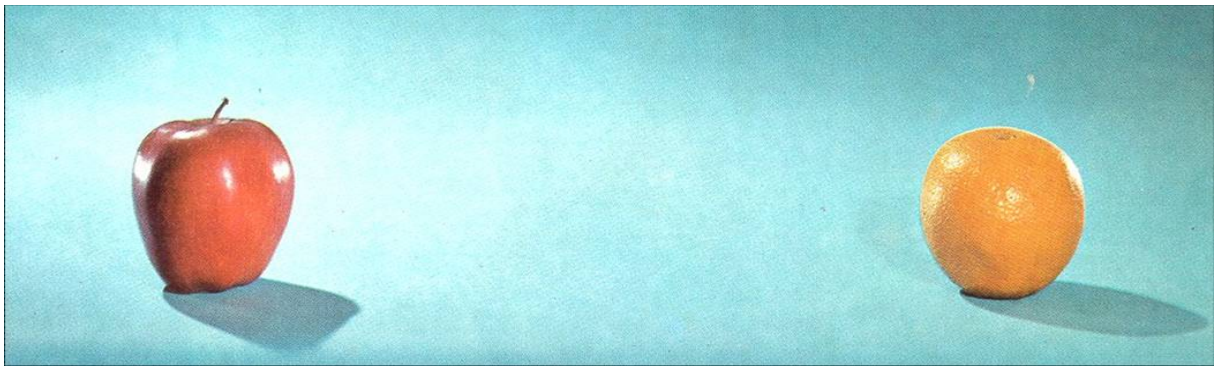
Slika 2.2: Umetniška predstavitev mrežnice: modre paličnice in vijolične čepnice so preko zelenih ganglijskih celic povezane z rdečimi živčnimi vlakni. Svetloba prodira od leve skozi mrežnico do fotoreceptorjev.

Fotoreceptorji so preko ganglijskih celic povezani z vlakni optičnega živca (slika 2.2) preko katerih posredujejo informacije v možgane. Čepnice v področju rumene pege imajo vsaka svoje vlakno, paličnice v perifernem področju pa si živčna vlakna delijo. Zato je ostrina vida v osrednjem delu precej večja kot ostrina vida na perifernem področju;

- **rumena pega** je tisti del očesa, kjer je koncentracija fotoreceptorjev največja, kar pomeni, da je tudi ostrina vida v tem delu največja. Poleg tega je to področje, ki praktično ni pokrito z žičnimi vlakni in žilami, ki bi motile prodiranje svetlobe do čepnic. Na ta del mrežnice se preslika slika predmeta, ki ga opazujemo in je torej v sredini našega vidnega polja;
- **očesni živec** je živec, ki informacije o delovanju fotoreceptorjev posreduje v možgane. Točka, kjer vidni živec vstopa skozi mrežnico, se imenuje slepa pega. Na tem delu mrežnice ni fotoreceptorjev, zato ni občutljiv za svetlobo.



Slika 2.3: Slika mrežnice. Na levi strani se vidi slepo pego (rumeno obarvano področje), kjer vidni živec in žile prehajajo skozi mrežnico. Rumena pega pa je temnejše področje v desnem zgornjem delu, kjer ni videti nobenih živčnih vlaken in žil.



Slika 2.4: Slika za test obstoja slepe pege.

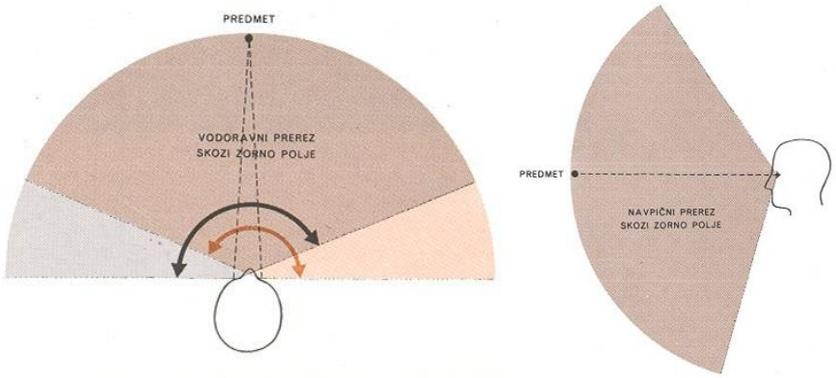
O obstoju slepe pege se lahko prepričate s preprostim testom s pomočjo slike 2.4. Knjigo podržite v iztegnjenih rokah. Zaprite levo oko in z desnim glejte naravnost v jabolko. Na robu vidnega polja boste opazili tudi pomarančo, vendar ne smete gledati vanjo. Nato počasi knjigo približujte očem. Na določeni razdalji boste opazili, da je pomaranča izginila,

ko pa boste knjigo še malo približali, se bo spet pojavila. Na določeni razdalji slika pomaranče pade točno na slepo pego, zato je ne opazimo.

Medtem, ko gledamo in se premikamo po okolici, naše oči izvajajo ogromno funkcij. Vrtijo se tako, da so vedno usmerjene, tja kamor bi radi pogledali in nam s tem omogočijo, da želeni predmet vidimo kar najostreje. Prilagajajo se na spremenljive svetlobne razmere. Omogočajo nam, da lahko ocenimo razdaljo do predmetov in razdaljo med predmeti. S pomočjo perifernega vida lahko opazimo bližajočo se nevarnost tudi, če nismo obrnjeni proti njej. Vse to omogočajo lastnosti očesa, ki si jih bomo ogledali v nadaljevanju.

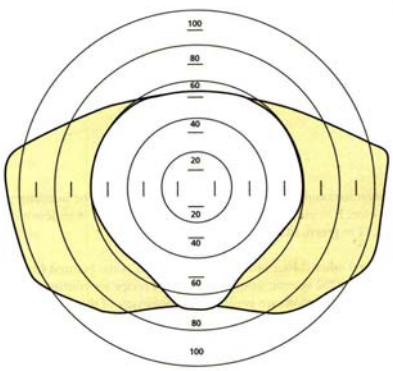
2.1.2 VIDNO POLJE

Vidno polje je slika okolice, ki se preslika na celotno mrežnico, ko opazujemo predmet, ki se nahaja pred nami in ne premikamo ne glave ne oči.



Slika 2.5: Vidno polje v vodoravnem in navpičnem prerezu.

Kot lahko vidimo na sliki 2.5 obsega vidno polje v vodoravni smeri ravno med 180° in 190°. Obseg v navpični smeri je manjši in sicer med 120° in 130°. Srednji del vidnega polja, ki zajema približno kot v velikosti 1° okoli opazovanega predmeta imenujemo centralni vid, vse okoli njega pa periferni. Velikost centralnega vida je pogojena z velikostjo rumene pege v očesu, kamor se to področje preslika.



Slika 2.6: Diagram vidnega polja, ki prikazuje kot od točke gledanja, ki ga lahko še zaznamo. Senčena polja na levi in desni strani prikazujejo območja, ki jih vidimo samo z bodisi levim bodisi desnim očesom, srednje področje pa vidimo z obema očesoma hkrati.

2.1.3 ADAPTACIJA

Naš vsakdan poteka v izjemno raznolikih svetlobnih okoljih. Tako je lahko na primer svetlost okolice, ko se nahajamo na plaži v poletnem opoldanskem soncu 10^{10} do 10^{12} – krat večja kot svetlost okolice v oblačni noči brez mesečine. Vendar nam prilagodljivost naših oči na svetlost okolice omogoča, da se lahko v obeh primerih v naši okolici vsaj orientiramo. Prilagajanje očesa na različne svetlosti okolja imenujemo adaptacija in poteka s pomočjo treh mehanizmov:

- **Prilagajanje velikosti zenice**: zenica se širi in krči glede na svetlost okolice in tako spreminja količino vpadle svetlobe v oko. Tako je ob močni opoldanski svetlobi zelo majhna, ponoči pa se zelo razširi. Vendar pa to omogoča prilagajanje zgolj za faktor 16.
- **Nevronsko prilagajanje**: je zelo hitro prilagajanje svetlobne občutljivosti (v manj kot 200 ms) fotoreceptorjev. Omogoča prilaganja svetlostim okolja v razmerju 1:1000. To zadošča za večino svetlobnih razmer, ki jih srečamo v prostorih, osvetljenih z umetno razsvetljavo.
- **Fotokemično prilagajanje**: je prilagajanje na ravni kemičnih procesov v posameznih fotoreceptorjih, ko se povečuje oziroma zmanjšuje raven posameznih pigmentov znotraj posamezne fotoreceptorske celice. Prilagajanje na temno okolico je bistveno počasnejše kot prilagajanje na svetlo okolico. Pojav lahko opazimo, ko iz svetle zunanjosti vstopimo v temen prostor brez oken. Ali pa ko podnevi na cesti zapeljemo v neosvetljen predor. Za popolno prilagoditev na zelo temne razmere potrebuje naš vid skoraj 60 minut časa, če smo bili prej v zelo svetlem okolju.

2.1.4 DNEVNI, NOČNI IN MRAČNI VID

Kadar smo v relativno dobro osvetljenem okolju (svetlosti okolice nad 3 cd/m^2) uporabljamo t.i. dnevni ali fotopski vid. Pri dnevnem vidu večino informacij v možgane posredujejo čepnice. To pomeni, da dobro zaznavamo barve in imamo optimalno ostrino vida. Ustrezne svetlobne razmere za dnevni vid zagotavlja predvsem dnevna svetloba pa tudi umetna razsvetljava v prostorih.

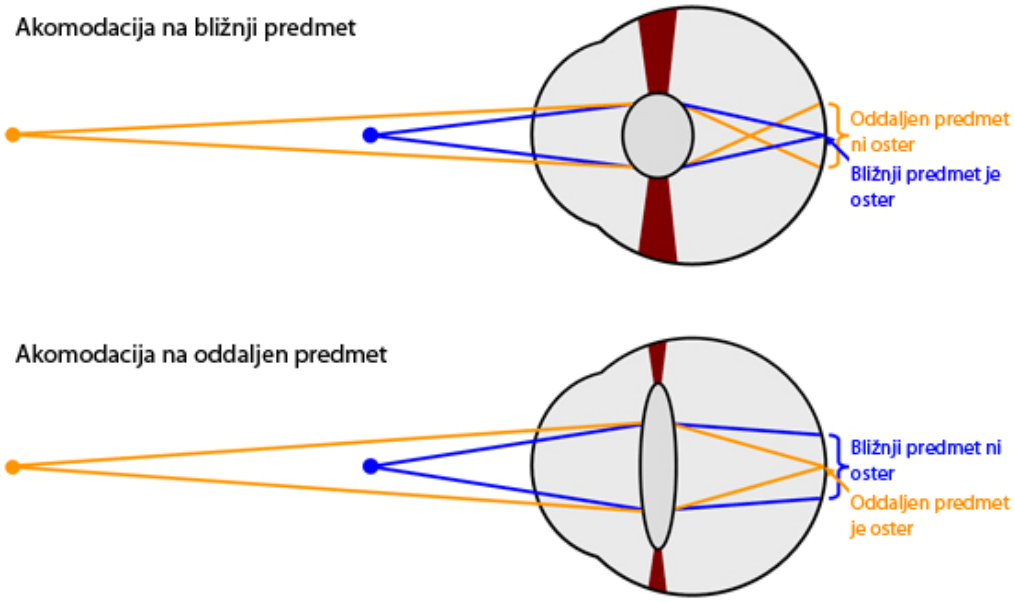
V primeru zelo temne okolice, kjer so svetlosti okolja manjše od 0.001 cd/m^2 pa uporabljamo nočni ali skotopski vid. V tem primeru je svetlobe premalo da bi lahko uporabljali čepnice, zato vidne informacije v možgane posredujejo paličnice. Te ne zagotavljajo barvnega vida, zato so vsi predmeti v takih razmerah videti sivo. Poslabša se nam tudi ostrina vida, predvsem v centralnem delu vidnega polja, saj v rumeni pegi ni paličnic. Take svetlobne razmere srečamo redko, predvsem v temnih oblačnih nočeh brez mesečine, če se smo dovolj oddaljeni od umetnih svetlobnih virov (naselij z cestno razsvetljavo).

V področju med obema mejnima vrednostima (0.001 cd/m^2 in 3 cd/m^2) k vidnemu zaznavanju prispevajo tako paličnice kot čepnice. Govorimo o mračnem ali mezopskem vidu. V tem primeru še lahko ločimo vsaj osnovne barve in tudi ostrina vida v centralnem

delu vidnega polja je še zadovoljiva. Tovrstne svetlobne razmere srečamo predvsem ponoči v urbanih okoljih, kjer je v uporabi umetna cestna razsvetljava.

2.1.5 AKOMODACIJA

Akomodacija očesa je njegova zmožnost, da izostri na mrežnici sliko predmeta glede na njegovo razdaljo od nas. Gre torej za prilagajanje goriščne razdalje očesne leče. Akomodacija poteka tako, da ciliarna mišica stiska ali razteguje očesno lečo in s tem spreminja njeno goriščno razdaljo. Posledica tega pa je, da žarka, ki izvirata iz iste točke, vedno padeta na isto točko na mrežnici.



Slika 2.7: Akomodacija na bližnji in na oddaljen predmet. Slika prikazuje tudi kako se oblika leče s pomočjo ciliarnih mišic (temno rjavo) spreminja glede na oddaljenost točke gledanja.

V mladosti lahko izostrimo sliko predmeta, ki je približno 20 cm pred nami. Z leti pa prožnost leče pada, zato se med 40 in 50 letom pojavijo težave z ostrino vida pri normalni delovni razdalji (35 cm do 40 cm). Prožnost nato pada vse do približno 60 leta, ko se ustali. Na začetku si lahko pomagamo tako, da opazovani predmet držimo na večji razdalji, kasneje pa pomagajo ustrezna očala.

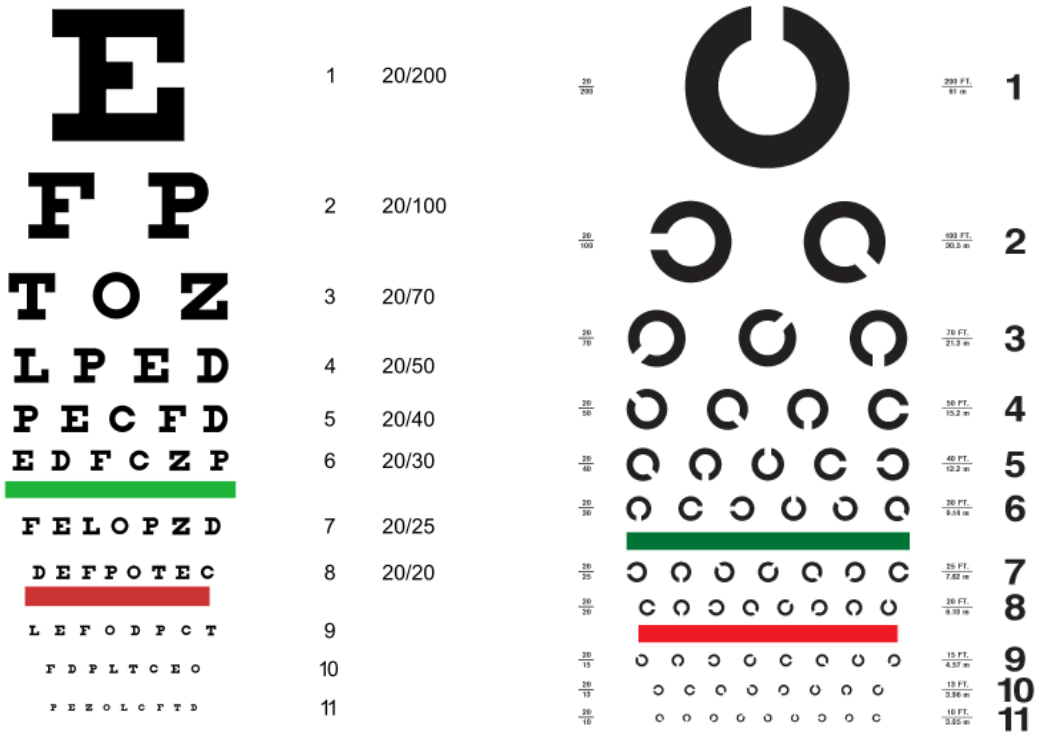
2.1.6 OSTRINA VIDA

Ostrina vida označuje kako blizu sta lahko sliki dveh točk ali črt na mrežnici, da jih še ločimo med seboj. Ostrina vida je največja v centralnem delu vidnega polja, kjer slika opazovanega predmeta pade na rumeno pego. Ostrina vida se hitro znižuje, če se oddaljujemo od rumene pege in je v področju perifernega vida razmeroma slaba. Odvisna je tudi od kontrasta med opazovanima točkama, pri večjem kontrastu svetlosti jih bomo lahko ločili na manjši razdalji, kot če je njuna svetlost skoraj identična.

Ko ugotavljamo ostrino vida uporabljamo črne znake (npr. črke ali druge simbole) na beli podlagi, da zagotovimo ustrezen kontrast. Oddaljenost opazovalca od simbolov mora biti

zadosti velika, da je očesna leča praktično sploščena, kot bi opazovali neskončno oddaljene predmete. V praksi pomeni to vsaj okoli 6 m oddaljenosti.

Povprečen opazovalec na razdalji 6 m še razloči opazovana predmeta kot dva, če je razdalja med njima okoli 1,75 mm, kar približno predstavlja kot ene ločne minute. V tem primeru lahko njegovo ostrino vida označimo kot 1 ali 6/6 (ali 20/20 v anglosaških državah, kjer se namesto 6 m oddaljenosti uporablja oddaljenost 20 čevljev). Tisti, ki na razdalji 6 m loči opazovana predmeta le, če je razdalja med njima še enkrat večja (3,5 mm) ima ostrino vida 6/12, torej za polovico manjšo. Tisti pa, ki predmeta loči že, če sta na polovični razdalji (0,875 mm) ima ostrino vida 6/3, torej še enkrat večjo. Enoto za ostrino vida je torej recipročna vrednost kota, pod katerim še ločimo opazovana predmeta, pri čemer se kot podaja v ločnih minutah. Imenujemo jo tudi visus.



Slika 2.8: Snellov diagram, levo s črkami, desno s Landolt-ovimi obroči. Uporablja se za merjenje ostrine vida.

Za ugotavljanje ostrine vida običajno uporabljamo tablico s črkami (slika 2.8 levo) ali s kakšnimi drugimi podobami (za majhne otroke, ki še ne znajo brati), lahko pa tudi z različnimi standardiziranimi simboli kot sta Landolt-ov obroč (okrogel obroč, katerega debelina je enaka 1/5 zunanjega premera z izsekom v dolžini prav tako 1/5 premera – glej sliko 2.8 desno) ali Snellen-ova kljuka (simbol, ki je podoben črki E in pri katerem je debelina črte proti velikosti simbola enako 1:5).

Ostrina vida s starostjo pada. V starosti 40 let izgubimo približno 10 % ostrine vida glede na dvajsetletnika, pri 80 letih pa že 50 %. Glede na to, da imamo največjo ostrino vida v področju rumene pege, kjer se nahajajo samo čepnice, pa ostrina vida pada tudi z svetlostjo okolice.

2.1.7 ZAZNAVANJE KONTRASTA SVETLOSTI IN BARVE

Za zadovoljivo ločevanje detajlov pri enobarvnih predmetih, oziroma za ločevanje predmetov od okolice iste barve, potrebujemo ustrezen kontrast svetlosti. V splošnem lahko kontrast definiramo kot razmerje med razliko svetlosti predmeta in okolice (ali enega in drugega predmeta) in povprečno svetlostjo v vidnem polju. Če opazujemo majhen predmet na razmeroma enakomerni podlagi, lahko za povprečno svetlost vzamemo kar svetlost okolice predmeta, kar nas pripelje do sledeče formule:

$$K = \frac{|L_2 - L_1|}{L_1}$$

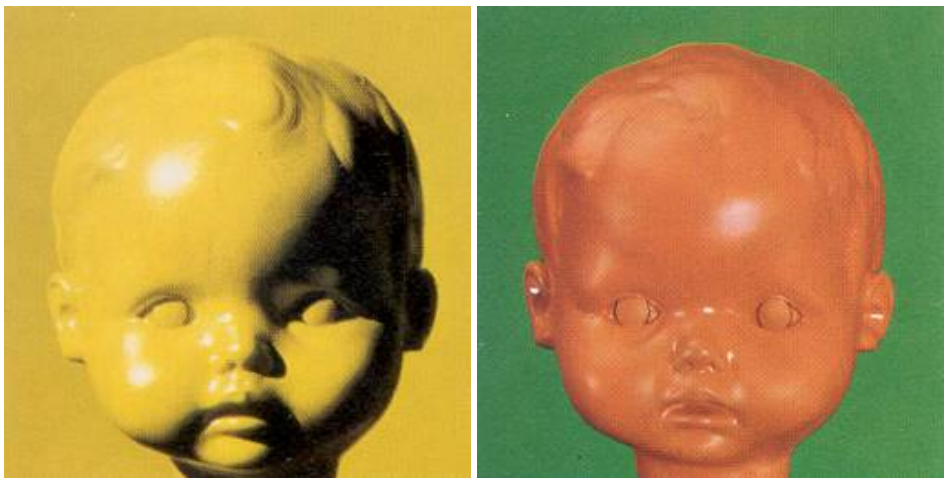
Enačba 1: Izračun kontrasta svetlosti pri opazovanju majhnega predmeta na enakomernem ozadju: L2 je svetlost predmeta, L1 pa svetlost okolice.

Če pa gre za dva razmeroma enako velika predmeta, oziroma če opazovani predmet zajema velik del (približno polovico) vidnega polja, potem običajno uporabimo spodnjo formulo, kjer imenovalec praktično predstavlja dvojno povprečno svetlost okolice.

$$K = \frac{|L_2 - L_1|}{L_2 + L_1}$$

Enačba 2: Izračun kontrasta svetlosti pri opazovanju predmeta, ki zajema velik del vidnega polja: L2 je svetlost predmeta, L1 pa svetlost okolice.

Velikost kontrasta, pri katerem že zaznamo predmet, je odvisna tudi od svetlosti okolice, na katero so adaptirane naše oči. Pri manjših adaptacijskih svetlostih bomo predmete zaznali že pri manjšem kontrastu, pri večji svetlosti okolice pa mora biti tudi kontrast večji. Poleg samega kontrasta na zaznavanje predmeta vpliva tudi velikost opazovanega predmeta. Pri večjih predmetih je kontrast lahko manjši in obratno.



Slika 2.9: Predstavitev kontrasta svetlosti (levo) in barvnega kontrasta (desno).

Pri raziskovanju kontrasta in vidnega zaznavanja pa lahko opazimo še eno zanimivost. Če opazujemo ozadje sestavljeno iz svetlih in temnih črt, bomo največji kontrast opazili, če je

debelina črt taka, da imamo od 2 do 5 črt ene svetlosti v vidnem kotu 1°. Pri večji ali manjši debelini črt pa se naša občutljivost na kontrast zmanjša.

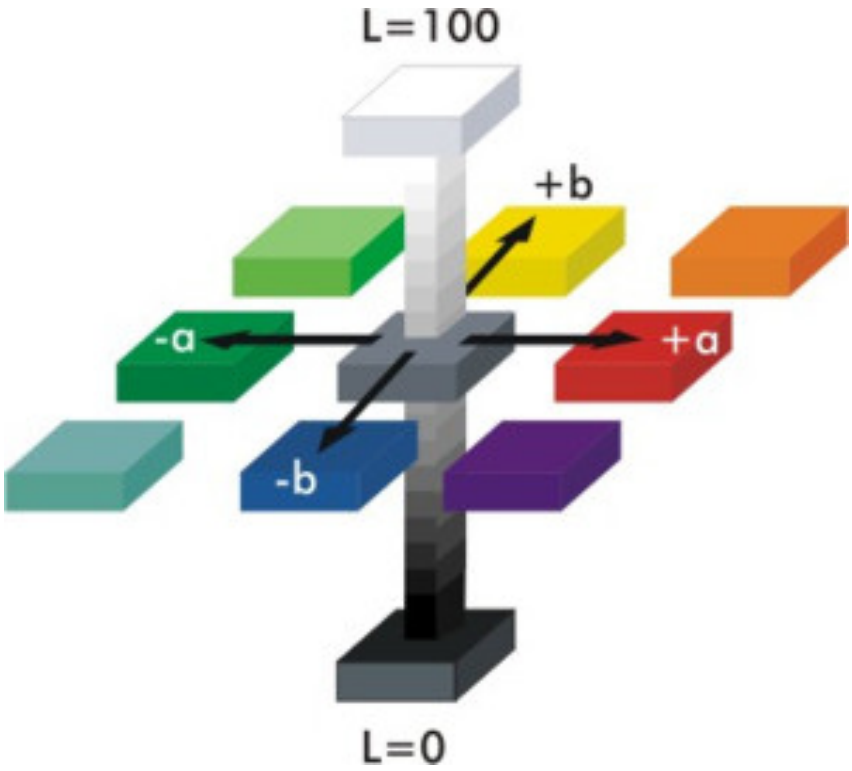
Namesto razlike (kontrasta) svetlosti med opazovanim predmetom in okolico, za zaznavanje predmeta zadošča tudi razlika v barvi – barvni kontrast. Če želimo predmet, ki je enake svetlosti ločiti od okolice, mora imeti dovolj drugačno barvo.

Razliko v barvi med predmetom in okolico ali med dvema predmetoma lahko ugotovimo na podlagi razdalje med barvama v izbranem barvnem sistemu. Eno takih formul je leta 1976 definirala CIE v svojem CIELAB barvnem sistemu.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

Enačba 3: Izračun razlike v barvi dveh točk v CIELAB barvnem sistemu.

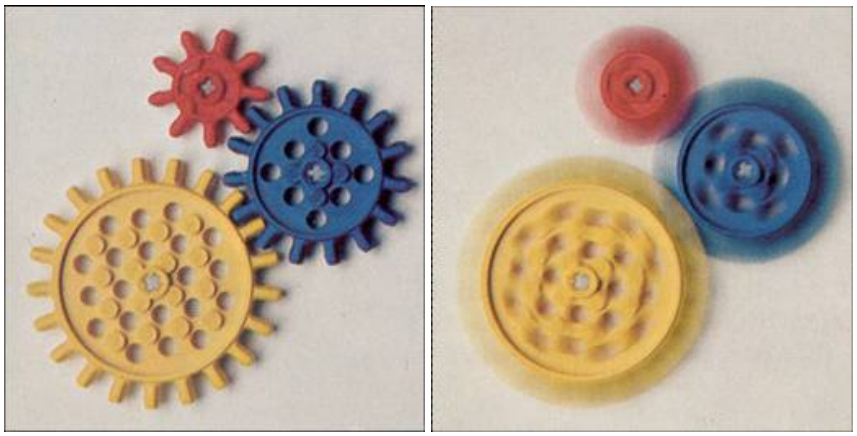
V CIELAB barvnem sistemu je vsaka barvna točka opisana s tremi koordinatami (L*, a*, b*), kjer L predstavlja svetlost barve (od 0 - črna do 100 – difuzno bela), a predstavlja položaj na osi med rdeče-vijolično (pozitivne vrednost a) in zeleno (negativne vrednosti a) in b položaj na osi med rumeno (pozitivne vrednosti b) in modro (negativne vrednosti b).



Slika 2.10: Predstavitev CIELAB barvnega sistema.

2.1.8 HITROST ZAZNAVANJA

Hitrost zaznavanja določa za koliko čase se mora sprememba v svetlosti ali barvi, na primer predmet pred opazovanim ozadjem, pojaviti v vidnem polju, da ga opazimo. Ta hitrost je odvisna od velikosti območja, ki ima drugačno svetlost ali barvo kot ozadje (predmet) ter kontrasta med predmetom in ozadjem.

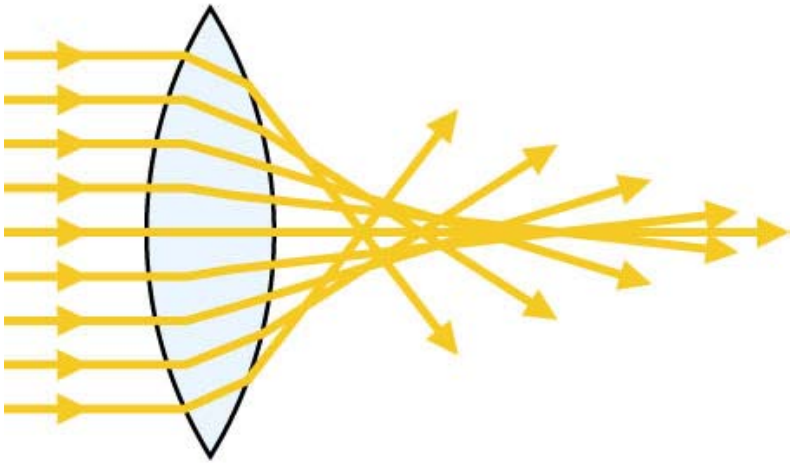


Slika 2.11: Pri mirujočih predmetih (levo) lahko opazimo podrobnosti, ki jih pri vrtečih se predmetih (desno) zaradi končne hitrosti zaznavanja ne moremo.

Zaznavanje ni neskončno hitro, saj kemični proces v fotoreceptorjih potrebuje nekaj časa. Zaradi tega imamo na primer težave pri opazovanju predmetov, ki gredo zelo hitro mimo nas ali pa predmetov, ki se zelo hitro spreminjajo, npr. zaradi vrtenja.

2.1.9 ABERACIJA

Človeški optični sistem ima nekatere prirojene nepopolnosti, med katere spada tudi aberacija. Aberacijo delimo na sferično in barvno ali kromatično. Sferična aberacija je posledica nepravilne oblike očesne leče, zaradi katere imajo žarki, ki v lečo vstopajo na robu, drugačno goriščno razdaljo, kot žarki, ki v lečo vstopajo na sredini.

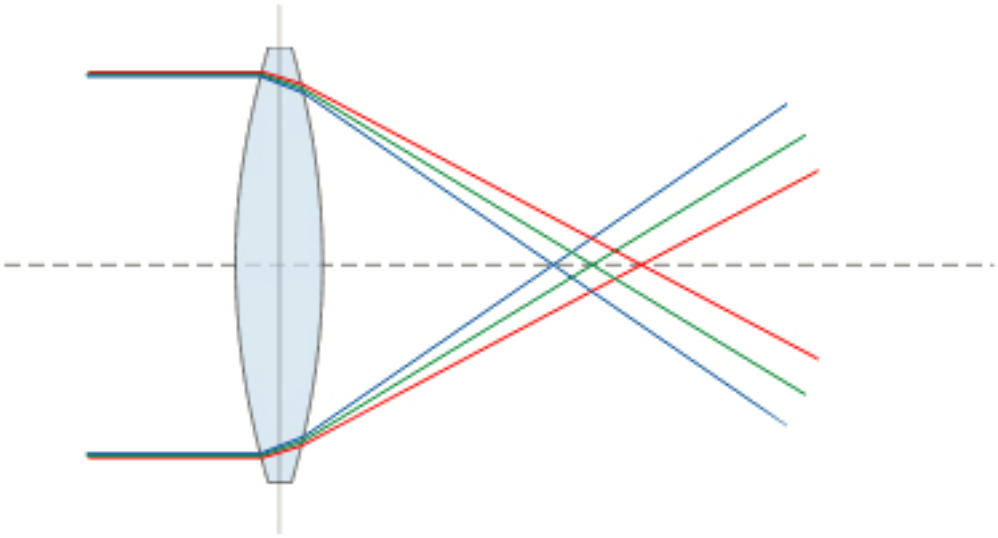


Slika 2.12: Prikaz različnih goriščnih razdalj glede na oddaljenost vpadnega žarka od sredine leče.

Sferična aberacija je bolj izrazita v slabih svetlobnih razmerah, ko je zenica bolj odprta in žarki vstopajo v lečo tudi na njenem robu. Sferična aberacija je tako poleg lastnosti fotoreceptorjev, ki smo jih opisali v prejšnjih poglavjih, dodaten razlog, zaradi katerega imamo v temnem okolju slabšo ostrino vida kot v dobro osvetljenem okolju.

Barvna ali kromatična aberacija pa je posledica dejstva, da imajo različne barve svetlobe (z različnimi valovnimi dolžinami) različne lomne količnike. Ker je lomni količnik svetlobe z manjšimi valovnimi dolžinami večji, se modra svetloba lomi močneje kot rdeča. Če torej

opazujemo enako oddaljena rdeči in modri predmet, se nam bo zdelo, da je rdeči bližje kot modri.



Slika 2.13: Prikaz različnih goriščnih razdalj pri kromatski aberaciji.

Barvna aberacija se pri monokromatski svetlobi ne pojavlja, zaradi česar je ostrina vida v tem primeru večja, kot pri beli svetlobi.

Slika 2.14: Neostri predmeti v zgornjem in spodnjem delu leve slike so posledica sferične aberacije, rdeči in modri obrisi zelenih listov na desni sliki pa so posledica barvne aberacije.

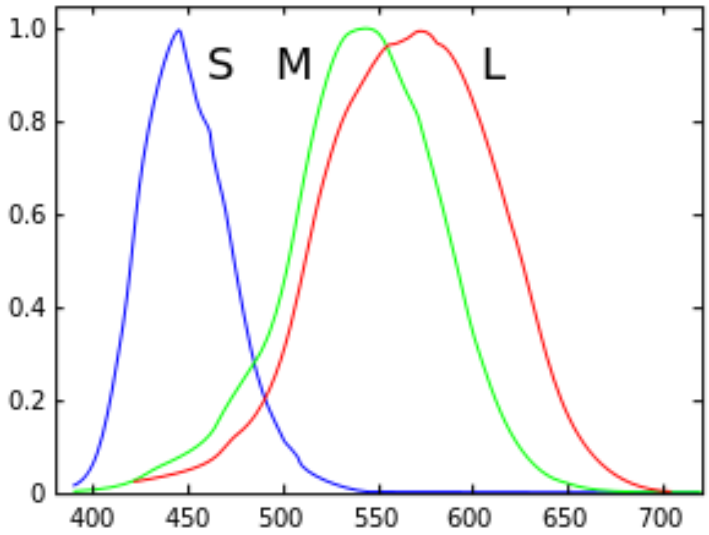
Tako sferična kot barvna aberacija sta znani tudi iz drugih optičnih sistemov npr. iz fotografskih objektivov. Vendar jih lahko v tem primerih z večjim številom leč ustrezno korigiramo. Pri človeškem očesu pa je to malo težje. Sicer pa je potrebno omeniti, da je besedo ‘nepopolnost’ optičnega sistema, ki smo jo uporabili na začetku tega poglavja, potrebno razumeti z določeno mero previdnosti. Dejstvo, da se nam rdeči (in tudi oranžni in rumeni) predmeti zdijo bližje od zelenih in modrih, ima v naravi tudi določene prednosti. Strupene in nevarne rastline ali živali so pogosto rdečih in oranžnih barv, ker tako opozarjajo nase. Možno je torej, da je ta lastnost v časih, ko smo ljudje še živeli kot lovci in nabiralci, pomenila celo določeno prednost pri preživetju.

2.2 ZAZNAVANJE BARV

Kot smo že omenili, so čepnice v našem očesu tiste, ki nam omogočajo razpoznavanje barv. Glede na rezultate raziskav barvnega vida človek loči približno 100 barvnih odtenkov. V očesu imamo med 4 in 5-milijonov čepnic. Postavi se torej vprašanje ali obstaja za vsak barvni odtenek svoja vrsta čepnic ali imamo nemara samo eno vrsto čepnic in je barvni vid pogojen s kakšno drugo lastnostjo našega vidnega sistema. Kako deluje barvni vid, bo opisano v nadaljevanju. Velja pa si zapomniti, da je za delovanje čepnic in torej za barvni vid potrebna zadostna svetlost oziroma osvetljenost naše okolice.

2.2.1 RAZLIČNE VRSTE ČEPNIC

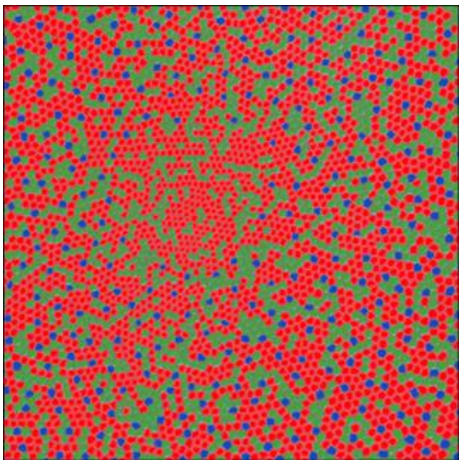
Raziskave človeškega očesa so pokazale, da imamo v očesu tri različne vrste čepnic. Razlikujejo se po velikosti predvsem pa po spektralni občutljivosti. Na različne valovne dolžine vidne svetlobe so namreč različno občutljive. Kot lahko vidimo na spodnji sliki, so t.i. rdeče ali dolge čepnice (označene na sliki z L – long) najbolj občutljive na svetlobo v rumeno-zelenem področju (564 nm), precej dobro pa pokrivajo tudi celotno rdeče področje. Zelene ali srednje čepnice (M – middle) imajo vrh občutljivosti že v zelenem področju (534 nm), pokrivajo pa praktično celotno področje vidne svetlobe. Modre ali kratke (S – short) čepnice pa pokrivajo razmeroma ozko področje z vrhom v modrem področju (420 nm).



Slika 2.15: Normirane spektralne občutljivosti treh vrst čepnic.

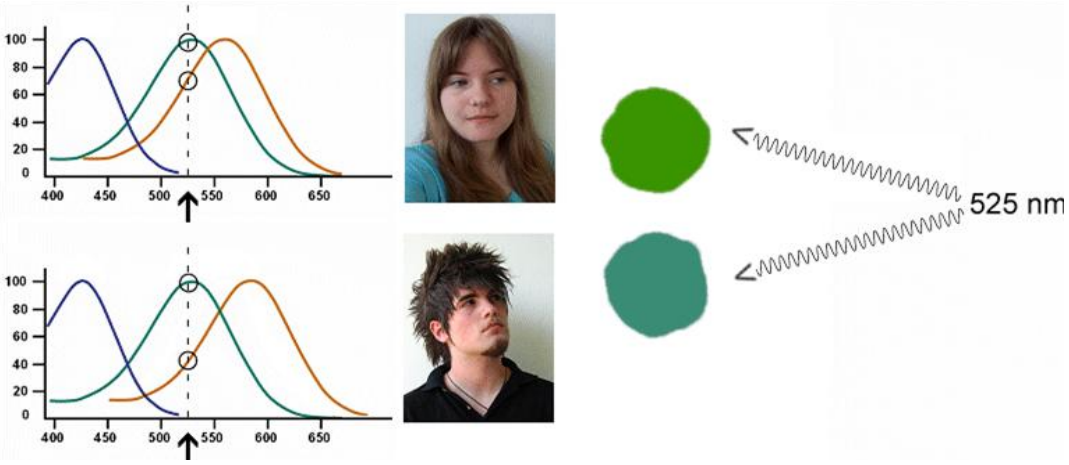
Vsaka valovna dolžina svetlobe v našem vidnem sistemu vzbudi nekoliko drugačen občutek barve. Kakšen je, je odvisno od tega, koliko so vzdražene posamezne vrste čepnic. Za svetlobo z valovno dolžino 500 nm (modro-zelena svetloba) lahko po sliki 2.15 hitro ugotovimo, da je odziv rdečih čepnic približno 30 %, odziv zelenih čepnic 45 % in odziv modrih čepnic 15 %. Na podlagi teh odzivov nato center za vid v možganih sestavi opazovano barvo. Če bi bila svetloba bolj zelena (večja valovna dolžina) bi bil odziv rdečih in zelenih čepnic večji, odziv modrih pa manjši. Pri bolj modri svetlobi (manjša valovna dolžina) bi bilo ravno obratno.

Če bi si pogledali njihovo razporeditev v rumeni pegi na mrežnici, kjer imamo samo čepnice in nobene paličnice, bi videli, da prevladujejo rdeče in zelene čepnice v razmerju približno 1,5:1. Modrih čepnic je precej manj in sicer na področju rumene pege okoli 7 % na celotnem področju mrežnice pa celo samo okoli 1 %. Približna razporeditev v rumeni pegi je prikazana na spodnji sliki.



Slika 2.16: Grafični prikaz razporeditve čepnic po področju rumene pege .

Ker smo ljudje v splošnem precej različni med seboj, so zelo verjetno različne tudi spektralne občutljivosti naših čepnic. To razloži dejstvo, da na primer isto barvo nekateri vidimo kot zeleno, drugi pa kot modro. Tak primer je prikazan na sliki 2.17.



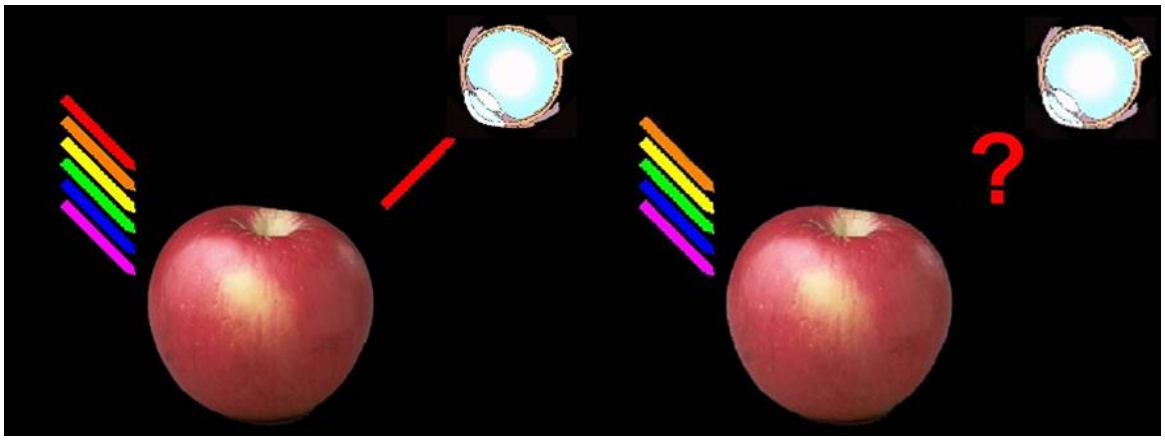
Slika 2.17: Zaradi različnih spektralnih občutljivosti čepnic lahko isto barvo različni ljudje vidijo različno.

Kot zanimivost lahko omenimo, da imajo nekatere živali v očesu več ali manj kot tri vrste fotoreceptorjev in da imajo predvsem žuželke tudi fotoreceptorje, ki so občutljivi na ultra vijolično (UV) svetlobo.

2.2.2 KAJ VSE VPLIVA NA BARVO PREDMETA

Kot smo videli, na barvo opazovanega predmeta vplivajo spektralne občutljivosti čepnic v našem očesu in odziv možganov na informacije, ki jih dobijo iz očesa. Na barvo predmeta pa vplivata tudi spektralna sestava svetlobe, s katero je osvetljen predmet ter lastnost površine predmeta da nekatere valovne dolžine odbija druge pa vpija.

Če obarvan predmet (na primer rdeče jabolko) postavimo na belo svetlobo (na primer na dnevno svetlobo, ki vsebuje vse valovne dolžine), bo predmet odbijal samo tisto (ali tiste) valovne dolžine, katere barve je (na primer rdeče), ostale pa bo vpil (absorbiral). V naše oko tako pride samo odbiti del svetlobe, ki povzroči ustrezen vidni barvni dražljaj. Rdeče jabolko torej odbija predvsem svetlobo dolgih valovnih dolžin, ki jo naš vidni sistem zazna kot rdečo. Če pa rdeče jabolko postavimo na svetlobo, ki ne vsebuje rdeče barve (na primer na monokromatsko svetlobo rumene nizkotlačne natrijeve sijalke) potem se večina svetlobe vpije in bo tak predmet videti temen. Nekaj malega rumene svetlobe se seveda tudi odbije in jabolko zato ne bo izgledalo črno ampak rumenkasto sivo.

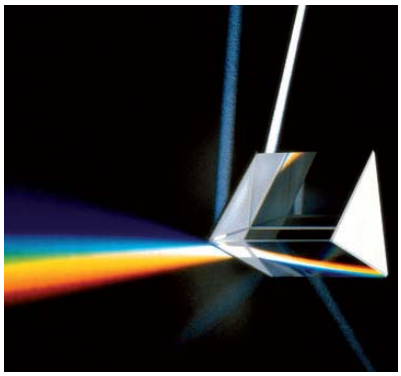


Slika 2.18: Vpliv spektralne sestave svetlobe na zaznavanje barve predmeta.

Barva predmeta, ki jo vidimo, torej ni odvisna samo od lastnosti površine predmeta, temveč tudi od lastnosti svetlobe (njene spektralne vsebine) in lastnosti našega vidnega sistema. Zato lahko isti predmet pri drugačni svetlobi (drugačni spektralni sestavi svetlobe) vidimo drugačne barve.

2.2.3 MEŠANJE BARV SVETLOBE

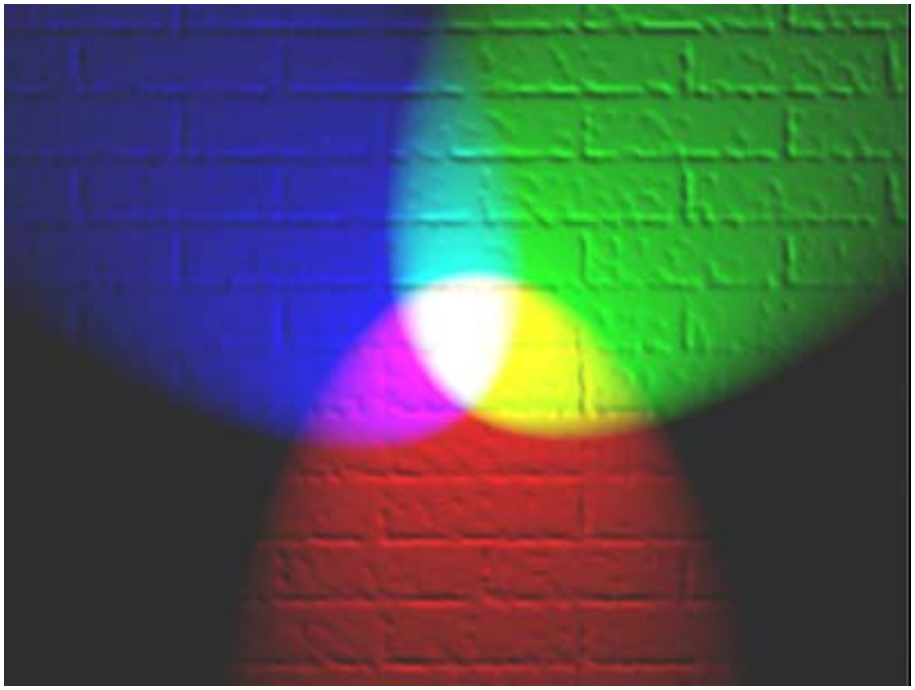
Ker naš vidni sistem svetlobo, ki vsebuje več različnih valovnih dolžin, vidi kot svetlobo ene barve, lahko svetlobo različnih barv med seboj mešamo. To je najbrž prvi spoznal Sir Isaac Newton, ki je s pomočjo steklene prizme ugotovil, da je svetloba, ki jo vidimo kot belo, sestavljena iz vseh t.i. spektralnih ali mavričnih barv.



Slika 2.19: Steklena prizma razdeli belo svetlobo na ločene komponente.

Kasneje so raziskovalci ugotovili, da je naš vidni sistem tribarven (trikromatski), kar pomeni, da je možno vsako barvo svetlobe sestaviti iz samo treh osnovnih barv. Običajno se uporabljajo rdeča, zelena in modra (RGB – red, green, blue – sistem). Tako mešanje barv imenujemo aditivno ali seštevalno mešanje, saj svetlobo ene barve (valovne dolžine) »prištejemo« svetlobi druge barve. Površina osvetljena s tako »mešano« svetlobo je zato svetlejša kot površina, osvetljena s posamezno komponento.

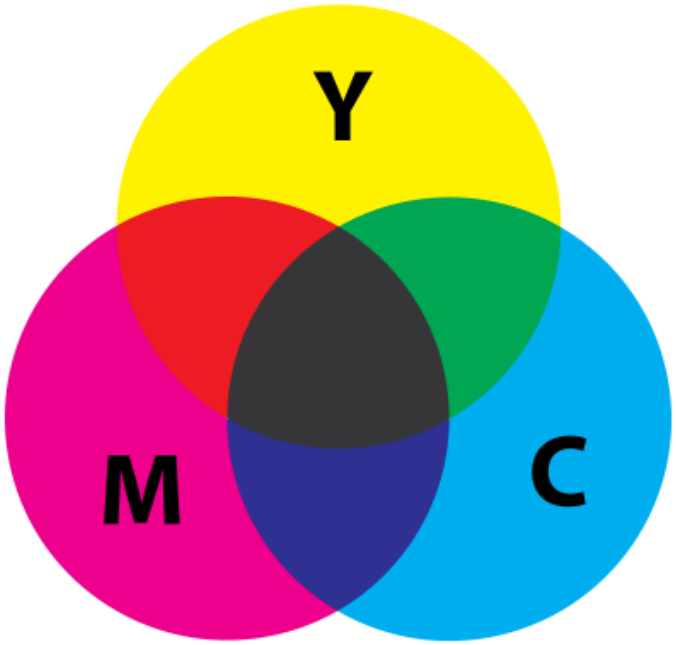
Kot vidimo na spodnji sliki, kjer so aditivno zmešani moder, rdeč in zelen svetlobni snop, je rezultat vseh treh barv bela svetloba. Mešanice dveh barv pa so vijolična (modra in rdeča), turkizna (zelena in rumena) in rumena (zelena in rdeča). Na tem sistemu temeljijo barvni televizorji in računalniški zasloni.



Slika 2.20: Prikaz aditivnega mešanja svetlobe.

Poleg aditivnega ali seštevalnega mešanja svetlobe pa poznamo tudi subtraktivno ali odštevalno mešanje. To se pojavi pri mešanju barv oziroma pigmentov. Pigmenti so snovi, ki odbijajo samo del valovnih dolžin v svetlobi s katero so osvetljeni, ostale pa vpijejo. Če na primer vzamemo turkizen pigment, ki odbija tako modro kot zeleno svetlobo, in ga zmešamo z rumeni pigmentom, ki odbija zeleno in rdečo svetlobo, bo kombinacija odbijala samo še zeleno svetlobo. Z mešanjem turkiznega in rumenega pigmenta smo torej dobili zelen pigment. Tudi v tem primeru velja, da lahko z samo tremi osnovnimi barvami sestavimo poljubno barvo pigmenta. Običajno so te tri osnovne barve rumena (yellow), turkizna (cyan) in vijolična (magenta). Če zmešamo po dve osnovni barvi dobimo pigmente rdeče (rumena in vijolična), zelene (rumena in turkizna) in modre (vijolična in turkizna) barve. In če zmešamo vse tri, dobimo temno sivo oziroma črno barvo. Ker površina, ki je premazana z dvema pigmentoma, odbija manj svetlobe kot tista, premazana samo z enim, je videti temnejša. Zato ta sistem imenujemo odštevalno mešanje, saj več pigmentov beli svetlobi »odšteje« več valovnih dolžin. Sistem mešanja pigmentov se največ uporablja pri

barvnem tisku (npr. CYMK sistem). Ker pa da kombinacija treh osnovnih barv temno sivo in ne res črno barvo, pri tisku uporabljamo še četrto – črno barvo. Tak način imenujemo štiribarvni tisk.



Slika 2.21: Prikaz odštevalnega mešanja svetlobe, ki ga dobimo z mešanjem pigmentov osnovnih barv.

2.3 MOTEČI VPLIVI SVETLOBE

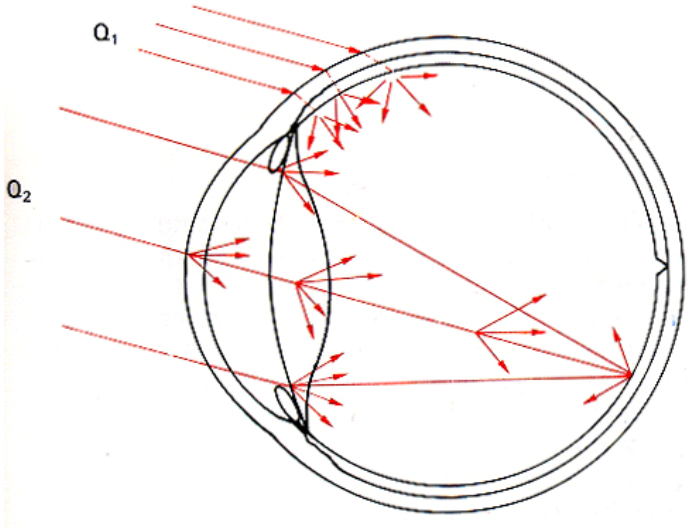
Svetloba zagotavlja delovanje našega vidnega sistema in je torej za ljudi z normalnim vidom življenjskega pomena. Vendar pa lahko ob določenih primerih svetloba tudi moti naš vidni sistem. O motečih vplivih svetlobe lahko govorimo, kadar nam svetlobne razmere v naši okolici onemogočajo ali poslabšujejo kvaliteto zaznavanja opazovanega predmeta. Med te moteče vplive štejemo bleščanje, odsevno bleščanje, dvojno in utripajočo svetlobo.

2.3.1 BLEŠČANJE

Do bleščanja pride kadar se v vidnem polju pojavi predmet, ki je razmeroma majhen in precej svetlejši od okolice in ostalih predmetov. Glede na to, da bleščanje dejansko poslabša naše vidne sposobnosti ali samo moti, ločimo fiziološko in psihološko bleščanje.

Fiziološko bleščanje

Vsak žarek svetlobe se ob vstopu v oko nekoliko razprši. V dobrih svetlobnih razmerah, ko je opazovani predmet dobro osvetljen, njegova okolica pa ni pretemna, je delež te razpršene svetlobe zanemarljiv. V kolikor pa se v vidnem polju pojavi veliko svetlejši predmet, lahko delež razpršene svetlobe znotraj očesa doseže tako visok nivo, da spremeni adaptacijsko svetlost očesa. Oko se prilagodi na višjo svetlost okolice kot je v resnici, to pa pomeni da so potrebni tudi večji kontrasti med predmeti, ki jih želimo opaziti in okolico. Če so ti kontrasti premajhni, takih predmetov enostavno ne moremo opaziti.



Slika 2.22: Razpršena svetloba znotraj očesa. Q_1 prikazuje svetlobo, ki izvira iz bleščečega predmeta, Q_2 pa svetlobo, ki izvira iz opazovanega predmeta.

V kolikor zastirajoča svetlost, ki nastane zaradi razpršenja svetlobe bleščečega predmeta, preseže 1 % svetlosti opazovanega predmeta govorimo o motečem vplivu bleščanja oziroma o fiziološkem bleščanju.

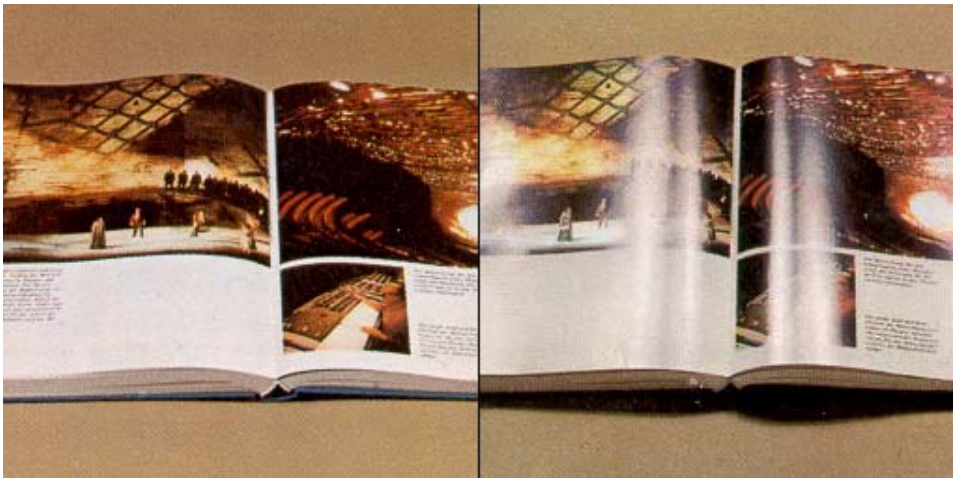
Slika 2.23: Zaradi vira bleščanja na srednji sliki se osebe, pri enakem kontrastu kot je na levi sliki, ne opazi. Da jo kljub viru bleščanja opazimo, je potreben ustrezno večji kontrast med osebo in ozadjem (desna slika).

Psihološko bleščanje

Moteč vpliv bleščanja se lahko pojavi tudi, če zastirajoča svetlost ne preseže 1 %. V tem primeru še vedno lahko opazimo tudi ostale predmete v vidnem polju, vendar nas bleščeči predmet moti, saj odvrača našo pozornost od predmeta dela. Človeški vidni sistem namreč naravno privlačijo svetlejše točke v vidnem polju, zaradi česar lahko opravljanje delovne naloge v okolju, kjer je prisoten svetlejši predmet, kot opazovani, povzroča hitrejšo utrujenost. Primer tega pojava npr. v nočnem urbanem okolju, osvetljenem z javno razsvetljavo, so močno osvetljeni objekti za oglaševanje v neposredni okolici ceste.

2.3.2 ODSEVNO BLEŠČANJE

Pri odsevnem oziroma refleksnem bleščanju gre za moteči vpliv odsevov svetlobnih virov, ki se zrcalijo v gladkih površinah predmetov v našem vidnem polju, npr. na gladkem papirju, na računalniških zaslonih ali na mokri cesti.



Slika 2.24: Primer refleksnega bleščanja na gladkem papirju knjige.

Odsevno bleščanje lahko zmanjšamo z ustrezno postavitvijo svetlobnih virov kar vpliva na smer svetlobe ter tako tudi na smer odsevane svetlobe. Pomaga pa tudi izbira mat površin npr. na pisalnih mizah in ostalih predmetih v našem vidnem polju.

2.3.3 DVOJNA SVETLOBA

O dvojni svetlobi govorimo, kadar imamo v prostoru dva prostorsko ločena svetlobna vira, ki oddajata različno svetlobo. Primer bi bil na primer prostor, osvetljen z rdečo in modro žarnico, ki bi se nahajali vsaka v svojem kotu. Posledica take osvetlitve bi bili predmeti, ki bi bili z ene strani videti modri in z druge strani rdeči. Zaradi že omenjene barvne aberacije se oko pri opazovanju predmeta ne more ustrezno akomodirati, saj slika rdečega dela predmeta nastane za sliko modrega dela predmeta. To pa povzroča utrujenost in sindrom pekočih oči.

O dvojni svetlobi lahko govorimo tudi, ko so v prostoru v svetilkah uporabljeni svetlobni viri z različno barvo svetlobe. V takem primeru sicer ne gre za tako radikalne razmere, kljub temu pa so posledice lahko enake.

2.3.4 UTRIPAJOČA SVETLOBA

Utripanje svetlobe lahko povzroča dva moteča vpliva. Prvi je, podobno kot pri psihološkem bleščanju, posledica lastnosti človeškega vida. Le-tega naravno privlačijo premikajoči in spreminjajoči se objekti. Tako bo utripanje svetlobe s frekvenco, ki ga naš vidni sistem lahko zazna, oteževalo koncentracijo na vidno nalogo, ki jo opravljamo. Poleg tega lahko počasno utripanje svetlobe (z nekaj Hz), pri določenih osebah ter v določenih primerih, povzroči epileptični napad.

Slika 2.25: Večkratna slika, ki je posledica premikajočega se predmeta in utripajoče svetlobe.

Utripanje svetlobe pa je lahko škodljivo tudi, če utripa s frekvencami, ki jim naš vidni sistem ne sledi več. V takem primeru lahko pride do pojava večkratnih slik premikajočih se predmetov. Take večkratne slike so lahko moteče in otežujejo izvajanje vidnih nalog. Podoben pojav je tudi t.i. stroboskopski efekt. V tem primeru utripajoča svetloba povzroči, da vrteče se predmete vidimo, kot da bi se vrteli počasneje, ali v drugo smer ali pa bili pri miru. To je lahko še posebej nevarno pri delu z rotirajočimi delovnimi stroji, kjer je stroboskopski efekt lahko vzrok tudi za težje poškodbe delavcev.

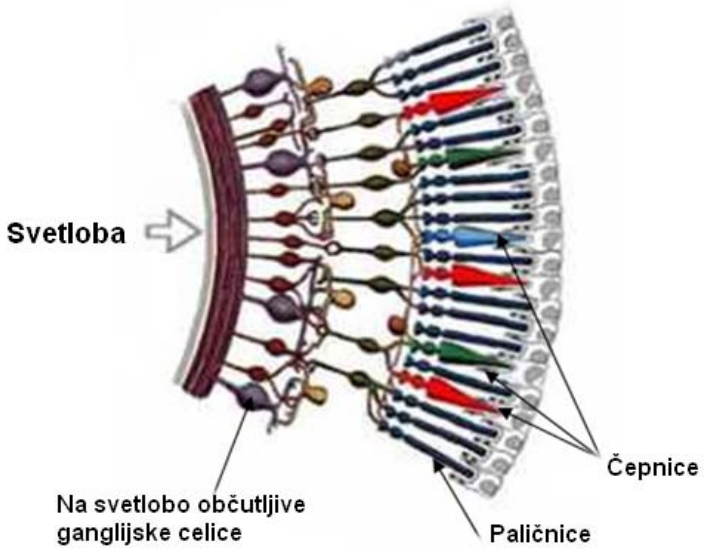
2.4 VPLIV SVETLOBE NA LJUDI

Svetloba ima glavni vpliv na naše življenje in delovanje seveda preko vida. Vendar pa vid ni edina naša lastnost, na katero vpliva svetloba. Svetloba ima določen vpliv tudi na naše zdravje pa tudi na našo psiho, počutje, razpoloženje in čustva. Vsak je že opazil, da se v svetlem prostoru, kjer so vse podrobnosti dobro vidne, precej dobro počuti. Ravno obratno je v temnem prostoru, kjer zaradi preslabe razsvetljave ne moremo razločiti, kaj se nahaja na primer v temnih kotih. V tem primeru se počutimo vsaj malo napeto in v pričakovanju česa slabega. Ne smemo pa pozabiti tudi vpliva svetlobe, točneje sončne oziroma dnevne svetlobe, na naš dnevni ritem in delovanje.

2.4.1 TRETJI FOTORECEPTOR

Še ne tako daleč v preteklosti smo mislili, da je človeško oko in vidni sistem najbolj raziskani del človeškega živčnega sistema. Po 150 letih intenzivnih raziskav smo točno vedeli, kako deluje naš vid: fotoni vzbudijo čepnice in paličnice in njihovi signali se sestavijo v grobo sliko na notranji mrežnici, ki ji sledi fina obdelava v možganskem centru za vid.

Danes vemo, da paličnice in čepnice niso edine biološke strukture v človeškem očesu, ki so občutljive na svetlobo. Poleg teh dveh struktur se na svetlobo odzivajo tudi določene ganglijske celice, ki se nahajajo v drugi plasti mrežnice kot doslej znani fotoreceptorji. Glavne značilnosti tretjega fotoreceptorja so znane od leta 2011. Znanstveniki so do njegovega odkritja prišli s poskusi na miših, ki so jih s spreminjanjem genskega materiala uspeli vzgojiti tako, da so bile brez aktivnih paličnic in čepnic. Kasneje so jih uspeli dokazati tudi pri podganah in drugih primatih.



Slika 2.26: Poleg čepnic in paličnic imamo v očesu še trejo vrsto celic, ki so občutljive na svetlobo t.i. svetlobno občutljive ganglijske celice (intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells - ipRGC)

Danes vemo, da imamo v mrežnici populacijo ganglijskih celic, ki uporabljajo melanopsin za merjenje svetlosti okolice. Te ganglijske celice nimajo povezave z možganskim centrom za vid, pač pa posredujejo signale v Hipotalamus, predel možganov nad križiščem vidnih živcev in hipofizo. Hipotalamus vsebuje centre za lakoto, žejo, bioritmiko, obnašanje, uravnavanje telesne temperature in delovanje avtonomnega živčevja ter predstavlja povezavo med živčnim in hormonalnim sistemom. Uravnava torej funkcije, do katerih ne moremo dostopati zavestno. Preko te povezave tretji fotoreceptor skrbi predvsem za sinhronizacijo naše notranje ure pa tudi za druge fiziološke odzive na svetlobo kot je na primer oženje in širjenje očesne zenice.

Dosedanji poskusi kažejo, da je ta tretji fotoreceptor najbolj občutljiv na modro svetlobo. Smatra se, da je to posledica dejstva, da je zjutraj (neposredno pred vzhodom sonca) in zvečer (takoj po zahodu sonca) v naravni svetlobi največ valovnih dolžin z modrega področja. Ta dva časovna intervala v dnevu sta namreč tista, ki ju naše telo uporablja za sinhronizacijo notranje ure s sončnim ritmom.

2.4.2 NE-SLIKOVNI VPLIVI SVETLOBE NA LJUDI

Če smo v drugem poglavju obdelali vpliv svetlobe na ljudi preko vida, ki ga lahko imenujemo vidni vpliv, se bomo v tem poglavju posvetili t.i. nevidnim ali neslikovnim vplivom svetlobe. Informacije o svetlosti naše okolice, ki jih tretji fotoreceptor posreduje v možgane nimajo vpliva na vidno zaznavanje naše okolice, vplivajo pa na delovanje naše telesa.

Na podlagi obdelave informacij vidnih in nevidnih vplivov svetlobe, ki se zgodi v naših možganih, pa naše telo tudi čustveno reagira na svetlobo v naši okolici. Torej lahko vidnim in nevidnim vplivom svetlobe dodamo še čustvene vplive. O teh bo tekla beseda nekoliko kasneje.

Če nekaj časa opazujemo različne odzive našega telesa na svetlobne razmere v naši okolici, bomo ugotovili, da lahko nevidne vplive svetlobe na naše telo razdelimo na:

- cirkadialne, torej tiste, ki vplivajo na našo notranjo dnevno uro ter na
- direktne, katerih vpliv opazimo takoj ob izpostavljenosti drugačnim svetlobnim razmeram.

Opisu enih in drugih se bomo posvetili v nadaljevanju.

2.4.3 CIRKADIALNI VPLIV SVETLOBE

Cirkadialni vpliv svetlobe je vpliv na naš dnevni ritem. V našem telesu teče več bioloških ur. Nekaj jih ima periodo, ki je krajša od 24 ur (ultradialni ritmi, npr. circahoral, circatidal), nekaj je tudi takih, katerih perioda je daljša od 24 ur (infradialni ritmi, npr. circalunar, circannual). Najbolj raziskani pa so ritmi, ki jih uravnava cirkadialna ura. Dolžina teh ritmov je približno 24 ur. To so ritmi, ki uravnavajo fazo spanja in budnosti, čas počitka in čas aktivnosti, telesno temperaturo, srčno aktivnost, porabo kisika in delovanje žlez z notranjim izločanjem. Zanje je značilno da:

- so samo-vzdrževalni, saj njihova perioda ostaja približno 24 ur tudi, če se nahajamo v okolju brez sprememb. Vendar pa se v takih razmerah (konstantne razmere, ki nam ne dajo nobene informacije o poteku sončnega dneva) njihova perioda počasi začne spreminjati – običajno podaljševati. Zaradi tega po določenem času naša notranja cirkadialna ura ni več v fazi s sončevo uro;
- se sinhronizirajo z določenimi dražljaji iz narave (t.i. Zeitgebers), kar nam omogoča, da se prilagodimo lokalnemu času tudi če menjamo časovne pasove. Premik (sinhronizacijo) notranje ure povzročijo isti dražljaji kot jih uporabljamo za vzdrževanje normalnega ritma;
- niso odvisni od okoliške ali notranje temperature;
- služijo za sinhronizacijo še drugih notranjih ur.

Na podlagi raziskav danes vemo, da je tretji fotoreceptor, ki igra odločilno vlogo pri sinhronizaciji cirkadialnih ritmov, najbolj občutljiv na svetlobo z valovno dolžino približno 480 nm, torej na modro svetlobo. Na podlagi tega lahko sklepamo, da ljudje uporabljamo kratek čas mraka ob sončnem vzhodu in zahodu kot tisti dražljaj iz narave, ki služi za sinhronizacijo. Ker je to čas, ko je sonce še (že) pod horizontom, je svetloba takrat nasičena z modro barvo neba.

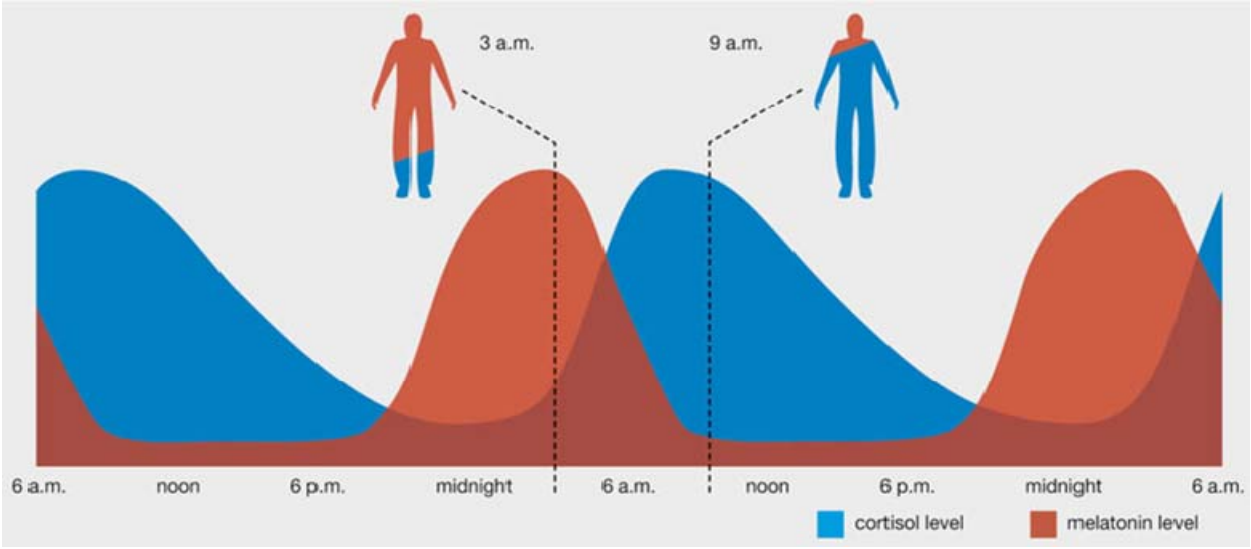
Ti isti dražljaji pa lahko človekovo notranjo uro tudi sinhronizirajo na nove lokalne razmere, na primer po letalskem poletu v drug zemeljski časovni pas. Na to temo je bilo v zadnjem času narejenih več poskusov. Pri enem od njih so testne osebe po sedemdnevnem rednem spancu med 23:00 in 7:00 uro ponoči osmi dan pustili budne do 1:00 ure in jih potem za 2 uri izpostavili močni (4000 lx) hladno beli oz. modrikasti (17.000 K) svetlobi, ter jih nato pustili spati od 3:00 do 11:00 ure. Preiskava sline na vsebnost melatonina (spalnega hormona) je pokazala, da se je testnim osebkom notranja cirkadialna ura zaradi

opisanega postopka zamaknila za približno 1,5 ure, torej se jim je en dan podaljšal za ta čas. Podobno je možno notranjo uro premakniti tudi v drugo smer, torej skrajšati en dan.

2.4.4 DIREKTNI VPLIV SVETLOBE

Direktni vpliv svetlobe na naše telo se ne pozna samo v ohranjanju ali spremembi našega dnevnega (cirkadialnega) ritma, temveč v takojšnem vplivu na delovanje našega telesa. Zelo značilen je recimo vpliv na raven melatonina – spalnega hormona in na raven kortizola – stresnega hormona.

Ob stalnem dnevne ritmu začne raven melatonina pri človeku naraščati okoli 22:00 ure zvečer in narašča do približno 4:00 ali 5:00 ure ponoči, ko začne spet upadati. Začetno – dnevno – raven doseže okoli 10:00 ure zjutraj. V času, ko je raven melatonina visoka, dobro spimo in naš organizem počiva in se obnavlja. Če pa smo na primer v času od 5:00 do 8:00 ure izpostavljeni močni modrikasti (visoka barvna temperatura) svetlobi, je raven melatonina ob 8:00 že tako nizka, kot je običajno šele ob 10:00.



Slika 2.27: Običajen dnevni potek ravni melatonina in kortizola v krvi.

Potek koncentracije kortizola je ravno nasproten. Raven kortizola običajno začne naraščati okoli 2:00 ure zjutraj in doseže vrh okoli 7:00 ali 8:00 ure zjutraj, kjer potem vztraja do približno 13:00 ure, ko pade na približno 2/3 maksimalne vrednosti in ostane na tej vrednosti do 18:00 ure zvečer. Po tej uri začne ponovno padati do približno 1:00 ure ponoči, ko doseže najnižjo raven. Če pa smo, tako kot prej, v času med 5:00 in 8:00 uro izpostavljeni močni modrikasti svetlobi, se raven kortizola že zelo kmalu po začetku obsevanja (5:00) zelo hitro dvigne na raven, ki jo običajno doseže šele okoli 8:00 ure zjutraj.

Če smo torej zjutraj, takoj ko vstanemo, izpostavljeni močni hladno-beli svetlobi bo raven melatonina v našem telesu upadla hitreje kot običajno, hkrati pa se bo dvignila raven kortizola. Naše telo bo tako prej pripravljeno za dnevne obremenitve kot brez te pomoči svetlobe. Po drugi strani pa se bo naše telo lažje sprostilo, če se bomo zadrževali v manj osvetljenem prostoru, kjer je svetloba toplo-bele barve.

Direktni vplivi svetlobe so torej različni in imajo lahko pozitivne ali negativne učinke:

- če spimo v osvetljenem prostoru, se raven melatonina zmanjša in zaradi tega slabše spimo;
- izpostavljenost močni svetlobi podnevi zmanjša zaspanost in utrujenost;
- izpostavljenost močni hladno-beli svetlobi zjutraj zelo hitro poveča raven kortizola in tako tudi izboljša odzivnost našega telesa;
- začasno povečanje svetlosti in/ali sprememba barve svetlobe iz toplo-bele v hladno-belo poveča budnost ljudi v prostoru;
- toplo bela svetloba pri nižjih svetlostih sprošča;
- dnevno (hladno) bela svetloba pri višjih svetlostih stimulira za delo …

2.4.5 SVETLOBNA TERAPIJA

Zaradi svojega vpliva na delovanje žlez z notranjim izločanjem in na naše celotno delovanje se svetloba uporablja tudi v zdravstvene namene.

Svetlobno terapijo lahko uporabimo tudi pri odpravljanju časovnega zaostanka (jet-leg) po potovanjih. Prav tako pa tudi za usklajevanje dnevnega ritma pri izmenskem delu. Z pravilnim obnašanjem – izpostavljanjem svetlobi ali skrivanjem pred njo, lahko bistveno laže prilagajamo naš bioritem spremembam, ki jih od nas zahteva delo v različnih izmenah.

Slika 2.28: Primer svetilke za izvajanje svetlobne terapije.

S svetlobno terapijo pa je mogoče zdraviti tudi večje težave. Zelo uspešna je na primer pri premagovanju zimske depresivnosti (SAD – Seasonal affective disorder), ki je značilna za prebivalce večjih zemljepisnih širin (na severu in jugu), čeprav je pogosta tudi drugje. V Združenih državah se odstotek prizadetih giblje med 1.4 % na Floridi do 9,7 % v New Hempshire-u. Načinov zdravljenja je več, zelo uspešna pa je tudi svetlobna terapija. Zanjo potrebujemo svetilko, ki jo postavimo na mizo predse. Uporablja se različne svetlobne vire, v literaturi pa najdemo tudi različne podatke o barvi svetlobe. Priporoča se bela svetloba in osvetljenost pred očmi 10.000 lx ali modra svetloba z valovno dolžino 480 nm in

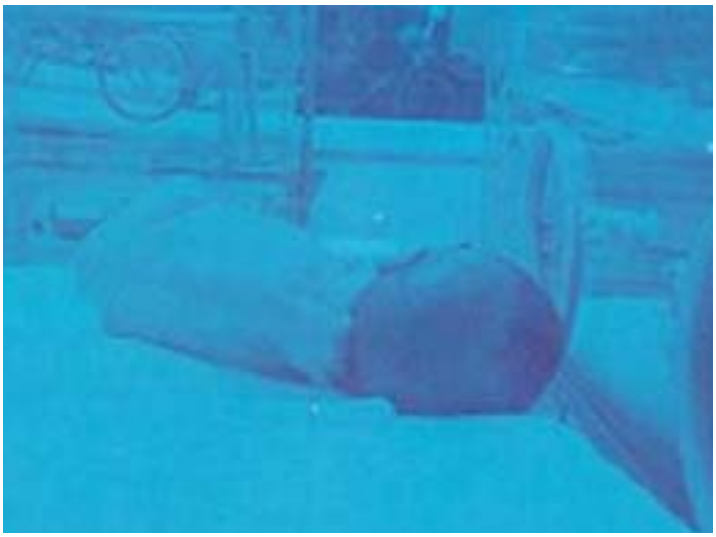
osvetljenost 2.500 lx, je pa pri uporabnikih izvedba z belo svetlobo bolj sprejemljiva. Terapija poteka tako, da se pacient usede pred svetilko na oddaljenosti okoli 50 cm in se obseva pol do ene ure. Pri tem ima odprte oči, vendar ne gleda v svetilko. Lahko pa pri tem recimo bere. Poleg časa obsevanja na učinkovitost vpliva tudi čas dneva, ki ga porabimo v ta namen oziroma urnik, vendar je ta od pacienta do pacienta različen. Čeprav je terapija učinkovita, pa pri uporabnikih ni preveč priljubljena in kar nekaj jo zaradi nerodnosti preneha uporabljati.

Slika 2.29: Svetilka z IR svetlobo za zdravljenje vnetja zobnega živca.

Na delovanje človeškega telesa vplivata tudi infra rdeča (IR) in ultravijolična (UV) svetloba. Predvsem prvo prav tako uporabljamo v terapevtske namene. Infra rdeče svetlobe sicer z našim očesom ne vidimo, jo pa zaznamo s kožo in sicer kot toploto. Ker ima daljše valovne dolžine tudi prodre globlje v telo. Uporabljamo jo predvsem pri zdravljenju vnetij (npr. v zobu) ter za lajšanje bolečin (npr. v mišicah).

Ultravijolična svetloba ima prav tako nekaj pozitivnih učinkov. Med drugim povzroča porjavitev kože, tvorjenje vitamina D in izboljša izmenjavo snovi v mišicah. V terapevtske namene jo uporabljamo predvsem pri zdravljenju kožnih bolezni kot so akne in luskavica. Vendar pa ima ultravijolična svetloba tudi mnogo stranskih učinkov. Povzroča opekline pa tudi napredujoče poškodbe na koži in kožni rak, ker lahko poškoduje genski material in kolagen. Poleg tega lahko poveča nastajanje prostih radikalov. Ultravijolična svetloba povzroča tudi vnetje očesne veznice (konjuktivitis), saj je ta približno 10-krat bolj občutljiva na UV svetlobo kot koža. Zato se v poletnem času zelo priporoča uporaba sončnih očal, ki ne prepuščajo UV svetlobe z valovnimi dolžinami pod 315 nm (področji UV B in UV C).

Svetlobna terapija je v uporabi tudi pri zdravljenju zlatenice pri novorojenčkih (ikterus), ki lahko povzroči poškodbe možganov in vodi v cerebralno paralizo. Kot terapija se uporablja modra svetloba z valovnimi dolžinami med 420 nm in 470 nm, ki bilirubin pretvori v izomer, ki ga telo potem izloči preko urina in blata. Med obsevanjem je novorojenčkom potrebno zaščititi oči (z mehko neprosojno prevezo) saj modra svetloba lahko povzroči poškodbe mrežnice v očesu.



Slika 2.30: Modra svetloba pomaga pri zdravljenju zlatenice pri novorojenčkih.

V novejšem času znanstveniki opažajo pozitivne učinke svetlobe tudi pri bolnikih s Parkinsonovo in Alzheimerjevo boleznijo. Obsevanje z močno belo svetlobo pri Parkinsonovi bolezni zmanjša simptome tresavice in depresije ter tako izboljša počutje bolnikov. Pri Alzheimerjevi bolezni pa lahko s podobno terapijo (bela svetloba, velika osvetljenost) nekoliko izboljšamo motnje cirkadialnega ritma.

2.5 SVETLOBA IN PSIHA

Svetloba vpliva na naše zaznavanje okolice. Vendar pa niso samo oči udeležene pri vidu, zelo pomembno vlogo igrajo tudi možgani. Ti na podlagi preteklih izkušenj in spomina dostikrat obdelajo ali celo spremenijo informacijo, ki jim jo posredujejo oči. Zato včasih ne vidimo očitnih stvari, včasih pa vidimo tisto, česar sploh ni.

2.5.1 ZAZNAVANJE OKOLICE

Zaznavanje (percepcija) je proces razumevanja informacij, ki jih možganom posredujejo različna čutila. Pri tem vid posreduje preko 80 % informacij, zato se nanj tudi najbolj zanašamo. Možgani prejete informacije obdelajo, pri tem pa upoštevajo tudi pretekle izkušnje in shranjene spomine. Na zaznavanje okolice tako ne vpliva samo naš vidni sistem pač pa tudi interpretacija videnega, ki je pogojena tudi z drugimi stvarmi, tudi recimo z našo kulturo, okolico v kateri smo odrasli, izobrazbo in podobnim. Ko torej opazujemo predmet v naši okolici, ga možgani primerjajo s tistim kar vidijo poleg njega pa tudi s tistim, kar se nahaja v našem spominu. Na podlagi t.i. optičnih oprijemališč se potem odločijo, kaj pravzaprav vidimo. Tako recimo brez težav ločimo sonce od žoge s katero se igra sosedov

otrok, čeprav oboje vidimo kot rumeno oblo enake dimenzije. Vendar pa se lahko tudi možgani zmotijo. Če se omenjena optična oprijemališča med seboj ne skladajo ali če jih za določen predmet sploh nimamo, se na naše zaznavanje okolice ne moremo več zanesti.

Slika 2.31: Možgani velikost predmetov dostikrat ocenijo na podlagi primerjave z drugimi znanimi predmeti v okolici. Vendar so pri tem lahko včasih tudi nezanesljivi ali prevarani.

Najbolj pogosti optični oprijemališči, ki ju možgani uporabljajo, sta relativna velikost (v primerjavi s sosednjimi predmeti) in oddaljenost predmeta (ki jo ponavadi ocenimo na podlagi globinskega vida). Če poznamo pravo velikost predmeta lahko na podlagi videne slike ocenimo kako daleč od nas se nahaja. Prav tako na podlagi znane oddaljenosti predmeta lahko ocenimo njegovo velikost. In ko ga primerjamo s sosednjimi predmeti, lahko ocenimo tudi njihovo velikost, čeprav jih nismo še nikoli videli in jih ne poznamo od blizu.

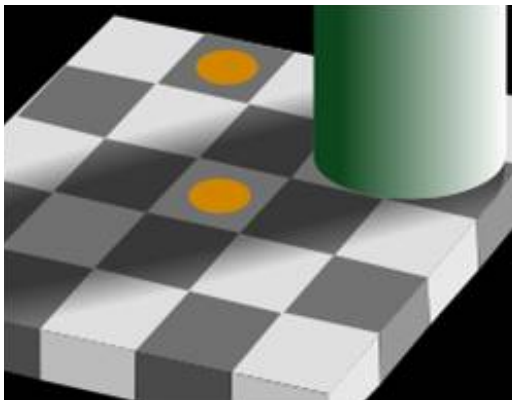
2.5.2 STALNOST ZAZNAVANJA

Naš vidni sistem ima zanimivo lastnost in sicer nam znane predmete vedno prikaže s stalnimi lastnostmi (npr. velikost, barva, oblika…). Tako bomo že od daleč prepoznali temno piko na parkirišču kot naš avto in ne bomo presenečeni, ko se bo njegova velikost v našem vidnem polju povečala med približevanjem, barva pa postala rdeča. Tudi nas pri tem ne bo motilo s katerega konca se bomo približali parkirišču, čeprav je avto iz drugačnega kota videti drugače. Naš avto pač poznamo in ne glede na to, iz katerega konca ali katere razdalje in pri kakšnih svetlobnih pogojih ga vidimo, vedno ga prepoznamo in možgani nam ga prikažejo takega, kot ga imamo v spominu. To lastnost imenujemo stalnost zaznavanja. Običajno je povezana z zaznavanjem velikosti, oblike in barve in svetlosti. Včasih vključuje tudi oddaljenost in položaj. Seveda si pri tem možgani pomagajo z določenimi pomagali. Pri ocenjevanju velikosti je zelo pomembna oddaljenost do predmeta. Če jo možgani ne morejo določiti s pomočjo globinskega vida, ki pomagajo z drugimi opornimi točkami. Ko enkrat določijo razdaljo in preverijo velikost opazovanega predmeta ter ugotovijo da ocenjena velikost ustreza zapisu v spominu, nam predmet predstavijo kot poznan in od tega trenutka

dalje ga vidimo vedno v velikosti, kot je zapisana v našem spominu. Podobno je tudi z drugimi lastnostmi: obliko, barvo in svetlostjo.

Stalnost zaznavanja je lastnost našega vidnega sistema, ki nam pomaga preživeti. Če vzamemo za primer samo na primer barvo predmeta. Nekajkrat smo že omenili, da je barva predmeta odvisna tudi od svetlobe oziroma barve svetlobe (spektralne sestave svetlobe) s katero je osvetljen. Če se torej barva svetlobe spremeni, se spremeni tudi barva predmeta. V naravi se barva svetlobe stalno spreminja, torej tudi barva opazovanih predmetov. Če torej ne bi imeli stalnosti zaznavanja barve, bi imeli precej težav pri prepoznavanju predmetov po barvi. Naš rdeči avto na parkirišču ponoči pod umetno svetlobo visokotlačne natrijeve sijalke ni videti rdeč ampak oranžen. Brez stalnosti zaznavanja ne bi bili prepričani, če gre sploh za naš avto ali pa, če bi pozabili kje smo ga točno parkirali, ga mogoče sploh ne bi našli. Ker pa naši možgani spremembo barve svetlobe upoštevajo oziroma uspešno kompenzirajo, bomo avto našli brez težav.

Slika 2.32: Stalnost zaznavanja nam pomaga pri ugotovitvi, da je skodelica na sliki samo ene barve, čeprav je del, ki je na soncu, videti precej svetlejši od dela, ki je v senci.



Slika 2.33: Obe polji šahovnice z oranžno piko na sliki sta popolnoma enake barve, čeprav nas naši možgani skušajo prepričati, da je ena svetla druga pa temna.

Ker pa se možgani pri stalnosti zaznavanja ravnajo po spominu, ki vključuje samo "običajne" situacije, imamo lahko v določenih "neobičajnih" situacijah težave. Primer: na belo tablo pripnemo siv list papirja. ker je list papirja videti temnejši od barve, nam bodo možgani prikazali pravilno sliko sivega papirja na beli tabli. Če pa ta list papirja (samo list

in ne tudi njegove okolice) dodatno osvetlimo, bomo videli svetel list papirja na temnejši (neosvetljeni) tabli. V tem primeru nam bodo možgani posredovali napačno sliko in sicer bel list papirja na sivi tabli. Stalnost zaznavanja deluje torej samo v okviru "normalnih" situacij. To pa omogoča tudi t.i. optične ukane, kjer prikazane situacije niso "normalne" in jih zaradi tega naši možgani napačno interpretirajo.

2.5.3 SVETLOBA VPLIVA TUDI NA NAŠE POČUTJE

Dobra osvetlitev (velika osvetljenost, ustrezno razmerje svetlosti, dober indeks barvnega videza …) poveča našo pozornost in aktivnost kar seveda prispeva k izboljšanju našega počutja hkrati pa tudi k izboljšanju naših delovnih sposobnosti. Po drugi strani pa slaba osvetlitev (temen prostor, nezmožnost razpoznavanja barv …) na naše počutje vpliva negativno. V takih razmerah se počutimo neugodno, malo nas je strah, vsaj podzavestno, in tudi naša pripravljenost za delo pade.

Če bi nam v hotelu v tujem kraju ponudili dve sobi: eno temno in drugo svetlo, bi večina ljudi izbrala svetlo. Svetel prostor lahko v nekaj trenutkih pregledamo in shranimo v naš spomin. V njem se zato skoraj takoj odlično znajdemo in se torej počutimo varne. Zaradi tega se lažje sprostimo in se posvetimo drugim stvarem.

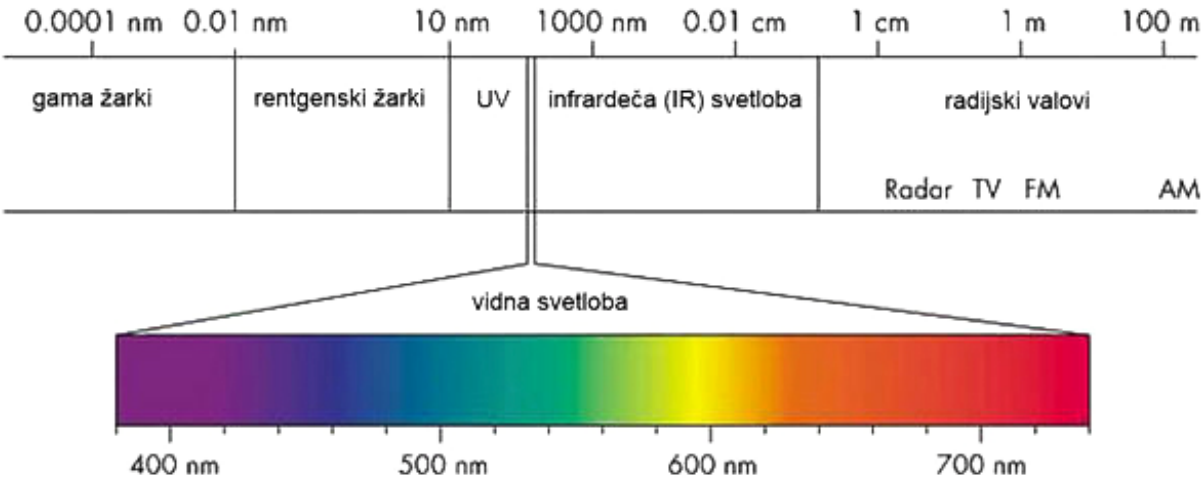
Nasprotno pa temen prostor predstavlja za naše delovanje določeno težavo. Če ne moremo v kratkem preletu z očmi pregledati celotnega prostora, se bomo v njem slabo počutili. Iz "podedovanih izkušenj" vemo, da se v temnih kotih lahko skrivajo določene nevarnosti. Sicer je malo verjetno, da bo nad nas prišel jamski medved, kot se je to lahko zgodilo našim daljnim prednikov, ampak občutek nelagodja je še vedno tu. V takem prostoru bodo naši čuti ostali na preži in ne bomo se mogli sprostiti. To pa bo seveda vplivalo tudi na naše delo, ki ga ne bomo mogli opravljati zbrano in brez napak.

Razsvetljava prostorov torej ni namenjena samo temu, da predmete našega dela naredi ustrezno vidne, ampak vpliva tudi na naše dojemanje prostora s tem pa tudi na naše počutje v prostoru. Prav tako ima določen vpliv na naše zdravje in delovanje našega telesa. Ko torej projektiramo razsvetljavo, je treba upoštevati več kot samo vidne zahteve, ki jih pred uporabnike postavlja delovno mesto v prostoru. Razsvetljava mora prostor narediti tudi prijeten in nam omogočiti zdravo bivanje.

3 FIZIKALNE OSNOVE SVETLOBE

Za potrebe razsvetljave lahko svetlobo obravnavamo kot elektromagnetno valovanje (EV). Elektromagnetno valovanje je valovaje električnega in magnetnega polja v prostoru, ki se širi s svetlobno hitrostjo. Opišemo ga lahko s pomočjo frekvence ali valovne dolžine, katerih produkt je enak hitrosti širjenja valovanja. Običajno EV razdelimo v več področij, ki se razlikujejo po valovnih dolžinah: na primer dolgi radijski valovi, katerih valovne dolžine segajo navzdol do 1000 m, kratki in ultra kratki valovi do 10 cm, mikrovalovi do 1 mm, svetloba oziroma svetlobno sevanje do 100 nm, rentgenski žarki do 10 pm in potem še gama žarki. Področje svetlobe lahko razdelimo naprej na tri področja in sicer infra-rdeča (IR) svetloba (sevanje) z valovnimi dolžinami med 1 mm in 780 nm, vidna svetloba med 780 nm in 380 nm in ultra-vijolična (UV) svetloba (sevanje) med 380 nm in 100 nm. Od naštetih treh področij ljudje z očmi zaznavamo samo vidno svetlobo. Infra-rdečo svetlobo čutimo na koži kot toploto, ultra-vijolično pa zaznamo samo preko posledic (npr. sončne opekline na koži).

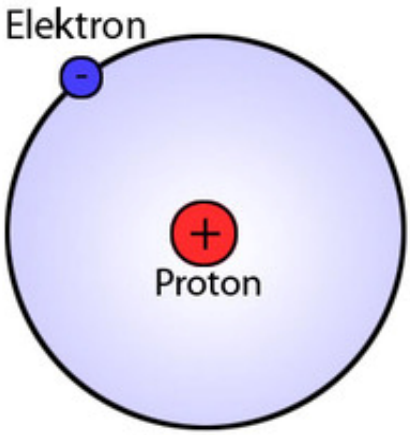
Zgornja in spodnja meja področja svetlobe sta fiksno definirani, meji med infra-rdečo oziroma ultra-vijolično ter vidno svetlobo pa ne, saj sta pri vsakem posamezniku malo drugačni. Za potrebe fotometrije (meritev) pa sta določeni kot 380 nm in 780 nm.



Slika 3.1: Prikaz področij elektromagnetnega sevanja.

Večino pojavov, ki jih izkoriščamo v svetlobni tehniki, lahko razložimo z valovno teorijo svetlobe. Pri nekaterih pojavih, kot je na primer absorpcija svetlobe v materialih, pa ta teorija odpove. V teh primerih moramo uporabiti kvantno teorijo svetlobe, ki svetlobo razlaga kot tok svetlobnih delcev ali fotonov. Foton si lahko razlagamo kot delec energije brez mase, pri čemer je njegova energija sorazmerna njegovi frekvenci. Kvantna teorija temelji na Bohrovem modelu atoma, ki atom opisuje kot jedro iz nevtronov in protonov (ti imajo pozitiven električni naboj), okoli katerega krožijo elektroni z negativnim električnim nabojem. Oddaljenost elektrona od jedra definira njegovo energijo. Ker elektroni lahko krožijo zgolj na eni od vsakemu atomu lastnih orbit ali lupin, ne morejo biti na poljubni

razdalji od jedra, temveč zgolj na določenih. Orbita ali lupina tako določa energijo elektrona. Če se elektron preseli iz ene orbitale na drugo, energije ne pridobiva ali izgublja na zvezen način, temveč v skokih - kvantih (od koder tudi izvira ime 'kvantna' teorija). Te nivoje različnih možnih energij nekega elektrona v atomu imenujemo energijske nivoje. Bolj kot je elektron oddaljen od jedra, višjo energijo ima. Ker vsi naravni sistemi stremijo k čim manjši energiji, se elektroni razporedijo tako, da so vse notranje orbite zapolnjene. Če elektron dobi zadostno dodatno energijo iz okolice, na primer zaradi interakcije z drugim elektronom ali zaradi vpadlega fotona, se preseli na višji nivo (orbito). Tako stanje je običajno nestabilno in ko se elektron vrne nazaj na prejšnji nivo pri tem odda ustrezno količino energije v obliki fotona. Energija oddanega fotona je torej enaka razliki med višjim energijskim nivojem in nivojem na katerega je skočil elektron.



Slika 3.2: Poenostavljen prikaz modela vodika. Vodik ima v jedru samo en proton, ki ga obkroža en elektron. Potrebno je dodati, da elektroni okoli jedra ne krožijo po tirnici, temveč se na kompleksen način gibljejo po nekakšni lupini napeti okoli atomskega jedra.

Kvantna teorija omogoči povezavo med energijo (na primer v obliki elektromagnetnega sevanja) in maso. S tem lahko razložimo pojave kot so absorpcija svetlobe v materialu, fosforescenca in fluorescenca materialov ter fotoelektrični učinek.

3.1 NASTANEK SVETLOBE

Svetloba v splošnem lahko nastane na dva načina: s pomočjo žarenja in s pomočjo luminiscence. O žarenju govorimo takrat, kadar je material, ki oddaja svetlobo, segret na zelo visoko temperaturo. Pri luminiscenci pa material ne oddaja svetlobe zaradi svoje visoke temperature pač pa zaradi na primer kemične reakcije, električnega toka, ki teče skozenj, sub-atomskih gibanj ali pritiska na kristalno strukturo. V primeru luminiscence torej lahko govorimo o sevanju hladnega telesa. Za razliko od žarenja, kjer svetlobo oddajajo vsi atomi, pa pri luminiscenci pri oddajanju svetlobe sodelujejo le nekateri atomi, ki jih imenujemo tudi emisijski ali luminiscenčni centri. Poznamo več vrst luminiscence:

- kemoluminiscenco, ki je posledica kemičnih reakcij v snovi in kamor lahko prištevamo tudi bioluminiscenco (oddajanje svetlobe pri živih organizmih na primer pri kresničkah);

- fotoluminiscenca, ki je posledica obsevanja snovi z UV svetlobo ali z rentgenskimi oziroma gama žarki. Poznamo dve vrsti fotoluminiscence in sicer fluorescenco, pri kateri snov običajno oddaja svetlobo daljše valovne dolžine od tiste s katero je obsevana in fosforescenco, ki se od luminiscence loči po tem, da snov energijo absorbira in seva svetlobo tudi še po koncu obsevanja;

- elektroluminiscenco, pri kateri snov sveti, ko prevaja električni tok;

- mehanoluminiscenco, kjer je svetloba posledica mehanskega delovanja na trdno snov. Ločimo piezoluminiscenco, kjer je svetloba posledica elastične deformacije snovi, fraktoluminiscenco, kjer svetloba nastaja hkrati z nastajanjem mikroskopskih razpok v materialu, triboluminiscenco kjer je vzrok svetlobe trenje oziroma drgnjenje materiala in sonoluminiscenco pri kateri pride do nastanka svetlobe ob poku mehurčkov v tekočini, ki jih dosežemo s pomočjo vzbujanja tekočine z zvokom;

- radioluminiscenca, pri kateri snov oddaja svetlobo zaradi obsevanja z ionizirajočim sevanjem in

- termoluminiscenca pri kateri se prej absorbirana svetloba (na primer zaradi obsevanja z UV svetlobo ali ionizirajočim sevanje) sprosti šele pri segrevanju materiala.

Od naštetih načinov tvorjenja svetlobe jih nekaj uporabljamo v t.i. umetnih svetlobnih virih in te si bomo v nadaljevanju ogledali malo bolj podrobno.

3.1.1 ŽARENJE

Vsak predmet, ki je segret na določeno temperaturo, seva v okolico energijo v skladu s Stefan – Boltzmannovim zakonom. Ko je temperatura predmeta dovolj visoka, da se del izsevane elektromagnetne energije nahaja v področju vidnega dela svetlobe, tak predmet lahko vidimo tudi v temi. Večina kovin začne žareti v temno rdeči svetlobi pri okoli 1000 K, pri 3000 K je oddana svetloba rumeno bela, potem pa pri segrevanju nad 6000 K začne prehajati v modrikasto belo in nato v modro.

Slika 3.3: Oglje oddaja svetlobo, ko je segreto na ustrezno temperaturo. Podobno velja tudi za ostale materiale.

Žarenje je kot svetlobni vir uporabljeno pri vseh svetlobnih virih s plamenom, kot so na primer sveča, bakla ali petrolejka. V vseh teh primerih so vroči plini ali plazma tisti, ki sevajo energijo v vidnem delu svetlobe. Med električnimi svetlobnimi viri pa je žarenje kot vir svetlobe uporabljeno pri različnih vrstah žarnic. V tem primeru svetlobo oddaja žarilna nitka, ki je iz prevodnega materiala (kovina, oglje) in jo s pomočjo električnega toka segrejemo do ustrezne temperature.

Žareči predmeti, tudi če oddajajo del energije v vidnem delu spektra, še vedno večino energije oddajo v obliki toplote. Zato ima žarenje kot vir svetlobe razmeroma slab svetlobni izkoristek. Pri navadni žarnici se v svetlobo pretvori samo med 5 % in 15 % vse oddane energije, ostalo je toplota. To pa je tudi razlog, zakaj danes v času splošnega varčevanja s primarno energijo, kot svetlobni vir vse manj uporabljamo žarnice.

3.1.2 RAZELEKTRITEV V PLINU

V vsakem plinu se poleg atomov tega plina nahajajo tudi atomi brez enega ali več elektronov, ki jih imenujemo ioni ter prosti elektroni. Ker imajo ioni manj elektronov kot protonov imajo pozitiven električni naboj. Če v plin vstavimo dve elektrodi, ki v plinu ustvarita električno napetost, bodo ioni zaradi električne sile začeli potovati proti negativni elektrodi, prosti elektroni pa proti pozitivni elektrodi. V plinu torej začne teči električni tok. Pri tem potovanju skozi plin, se prosti elektroni zaletavajo v atome plina. Z njimi trkajo na tri načine in sicer:

- elastičen odboj pomeni, da se elektron odbije od atoma in potuje naprej;
- vzbujanje pomeni, da trk elektrona z atomom povzroči, da se eden od elektronov v atomu plina vzbudi na višji energijski nivo. To pomeni, da se bo lahko enkrat v prihodnosti vrnil nazaj na nižji energijski nivo, pri čemer bo oddal odvečno energijo v obliki elektromagnetnega valovanja
- ionizacija pa pomeni, da prosti elektron iz orbite atoma plina izbije elektron. Tako nastane dodaten ion in dodaten prost elektron. Ion potuje proti negativni elektrodi, proti pozitivni pa dva elektrona.

Zaradi ionizacijskih trkov je v plinu vedno več ionov in prostih elektronov, tako da so trki vedno pogostejši. Hkrati se zaradi spontanih prehodov vzbujenih elektronov nazaj na nižje nivoje, povečuje jakost sevanja EM valovanja. V kolikor je del tega sevanja v področju vidne svetlobe, plin pri tem sveti. Kot smo omenili v prejšnjih poglavjih je valovna dolžina EM sevanja in s tem barva svetlobe, ki jo oddaja tako vzbujen plin, odvisna od razlike med energijskimi nivoji orbit atomov plina. Zato ima vsak plin svoj značilen spekter izsevanega EM valovanja oziroma svetlobe.

Elektroluminiscenca kot posledica razelektritve v plinu se uporablja pri večini sodobnih svetlobnih virov, ki jih z eno besedo imenujemo sijalke. Primer so natrijeve sijalke (tako nizkotlačne kot visokotlačne) in kovinsko halogenidne sijalke. Fluorescenčna (nizkotlačna živosrebrova sijalka) in visokotlačna živosrebrova sijalka pa poleg principa razelektritve v plinu uporabljata tudi princip fluorescence.

3.1.3 FLUORESCENCA

Fluorescenca je pojav, pri katerem snov z obsevanjem z EM valovanjem (predvsem z UV svetlobo) pripravimo do tega, da oddaja svetlobo v vidnem delu spektra. Običajno se pri obsevanju snovi del energije pri prehodu elektrona iz višjega na nižji nivo izgubi v obliki vibracij atoma. Zaradi tega je energija izsevanega fotona manjša od razlike med nivojema. Posledično pa je valovna dolžina fotona oziroma izsevane svetlobe daljša. Tako lahko fluorescenčni material z obsevanjem z UV svetlobo pripravimo do tega, da oddaja vidno svetlobo. Ta princip se pogosto uporablja v svetlobni tehniki, na primer pri fluorescentnih in živosrebrnih sijalkah. Ker je večina izsevane energije pri razelektritvi v živem srebru v področju UV svetlobe, jo lahko s pomočjo fluorescence »premaknemo« v vidno del spektra. Zato imajo nizko in visokotlačne živosrebrove sijalke na notranji strani premaz iz fluorescentne snovi. Ta pretvarja EM sevanje iz ultravijoličnega dela spektra, ki ga človeško oko ni sposobno zaznati, v vidno svetlobo.

Možno je tudi, da pri zelo intenzivnem obsevanju en elektron vpije dva fotona. Ob vrnitvi elektrona na prvotno orbito bo zato izsevan foton imel večjo energijo, kot jo imajo fotoni svetlobe, s katero obsevamo snov. Izsevana svetloba bo tako imela krajšo valovno dolžino. Možno pa je tudi, da sta energiji in valovni dolžini prejetega in oddanega fotona enaki. V tem primeru lahko govorimo o resonančni fluorescenci.

Fluorescenčne snovi dostikrat poimenujemo z eno besedo: fosforji. Gre za anorganske materiale, pri katerih dosežemo fluorescenčne emisijske centre z dodajanjem manjše količine t.i. aktivatorjev. Kot osnovni material se uporabljajo oksidi, nitridi, sulfidi, selenidi, halogenidi ali silikati cinka, kadmija, mangana, aluminija, silicija ali različnih redkih zemelj, ki jim kot aktivatorje dodamo baker, cink ali nikelj. Sam postopek izdelave in njegova zahtevnost je odvisna predvsem od namena uporabe. Svetloba, ki jo fosforji oddajajo, je odvisna tako od osnovnega materiala kot od aktivatorja.

V razsvetljavi se fosforji uporabljajo kot glavni vir svetlobe pri visokotlačnih živosrebrovih sijalkah ter pri fluorescenčnih sijalkah. V obeh primerih z njimi pretvarjamo UV svetlobo, ki nastane ob razelektritvi v živosrebrovi pari, v vidno svetlobo. Ker oddajajo fosforji svetlobo samo ene valovne dolžine, z ustrezno kombinacijo (mešanico) dosežemo, da je izsevana svetloba bela, torej kombinacije modre, zelene in rdeče svetlobe. Danes se v fluorescenčnih sijalkah uporabljajo predvsem fosforji na osnovi redkih zemelj.

Kot zanimivost: kemijski element fosfor (P, atomsko število 15), ki je dobil ime zaradi svojih »svetilnih« lastnosti, sveti zaradi kemoluminiscence in ne fosforescence. Torej ni fosfor v zgornjem pomenu besede.

3.1.4 ELEKTROLUMINISCENCA V TRDNI SNOVI

Pri prevajanju električnega toka lahko do oddajanja svetlobe pride tudi v trdni snovi in ne samo v plinih. Običajno se energija in s tem foton sprosti ob rekombinaciji elektrona in vrzeli v kristalni strukturi materiala npr. polprevodnika. Da dosežemo rekombinacijo, je potrebno pred tem ločiti elektrone in vrzeli. Pri polprevodnikih, ki so danes najbolj pogosto

uporabljen material v namene elektroluminiscence v trdni snovi, to dosežemo z dopiranjem in tvorjenjem p-n spoja. Za tvorjenje svetlobe s pomočjo elektroluminiscence pa lahko uporabimo tudi fosforje (opisane v prejšnjem podpoglavju) pri katerih ločitev elektronov in vrzeli dosežemo z vzbujanjem z elektroni, ki jih pospešimo v električnem polju (kondenzatorja).

Slika 3.4: Organske svetleče diode (OLED) proizvajalca Philips.

Kot pri vseh luminiscencah, tudi tukaj proizvodnja svetlobe temelji na prehodu elektrona iz višjega energetskega stanja v nižjega. Razlika med elektroluminiscenco v plinu in v trdni snovi je torej v agregatnem stanju prevodnika in seveda v uporabljenih materialih. Tako kot pri plinih je tudi pri trdnih snoveh (polprevodnikih) valovna dolžina izsevanih fotonov in s tem barva svetlobe, odvisna od uporabljene snovi.

Elektroluminiscenca v trdni snovi je pojav, na katerem temelji delovanje svetleče diode (LED) in organske svetleče diode (OLED), zato je nekaj dodatnih podatkov tudi v poglavju o teh svetlobnih virih.

3.2 POJAVI PRI ŠIRJENJU SVETLOBE

Svetloba kot elektromagnetno valovanje se lahko širi skozi prazen prostor (vakuum). Seveda se svetloba lahko širi tudi skozi zrak in druge medije. Pri tem pa medij, skozi katerega se svetloba širi kot tudi predmeti na njeni poti, vplivajo na smer in nekatere značilnosti svetlobe. Pojave, ki jih pri tem lahko opazimo, bomo na kratko opisali v nadaljevanju.

3.2.1 HITROST ŠIRJENJA SVETLOBE

Svetloba skozi vakuum potuje s hitrostjo točno 299.792.458 m/s. Hitrost svetlobe v vakuumu ali tudi svetlobna hitrost je danes priznana kot splošna fizikalna konstanta, podobno kot gravitacijska konstanta G, Planckova konstanta h ali dielektričnost praznega

prostora ε_0. Običajno jo označimo z *c*. Njena vrednost je danes osnova za definicijo enote za dolžino (meter). Po posebni teoriji relativnosti je svetlobna hitrost tudi največja hitrost s katero lahko energija, materija ali informacije potujejo skozi vesolje.

V drugih medijih oziroma materialih je hitrost svetlobe manjša kot v vakuumu. V zraku se svetloba širi s hitrostjo okoli 299.700 km/s, v vodi je njena hitrost približno 225.000 km/s, v steklu 200.000 km/s, v diamantu pa na primer zgolj 125.000 km/s. Ko primerjamo med seboj dve snovi z različno hitrostjo svetlobe, govorimo o optično gostejši snovi, kjer ima svetloba manjšo hitrost in o optično redkejši snovi, kjer ima svetloba večjo hitrost.

Razlika med hitrostjo svetlobe v dveh različnih snoveh lahko na njuni meji povzroči lom svetlobe opisan v nadaljevanju. Pojav je dal ime tudi razmerju med hitrostjo svetlobe v vakuumu in hitrostjo svetlobe v opazovani snovi, ki se imenuje lomni količnik svetlobe. Definiran je s spodnjo enačbo:

$$n = \frac{c}{v}$$

Enačba 4: Definicija lomnega količnika, kjer je c hitrost svetlobe v vakuumu in v hitrost svetlobe v opazovanem mediju.

Lomni količnik je pomemben za razumevanje loma svetlobe pa tudi nekaterih drugih pojavov ob širjenju svetlobe skozi medij. Spodaj so v tabeli zbrani lomni količniki nekaterih značilnih snovi.

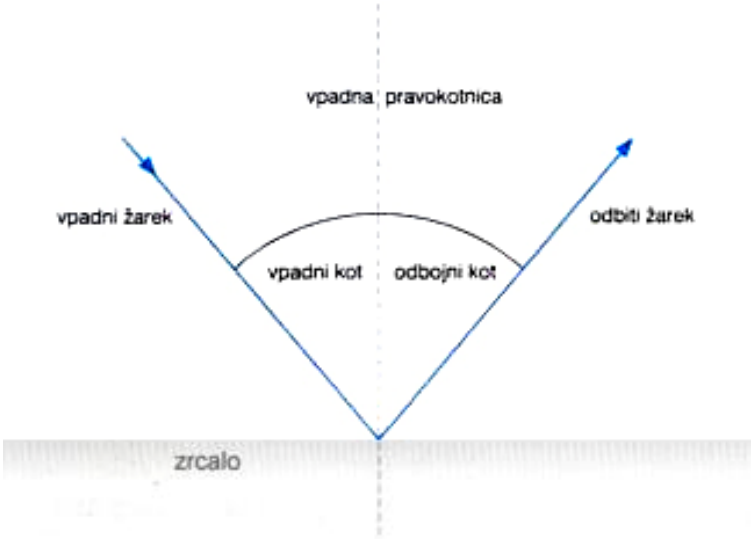
Snov	Lomni količnik
Zrak	**1,0003**
Voda	**1,33**
Glicerin	**1,47**
Olje	**1,515**
Steklo	**1,52**
Kremen	**1,66**
Cirkonijev silikat	**1,92**
Diamant	**2,42**
Svinčev sulfid	**3,91**

Tabela 3.1: Vrednosti lomnega količnika za nekatere karakteristične materiale.

3.2.2 ODBOJ SVETLOBE

Ko svetloba pri širjenju v mediju pride do meje z drugim medijem, se lahko bodisi odbije od njega ali pa preide v ta drug medij oziroma oboje hkrati. V primeru odboja se večina svetlobe od meje z drugim medijem odbije. Poznamo dve vrsti odboja in sicer zrcalni odboj in difuzni odboj.

Zrcalni odboj je odboj svetlobe od gladke, zrcalne površine. Kot med odbitim žarkom svetlobe in normalo na zrcalno površino je enak kotu med vpadnim žarkom in normalo na površino, kot je to prikazano na spodnji sliki. Pri tem vpadni žarek, normala na površino in odbiti žarek ležijo v isti ravnini, odbiti žarek pa je na drugi strani normale na zrcalno površino kot vpadni žarek.



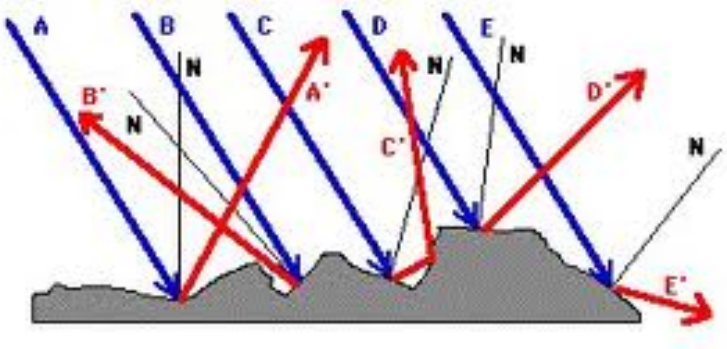
Slika 3.5: Prikaz odboja svetlobe. Svetloba se odbije vedno pod enakim kotom, kot je vpadla.

Na splošno, se pri prehodu svetlobe skozi mejo dveh medijev z različnimi lomnimi količniki del svetlobe odbije, del pa se jo lomi v drug medij. Kolikšen del svetlobe se odbije oziroma kolikšen se lomi v drug medij je odvisno od lomnih količnikov obeh snovi ter od vpadnega (odbojnega) in lomnega kota. Povezavo med količino odbite svetlobe, količino prepuščene svetlobe, lomnimi količniki in koti podajajo Fresnelove enačbe. Kot primer: pri navadnem okenskem steklu se običajno 4 % svetlobe odbije ostala pa potuje skozi steklo.

Posledica zrcalnega odbija so zrcalne slike, ki so videti obrnjene (zamenjana leva in desna stran), saj jih primerjamo s tem, kar bi videli, če bi se nahajali na drugi strani ogledala. Zrcalne slike, ki nastanejo na ukrivljenih površina (na primer na površini krogle) so lahko videti tudi povečane ali pomanjšane.

Do zrcalnega odboja pride samo, če je meja med medijema oziroma površina medija gladka. Če pa meja oziroma površina ni gladka, potem pride do difuznega odboja. V primeru, da ima površina od katere se svetloba odbija mikroskopsko majhne neravnine, se svetloba od vsake delne (mikroskopsko majhne) površine (meje) zaradi njenega drugačnega kota, odbije v drugo smer. Svetloba se torej razprši. Pri difuznem odboju zato ne dobimo zrcalne slike. Primeri takih površin so, sneg, večina tkanin, les, barve za stene in podobno. Seveda tudi v tem primeru še veljajo zakoni o vpadnem in odbitem žarku, vendar za vsako mikroskopsko majhno ravno površino posebej.

Kako enakomerno se svetloba razprši je odvisno od lastnosti površine. Kljub temu, da se svetloba ne odbije vsa v eno smer, je še vedno lahko večji del odbite svetlobe usmerjen približno v določeno smer. V posebnem primeru difuznega odboja, kjer se odbita svetloba porazdeli tako, da je površina iz vseh smeri videti enako svetla, govorimo o Lambertovi površini oziroma o Lambertovem odsevu, ki ga lahko opišemo z Lambertovim kosinusnim zakonom.



Slika 3.6: Predstavitev difuznega odboja od neravne (hrapave) površine.

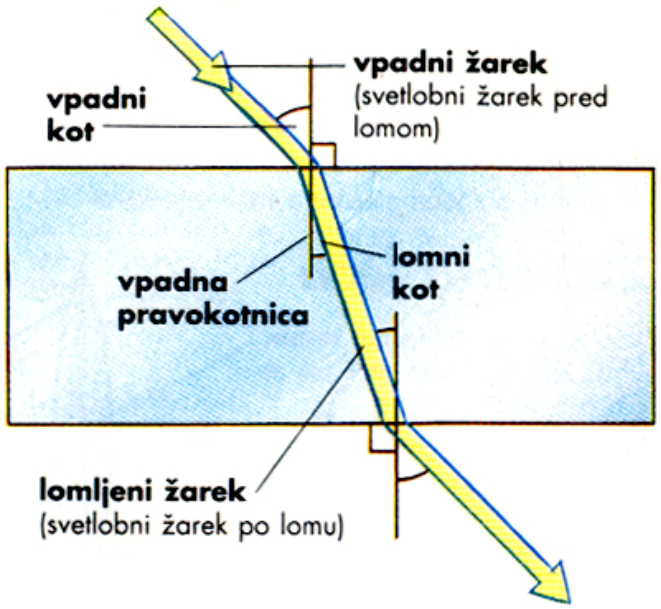
3.2.3 LOM SVETLOBE

Tisti del svetlobe, ki se od meje dveh medijev (površine) ne odbije, nadaljuje pot v drugem mediju. Pri tem spremeni svojo smer oziroma se lomi. Lomni kot (kot pod katerim svetloba nadaljuje svojo pot v drugem mediju) je odvisen od vpadnega kota in razmerja lomnih količnikov obeh medijev. Povezavo podaja Snellova enačba:

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Enačba 5: Snellova enačba o lomnem kotu: Θ_1 je vpadni kot svetlobe, Θ_2 pa lomni kot, v_1 in v_2 sta hitrosti svetlobe v prvem (iz katerega svetloba prihaja) in drugem (kamor se svetloba lomi) mediju, n_1 in n_2 pa njuna lomna količnika.

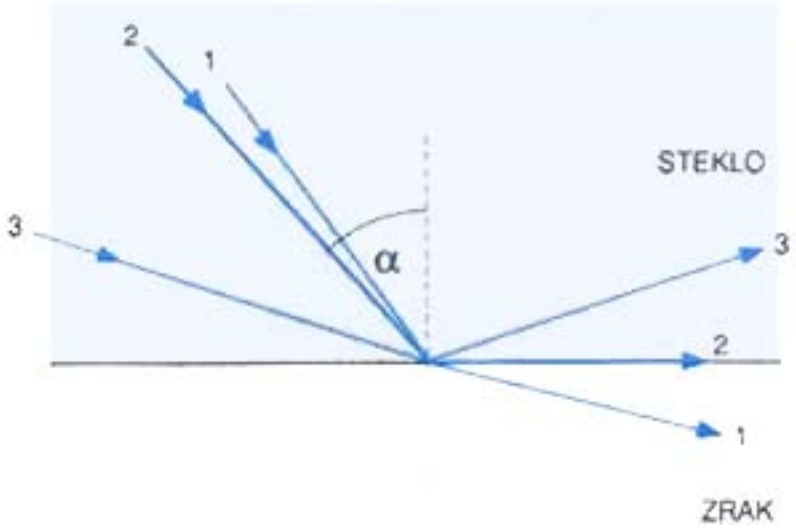
Grafičen prikaz loma svetlobe na meji dveh medijev je prikazan na spodnji sliki. Vidimo lahko, da se svetloba pri prehodu v optično gostejši medij, kjer je hitrost svetlobe manjša, lomi k normali na površino. Nasprotno pa je pri prehodu v optično redkejši medij lomni kot večji od vpadnega kota in s svetloba lomi stran od normale na površino.



Slika 3.7: Svetloba na zgornji sliki prehaja najprej iz optično redkejše snovi v optično gostejšo snov ter nato nazaj v optično redkejšo snov.

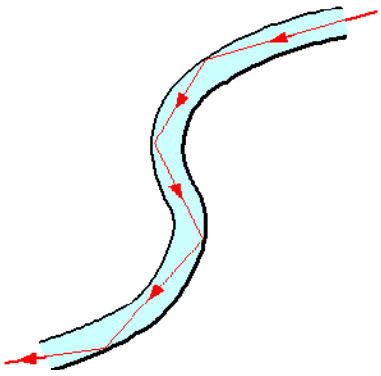
3.2.4 POPOLN ODBOJ SVETLOBE

Kot opazimo na zgornji sliki se svetloba pri prehodu iz optično gostejše snovi v optično redkejšo lomi stran od pravokotnice. Če torej povečujemo vpadni kot pod katerim svetloba pada na mejo med optično gostejšo v optično redkejšo snov, se lomljeni žarek lomi vedno dlje od pravokotnice, in je vedno bližje meji med snovema. Ko se lomljeni žarek dotakne meje med snovema, torej, ko je lomni kot enak 90°, svetloba ne more zapustiti optično gostejšega medija in se torej v celoti odbije nazaj. V skladu s pravili odboja svetlobe je odbojni kot enak vpadnemu kotu. Ta pojav se imenuje popoln ali totalen odboj svetlobe in je prikazan na spodnji sliki (primer 3).



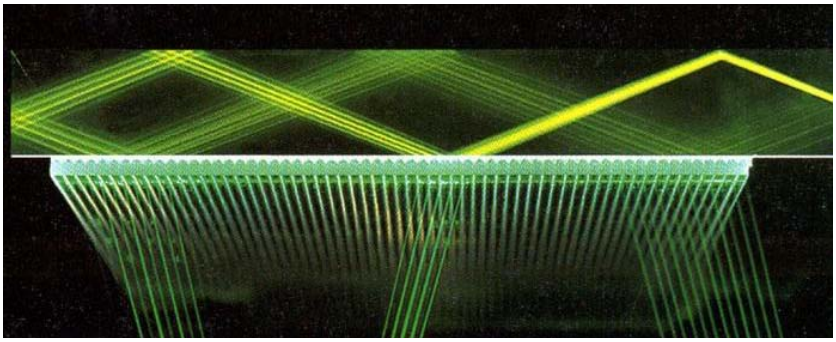
Slika 3.8: Prikaz popolnega odboja (primer 3). Primer 1 prikazuje lom svetlobe, primer 2 prikazuje trenutek, ko se lomljeni žarek poravna na mejo med medijema, primer 3 pa popoln odboj od meje z optično redkejšo snovjo.

Popoln odboj svetlobe je možen samo na meji z optično redkejšo snovjo n ga v tehniki s pridom uporabljamo povsod tam, kjer želimo doseči odboj svetlobe brez izgub (brez prehoda v medij za površino odboja). Tak primer so na primer optična vlakna, kjer lahko svetlobo na daljše razdalje prenašamo ravno zaradi popolnega odboja od meje med vlaknom in njegovim plaščem.



Slika 3.9: Svetloba potuje po optičnem vlaknu s pomočjo popolnega odboja. Optično vlakno je lahko tudi zavito (upognjeno) vendar radij ne sme biti premajhen, sicer pogoj za popoln odboj ni izpolnjen in svetloba izstopi iz vlakna..

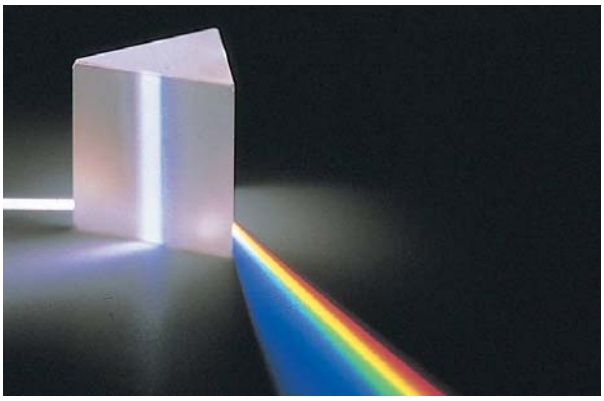
Popolni odboj svetlobe s pridom uporabljamo tudi v razsvetljavi, kjer nam v kombinaciji z mikro-prizmatičnimi ploščami omogoča zelo enakomerno svetlost površine svetilke. To pa prinese manjše bleščanje, kot ga je moč doseči na primer z zrcalnim rastrom. Tehnologija ima več komercialnih imen, pri Sitecu jo na primer imenujejo Eldacon.



Slika 3.10: Popoln odboj svetlobe uporabljen v svetilki za doseganje bolj enakomerne svetlosti površine svetilke in s tem manjšega bleščanja..

3.2.5 RAZKLON ALI DISPERZIJA SVETLOBE

Razklon svetlobe je posledica dejstva, da ima elektromagnetno valovanje in s tem tudi svetloba, različnih valovnih dolžin (oziroma frekvenc) v različnih snoveh tudi rahlo različen lomni količnik. Razlike med lomnimi količniki so odvisne od snovi, skozi katero potuje svetloba. Običajno velja da je pri večji valovni dolžini svetlobe njen lomni količnik manjši. Posledica tega dejstva je, da se bela svetloba za stekleni prizmi razkloni v spektralne barve.



Slika 3.11: Razklon ali disperzija bele svetlobe na stekleni prizmi..

Ker je lomni količnik rdeče svetlobe najmanjši, se rdeča svetloba tudi najmanj lomi in jo torej vidimo na zunanjem robu razklonjene svetlobe. Na drugi strani, torej na notranjem robu, se nahaja modra svetloba, ki ima zaradi najmanjše valovne dolžine največji lomni količnik. Za snovi, pri katerem opazimo tak razklon svetlobe, rečemo da ima normalen svetlobni razklon. Poznamo pa tudi snovi, kjer ima svetloba z večjo valovno dolžino tudi večji lomni količnik. Za take snovi rečemo, da je njihov razklon svetlobe nenormalen.

Razklon svetlobe, ki se pojavi v materialu, skozi katerega potuje svetloba, je lahko zaželen ali nezaželen. Na primer pri spektrometrih uporabljamo razklon svetlobe namenoma saj tako lahko opazujemo njeno spektralno sestavo. Podobno namenoma lom svetlobe

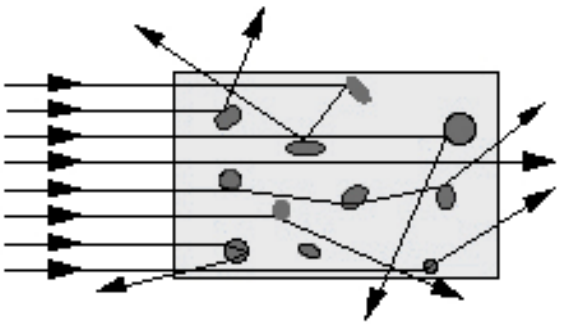
povzročimo tudi s uklonsko ali holografsko mrežico. Posledica razklona svetlobe pa je tudi barvna ali kromatična aberacija, ki je opisana v poglavju o lastnostih človeških oči. V tem primeru gre za nezaželen pojav, ki ga recimo v optičnih objektivih poskušamo odpraviti z dodatnimi lečami.

Slika 3.12: Mavrica je posledica razklona svetlobe na vodnih kapljicah v ozračju.

Najbolj znan pojav, povezan z razklonom svetlobe je seveda mavrica. V tem primeru pride do razklona sončne svetlobe na dežnih kapljicah v ozračju.

3.2.6 RAZPRŠEVANJE SVETLOBE

Če svetloba potuje skozi homogeno snov, bodo žarki, ki so v snov vstopili vzporedno, tudi nadaljevali svojo pot vzporedno. V tem primeru skozi tako snov lahko vidimo predmete na drugi strani. Pri prehajanju svetlobe skozi nehomogeno snov pa se svetloba lahko razprši. Nehomogenosti v snovi lahko povzročijo, da se posamezni vzporedni žarki odbijejo v različne smeri. Zato skozi tako snov ne moremo videti predmetov oziroma njihovih slik.



Slika 3.13: Prikaz razprševanja svetlobe na delcih v homogeni snovi.

Nehomogenosti v snovi, ki povzročijo razprševanje svetlobe, so lahko delci različnih velikosti, mehurčki ali kapljice, neenakomeren pretok v tekočinah, polikristalne in amorfne strukture, nepravilnosti v monokristalnih strukturah, neravne površine, celice v organizmih ali vlakna v tkanini.

Primeri materialov znotraj katerih se svetloba razprši so na primer megla (vodne kapljice v zraku), mleko, vosek ali povrhnjica človeške kože.

Slika 3.14: Primeri snovi v katerih se svetloba razprši: vosek, vodni delci v zraku (megla) in mleko.

Na razprševanje svetlobe vpliva tudi velikost nehomogenosti (delcev) v snovi. Če so ti delci dovolj majhni, se lahko razpršijo samo določene (manjše) valovne dolžine svetlobe. Primer je zemljina atmosfera, ki razprši predvsem modri del bele sončne svetlobe. Zato je nebo na zemlji videti modro.

Razprševanje svetlobe je lahko večje ali manjše odvisno od gostot nehomogenih delcev v snovi in debeline snovi, skozi katero potuje svetloba. Če je nehomogenosti v snovi manj ali pa je debelina snovi tanjša, lahko še vedno večina žarkov, ki potujejo skozi snov, iz snovi izstopi vzporedno. Skozi tako snov lahko predmete še vedno razločimo, čeprav so njihove slike nejasne. Če pa je nehomogenosti v snovi veliko ali pa je debelina snovi velika, se celotna (količina) svetlobe v snovi razprši. Na razprševanje svetlobe torej lahko gledamo tudi kot na izgubo svetlobe, ki potuje skozi snov. Razpršena svetloba sicer zapusti snov, vendar ne v prvotni smeri in zato ne pripomore na primer k prenosu vidne informacije.

3.2.7 VPIJANJE SVETLOBE

Ko svetloba prehaja skozi določeno snov, se del njene energije lahko spremeni v drugo obliko in tako skozi snov pride samo del vpadle svetlobe. Rečemo lahko, da snov "vpije" del svetlobe. Energija, v katero se spremeni svetloba, je lahko zelo različna. V veliki večini se svetloba spremeni v toploto, zato se na primer snovi na soncu segrejejo. Svetloba se lahko spremeni tudi v kemično energijo, kar se dogaja, ko potuje skozi zelene dele rastlin. Pojavu pravimo fotosinteza. Danes s pridom uporabljamo pretvorbo svetlobe v električno energijo, do katere pride, ko svetloba potuje skozi polprevodnik, kot je recimo silicij v sončnih celicah.

V razsvetljavi pa s pridom uporabljamo pretvorbo svetlobe v svetlobo z drugo valovno dolžino. Svetloba namreč v določenih snoveh lahko vzbudi elektrone, da preskočijo v višje stanje. Ko se vračajo v osnovno stanje, se ne vrnejo direktno ampak preko enega ali več vmesnih stanj ali pa se del njihove energije spremeni v toploto. Zato pri povratku oddajo foton svetlobe z manjšo energijo, zaradi česar je njegova valovna dolžina nekoliko daljša. Pojavu pravimo fluorescenca. Tako lahko npr. ultravijolično svetlobo z kratkimi valovnimi dolžinami pretvorimo v svetlobo z daljšimi valovnimi dolžinami torej v vidno svetlobo. Pojavu rečemo fluorescenca in je najbolj množično uporabljen v fluorescenčnih sijalkah. Več o fluorescenci torej pri opisu slednjih.

Koliko svetlobe snov vpije je odvisno od debeline snovi, skozi katero potuje svetloba in od lastnosti snovi, ki jo imenujemo vpojni količnik. Slednji je v večini primerov odvisen ne samo od snovi ampak tudi od valovne dolžine svetlobe. Poznamo snovi, ki imajo zelo nizek vpojni količnik in zato večina svetlobe pride skozi snov. Primer take snovi je steklo, katerega vpojni količnik pa vseeno ni enak nič. Okensko steklo debeline 4 mm vpije približno 10 % svetlobe. Torej bi zadosti debelo steklo lahko vpilo praktično vso svetlobo in torej ne bi bilo več prozorno. Poznamo pa tudi snovi, ki imajo velik vpojni količnik in skozi katere svetloba ne more priti. Razen seveda, če niso dovolj tanke. Zlato ima razmeroma velik vpojni količnik vendar pa, če vzamemo dovolj tanko zlato folijo, bomo skoznjo vseeno lahko videli na primer obris sonca. Kar pomeni da vseeno nekaj svetlobe pripotuje skozi.

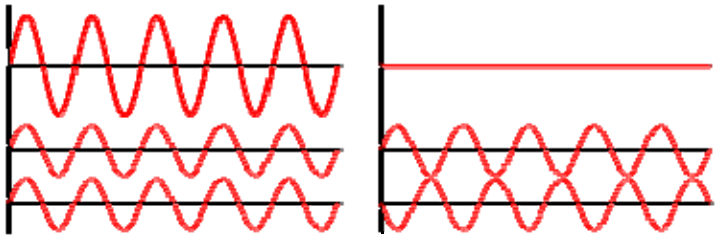
$$i = i_0 \cdot e^{-\alpha \cdot d}$$

Enačba 6: Enačba, ki podaja koliko svetlobe pride skozi homogeno snov debeline d z vpojnim faktorjem α=f(λ), če je i_0 jakost svetlobe, ki vstopa v snov.

Zanimivo pa je, da obstajajo tudi snovi, ki se obnašajo tako, kot bi imele negativen vpojni količnik. To pomeni da se svetloba, ko potuje skozi tako snov ne vpije ampak se ojači. Iz snovi izstopi torej več svetlobe, kot jo je v snov vstopilo. Seveda pa je potrebno taki snovi na ustrezen način dovajati energijo. Najbrž najbolj znana snov s tako lastnostjo je rubin. S pomočjo dodatnega optičnega resonatorja lahko take snovi uporabimo kot izvor laserske svetlobe.

3.2.8 INTERFERENCA SVETLOBE

Interferenca je pojav, pri katerem se dve valovanji superponirata (sestavita) v novo valovanje, pri tem pa se amplituda valovanja lahko poveča ali zmanjša. Običajno o interferenci govorimo v povezavi z dvema koherentnima valovanjema, ki izvirata iz istega izvora ali dveh po frekvenci zelo podobnih izvorov. Če se v neki točki ujameta maksimalni točki dveh valovanj, ki sta torej v fazi, dobimo valovanje z dvojno amplitudo. Če pa se ujameta maksimalna in minimalna točka dveh valovanje, se valovanji izničita, kot je to prikazano na spodnji sliki.



Slika 3.15: Dva primera interference: levo konstruktivna interferenca, ki povzroči valovanje z dvojno amplitudo in desno destruktivna interferenca, kjer se dve valovanji izničita.

3.2.9 UKLON SVETLOBE

Uklon valovanja je pojav, pri katerem se valovanje širi v področje za oviro. Dostikrat pa naziv uporabljamo za opis vseh pojavov, ki se pojavijo ko valovanje naleti na oviro ali majhno odprtino z dimenzijami blizu valovne dolžine valovanja. Ti pojavi so dostikrat

podobni kot na primer interferenca, ki jo uporabljamo za opis pojava pri dveh (koherentnih) virih valovanja.

Uklon lahko opazimo pri vseh vrstah valovanja: pri valovanju na vodi, zvočnem valovanju pa tudi pri elektromagnetnem valovanju, torej tudi pri svetlobi.

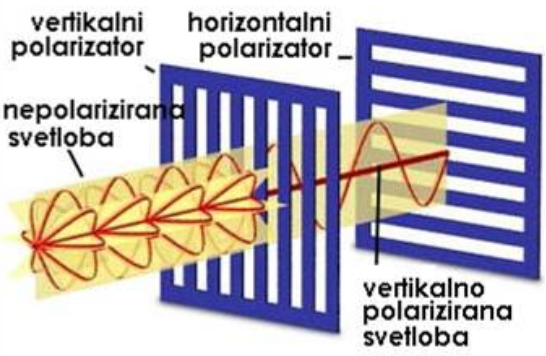
Slika 3.16: Prikaz uklona svetlobe na oviri, ki je po debelini primerljiva z valovno dolžino svetlobe.

Slika 3.17: Interferenca svetlobe dveh koherentnih valovanj, ki sta posledica uklona svetlobe na dveh odprtinah.

3.2.10 POLARIZACIJA SVETLOBE

Polarizacija podaja ravnino v kateri niha transverzalno valovanje (valovanje, ki niha pravokotno na smer širjenja), kot je na primer elektromagnetno valovanje, torej tudi svetloba. Svetloba običajnih svetlobnih virov ne niha samo v eni ravnini ampak v vseh in jo torej lahko označimo za nepolarizirano.

Ko svetloba potuje skozi polarizator, ta prepušča samo tisti del svetlobe, ki niha v ravnini polarizatorja. Na tak način lahko iz nepolarizirane svetlobe dobimo na primer navpično polarizirano svetlobo, kot je to prikazano na spodnji sliki. Seveda pa tako polarizirana svetloba ne more več skozi polarizator, ki ima drugačno ravnino polarizacije (na primer horizontalni polarizator na sliki).



Slika 3.18: Prikaz polarizacije svetlobe. Svetloba, ki jo s prvim polarizatorjem polariziramo v navpični smeri ne more skozi drugi, vodoravni polarizator.

Svetloba se lahko vsaj delno polarizira tudi na primer pri odboju. Tako je del svetlobe, ki se odbije od vodoravne površine, na primer mokrega cestišča, vodoravno polariziran. Ta pojav s pridom izkoriščajo »polaroid sončna očala«, ki zaradi vertikalno polariziranih stekel zmanjšajo tovrstno bleščanje in vsaj delno pripomorejo k bolj varni vožnji.

3.3 SVETLOBA IN BARVE

Vidna svetloba je elektromagnetno sevanje s valovnimi dolžinami med približno 380 nm in 780 nm. Kot smo opisali v drugem poglavju, naš vidni sistem različne valovne dolžine svetlobe vidi kot različne barve svetlobe. Po lestvici valovnih dolžin si od krajših valovnih dolžin proti daljšim sledijo: vijolična, modra, zelena, rumena, oranžna in rdeča. Pred vijolično je področje ultra-vijolične svetlobe, za rdečo pa področje infra-rdeče svetlobe. Vendar pa v teh področjih naš vidni sistem elektromagnetnega sevanja ne zaznava več. Kako deluje barvi vid in kako pride do mešanja barv, smo že opisali, zato se bomo tu osredotočili predvsem na sisteme opisovanja barv.

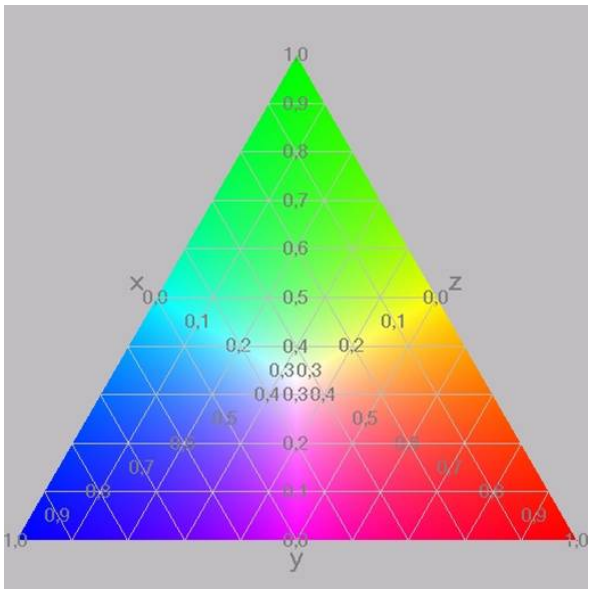
Poznamo več sistemov namenjenih opisovanju barv. V svetlobno tehniki se za opisovanje barve svetlobe večinoma uporabljata CIE barvni sistem in barvna temperatura. Na drugih področjih tehnike pa tudi Munsellov sistem ter NCS in RAL sistem.

3.3.1 CIE BARVNI SISTEM

Prve teorije o možnosti opisa barve, na katerih temelji kasnejši CIE barvni sistem, so se pojavile v začetku 19. stoletja. Kot temeljni deli s tega področja danes štejemo Teorijo barve (1810) Johanna Wolfganga von Goetheja in Zakon sočasnega barvnega kontrasta (1938) Michela Eugena Chevreula. Nekoliko kasneje (1850) je bila objavljena še Young-Helmholzova teorija tribarvnega barvnega vida, ki je delo Hermana von Helmholza, nastalo na podlagi nekoliko starejših del Thomasa Younga. Kot očeta aditivnega mešanja barv pa se omenja tudi Jamesa Clerka Maxwella, drugače znanega po teoriji elektromagnetnega polja. Maxwell je predvsem izvedel večje število poskusov s svojim barvnim kolesom, s katerim je ugotavljal, kako mešanico treh osnovnih barv zazna človeško oko. Zaslužen pa je tudi za prvo trajno barvno fotografijo. Teorija tribarvnega (trikromatskega) vida se je potrdila, ko so ugotovili, da imamo v očesu tri različne vrste čepnic, ki se različno odzivajo na posamezne valovne dolžine svetlobe.

Slika 3.19: Maxwellovo barvno kolo s tremi osnovnimi barvami: cinober rdečo, smaragdno zeleno in ultramarin modro. Ko ga zavrtimo, se barve v našem videnem sistemu pomešajo v enotno barvo. Na notranji strani kroga je še kombinacija bele in črne barve s katerimi je Maxwell meril svetlost barvne kombinacije.

Maxwell je na podlagi svojih poskusov prišel do ideje, da bi lahko barve predstavili v tridimenzionalnem koordinatnem sistemu kot kombinacijo treh osnovnih barv: rdeče, zelene in modre, kar je pripeljalo do današnjega RGB (red, green, blue) sistema opisa barve, ki ga uporabljamo na primer v računalnikih. Na podlagi te ugotovitve je sestavil barvni trikotnik, prikazan na spodnji sliki.

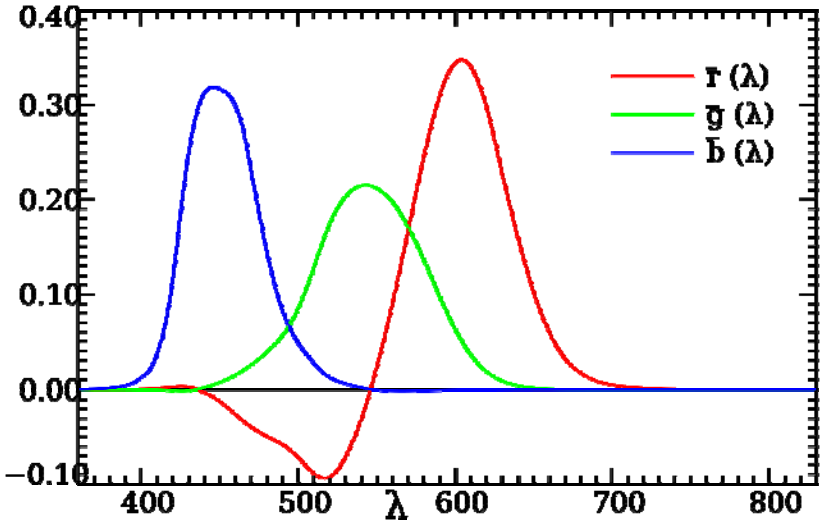


Slika 3.20: Maxwellov barvni trikotnik – trirazsežnostni barvni prostor s tremi koordinatami za tri osnovne barve: x za rdečo, y za zeleno in z za modro. Vsaka koordinata lahko zavzame vrednosti od 0 do 1.

Na podlagi podobnih eksperimentov Williama Davida Wrighta in Johna Guilda v začetku 20. stoletja je bila razvita in leta 1931 objavljena študija o zaznavanju barv, ki je prinesla tudi prva matematično definirana barvna prostora CIE 1931 RGB barvni prostor in CIE 1931 XYZ barvni prostor (CIE - Commission internationale de l'éclairage oziroma Mednarodna komisija za razsvetljavo).

Osnovo CIE RGB sistema so predstavljale raziskave s katerimi je več raziskovalcev praktično v istem času uspelo določiti potrebno količino osnovnih monokromatskih barv za predstavitev ostali (mešanih) barv. Eksperimenti so potekali tako, da so opazovalcu na eno stran razdeljenega zaslona projicirali eno od barv, na drugo stran pa tri monokromatske

barve hkrati. Opazovalec se je nato z nastavljanjem jakosti treh osnovnih (monokromatskih) barv poskušal čim bolj približati barvi na drugi strani zaslona. Čeprav so bile prvotne raziskave opravljene z različnimi osnovnimi (monokromatskimi) barvami, so rezultate nato združili v sistem, ki je temeljil na rdeči (700 nm), zeleni (546,1 nm) in modri (438,5 nm) barvi. S poskusi so ugotovili tudi, da se vseh barv ne da predstaviti s kombinacijo treh izbranih osnovnih barv. V takem primeru so izbrani (iskani) barvi dodali eno od osnovnih treh barv, kar je omogočilo, da je bilo tako sestavljeno barvo spet možno sestaviti iz treh osnovnih barv. Dodano barvo so kasneje od rezultata odšteli, to pa je pripeljalo do tega, da je bila katera od treh barvnih koordinat pri nekaterih barvah negativna. Na podlagi rezultatov so nato sestavili tri barvne funkcije $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ in $\bar{b}(\lambda)$ s katerimi je možno izračunati barvne koordinate R, G in B za svetlobo s poljubnim spektrom.



Slika 3.21: Prikaz treh barvnih funkcij za izračun CIE RGB barvnih koordinat.

$$R = \int_0^\infty I(\lambda) \cdot \bar{r}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$G = \int_0^\infty I(\lambda) \cdot \bar{g}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$B = \int_0^\infty I(\lambda) \cdot \bar{b}(\lambda) \cdot d\lambda$$

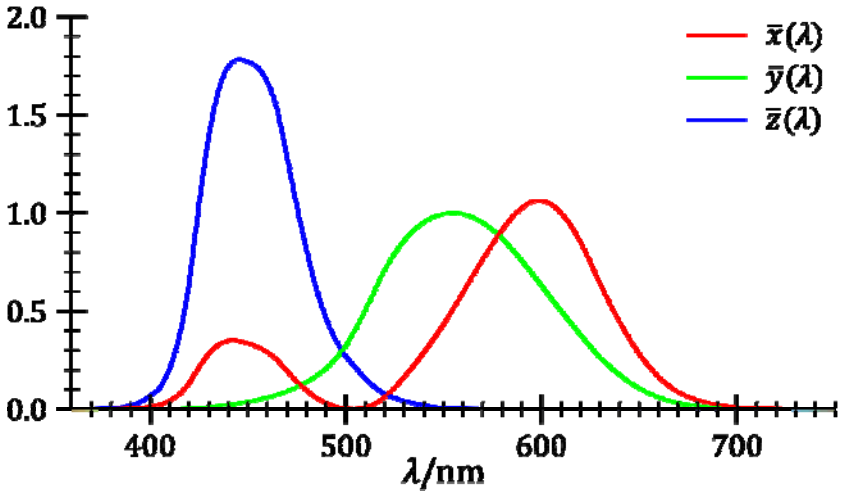
Enačbe 7: Enačbe za izračun CIE RGB barvnih koordinat za svetlobo s poljubnim spektrom I(λ).

Ker je bilo težko razložiti oziroma razumeti, da je v določeni barvi svetlobe ena od osnovnih barv svetlobe zastopana z negativno vrednostjo, so iz CIE RGB sistema razvili CIE XYZ sistem. Pri tem so izhajali iz:

- nove barvne funkcije $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ in $\bar{z}(\lambda)$ morajo biti na celotnem področju večje ali kvečjemu enake nič;

- barvna funkcija $\bar{y}(\lambda)$ mora biti enaka spektralni občutljivosti človeškega očesa V(λ) – več o tej funkciji v naslednjem poglavju;
- točka beline mora imeti koordinate $\bar{x}(\lambda) = \bar{y}(\lambda) = \bar{z}(\lambda) = 1/3$;
- celotna barvna lestvica naj bi ležala znotraj trikotnika [*x*,*y*] = [1,0], [0,0], [0,1] in naj bi ga čim bolj zapolnila in
- barvna funkcija $\bar{z}(\lambda)$ naj bi bila nad 650 nm enaka nič.

Na podlagi teh zahtev je nastal CIE XYZ barvni prostor. Ustrezne barvne funkcije so podane na spodnji sliki, pod njimi pa še enačbe za izračun *X*, *Y* in *Z* koordinat svetlobe s poljubnim spektrom I(λ).



Slika 3.22: Prikaz treh barvnih funkcij za izračun CIE XYZ barvnih koordinat.

$$X = \int_0^\infty I(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Y = \int_0^\infty I(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Z = \int_0^\infty I(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda$$

Enačbe 8: Enačbe za izračun CIE XYZ barvnih koordinat za svetlobo s poljubnim spektrom I(λ).

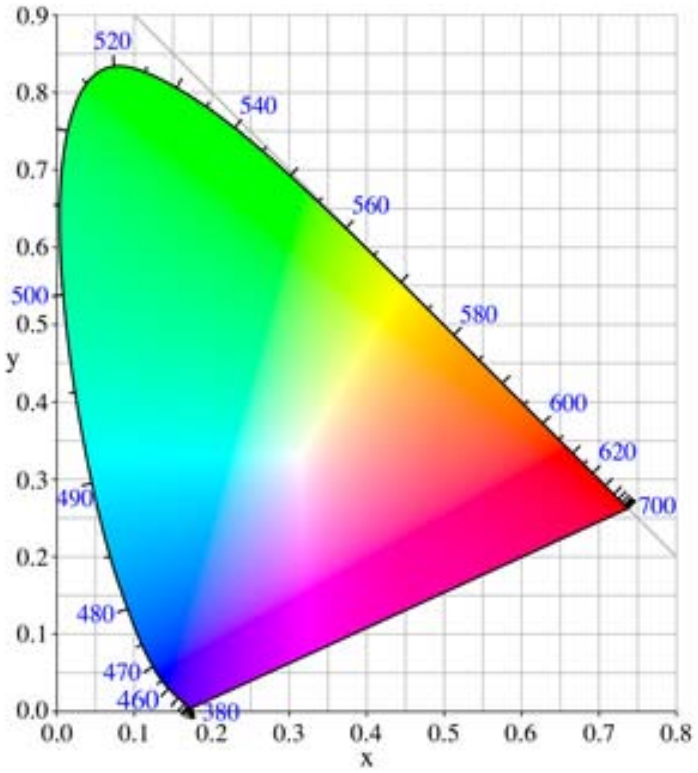
Ker ima človeško oko tri različne vrste čepnice s katerimi zaznava barve je barvni prostor seveda tridimenzionalen. Lahko pa vsako barvo svetlobe sestavimo iz barvnega tona in svetlosti. Na primer bela barva ima veliko svetlost, pri črni barvi je svetlost enaka nič, gre pa za isto barvo. Med obema skrajnostma pa je lestvica različno svetlih sivih tonov. Tudi zato je bil eden od pogojev, da funkcija $\bar{y}(\lambda)$ ustreza spektralni občutljivosti človeškega očesa, ki pravzaprav podaja svetlost barve. Koordinata Y torej podaja tudi svetlost, barvo pa

je v primeru, da privzamemo konstantno svetlost, možno podati z dvema normiranima koordinatama *x* in *y*, ki ju dobimo s pomočjo spodnjih enačb:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$
$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

Enačbe 9: Enačbe za izračun CIE XYZ barvnih koordinat za svetlobo s poljubnim spektrom I(λ).

Tako dobljeni barvni prostor običajno označimo z CIE xyY. Vse možne barve v tem primeru lahko predstavimo v CIE barvnem trikotniku na spodnji sliki, kjer sta koordinati sistema ravno *x* in *y*. Na zunanjem robu trikotnika se nahajajo čiste spektralne barve (posamezne valovne dolžine – izpisane z modro barvo), točko beline pa podajajo koordinate *x*=0,333 ; *y*=0,333 in *z*=0,333. Vendar pa v tem primeru tri osnovne barve [1,0,0], [0,1,0] in [0,0,1] v koordinatah [*X*,*Y*,*Z*] oziroma [1,0], [0,1] in [0,0] v koordinatah [*x*,*y*] niso realne barve, ki bi jih lahko videli.



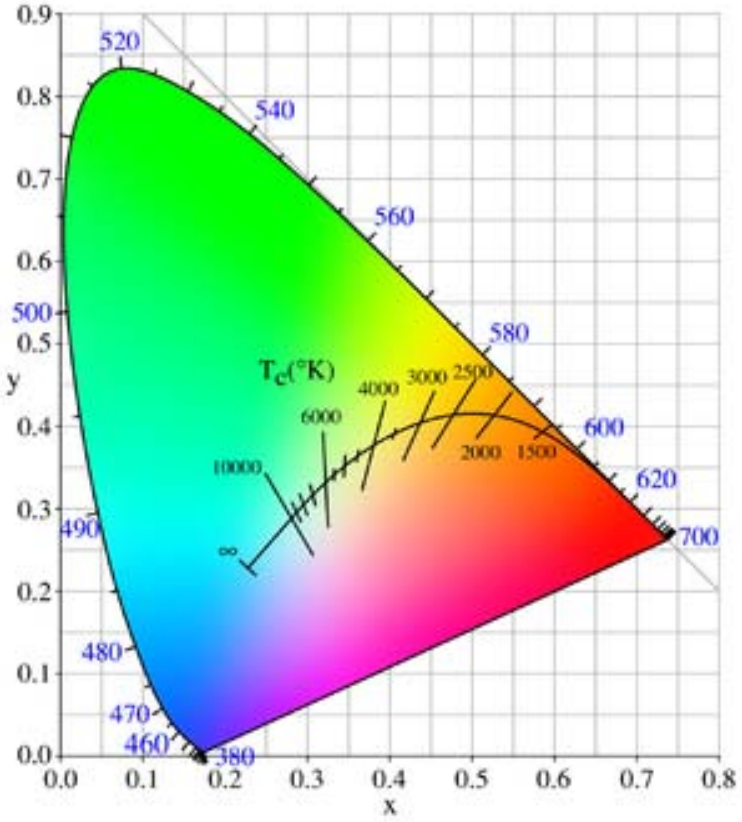
Slika 3.23: CIE barvni trikotnik s koordinatama x in y.

CIE XYZ barvni prostor je bil podlaga še drugim barvnim prostorom, ki so jih razvili v letih po 1931 kot na primer CIE Lab ali CIE Luv.

3.3.2 BARVNA TEMPERATURA

Omenili smo že, da telo, ki je dovolj segreto, lahko del energije seva tudi v vidnem delu spektra. Barva svetlobe, ki jo oddaja je odvisna od njegove temperature in je okoli 2000 K rdeče oranžna, pri 3000 K rumenkasta, med 5000 K in 6000 K približno nevtralno bela, pri višjih temperaturah pa postane modrikasto bela. Ker so bili na začetku razvoja moderne razsvetljave v uporabi predvsem svetlobni viri, ki svetlobo proizvajajo z žarenjem, se je barvna temperatura v razsvetljavi uveljavila kot merilo za barvo svetlobe. Ker barvna temperatura izhaja iz temperature, na katero je segreto idealno črno telo, ki svetlobo oddaja, je enota za barvno temperaturo kar kelvin (K).

Ni pa s pomočjo barvne temperature možno predstaviti vseh barv svetlobe ampak samo odtenke od rdeče preko oranžne in rumene do bele oziroma do modrikasto bele. Zelene ali vijolične barve se v ta okvir nikakor ne da spraviti. Barve, ki jih lahko opišemo z barvno temperaturo ležijo na t.i. Planckovem loku, ki je prikazan na spodnji sliki.



Slika 3.24: Planckov lok z označenimi barvnimi temperaturami prikazan v CIE xy barvnem trikotniku. Poševne črte (Juddove premice) služijo določevanju podobne barvne temperature.

Ker je Sonce zelo blizu idealnega črnega sevala je tudi barvo naravne (sončne) svetlobe možno opisati z barvno temperaturo. Na podlagi celotne energije, ki je s strani Sonca deležna Zemlja, lahko temperaturo Sonca ocenimo na 5.780 K. Barvna temperatura sončne svetlobe izven atmosfere je okoli 5.900 K. Če pa sončno svetlobo opazujemo z Zemljine površine, lahko opazimo, da se tekom dneva spreminja. Zjutraj in zvečer je sonce videti bolj oranžno in je barvna temperature nižja kot opoldne. Sprememba barvne temperature

Sonca ni posledica spremembe temperature Sonca pač pa različno dolge poti svetlobe skozi atmosfero, v kateri se del svetlobe razprši. Ker se razprši predvsem modri del spektra, je Sonce videti bolj oranžno. Isti pojav seveda vpliva tudi na to, da je nebo videti modro. Barvna temperature dnevne svetlobe (svetlobe neba brez direktne sončne svetlobe) je okoli 6500 K. Ob prisotnosti velike vodne ali zasnežene površine pa je lahko tudi nekoliko večja.

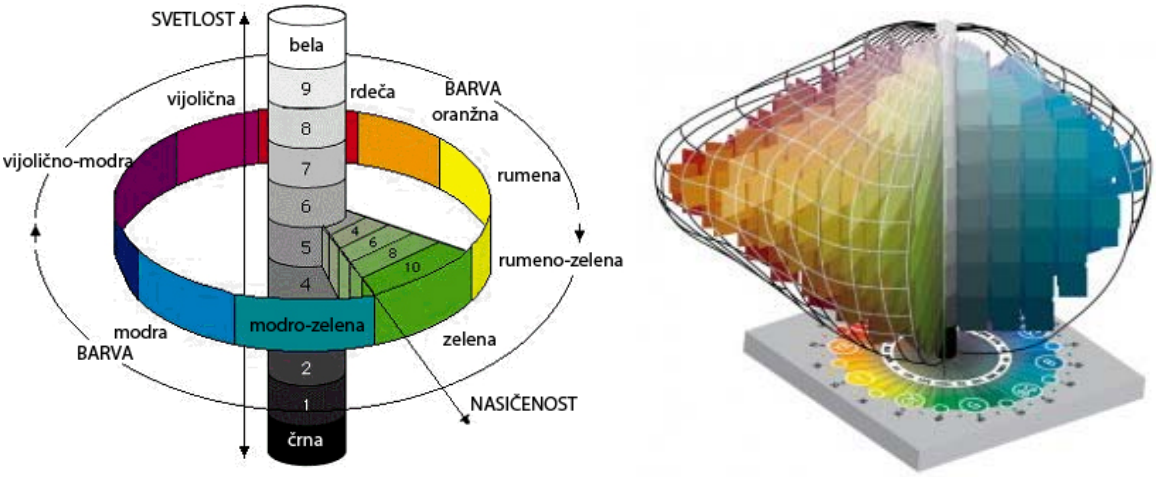
Danes uporabljamo vse manj svetlobnih virov, ki svetlobo proizvajajo z žarenjem in vse več takih, kjer svetloba nastaja s pomočjo ene ali več oblik luminiscence. Barva svetlobe, čeprav tudi bela, seveda ne leži na Planckovem loku ampak nekje v bližini. Zato za opis barve svetlobe takih svetlobnih virov uporabljamo t.i. podobno barvno temperaturo. Določimo jo tako, da poiščemo točko na Planckovem loku, ki ji je v uporabljenem koordinatnem sistemu najbližje. Pri njenem določevanju si lahko pomagamo tudi z Juddovimi premicami, ki so prikazane na sliki 3.24 kot črte, ki poševno sekajo Planckov lok. Podobna barvna temperatura se seveda lahko tudi izračuna.

Ne smemo pa barvne temperature zamenjati za psihološki učinek barve svetlobe, ko svetlobo včasih poimenujemo na primer toplo bela, nevtralno bela ali hladno bela. Z besedo toplo bela svetloba označujemo rumenkasto svetlobo, ki ima nizko barvno temperaturo. Izraz hladno bela svetloba pa se uporablja za modrikasto belo svetlobo, torej za svetlobo z visoko barvno temperaturo.

3.3.3 MUNSELLOV BARVNI SISTEM

Munsellov barvni sistem je razvil Albert H. Munsell v prvem desetletju 20. stoletja. Munsell sicer ni bil prvi, ki je v barvni prostor vpeljal tridimenzionalni sistem, je bil pa prvi, ki je barvne odtenke ločil na barvo, nasičenost in svetlost (v angleščini: hue, chroma, value. Sistem je bil utemeljen z meritvami in poskusi človeškega dojemanja barv, zato se je ohranil in se še vedno uporablja, medtem ko je večino barvnih sistemov iz tistega časa povozil CIE barvni sistem.

Munsell je svoj barvni prostor utemeljil na petih osnovnih barvah in petih mešanih barvah, ki si sledijo v krogu: rdeča, rdeče-rumena, rumena, rumeno-zelena, zelena, zeleno-modra, modra, modro-vijolična, vijolična in vijolično-rdeča. Če teh deset barv razporedimo v krogu (slika 3.25), sta si nasproti vedno dve komplementarni barvi, ki dasta, če ju zmešamo, nevtralno sivo barvo. Dalje je Munsell teh deset barv razdelil vsako v deset stopenj, tako da je dobil na osnovnem krogu 100 različnih barv. Vsaka od barv ima lahko več stopenj nasičenosti, ki si sledijo od osi kroga navzven. Čisto ob osi je nenasičena barva (siva), čisto na obodu pa nasičena barva. Število stopenj nasičenosti ni omejeno, je pa pri različnih barvah različno. Pri rumeni so možne zelo nasičene barve (glede na človeški vidni sistem), pri določenih drugih barvah pa ne. Vsaka barva pri določeni nasičenosti ima potem definirano še svojo svetlost. Svetlost je razporejena v stopnje od 0 (temna – črna barva) do 10 (najsvetlejša – bela). Stopnje si sledijo po osi barvnega kroga od spodaj navzgor.



Slika 3.25: Munsellov barvni sistem. Desna slika prikazuje prostorsko telo, ki ga dobimo, če vse barve v Munsellovem sistemu sestavimo v prostoru.

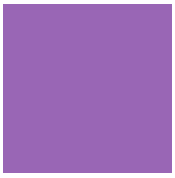
Vsaka barva je opisana s tremi dimenzijami in sicer z barvo, svetlostjo in nasičenostjo. Barva se podaja s črkovno oznako in sicer ena črka za osnovnih 5 barv (R – rdeča, Y – rumena, G – zelena, B – modre, P – vijolična) in dve črki za vmesne mešane barve (na primer GY – zeleno-rumena). Vsaka barva je razdeljena v 10 stopenj, ki so označene s številko pred črkovno oznako. Številka 5 podaja osnovno barvo. Za črkovno oznako je številska oznaka svetlosti in za poševnico še številka oznaka nasičenosti. Barvni odtenek se torej označi na sledeč način:

$$\text{Barvni odtenek} = XA\ Y/Z$$

v oznaki je:

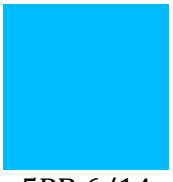
- XA … oznaka barve, kjer je X=5 za vse osnovne barve, A pa je okrajšava za osnovno barvo (v angleščini); na primer oznaka rdeče barve je 5R;
- Y … je oznaka svetlosti, ki ima razpon od 0 (temna) pa do 10 (zelo svetla);
- Z … je oznaka nasičenosti, ki lahko sega od 0 do običajno največ 28, vendar imajo nekatere barve manj stopenj nasičenosti.

Nekaj primerov:



5P 5/10
srednje nasičena
vijolična barva
srednje svetlosti

5YR 6/10
skoraj polno nasičena
rdeče-rumena
(oranžna) barva
srednje svetlosti



5PB 6/14
polno nasičena
vijolično-modra barva
srednje do visoke
svetlosti

Slika 3.26: Predstavitev nekaterih barv z Munsellovimi črkovno-številskimi oznakami.

3.3.4 DRUGI BARVNI SISTEMI

Poleg Munsellovega so danes v uporabi še drugi barvni sistemi, ki temeljijo na različnih osnovah. Tak primer je na primer NCS barvni sistem (Natural Colour System), ki so ga na osnovi nasprotnih barv pri človeškem zaznavanju barv razvili v skandinavskem inštitutu za barve. Osnova je šest osnovnih barv, ki jih zazna človeški vid in ki jih ne moremo opisati z drugimi barvami: bela in črna; zelena in rdeča ter rumena in modra. Vse ostale barve je namreč na določen način možno opisati s temi šestimi barvami. Barve so razvrščene tako, da sta skupaj po dve nasprotni barvi, kot jih lahko razberemo iz poskusov o človeškem barvnem vidu (če dalj časa opazujete rdeč krog in potem pogled usmerite na belo steno, boste na njej nekaj časa videli zelen krog).

Barvni odtenki so v NCS sistemu označeni z oznaki, ki vključuje temnost, barvnost (nasičenost) in deleže dveh osnovnih barv. Oznaka ima obliko:

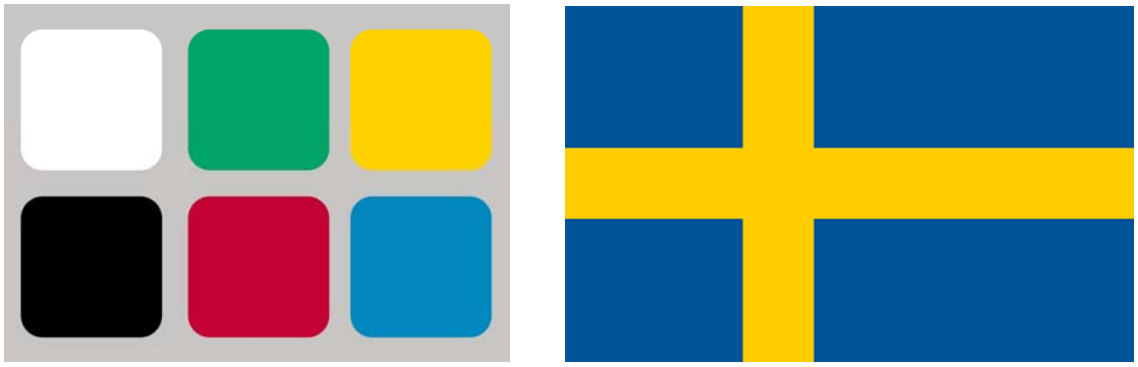
Barvni odtenek = XXYY-A99B

kjer je:

- XX … odstotek temnosti;
- YY … odstotek nasičenosti;
- A … črkovna oznaka prve barve;
- 99 … odstotek druge barve v mešanici in
- B … druga barva.

Odstotek temnosti in nasičenost skupaj dasta največ sto. Če je vsota manjša od sto, je razlika do sto še odstotek beline. Kot barve v mešanici lahko nastopajo modra (B), rumena (Y), rdeča (R) in zelena(G). Barvi spodaj prikazane švedske zastave lahko zapišemo kot:

- NCS 0580-Y10R: 5 % temna, 80 % nasičena barva sestavljena iz 90 % rumene in 10 % rdeče barve in
- NCS 4055-R95B: 40 % temna, 55 % nasičena barva sestavljena iz 5 % rdeče in 95 % modre barve.



Slika 3.27: Osnovnih šest barv NCS barvnega sistema in švedska zastava, ki je sestavljena iz križa v barvi NCS 0580-Y10R na polju barve NCS 4055-R95B

V Evropi se dosti uporablja tudi nemški RAL barvni sistem, ki pa ni sistem v pravem pomenu besede ampak samo seznam barv, ki se bolj uporabljajo. Prvo verzijo je leta 1927 izdal nemški »*Reichs-Ausschuß für Lieferbedingungen und Gütesicherung*“ in se je imenovala

RAL 840. Vsebovala je 40 barvnih vzorcev. Namen seznama je bilo olajšati naročanje predmetov v standardiziranih barvah predvsem za potrebe nemških državnih podjetij (na primer pošte). Leta 1930 so izdali predelano verzijo RAL 840 R, ki je prinesla predvsem standardizirano označevanje barv s štirimestno številko. Ker je bilo potrebno dodati še nekaj barv so leta 1961 izdali RAL 840-HR, ki je vseboval 210 mat barvnih tonov. Po letu 1980 je bil izdan še RAL 841-GL, ki je vseboval 193 svetlečih barvnih tonov.

Danes je poleg različnih večjih in manjših RAL seznamov še vedno v uporabi tudi klasični RAL seznam, ki vsebuje samo »pomembne« barve, torej barve ki se veliko uporabljajo in so predpisane kot na primer barve za prometne znake ali standardizirane barve različnih (državnih) podjetij. V tem seznamu prva številka podaja osnovno barvo iz katere so izpeljane ostale: npr. RAL 1xxx označuje rumene barve, RAL 2xxx oranžne … Na seznamu RAL klasik najdemo tako med drugim RAL 1004, ki je rumena barva švicarske pošte, RAL 1021, ki je avstrijska rumena poštna barva in RAL 1032, ki jo uporablja nemška pošta.

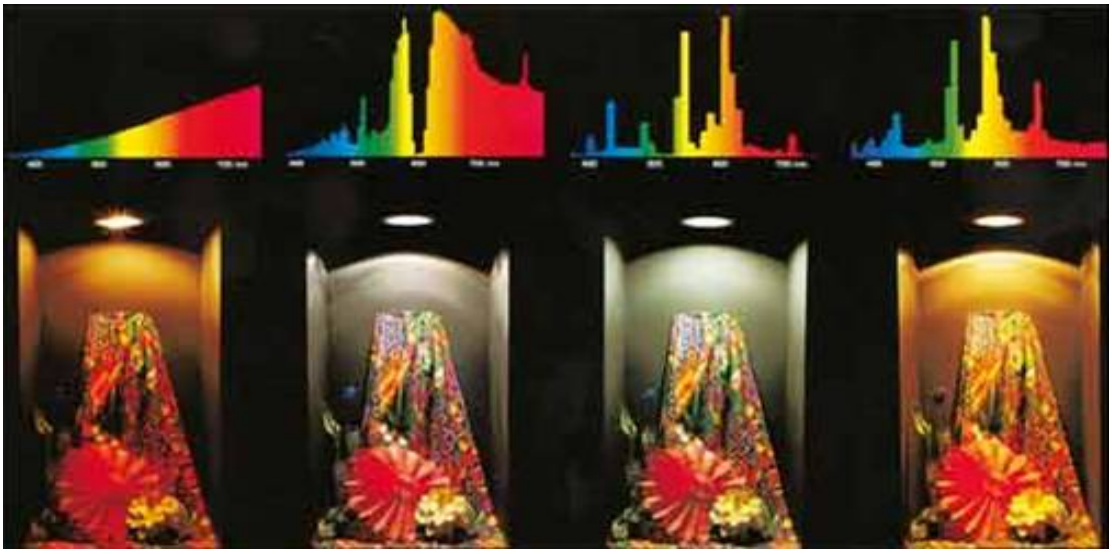
Slika 3.28: Primer ene številnih RAL barvnih lestvic z barvnimi vzorci. Vsak barvni vzorec je opisan s štiri ali več –mestno številko. Obstajajo različne zbirke z večjim ali manjšim številom vzorcev: RAL klasik, RAL design, RAL digital …

3.3.5 INDEKS BARVNEGA VIDEZA

V poglavju o barvnem vidu smo zapisali, da barva predmeta (ki jo vidimo) ni odvisna (samo) od predmeta samega pač pa tudi od našega vidnega sistema ter od svetlobe s katero je predmet osvetljen. Pri tem slednjem imamo v mislih predvsem spekter svetlobe.

Svetlobni viri, ki jih uporabljamo v razsvetljavi, oddajajo vsi (več ali manj) belo svetlobo. Vendar pa niso vse bele svetlobe iste. Na eni strani imamo sončno svetlobo, ki ima t.i. poln spekter. Vsebuje vse valovne dolžine, čeprav sicer ne vse enakomerno zastopane. Kljub temu pa med njimi ni zelo velikih razlik. Na drugi strani imamo RGB sistem, ki ga na primer uporabljamo v barvnih televizorjih in računalniških zaslonih, kjer belo barvo prikažemo samo z tremi valovnimi dolžinami s področja rdeče, zelene in modre barve. Podoben črtni barvni spekter imajo na primer tudi fluorescenčne sijalke. Obstajajo pa še bolj ekstremni primeri kot je na primer nizkotlačna natrijeva sijalka. Ta oddaja rumeno svetlobo in ima v svojem spektru samo dve črti, obe blizu skupaj in v rumenem področju vidnega dela svetlobe.

Če isti predmet opazujemo osvetljen s tako različnimi svetlobnimi viri oziroma svetlobo (z različnimi spektri) seveda ne more vedno izgledati enake barve. Glede na to, da so se naše oči razvile na sončni svetlobi in smo na to svetlobo tudi najbolje prilagojeni, lahko smatramo, da je prava barva predmeta taka, kot jo vidimo na sončni svetlobi. Na svetlobi umetnega svetlobnega vira seveda lahko izgleda enako ali podobno ali pa celo precej drugače. In to lastnost, kako »naravno« se vidi barva predmetov, osvetljenih s svetlobo določenega svetlobnega vira, označimo z indeksom barvnega videza svetlobnega vira. Označimo ga z R_a ali s CRI (colour rendering index).



Slika 3.29: Barve istih predmetov, osvetljenih z različnimi svetlobnimi viri, so lahko videti precej različne.

Indeks barvnega videza se ugotavlja na podlagi večjega števila barvnih vzorcev. V prvotnem postopku je bilo uporabljenih osem pastelnih vzorcev, ki so bili izbrani iz celotnega področja CIE barvnega prostora. Postopek izračuna indeksa barvnega videza je približno sledeč:

1. ker je indeks barvnega videza smiseln samo za približno bele vire svetlobe, najprej v CIE barvnem prostoru določimo barvne koordinate testiranega vira;
2. poiščemo podobno barvno temperaturo testiranega vira tako da poiščemo točko na Planckovem loku, ki je najbližja barvni točki testnega vira;
3. Če je podobna barvna temperatura barvnega vira manjša od 5000 K je referenčni vir za primerjavo barv črno sevalo z enako barvno temperaturo. Če je barvna temperatura testnega vira večja od 5000 K, je referenčni vir sončna svetloba (standardni vir D) z enako barvno temperaturo;
4. preverimo, če je barvna razdalja testiranega vira do Planckovega loka v CIE 1960 UCS barvnem sistemu manjša od $5{,}4 \times 10^{-3}$. Barvno razdaljo izračunamo po formuli:

$$DC = \Delta_{uv} = \sqrt{(u_r - u_t)^2 + (v_r - v_t)^2}$$

Enačba 10: Enačba za izračun barvne razdalje v CIE 1960 UCS barvnem sistemu: DC … barvna razdalja, u_r … u barvna koordinata referenčnega vira, u_t … u barvna koordinata testiranega vira, v_r … v barvna koordinata referenčnega vira in v_t … v barvna koordinata testiranega vira.

5. vzorce testnih barv osvetlimo z testiranim in z referenčnim svetlobnim virom;
6. poiščemo barvne koordinate svetlobe v CIE barvnem prostoru, ki odseva od uporabljenih testnih barvnih vzorcev pri testiranem in referenčnem viru;
7. vzorce barvno adaptiramo s pomočjo von Kriesove transformacije;
8. za vsak vzorec izračunamo Evklidovo razdaljo med barvno točko odsevane svetlobe vzorca pod testiranim in referenčnim virom ΔE_i;
9. izračunamo poseben indeks barvnega videza za vsakega od vzorcev s pomočjo enačbe:

$$R_i = 100 - 4{,}6 \cdot \Delta E_i$$

Enačba 11: Izračun posebnega indeksa barvnega videza za posamezen vzorec, kjer je ΔE_i Evklidova razdalja med barvno točko (barvnimi koordinatami) barvnega vzorca, osvetljenega z testiranim in referenčnim virom.

10. izračunamo skupen indeks barvnega videza kot aritmetično sredino vseh posebnih indeksov posameznih barvnih vzorcev:

$$R_a = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} R_i$$

Enačba 12: Izračun indeksa barvnega videza: R_i ... posebni indeks barvnega videza posameznega vzorca

Poleg prvotnih osmih vzorcev s pastelnimi barvami so kasneje dodali še štiri testne vzorce z bolj nasičenimi barvami ter barvo človeške kože in olivno zeleno barvo (barvo rastlinskih listov).

Iz enačb 11 in 12 lahko vidimo, da je največja vrednost indeksa barvnega videza lahko 100. Imajo jo referenčni svetlobni viri in viri, ki barve predmetov prikazujejo enako dobro. Glede na to, da so referenčni svetlobni viri skupaj s soncem termična sevala, so to predvsem termični svetlobni viri, ki svetlobo proizvajajo z žarenjem (npr. navadna ali halogenska žarnica).

Kasneje so bile razvite nove metode (na primer $R96_a$ kjer so uporabljeni novi vzorci, samo nekaj referenčnih virov, CIE CAT94 barvna adaptacija in CIE LAB barvni prostor). Kljub temu raziskovalci danes ugotavljajo, da se indeks barvnega videza ne obnese pri vseh svetlobnih virih enako dobro. Predvsem pri svetlečih diodah (LED) so s poskusi dokazali, da je njihovo barvno podajanje na testih z vidnim določanjem ustreznosti barv boljše kot ga poda indeks barvnega videza.

4 MERJENJE SVETLOBE

Svetloba je del elektromagnetnega valovanja in kot tako jo lahko merimo z radiometričnimi veličinami, ki obravnavajo celotno elektromagnetno valovanje na enak način. Po drugi strani je svetloba medij, ki omogoča delovanje našega vida. Vendar pa naš vid ne zaznava vseh valovnih dolžin svetlobe oziroma elektromagnetnega valovanja enako. Če želimo torej svetlobo izmeriti na način, da bomo dobili tudi informacijo o tem, kako bo v določenih razmerah deloval naš vid, radiometrija ni pravi način. V tem primeru moramo uporabiti fotometrijo.

4.1 RADIOMETRIJA

Radiometrija je znanost, ki se ukvarja z merjenjem elektromagnetnega valovanja v fiziki, astronomiji in geofiziki. Običajno je omejena na področje svetlobe (ne samo vidne ampak tudi ultra-vijolične in infra-rdeče) in gama žarkov, uporablja pa se jo lahko tudi na drugih področjih.

Za opis lastnosti virov sevanja, sprejemnikov in obsevanih površin se uporablja štiri osnovne radiometričnih enote: sevalni tok ali fluks, jakost sevanja, obsevanost in sevalnost. Dodatno lahko definiramo še energijo sevanja in specifično sevalnost.

4.1.1 SEVALNI TOK

Sevalni tok ali sevalni fluks (angleško radiant flux, nemško Strahlungsfluss) je celotna energija, ki jo vir sevanja odda v prostor v enoti časa. Običajno ga označimo z Φ_e (z indeksom e označujemo radiometrične veličine za razliko od fotometričnih brez indeksa), enota je vat (W) torej enota za električno moč. Antena radijskega oddajnika z močjo 100 W ima torej sevalni tok 100 W (če zanemarimo izgube).

Če sevalni tok integriramo po času dobimo energijo sevanja (ang. radiant energy, nem. Strahlungenergy), ki jo običajno označimo z Q_e. Enota je vat-sekunda (Ws) ali džúl (J).

4.1.2 JAKOST SEVANJA

Viri sevanja (na primer antena) ne sevajo v vse smeri enako. Včasih je sevalni tok po prostoru razporejen bolj enakomerno (npr. pri palični anteni) včasih pa je zelo usmerjen (npr. pri radarskem oddajniku). Sevalni tok v določeni smeri opišemo z jakostjo sevanja (ang. radiant intensity, nem. Strahlungsstärke). Pri tem se smer določi s pomočjo prostorskega kota (ang. solid angle, nem. Raumwinkel), ki je definiran v poglavju o fotometriji.

$$I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}$$

Enačba 13: Poenostavljena enačba za jakost sevanja, ki je odvisna od sevalnega toka Φ_e v izbranem prostorskem kotu ω s katerim definiramo smer.

Iz formule lahko hitro ugotovimo, da je enota za jakost sevanja vat na steradian (W/sr). Steradian je brezdimenzijska enota za prostorski kot, podobno kot je radian brezdimenzijska enota za ravninski kot.

4.1.3 OBSEVANOST

Del sevalnega toka, ki pade na izbrano ploskev, definira obsevanost (ang. irradiance, nem. Bestrahlungsstärke) te ploskve. Matematično torej lahko obsevanost izračunamo po formuli:

$$E_e = \frac{\Phi_e}{A}$$

Enačba 14: Poenostavljena enačba za izračun obsevanosti ploskve na podlagi sevalnega toka Φ_e, ki pade na ploskev in njene površine A.

Enota za obsevanost je torej vat na kvadratni meter (W/m^2). Zgornja enačba drži samo, če je smer sevanja pravokotna na opazovani ploskev. V primeru da sevanje pada na ploskev pod določenim kotom, je potrebno izračunano obsevanost pri pravokotnem vpadu pomnožiti še s kosinusom vpadnega kota. Več o tem ja opisano pri osvetljenosti v naslednjem poglavju.

4.1.4 SEVALNOST

Sevalnost (ang. radiance, nem. Strahldichte) pa pove, kakšen sevalni tok oddaja ali odseva izbrana ploskev v določeni smeri in pod določenim kotom oziroma kakšna je jakost sevanja izbrane ploskve pod določenim kotom. Matematični zapis je:

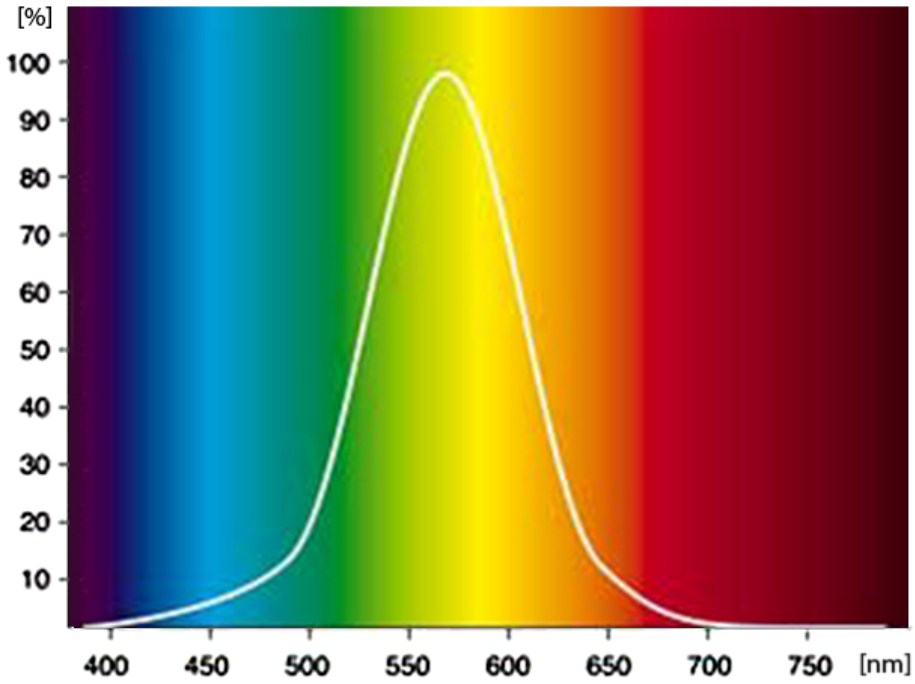
$$L_e = \frac{\Phi_e}{A \cdot \omega \cdot \cos\Theta} = \frac{I_e}{A \cdot \cos\Theta}$$

Enačba 15: Poenostavljen izraz za sevalnost ploskve s površino A, ki v določen prostorski kot ω, ki glede na normalo na ploskev oklepa kot Θ, seva sevalni tok pod kotom seva Φ_e, ki pade. Namesto sevalnega toka in prostorskega kota lahko uporabimo tudi jakost sevanja I_e.

Sevalni tok, ki ga izbrana ploskev oddaja lahko dejansko nastaja na izbrani ploskvi, ali pa ga ploskev samo preseva ali odseva. Iz enačbe dobimo tudi enoto za sevalnost, ki je vat na steradian in kvadratni meter (W/sr m^2).

4.2 FOTOMETRIJA

Za razliko od radiometrije, ki vse valovne dolžine obravnavanega elektromagnetnega valovanja vrednoti enako, fotometrija pri tem upošteva spektralno odvisnost človeškega očesa. Kot smo že zapisali v poglavju o človeškem vidu, napše oko posamezne valovne dolžine elektromagnetnega sevanja oziroma svetlobe loči kot posamezne barve. Vemo tudi že, da so nam v pomoč pri zaznavi barv tri različne vrste čepnic, ki posamezne valovne dolžine zaznavajo precej različno. Če te spektralne občutljivosti čepnic združimo v eno funkcijo, dobimo t.i. spektralno občutljivost človeškega očesa, ki je v normirani obliki podana na spodnji sliki.



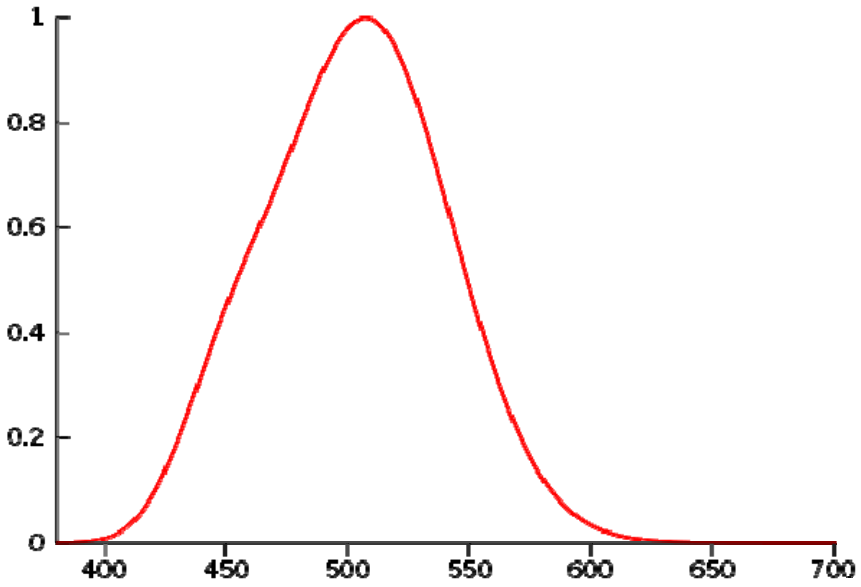
Slika 4.1 Krivulja spektralne občutljivosti človeškega očesa. Prikazuje relativno občutljivost človeškega očesa na valovne dolžine elektromagnetnega valovanja pri dnevnem (fotopskem) vidu.

Vidimo lahko, da je človeško oko najbolj občutljivo na rumeno-zeleno svetlobo in sicer ima krivulja spektralne občutljivosti (imenovana tudi V(λ)-krivulja) svoj vrh pri 555 nm. Na obe strani, proti večjim in proti manjšim valovnim dolžinam) krivulja pada in doseže vrednost nič pri 380 nm oziroma 780 nm. Področje manjših valovnih dolžin je področje ultra-vijolične svetlobe, področje večjih valovnih dolžin pa področje infra-rdeče svetlobe. Naše oko ne zazna elektromagnetnega valovanja v nobenem od teh področij.

Krivulja je bila določena s strani CIE (Mednarodna komisija za razsvetljavo) leta 1931 in je standardizirana, podana v obliki tabele. Sestavljena je bila iz rezultatov različnih poskusov in testov, ki so jih izvedli raziskovalci na določenem številu ljudi. Ker ti poskusi niso pokrili področja celotnega vidnega spektra je bil del določen na podlagi dogovora. Kasneje so ugotovili (Judd-Vos 1978; Sharpe, Stockman, Jagla & Jägle 2005), da je dejanska spektralna občutljivost človeškega očesa predvsem v modrem delu spektra nekaj večja, vendar krivulja ni bila spremenjena. So pa bile objavljene tudi popravljene oblike krivulje.

Ker krivulja izhaja iz spektralne občutljivosti čepnic se torej nanaša na dnevni ali fotopski vid. Pogoj za to pa je ustrezna svetlost okolice. Danes velja, da dnevni ali fotopski vid ustrezno deluje, kadar je svetlost okolice večja od 3 cd/m^2.

Kasneje (1951) je bila določena in standardizirana tudi spektralna občutljivost oči pri nočnem (skotopskem) vidu, ko uporabljamo paličnice. Krivulja je podobne oblike, le da je malo premaknjena v levo in ima vrh pri 507 nm, torej v modro-zelenem področju. Imenujemo jo tudi V'(λ)-krivulja. Prikazana je na spodnji sliki. Nočni vid nastopi pri svetlostih okolice, ki so manjše od 10^{-3} cd/m^2.



Slika 4.2 Krivulja spektralne občutljivosti človeškega očesa za nočni (skotopski) vid. Prikazuje relativno občutljivost paličnic v človeškem očesu na valovne dolžine elektromagnetnega valovanja.

Kljub temu, da imamo definirani krivulji za dnevni in nočni vid in danes tudi postopek za kombinacijo obeh krivulj v spektralno občutljivost človeškega očesa pri mračnem (mezopskem) vidu, se v fotometriji običajno uporablja samo krivulja V(λ), kar pomeni da fotometrija temelji na dnevnem vidu. Včasih sicer srečamo v literaturi izraz kot je skotopski lux, ki pomeni da je bila osvetljenost izračunana z uporabo krivulje V'(λ), vendar je to prej izjema kot pravilo. Se pa v zadnjem času vse bolj uveljavlja mezopska fotometrija, ki upošteva obe krivulji v odvisnosti od adaptacijske svetlosti in ki naj bi svoje mesto našla predvsem v področju cestne razsvetljave. Svetlosti okolja pri cestni razsvetljavi so namreč v večini primerov pod fotopskim področjem.

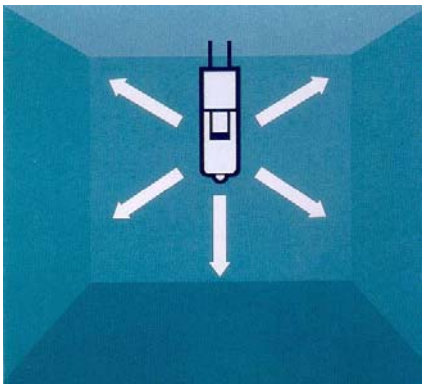
4.2.1 SVETLOBNI TOK

Svetlobni tok (ang. luminous flux, nem. Lichtstrom) je, podobno kot sevalni tok, količina svetlobe, ki jo svetlobni vir seva v okolico. Vendar pa svetlobni tok upošteva samo vidni del svetlobe oziroma samo elektromagnetno valovanje, ki ga naše oči zaznajo. Pri pretvorbi med sevalnim tokom in svetlobnim tokom moramo torej upoštevati spektralno občutljivost naših oči (V(λ)-krivulja). Povezava je definirana z enačbo:

$$\Phi = K_m \cdot \int_0^\infty \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$$

Enačba 16: Izračun svetlobnega toka na podlagi sevalnega toka Φ_e po posameznih valovnih dolžinah in spektralne občutljivosti človeškega očesa V(λ). Vrednost konstante K_m je 683 lm/W.

Enota za svetlobni tok je lumen (lm). Konstanta K_m, katere vrednost je 683 lm/W, izhaja iz definicije kandele (enote za svetilnost), ki jo bomo podali kasneje. Z njo so povezali radiometrične veličine temelječe na vatu (W) z fotometričnimi, ki so bile prej utemeljene na sveči (svetilnosti ene sveče).



Slika 4.3 Svetlobni tok vira je energija oz. moč elektromagnetnega valovanja (svetlobe), ki jo vir seva v celotno okolico in jo naše oči zaznajo.

Ker je vrednost krivulje V(λ) odvisna od valovne dolžine svetlobe, en vat pri posamezni valovni dolžini ni enak 683 lm. Ta pretvorba je veljavna samo za svetlobo valovne dolžine 555 nm. Pri ostalih valovnih dolžinah pa je en vat lahko precej manj lumnov. Nekaj vrednosti je zbranih v spodnji tabeli.

Sevalni tok jakosti 1 W pri valovni dolžini	pomeni svetlobni tok z jakostjo
400 nm	0,000 lm
500 nm	220,609 lm
600 nm	430,973 lm
700 nm	2,732 lm
800 nm	0,000 lm

Tabela 4.1: Vrednosti svetlobnega toka pri sevalnem toku 1W v odvisnosti od valovne dolžine sevanja

Svetlobni tok posameznega svetlobnega vira je tako poleg od njegovega sevalnega toka (in posredno od njegove električne moči) odvisen tudi od sevalnega spektra vira. Zato imajo lahko svetlobni viri s približno enako električno močjo zelo različen svetlobni tok. Nekaj primerov:

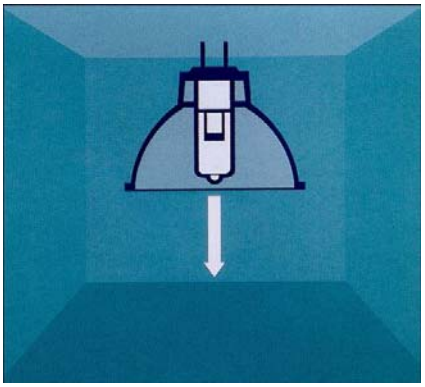
- navadna žarnica 100W ≈ 1300 lm,
- fluorescentna sijalka 58W ≈ 5200 lm,
- visokotlačna natrijeva sijalka 100W ≈ 10.000 lm,
- nizkotlačna natrijeva sijalka 90W ≈ 13.500 lm.

Kot lahko vidimo ima navadna žarnica več kot 10-krat manjši svetlobni tok od nizkotlačne natrijeve sijalke (NT Na sijalka), čeprav ima celo 10 % večjo električno moč. Razlog je v tem, da navadna žarnica večino svojega sevanja oddaja v infra-rdečem delu spektra, ki ga naše oči ne zaznajo in ta del torej ne prispeva k svetlobnemu toku. Po drugi strani NT Na sijalka seva samo v področju rumene svetlobe zelo blizu 555 nm, torej oddaj samo svetlobo, na katero so naše oči zelo občutljive. Te razlike v svetlobnem toku pripeljejo tudi do razlik v svetlobnem izkoristku, ki bo opisan v nadaljevanju.

4.2.2 SVETILNOST

Svetlobni tok v določeni smeri definira svetilnost (ang. luminous intesity, nem. Lichtstärke) podobno kot sevalni tok definira jakost sevanja. Svetilnost svetlobnega vira pomeni torej

svetlobni tok v določeni smeri, pri čemer je smer definirana s prostorskim kotom, ki bo definiran v nadaljevanju. Vsota svetilnosti v vseh smereh tridimenzionalega prostora okoli svetlobnega vira torej predstavlja svetlobni tok. Enota za svetilnost je kandela (cd), ki je tudi ena od sedmih osnovnih enot SI merskega sistema.



Slika 4.4 Del svetlobnega toka, ki ga svetlobni vir oddaja v določeni smeri podaja svetilnost v tej smeri.

Svetilnost lahko izračunamo iz svetlobnega toka, ki ga vir seva v izbran prostorski kot po naslednji enačbi:

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

Enačba 17: Svetilnost (I) je definirana kot del svetlobnega toka dΦ, ki ga vir seva v del prostora, definiranega s pomočjo prostorskega kota dω.

Svetilnost vira svetlobe ni v vseh smereh enaka, kar lahko vidimo iz zgornje slike. Svetilnost reflektorske halogenske žarnice je navzdol veliko večja kot na primer navzgor. Zato svetilnost velikokrat podajamo v različnih prostorskih diagramih. Najbolj pogosta je uporaba polarnega diagrama za prikaz svetilnosti v eni ravnini prostora, vendar o tem več kasneje pri opisovanju karakteristik svetilk. Je pa pri določenih svetlobnih virih lahko svetilnost tudi v vseh smereh vsaj približno enaka. Svetilnosti nekaj znanih svetlobnih virov so:

- sveča ≈ od 0,6 cd do 1 cd,
- navadna žarnica 100W ≈ 110 cd,
- visokotlačna natrijeva sijalka 70W ≈ 500 cd,
- sonce (zunaj atmosfere) ≈ 3 x 10^{27} cd.

Kot osnovna enota merskega sistema ima kandela seveda tudi svojo uradno definicijo. Ta je bila že večkrat spremenjena, zadnja pa se glasi: »Ena kandela je svetilnost v določeni smeri vira z monokromatsko svetlobo frekvence 540·10^{12} Hz, ki ima jakost sevanja v tej smeri enako 1/683 W/sr«.

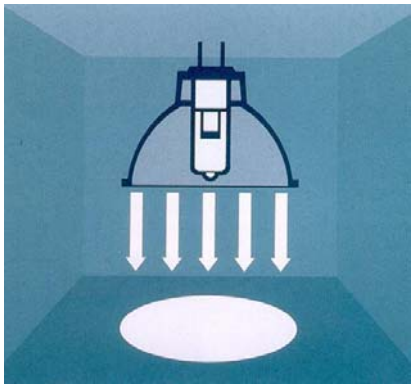
V zadnjem času se veliko govori o tem, da bi bilo potrebno kandelo definirati s pomočjo kvantne fizike (fotonov) oziroma jo na seznamu osnovnih enot SI merskega sistema zamenjati z lumnom, kot enoto za svetlobni tok.

4.2.3 OSVETLJENOST

Osvetljenost (ang. illuminance, nem. Beleuchtungsstärke) je merilo za količino svetlobnega toka, ki pada na izbrano ploskev. Merimo jo v luksih (lx) in je ena od najpogosteje merjenih veličin v fotometriji, saj se običajno navaja v standardih in priporočilih za razsvetljavo. Definiramo jo lahko z enačbo:

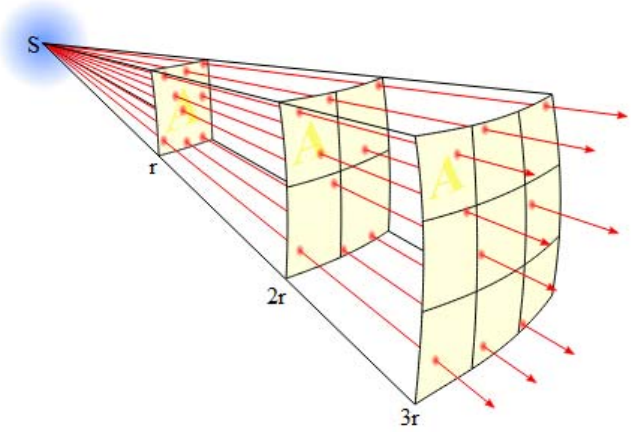
$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

Enačba 18: Osvetljenost je definirana kot del svetlobnega toka dΦ, ki pade na del prostora definiran s ploskvijo dA.



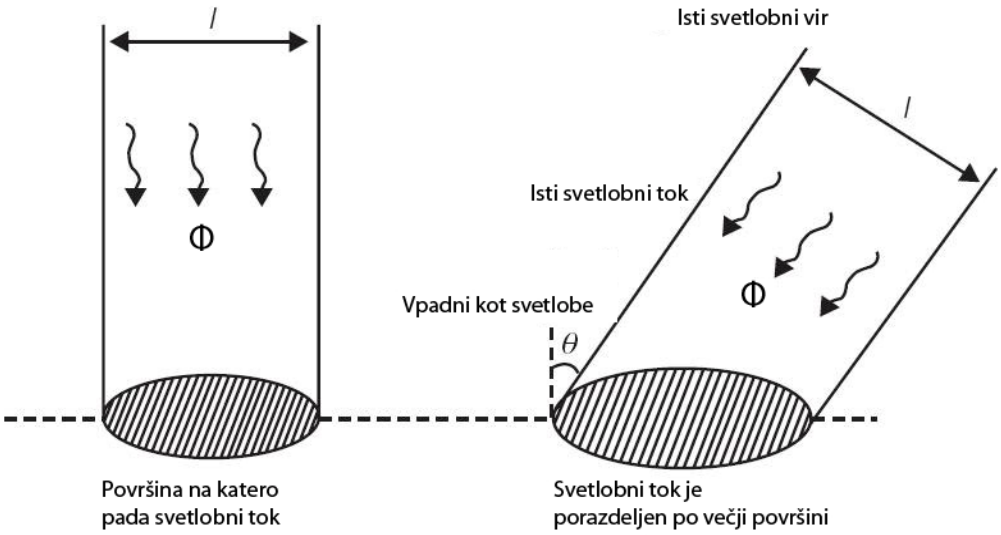
Slika 4.5 Svetlobni tok, ki konča na izbrani ploskvi definira osvetljenost te ploskve.

Osvetljenost neke površine je odvisna od oddaljenosti od svetlobnega vira. Če namreč predpostavimo, da med svetlobnim virom in površino ni delcev, ki bi absorbirali svetlobo in s tem povzročali izgube, ali površin, ki bi svetlobo odbijale proti merjeni površini, potem sledi, da je svetlobni tok, ki ga svetlobni vir seva v določen prostorski kot (definiran s ploskvijo in razdaljo) konstanten, ne glede na razdaljo od vira. Vendar pa površina, po kateri je ta svetlobni tok razporejen narašča s kvadratom razdalje. Iz tega sledi, da je osvetljenost izbrane površine obratno sorazmerna kvadratu razdalje od svetlobnega vira. Temu pravimo tudi fotometrični zakon oddaljenosti ali »$1/r^2$« zakon.

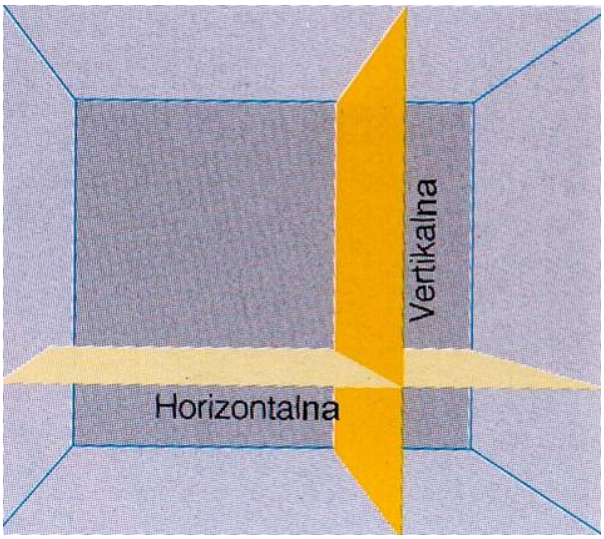


Slika 4.6: Svetlobni tok je znotraj prostorskega kota konstanten, vendar pa površina ploskve narašča s kvadratom razdalje, zato osvetljenost ustrezno pada.

Osvetljenost izbrane ploskve je odvisna tudi od vpadnega kota svetlobe. Svetlobni tok se namreč porazdeli po večji ploskvi, če je vpadni kot večji (spodnja slika). Zaradi tega je osvetljenost izbrane površine največja, če je vpadni kot svetlobe 0° (če torej svetloba vpada pravokotno na ploskev). Povezavo med osvetljenostjo in vpadnim kotom svetlobe imenujemo kosinusni zakon.



Slika 4.7: Ponazoritev kosinusnega zakona v fotometriji.



Slika 4.8: Osvetljenost, ki jo izmerimo na horizontalni ravnini se imenuje tudi horizontalna osvetljenost. Podobno velja za vertikalno osvetljenost.

Kosinusni zakon je razlog, da poznamo več vrst osvetljenosti, od katerih se najpogosteje uporabljajo horizontalna, vertikalna in cilindrična oziroma polcilindrična osvetljenost. Horizontalna osvetljenost je osvetljenost, ki jo izmerimo na horizontalni ravnini, na primer na tleh. V tem primeru nam pove, kako dobro bomo opazili podrobnosti na tleh. Ko pa na primer iščemo knjigo na knjižni polici, je pomembna vertikalna osvetljenost, ki jo izmerimo na vertikalni ravnini ob knjižni polici. Cilindrična in polcilindrična osvetljenost pa povesta

kako je osvetljena površina valja (polvalja) v prostoru. Na podlagi polcilindrične osvetljenosti na primer lahko ocenimo, kako dobro bomo razpoznali poteze obraza mimoidočega.

Če podrobno pogledamo fotometrični zakon oddaljenosti bomo ugotovili, da je osvetljenost odvisna od svetlobnega toka v določenem prostorskem kotu, to pa je svetilnost. Torej lahko zapišemo tudi, da je svetilnost vira v določeni smeri konstantna, osvetljenost pa je odvisna od te svetilnosti in kvadrata razdalje:

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \omega_0 = \frac{I}{r^2} \cdot \omega_0 \cdot \cos\Theta$$

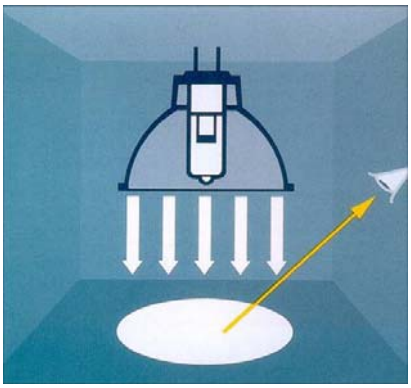
Enačba 19: Osvetljenost lahko definiramo tudi s pomočjo svetilnosti in kvadrata razdalje. Prostorski kot ω_0 v enačbi je enotin prostorski kot (velikost 1 sr) s katerim uredimo enačbo tako, da veljajo relacije med enotami. Kot Θ pa upošteva kosinusni zakon, čevpad svetlobe na površino ni pravokoten.

Primeri nekaterih tipičnih osvetljenosti, ki jih najdemo v naravi so:

- s soncem osvetljena površina na prostem sredi poletnega dneva (na primer travnik) ≈ do 100.000 lx;
- površina v senci na prostem (na primer v senci drevesa) ≈ do 10.000 lx;
- delovna površina v pisarni osvetljena z umetno svetlobo ≈ od 300 do 500 lx;
- z javno razsvetljavo osvetljena cesta ≈ od 2 do 10 lx;
- mesečina ≈ 0,5 lx.

4.2.4 SVETLOST

Fiziološko gledano je svetlost merilo kako svetla oziroma temna se nam zdi neka površina. Fizikalno gledano pa je svetlost (ang. luminance, nem. Leuchtdichte) definirana kot svetlobni tok, ki ga izbrana površina seva (preseva, odseva) v določen prostorski kot pod določenim kotom glede na normalo na izbrano površino. Merimo jo v kandelah na kvadratni meter (cd/m^2).



Slika 4.9: Svetlost površine je odvisna od svetlobnega toka, ki ga na primer osvetljena površina odseva v določeni smeri.

Matematično lahko svetlost definiramo s sledečo enačbo:

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot d\omega \cdot \cos\Theta}$$

Enačba 20: Svetlost je definirana kot del svetlobnega toka dΦ, ki ga izbrana površina dA seva v prostorski kot dω pod kotom Θ glede na normalo na površino.

Ob upoštevanju definicij za osvetljenost in za svetilnost, lahko svetlost definiramo tudi kot:

$$L = \frac{dE}{d\omega \cdot \cos\Theta} = \frac{dI}{dA \cdot \cos\Theta}$$

Enačba 21: Svetlost definirana preko osvetljenosti (levi izraz) in preko svetilnosti (desni izraz).

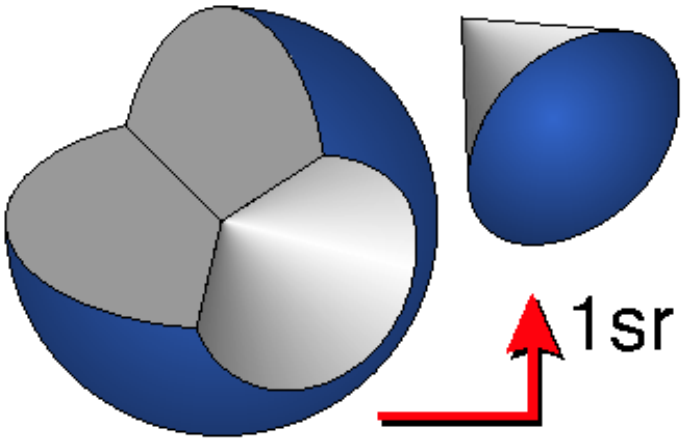
Definicija s pomočjo osvetljenosti se običajno uporablja, kadar opisujemo (izračunavamo) svetlost površine, ki svetlobo odseva in je torej osvetljena. Definicija s pomočjo svetilnosti pa pride prav pri določanju svetlosti površine, ki sveti oziroma ki svetlobo preseva.

Primeri nekaterih tipičnih vrednosti svetlosti so navedeni spodaj:

- sonce ≈ 1.600.000 kcd/m^2,
- navadna žarnica s prozornim balonom (svetlost žarilne nitke) ≈ 15.000 kcd/m^2,
- fluorescentna sijalka ≈ 10 kcd/m^2,
- sveča ≈ 8 kcd/m^2,
- luna ≈ 2,5 kcd/m^2,
- stena sobe osvetljena z električno razsvetljavo ≈ 0,04 kcd/m^2.

4.2.5 PROSTORSKI KOT

Prostorski kot (ang. solid angle, nem. Raumwinkel), ki ga predstavlja »stožec« krogelnega izseka je definiran kot razmerje površine tega krogelnega izseka (modri del na sliki 4.10) proti kvadratu polmera krogle. Definicija je torej podobna kot definicija ravninskega kota, ki ga definira dolžina loka na krožnici proti polmeru kroga.



Slika 4.10: Prostorski kot je definiran kot razmerje med površino krogelnega izseka (modri del) proti kvadratu polmera krogle.

Velikost prostorskega kota torej lahko izračunamo po enačbi:

$$\omega = \frac{A}{r^2}$$

Enačba 22: Enačba, ki podaja velikost prostorskega kota v odvisnosti od velikosti površine krogelnega izseka A in polmera krogle r.

Enota prostorskega kota je steradian (sr). Podobno kot radian (rd) pri ravninskem kotu je tudi steradian brezdimenzijska enota. Iz enačbe 22 namreč lahko vidimo, da je steradian enak: sr = m^2/m^2.

4.2.6 SVETLOBNI IZKORISTEK

Svetlobni izkoristek svetlobnega vira je merilo za to, kako dobro električni svetlobni vir pretvarja električno energijo v svetlobo. Definiran je torej kot razmerje med svetlobnim tokom, ki ga dobimo iz svetlobnega vira pri vloženi električni moči. Podajamo ga v lm/W, nekatere vrednosti pa so navedene spodaj:

- navadna žarnica moči 100 W ≈ 13 lm/W,
- fluorescenčna sijalka ≈ 80-100 lm/W,
- visokotlačna kovinsko halogenidna sijalka ≈ 65-115 lm/W.
- visokotlačna natrijeva sijalka ≈ 85-150 lm/W.

Več o izkoristkih sodobnih svetlobnih virov je navedeno v poglavju 1.

4.2.7 ŽIVLJENJSKA DOBA SVETLOBNEGA VIRA

Življenjska doba svetlobnega vira sicer ni fotometrična veličina, jo pa zaradi popolnosti informacije vseeno navajamo na tem mestu. Obstaja več načinov definicije življenjske dobe svetlobnega vira. Pri navadni žarnici, ki je bila eden prvih električnih svetlobnih virov je stvar razmeroma preprosta. Življenjska doba je čas v katerem bo žarnica pregorela. Ker pa vse žarnice ne pregorijo v enakem času, je bilo potrebno življenjsko dobo definirati na podlagi povprečja. Tako je pri navadni žarnici življenjska doba čas, v katerem odpove 50 % žarnic, oziroma po katerem še sveti 50 % žarnic. Podobno je življenjska doba definirana tudi pri različnih vrstah sijalk, ki po določenem času odpovedo ne da bi se jim prej pomembno zmanjšal svetlobni tok. Poleg življenjske dobe, definirane na podlagi 50 % preživetja poznamo tudi življenjsko dobo, ki je definirana na podlagi 75 % preživetja. Če je življenjska doba vira navedena samo z urami, gre običajno za podatek o času 50 % preživetja (oziroma odpovedi).

Taka definicija življenjske dobe pa naleti na težave pri svetlobnih viri, ki ne poznajo popolne odpovedi po določenem času, pač pa postanejo neuporabni zaradi drugih lastnosti. Primer so na primer svetleče diode (LED), ki lahko svetijo (teoretično) neskončno dolgo. Vendar pa jim s časom upada svetlobni tok in zaradi tega po določenem času niso več primerne za uporabo, saj ne zagotavljajo več na primer ustrezne osvetljenosti prostora. V tem primeru je življenjska doba definirana na podlagi zmanjšanja svetlobnega toka. Običajno se podaja čas v katerem svetlobni tok vira pade na 70 % začetne vrednosti. Taka življenjska doba se običajno označi z oznako L70 in številom ur (na primer L70 50.000 h).

Možno je seveda podajanje tudi drugih časov, na primer do zmanjšanja svetlobnega toka na 80 % ali 50 % in podobno.

4.3 MERJENJE FOTOMETRIČNIH VELIČIN

Preden začnemo meriti, potrebujemo enoto in njeno predstavitev v obliki normale s katero lahko umerimo naše inštrumente. V primeru fotometrije je osnovna enota kandela, enota za svetilnost. Vse ostale fotometrične enote lahko nato izpeljemo iz kandele na podlagi fizikalnih zakonov.

4.3.1 REALIZACIJA KANDELE

Definicija kandele se je z razvojem znanosti spreminjala. Prve definicije so temeljile na plamenu sveče ali svetilke s plamenom (na primer Hefnerjeva svetilka) in so se imenovale sveča (ang. candle, nem. Kerze).

Ker je bilo pri takih definicijah zelo težko zagotoviti ponovljivost in primerljivost med posameznimi laboratoriji, so v začetku 20. stoletja iskali boljšo rešitev. CIE (Mednarodna komisija za razsvetljavo) in CIPM (Mednarodna komisija za mere in uteži) sta predlagala definicijo na podlagi sevanja staljene platine, ki je bila sprejeta na 1946 in je definirala enoto, ki se je imenovala nova sveča (eng. New candle, nem. Neue Kerze), kot »svetlost črnega telesa pri temperaturi strjevanja platine je enaka 60 novim svečam na kvadratni centimeter površine«.

Definicija je bila leta 1948 na 9. zasedanju CGPM (generalne konference o merah in utežeh) nekoliko popravljen, tako da se je glasila »kandela je svetilnost pravokotno na ploskev s površino 1/600.000 kvadratnega metra črnega telesa pri temperaturi strjevanja platine in tlaku 101.325 njutna na kvadratni meter«. Hkrati so tudi spremenili ime iz nove sveče v kandelo (ang. candela, nem. Candela).

Leta 1979 na 16. zasedanju CGPM so definicijo ponovno spremenili v današnjo obliko, ki se glasi »ena kandela je svetilnost v določeni smeri vira z monokromatsko svetlobo frekvence $540 \cdot 10^{12}$ Hz, ki ima jakost sevanja v tej smeri enako 1/683 W/sr«. Sprememba je nastala predvsem zaradi težav pri realizaciji kandele z črnim sevalom ter zaradi napredka radiometrije. Čeprav je definicija napisana tako, kot da omogoča preprosto realizacijo, temu ni tako. Danes kandele v taki obliki, kot jo opisuje definicija, ne poznamo.

Kandelo danes v večini primerov realiziramo s pomočjo kriogenskega radiometra. Gre za napravo, ki omogoča merjenje sevalnega toka. Energija sevalnega toka elektromagnetnega valovanja segreje črno telo v fotometru. Za primerjavo se to črno telo segreje tudi z električno energijo na enako temperaturo s čimer dobimo električni ekvivalent sevalnega toka. Če uporabimo kot vir elektromagnetnega sevanja (svetlobe) laser z znano valovno dolžino, lahko pri znani površini črnega telesa v fotometru izračunamo osvetljenost na mestu površine črnega telesa. Ta podatek potem uporabimo za prenos enote na merilnik osvetljenosti (luks-meter), s katerim nadomestimo površino črnega telega kriogenskega radiometra.

Slika 4.11: Primer kriogenskega radiometra s katerim danes lahko realiziramo kandelo z ustrezno točnostjo.

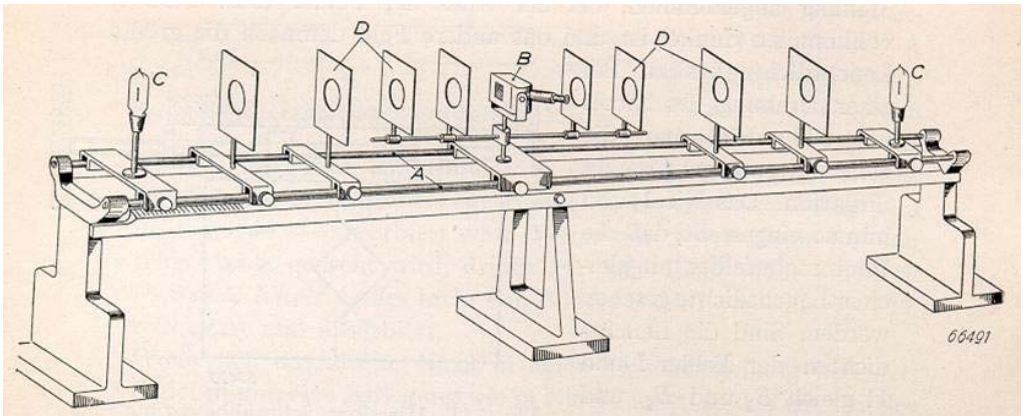
Ker je hranjenje enote v obliki merilnika osvetljenosti precej nepraktično, se običajno enota prenese na drug nosilec, ki je ustrezno časovno konstanten in omogoča lahko hranjenje. V večini laboratorijev se v ta namen danes uporabljajo posebne žarnice. Te žarnice so umerjene tako, da imajo pri določenem enosmernem toku v določeni smeri podano točno vrednost svetilnosti. Pri tem oddajajo svetlobo z barvno temperaturo 2856 K, ki velja kot barvna temperatura, pri kateri se kalibrira fotometrične merilnike.

Slika 4.12: Posebna žarnica, kalibrirana v kandelah, ki jo hranimo v Laboratoriju za razsvetljavo in fotometrijo na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani.

4.3.2 MERITEV SVETILNOSTI

Prve meritve svetilnosti so bile opravljene preko vizualne primerjave svetlosti dveh površin. Šlo je za t.i. subjektivno fotometrijo, pri kateri se na primer na fotometrični klopi premika fotometer, ki ima dve beli ploskvi osvetljeni z različnima viroma. Vira namestimo na oba konca klopi, fotometer pa je med njima. S premikanjem fotometra po klopi spreminjamo razdaljo med fotometrom in enim ter drugim virom, s tem pa se spreminjata

tudi svetlosti obeh opazovanih površin. Ko najdemo točko, pri kateri sta svetlosti obeh površin enaki, lahko iz razdalje fotometra do enega in drugega vira ter iz svetilnosti enega vira izračunamo svetilnost drugega vira.



Slika 4.13: Fotometrična kop z dvema svetlobnima viroma (C) in Brothunovim fotometrom (B). Zaslonke (D) so na klopi nameščene zato, da zmanjšajo stresano svetlobo in tako povečajo točnost meritve.

$$\frac{I_x}{r_x^2} = \frac{I_n}{r_n^2}$$

Enačba 23: Enačba, ki povezuje svetilnosti dveh virov ter razdalje od virov do fotometra.

Seveda meritve, ki vključujejo operaterjeve oči, ne morejo biti preveč točne. Zato se danes namesto fotometrov, ki temeljijo na vizualni primerjavi svetlosti površin, raje uporabljajo fotometri, ki svetlobo pretvorijo v električno napetost ali tok (fotocelice oziroma fotoelementi). Drugače pa je postopek meritve svetilnosti vira ostal enak. Vir pritrdimo na klop in na določeni razdalji izmerimo osvetljenost, ki jo kaže fotometer. Nato iz izmerjene osvetljenosti in znane razdalje med virov in fotometrov izračunamo svetilnost po spodnji formuli.

$$I_x = E_n \cdot r^2$$

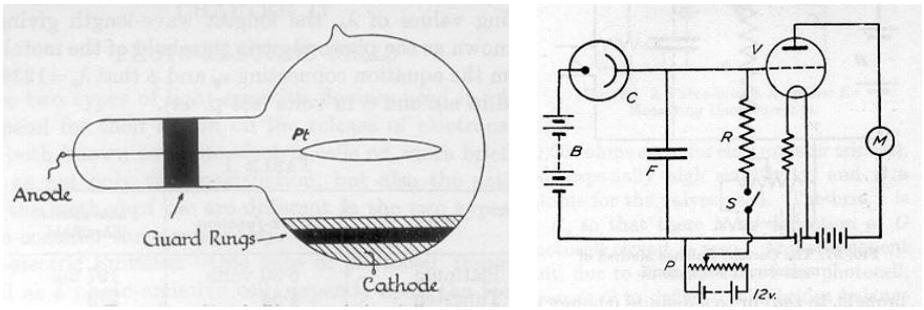
Enačba 24: Izračun svetilnosti vira (I_x) iz izmerjene osvetljenosti (E_n) in razdalje med virom in fotometrom (r).

4.3.3 FOTOELEMENT IN MERITEV OSVETLJENOSTI

Heirich Hertz je že leta 1887 opazil, da ultravijolična svetloba lahko izbije elektrone iz kovine. Malo kasneje (1889) sta Elster in Geitel ugotovila, da pri nekaterih alkalnih kovinah tudi vidni del spektra lahko izbije elektrone. Če kovini dodamo cezij, pa zadošča tudi svetloba z daljšimi valovnimi dolžinami iz rdečega področja spektra. Pojav, ki je kasneje (1905) Alberta Einsteina napeljan na odkritje kvantne mehanike (Nobelova nagrada 1921) je pripeljal tudi do prvi objektivnih fotometrov, ki niso bili več odvisni od operaterjevih oči in občutka za svetlost.

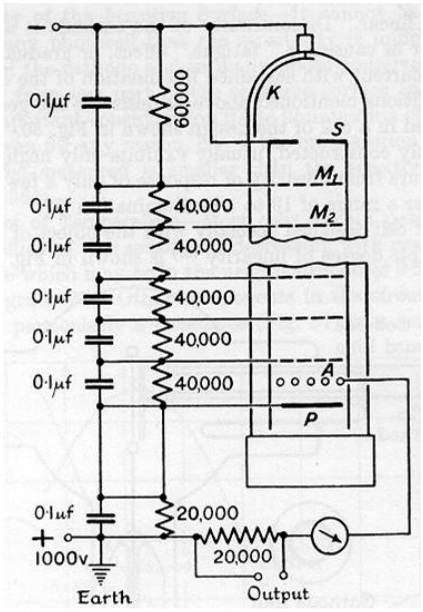
Začelo se je s fotocelico, ki je prikazana na sliki 4.14 levo. Ko svetloba pade na katodo, ki je naparjena na zadnji steni steklene bučke, izbije elektron. Ta zaradi električnega polja med anodo in katodo potuje prosti anodi, zaradi česar skozi fotocelico teče električni tok. Če je

napetost med elektrodama dovolj nizka (pri vakuumski fotocelici okoli 20 V) je tok skozi celico linearno odvisen od osvetljenosti celice. Potrebno je bilo samo še ustrezno ojačevalno in napajalno vezje (prikazano na sliki 4.14 desno).



Slika 4.14: Na levi sliki je prikazana preprosta foto celica. Da je postala uporabna, jo je bilo potrebno vključiti v električno vezje, kot je prikazano na desni sliki.

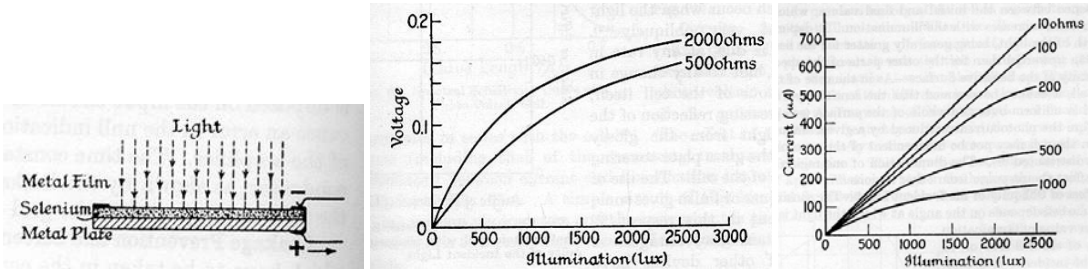
Ker so bili toki, zaradi razmeroma nizke napetosti, zelo majhni, jih je bilo težko izmeriti. Razmere so se nekoliko popravile z uporabo fotopomnoževalke, ki že sama ojači elektronski tok, tako da je linearna odvisnost med osvetljenostjo in tokom ostala tudi pri večjih tokih. Fotopomnoževalka z več ojačevalnimi elektrodami je prikazana na sliki 4.15. Za razliko od ostalih vakuumskih elektronk se fotopomnoževalke še vedno uporablja v določenih aplikacijah. Vendar ne več za merjenje svetlobe.



Slika 4.15: Fotopomnoževalka in ustrezno vezje, ki služi za ojačanje elektronskega toka. Fotopomnoževalke lahko dosežejo ojačanje 160 dB (100.000.000) praktično brez šuma in z zelo širokim frekvenčnim področjem.

Danes za merjenje svetlobe skoraj izključno uporabljamo polprevodniške fotoelemente (foto-voltaične celice). Gre za enako polprevodniško strukturo, ki se danes uporablja pod nazivom sončna celica za proizvodnjo električne energije in pri kateri svetloba izbije elektrone, ki jih loči zaporni pas p-n spoja. Svetloba na fotoelementu povzroči napetost, na žalost pa napetost ni linearna z osvetljenostjo. Pokaže pa se, da je pri dovolj majhni upornosti tokokroga tok (torej praktično kratkostični tok) linearen z osvetljenostjo celice.

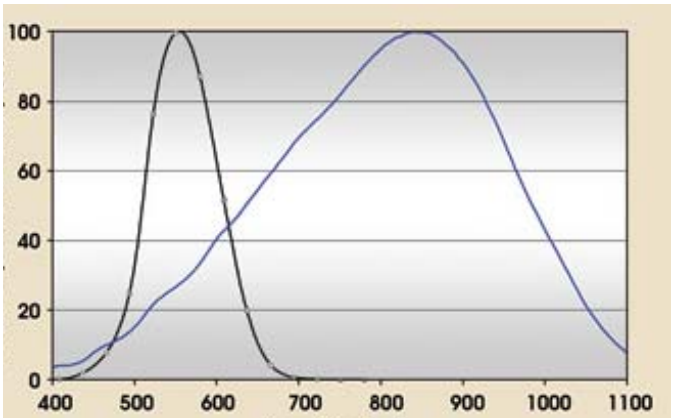
Fotoelementi so bili najprej izdelani iz selena in germanija, ki pa nimata najboljših lastnosti (velik vpliv staranja, velika temperaturna odvisnost). Danes so praktično vsi fotoelementi izdelani iz silicija, ki nudi tako dolgo življenjsko dobo kot tudi zelo majhno temperaturno odvisnost. Na spodnji sliki je prikazana preprosta struktura fotoelementa iz selena, poleg pa tudi napetostne in tokovne karakteristike.



Slika 4.16: Selenski fotoelement. Na srednji sliki je prikazana odvisnost napetosti na sponkah od osvetljenosti, ki pa žal ni linearna. Zato pa je kratkostični tok linearno odvisen od osvetljenosti, kar s pridom uporabljamo v merilnikih osvetljenosti.

Preprost merilnik osvetljenosti (luks-meter) torej lahko izdelamo tako, da na priključka fotoelementa (sončne celice) vežemo merilnik toka (amper-meter). Težava je le v tem, da so toki, ki jih generira fotoelement zelo majhni. Pri večjih površinah fotoelementa so lahko v področju mikro (10^{-6}) amperov, pri manjših površinah, ki se danes običajno uporabljajo, pa tudi v področju nano (10^{-9}) ali celo piko (10^{-12}) amperov. Zaradi tega običajno pred merilnik toka vgradimo ustrezen ojačevalec toka, ki pa mora biti zelo linearen in brez veliko šuma.

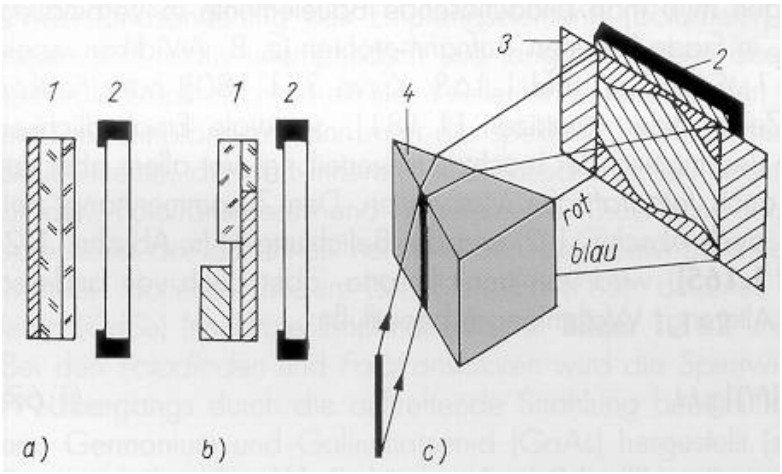
Od merilnika osvetljenosti seveda pričakujemo, da se obnaša v skladu z osnovami fotometrije. Da ima torej enako spektralno občutljivost kot človeško oko ter da upošteva kosinusni zakon in fotometrični zakon oddaljenosti. S slednjim ni težav, nekoliko več dela pa imamo s prilagoditvijo spektralni občutljivosti očesa ter s prilagoditvijo kosinusnemu zakonu. Kot lahko vidimo na spodnji sliki, je spektralna občutljivost silicija, ki se danes največ uporablja za izdelavo fotoelementov, precej drugačna kot spektralna občutljivost človeškega očesa. Vidimo lahko, da je silicij občutljiv tudi v področju UV svetlobe, predvsem pa v področju IR svetlobe, ki jo z očmi ne zaznamo več.



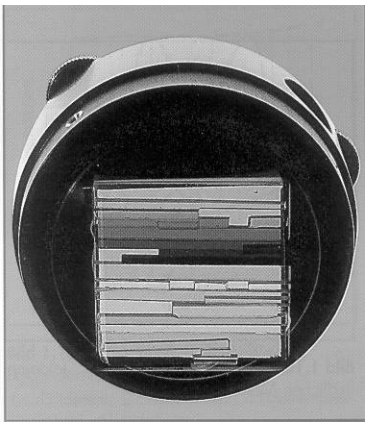
Slika 4.17: Relativna spektralna občutljivost (v procentih) silicija (modra krivulja) in človeškega očesa (črna krivulja) pri valovnih dolžinah med 400 in 1100 nm.

Najbolj preprosta možnost za prilagoditev fotoelementa na spektralno občutljivost očesa je kalibracija pri npr. izbrani spektralni sestavi vira. Uveljavila se je kalibracija pri svetlobi črnega sevala z barvno temperaturo 2856 K (standardni svetlobni vir A). Vendar pa v tem primeru inštrument točno kaže samo, če se z njim meri svetloba z enako spektralno sestavo (črno sevalo, 2856 K). Danes, ko uporabljamo zelo različne svetlobne vire in nobeden več ne temelji na črnem sevalu, to seveda ni uporabna rešitev.

Druga možnost je uporaba filtrov, ki ne prepuščajo valovnih dolžin, ki jih človeško oko ne zazna in ki oslabijo valovne dolžine pri katerih fotoelement kaže preveč (na primer v rdečem področju). Pri cenejših izvedbah fotoelementov se običajno uporablja polne filtre, ki v celoti pokrijejo površino fotoelementa. Lahko so enoslojni ali pa sestavljeni iz več slojev različnih barvnih (filtrskih) stekelc. Če želimo še boljšo prilagoditev spektralni občutljivosti človeškega očesa, pa lahko posamezna barvna stekelca (filtre) zložimo v t.i. pasovni filter. Tretja možnost je tudi uporaba spektralne šablone, kjer svetlobo na prizmi razklonimo, tako da dobimo na posameznih delih senzorja samo določene valovne dolžine. S šablono ustrezne oblike lahko potem del teh valovnih dolžin, pri katerih inštrument kaže preveč, zasenčimo in tako ne vplivajo več na tok fotoelementa. Je pa problem spektralne šablone v tem, da je količina svetlobe razmeroma majhna in je tudi fotoelektrični tok zelo majhen.

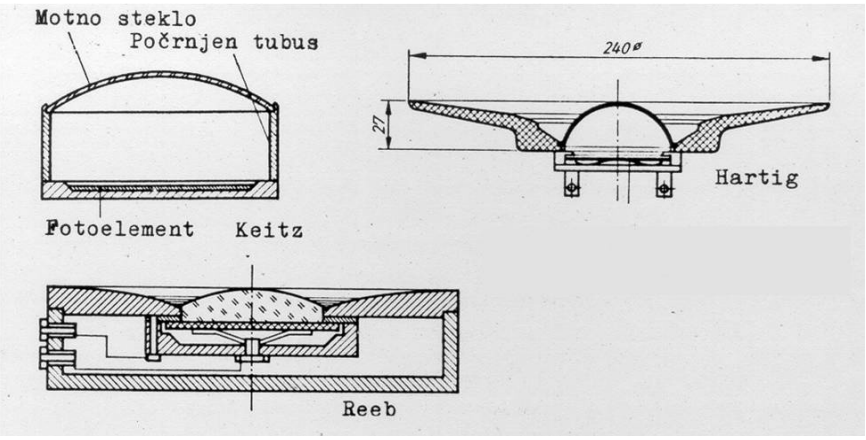


Slika 4.18: Možnosti prilagoditve spektralne občutljivosti fotoelementa z a) polnim filtrom pred fotoelementom, b) pasovnim filtrom ali c) spektralno šablono.



Slika 4.19: Fotoelement pred katerim se nahaja pasovni filter za korekcijo spektralne občutljivosti.

Podobno je z odvisnostjo toka (in naprej osvetljenosti) od kota vpada svetlobe. Glede na kosinusni zakon bi ta odvisnost morala biti kosinusna, kar pa pri golem fotoelementu seveda ni. Tudi tu je potrebna določena korekcija. Največkrat se proizvajalci poslužujejo difuznega stekla, ki se ga namesti pred fotoelement (na večji ali manjši razdalji) in ki razprši vpadlo svetlobo. Možne pa so tudi druge rešitve, kjer se kotno odvisnost popravlja s šablonami, ki pri določenih koti zasenčijo del vpadle svetlobe. Nekaj rešitev je prikazanih na spodnji sliki. Seveda se lahko uporablja tudi fotoelement brez kosinusne korekcije. Vendar moramo v tem primeru paziti, da svetloba vpada vedno pod pravim kotom na površino fotoelementa.



Slika 4.20: Pristopi različnih proizvajalcev za popravljanje kotne odvisnosti fotoelementa. Levo zgoraj je najpogosteje uporabljena rešitev z difuzorjem oziroma motnim steklom.

Naslednji problem je temperaturna odvisnost fotoelementa. Na delovanje nekaterih polprevodniških fotoelementov ima namreč okoliška temperatura velik vpliv. Pri kadmijevem sulfidu se fotoelektrični tok spremeni kar za 5 %, če se temperatura elementa spremeni za 1 K. Pri selenu je temperaturni koeficient precej manjši, še vedno pa 0,5 %/K. Pri siliciju pa je na srečo temperaturni koeficient samo 0,1 %/K. Zaradi tega se tako kalibracije inštrumentov kot tudi meritve vedno izvaja pri konstantni temperaturi 25 °C. Če pa to ni mogoče, na primer pri meritvah na terenu, pa se priporoča uporaba termostabiliziranih fotoelementov (fotometričnih glav). V taki izvedbi je fotoelement zaprt v ohišje, kjer se nahaja tudi električni grelec in termostat, ki poskrbita za konstantno temperaturo fotoelementa. Ta je običajno nekaj višja od 25 °C (na primer 30 °C, posledična razlika v kazanju pa je upoštevana pri kalibraciji.

Vsi trije navedeni viri merilne negotovosti kot tudi ostali sestavljajo skupen pogrešek merilnika osvetljenosti (luks metra). Po standardu DIN 5032 je skupen pogrešek merilnika osvetljenosti sestavljen iz:

- f1 … pogreška prilagoditve krivulji spektralne občutljivosti oči;
- f2 … pogreška kotne odvisnosti (kosinusni zakon);
- f3 … pogreška linearnosti;
- f4 … pogreška kazalnika;
- f5 … pogreška utrujanja;
- f6 … pogreška temperaturne odvisnosti;

- f7 … pogreška časovno spremenljive svetlobe;
- f8 … pogreška polarizacije svetlobe;
- f9 … pogreška neenakomerne osvetlitve;
- f11 … pogreška preklapljanja merilnih področij
- in še drugih dodatnih pogreškov ki lahko zajemajo tudi na primer občutljivost v UV in IR področju.

$$\alpha = \frac{\Delta Y}{Y(\tau_0)} \cdot \frac{1}{\Delta \tau} \cdot 100 \ \ \% \qquad\qquad f_6 = \frac{M(\tau)}{M(\tau_0)} - 1$$

Enačbi 25: Levo enačba za izračun koeficienta temperaturne odvisnosti fotoelementa, kjer je Y kazanje pri referenčni temperaturi (običajno 25 °C), ΔY sprememba kazanja pri spremembi temperature in Δτ sprememba temperature. Na desni je enačba za izračun pogreška temperaturne odvisnosti, kjer je zgoraj merilni rezultat pri dejanski temperaturi in spodaj merilni rezultat pri referenčni temperaturi.

Standard definira 4 kakovostne razrede merilnikov osvetljenosti, za katere so določeni največji dovoljeni skupni pogreški pa tudi največji dovoljeni posamezni pogreški, ki sestavljajo skupni pogrešek:

- razred C: $f_{celotni} \leq 20\%$, f1 ≤ 9 %, f3 ≤ 5 % …
- razred B: $f_{celotni} \leq 10\%$, f1 ≤ 6 %, f3 ≤ 2 % …
- razred A: $f_{celotni}$ i ≤ 5%, f1 ≤ 3 %, f3 ≤ 1 % …
- razred L: $f_{celotni} \leq 3\%$, f1 ≤ 1,5 %, f3 ≤ 0,2 % …

Merilnik osvetljenosti je sestavljen iz fotoelementa in merilnika toka. V kolikor je tok fotoelementa zelo majhen, je med njima še ojačevalec toka ali pa tokovno napetostni pretvornih in namesto merilnika toka merilnik napetosti. Fotoelement, ki ga imenujemo tudi merilna glava, je lahko vgrajen v isto ohišje kot ostali del merilnika osvetljenosti, ali pa je nanj priključen s priključno vrvico. Slednja izvedba je bolj praktična, saj nam omogoča, da fotometrično glavo namestimo na mesto, kjer želimo opraviti meritev in se potem odmaknemo ter tako ne zasenčimo fotometrične glave, kar bi lahko povzročilo napačen rezultat.

Slika 4.21: Preprost merilnik osvetljenosti (luks-meter) z merilno glavo na priključni vrvici

Laboratorijski merilniki osvetljenosti so na voljo tudi z dvema vhodoma, pri katerih je eden kalibriran skupaj z izbrano merilno glavo v luksih, drugi pa je kalibriran v amperih in omogoča priključevanju različnih drugih glav z znanim koeficientom osvetljenosti v A/lx. Tak inštrument lahko, skupaj z ustreznimi merilnimi glavami, uporabimo tudi za merjenje na primer cilindrične ali polcilindrične osvetljenosti.

Slika 4.22: Laboratorijski merilnik osvetljenosti (levo) z dvema vhodoma od katerih je eden kalibriran v amperih in zbirka različnih merilnih glav.

Postopek merjenja osvetljenosti je razmeroma preprost. Na mesto, kjer želimo izmeriti osvetljenost, postavimo merilno glavo in na inštrumentu odčitamo vrednost. Če nas zanima horizontalna osvetljenost, moramo poskrbeti, da je merilna glava res v horizontalnem položaju. Pri tem si lahko pomagamo s kardanskim vpetjem merilne glave ali pa z libelo, ki je vdelana v merilno glavo.

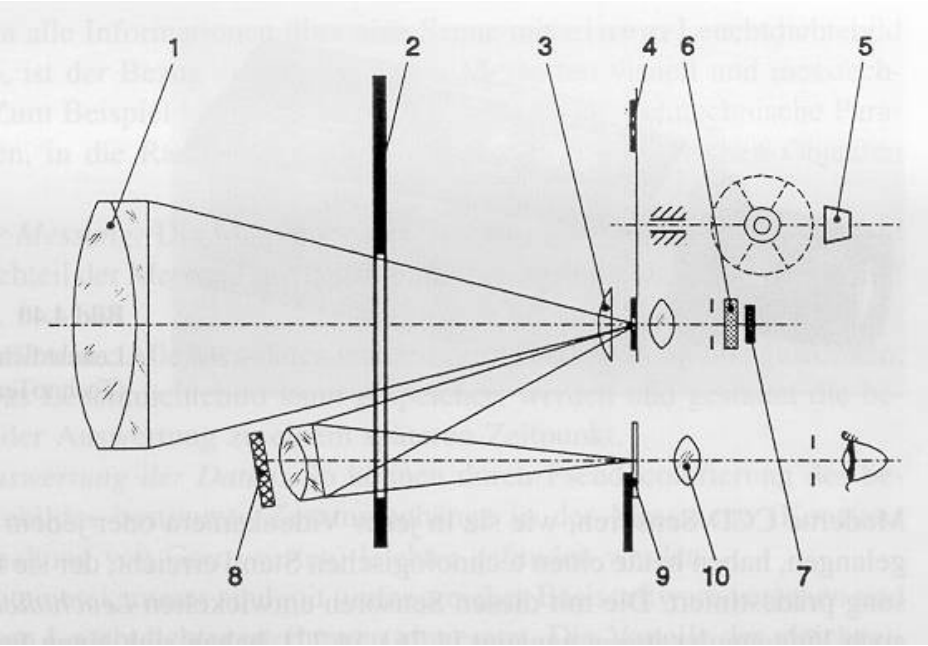
4.3.4 MERJENJE SVETLOSTI

Z upoštevanjem enačbe 21 lahko merilnik osvetljenosti uporabimo tudi za merjenje svetlosti. Potrebno je samo omejiti prostorski kot iz katerega prihaja svetlobni tok, ki ga merilnik izmeri kot osvetljenost. Prostorski kot se najlažje omeji z ustreznim objektivom, ki ga namestimo pred fotoelement. Inštrument v tem primeru seveda tudi ustrezno kalibriramo v cd/m^2.

Izvedba objektiva in merilne glave je lahko razmeroma preprosta, kot na sliki 4.23 levo, kjer je inštrument enak kot za merilnik osvetljenosti, merilna glava pa ime fotoelement opremljen z ustreznim objektivom. Pri meritvi moramo paziti, da objektiv usmerimo na površino, katere svetlost želimo izmeriti.

Slika 4.23: Merilnika svetlosti, levo preprosta izvedba, desno izvedba z možnostjo pogleda skozi objektiv.

Bolj kompleksna izvedba je narejena tako, da se svetloba, ki vstopa skozi objektiv, v inštrumentu razdeli. Del jo peljemo na fotoelement, del pa skozi okular. Tako je merilcu omogočeno, da s pogledom skozi okular lahko vidi površino oziroma njen del, na kateri se meri svetlost. Take meritve so zato bolj točne, še posebej če merimo svetlosti manjših površin ali samo delov površin. Potek svetlobe skozi tak inštrument je prikazan na spodnji sliki.



Slika 4.24: Pot svetlobe skozi merilnik svetlosti z okularjem, posamezne številke podajajo: 1 objektiv, 2 prva zaslonka, 3 polprepustno zrcalo, ki loči svetlobo na dva dela, 4 kolo z več različnimi zaslonkami za omejevanje prostorskega kota, 5 gumb za izbiro zaslonke, 6 filter za spektralno korekcijo, 7 fotoelement, 8 prikazovalnik izmerjene vrednosti, 9 oznaka tarče, 10 okular.

Podobno, kot so v standardu DIN 5032 definirani maksimalni dovoljeni pogreški za merilnike osvetljenosti, so definirani tudi za merilnike svetlosti. Po posameznih razredih do skupni pogreški:

- razred C: $f_{celotni} \leq 20\%$
- razred B: $f_{celotni} \leq 10\%$
- razred A: $f_{celotni} \leq 7{,}5\ \%$
- razred L: $f_{celotni} \leq 5\ \%$

Prostorski kot, v katerem merilnik izmeri svetlost površine, se običajno podaja v stopinjah projekcije prostorskega kota na vertikalno ali horizontalno ravnino. Običajno se uporabljajo koti: 3°, 1°, 20' in 6'. Pri merilnikih svetlosti cestnih površin pa tudi posebni prostorski koti, prilagojeni obliki ceste (pravokotne in ne okrogle oblike).

4.3.5 MERJENJE SVETLOBNEGA TOKA

Ker moramo tudi za merjenje svetlobnega toka uporabiti merilnik osvetljenosti lahko postopek izpeljemo iz enačbe 18. Še bolje pa je, če uporabimo enačbo 17 v kombinaciji z enačbo 19. Ker je svetilnost definirana kot del svetlobnega toka v delu prostorskega kota

torej lahko svetlobni tok izračunamo kot integral svetilnosti (na navidezni sferi okoli svetlobnega vira) po celotnem prostorskem kotu (celotni sferi):

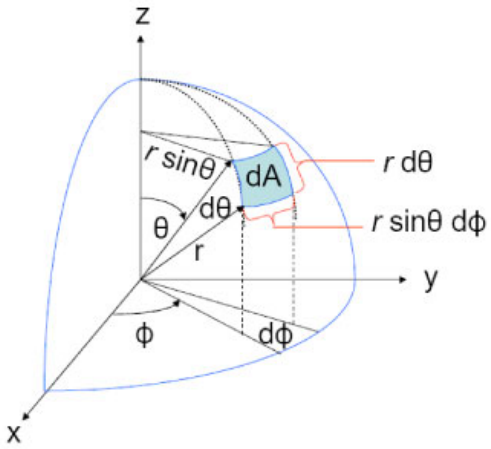
$$\Phi = \int_0^{\Omega_c} I \cdot d\Omega$$

Enačba 26: Svetlobni tok vira lahko dobimo z integracijo svetilnosti I po celotnem prostorskem kotu Ω_c.

Če prostor okoli vira (sfero, kroglo) predstavimo v polarnih koordinatah, kjer je *r* polmer krogle, φ kot po ekvatorju in δ kot po poldnevniku od severnega do južnega pola, lahko del prostorskega kota dΩ zapišemo s sledečo enačbo:

$$d\Omega = \sin\varphi \cdot d\varphi \cdot d\delta$$

Enačba 27: Delček prostorskega kota v sistemu polarnih koordinat.



Slika 4.25: Prikaz delne ploskve, ki jo uporabimo za izračun delnega prostorskega kota. V enačbah so koti označeni z malimi grškimi črkami in ne z velikimi kot na sliki.

Torej lahko svetlobni tok izračunamo po formuli:

$$\Phi = \int_{\delta_0}^{\delta_c}\int_{\varphi_0}^{\varphi_c} I \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi \cdot d\delta$$

Enačba 28: Enačba za izračun svetlobnega toka z integracijo svetilnost I po prostorskem kotu v polarnih koordinatah. Kot φ gre od 0 do 2π in kot δ gre od 0 do π.

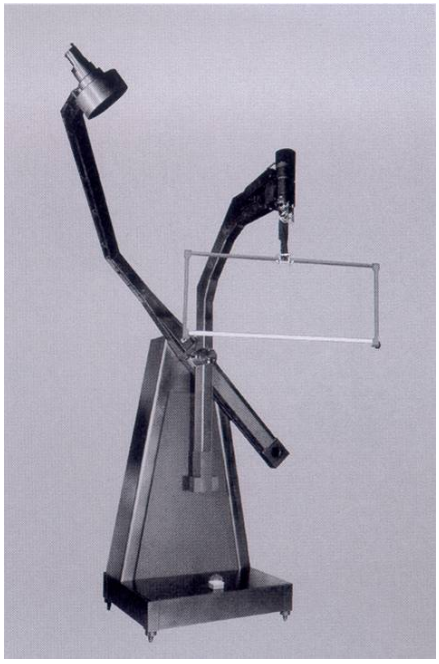
Ker svetilnost merimo s pomočjo meritve osvetljenosti lahko v enačbo vpeljemo še zakon fotometrične razdalje, ki pravi, da osvetljenost pada s kvadratom razdalje od vira, torej je svetilnost produkt osvetljenosti in kvadrata razdalje med virom in točko meritve. Tako dobimo končno formulo, ki se glasi:

$$\Phi = r^2 \cdot \int_{\delta_0}^{\delta_c}\int_{\varphi_0}^{\varphi_c} E(\varphi,\delta) \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi \cdot d\delta$$

Enačba 29: Enačba za izračun svetlobnega toka iz izmerjenih vrednosti osvetljenosti.

Merjenje svetlobe

Osvetljenosti po obodu sfere okoli svetlobnega toka najlažje izmerimo s goniofotometrom, kot je prikazan na spodnji sliki. Merilnik osvetljenosti je pritrjen na gibljivi roki in potuje okoli svetlobnega vira, torej po kotu δ na konstantni razdalji r. Vpetje svetlobnega vira pa omogoča njegovo vrtenje po kotu φ. Ko izmerimo zadostno število točk je potrebno izmerjene vrednosti še integrirati s pomočjo enačbe 29.



Slika 4.26: Goniofotometer za meritev svetlobnega toka vira, v tem primeru fluorescenčne sijalke.

Postopek je, če je število korakov po obeh kotih zadosti veliko, zelo točen. Vendar pa je tudi dolgotrajen in taka meritev lahko traja več ur. Zato za hitre meritve svetlobnega toka raje uporabljamo integracijsko kroglo (imenovano tudi Ulbrichtova krogla). Gre za votlo kroglo v katero, približno na sredino, namestimo svetlobni vir. Notranja stena krogle je premazana z barvo, ki ima čimbolj spektralno neodvisno in razmeroma visoko in difuzno odsevnost. Običajno se uporablja barijev sulfat ($BaSO_4$).

Slika 4.27: Integracijska ali Ulbrichtova krogla za hitro merjenje svetlobnega toka.

Svetlobni vir ne sveti v vseh smereh enako, vendar pa se svetloba odbije od notranje stene in razprši. Če je odsevnost stene dovolj velika z večkratnimi odboji svetlobe lahko dosežemo enakomerno osvetljenost notranje stene krogle. Manjši del notranje stene nato zamenjamo z merilnikom osvetljenosti, ki pa mora biti z zaslonko zaščiten pred direktno svetlobo vira, tako da meri samo difuzni del svetlobnega toka. Iz izmerjene osvetljenosti, znane notranje površine krogle in znane odsevnosti lahko izračunamo svetlobni tok vira po enačbi:

$$\Phi = E \cdot A \cdot \frac{1-\rho}{\rho}$$

Enačba 30: Izračun svetlobnega toka vira iz izmerjene osvetljenosti E v integracijski krogli s površino A in odsevnostjo notranje stene ρ.

Še lažje je, če namesto po absolutni metodi svetlobni tok merimo primerjalno. Najprej izmerimo osvetljenosti pri svetlobnem viru, katerega svetlobni tok poznamo. Potem izmerimo še osvetljenost pri svetlobnem viru, katerega svetlobni tok želimo izmeriti. Svetlobni tok tega vira potem izračunamo iz spodnje preproste enačbe.

$$\Phi_x = E_x \cdot \frac{\Phi_n}{E_n}$$

Enačba 31: Enačba za izračun svetlobnega toka pri primerjalni meritvi v integracijski krogli. E_x je osvetljenost izmerjena pri neznanem viru, E_n pa osvetljenost izmerjena pri viru, katerega svetlobni tok je enak Φ_n.

Ker pa je osvetljenost, ki jo izmerimo v integracijski krogli, odvisna tudi od prostorske porazdelitve svetilnosti vira ter od samih dimenzij in lastnosti vira (vir nekaj svetlobe vpije), je pri primerjalni meritvi nujno, da sta si znani in neznani vir čim bolj podobna. V nasprotnem primeru je potrebno vpeljati še meritev s pomožnim virom in ustrezen korekcijski koeficient, kar nekoliko izboljša točnost take meritve.

4.3.6 MERITEV PROSTORSKE PORAZDELITVE SVETILNOSTI

Prostorska porazdelitev svetilnosti, na primer svetilke, nam je v pomoč, ko na primer izračunavamo osvetljenosti v prostoru, osvetljenem s to svetilko. Če torej želimo uporabljati simulacijske programe za izračun osvetljenosti in/ali svetlosti moramo najprej poznati prostorsko porazdelitev svetilnosti virov (samo svetlobnih virov ali svetilk), ki jih bomo uporabili v izračunih. Do prostorskih porazdelitev svetilnosti, ki jih običajno podajamo v polarnih diagramih, pa lahko pridemo z zahtevnimi izračuni ali pa s pomočjo meritev.

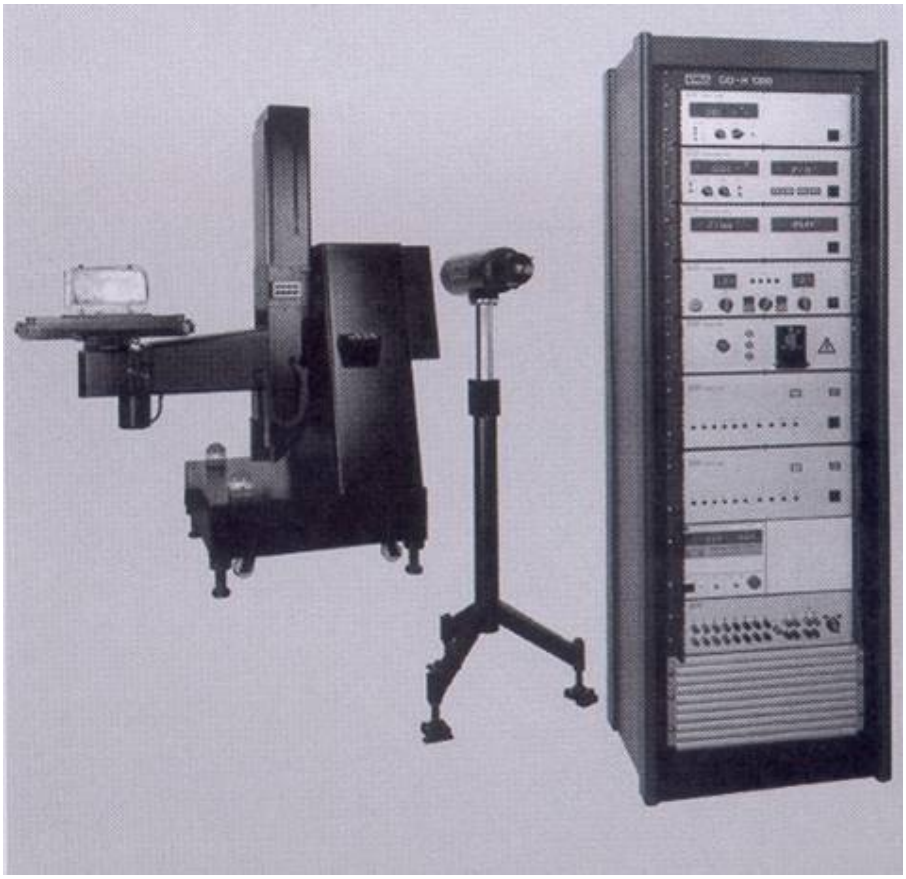
Za merjenje prostorske porazdelitve svetilnosti uporabljamo naprave, ki se imenujejo goniofotometri. Enega smo že omenili pri meritvi svetlobnega toka. Ti za merjenje prostorske porazdelitve svetilnosti so podobni, po principu delovanja lahko celo enaki, vendar pa moramo zagotoviti zadostno merilno razdaljo med svetlobnim virom in merilnikom osvetljenosti. Svetilnost namreč izračunamo iz izmerjene osvetljenosti in poznane razdalje med svetlobnim virom in fotoelementom.

$$I = E \cdot r^2$$

Enačba 32: Izračun svetilnosti iz izmerjene osvetljenosti E in znane razdalje med svetlobnim virom in merilno glavo r.

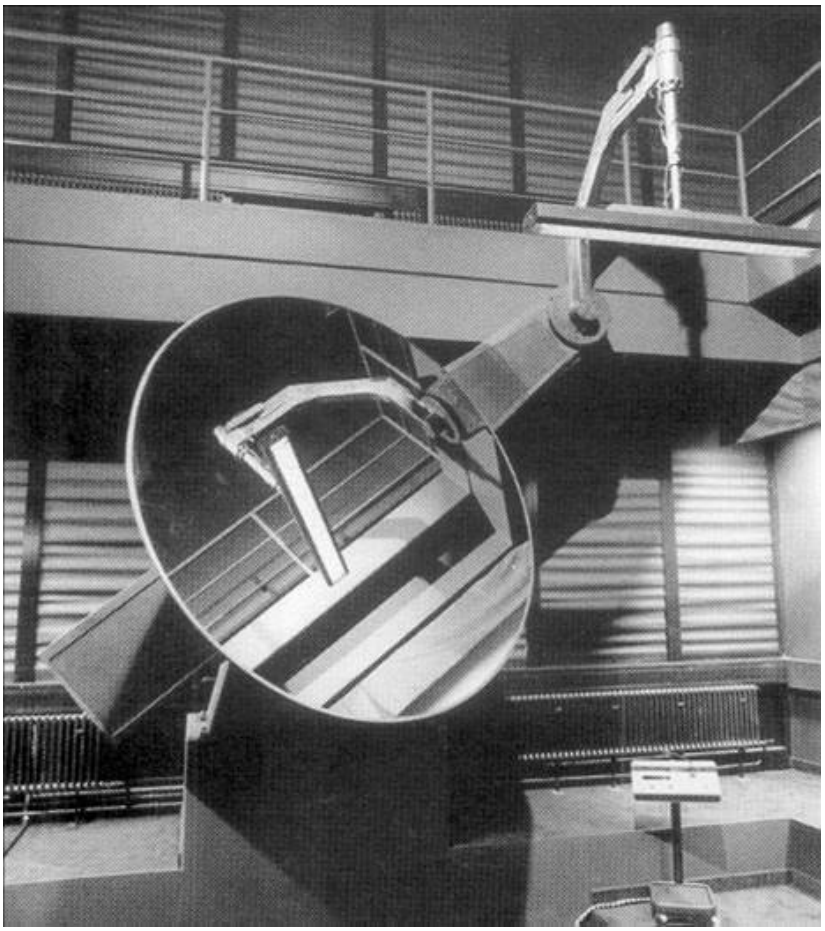
Vendar pa enačba velja samo za točkovne vire, kjer je razdalja med merilno glavo in virom enoumno določena. Če pa ima svetlobni vir, ki je v tem primeru običajno svetilka, končne (in precej velike) dimenzije, je seveda razdalja do sredine manjša kot razdalja do roba svetleče površine vira. Da lahko svetilko vsaj približno upoštevamo kot točkasti vir mora biti merilna razdalja vsaj 5 do 10-krat večja kot je največja dimenzija vira. To pri dimenzijah svetilk okoli 2 m prinese merilne razdalje do 20 m.

Ker pri taki merilni razdalji klasičen princip goniofotometra, kot je prikazan na sliki 4.26, zahteva zelo velik prostor, se poslužujemo različnih drugih prijemov s katerimi lahko zmanjšamo potreben prostor. V kolikor svetlobni vir v svetilki ni občutljiv na lego, se običajno uporablja goniofotometer pri katerem je merilnik osvetljenosti nameščen fiksno, samo svetilko pa obračamo okoli dveh osi (po kotu φ in kotu δ).



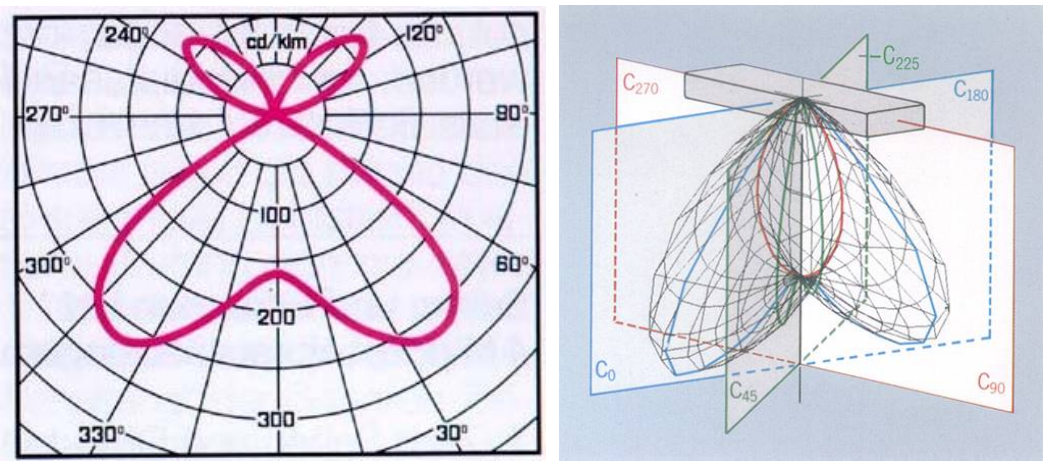
Slika 4.28: Goniofotometer za meritev kotne porazdelitve svetilnosti z obračanjem svetilke v dveh oseh.

Če pa se svetlobni tok vira z njegovo lego spreminja, potem mora biti svetlobni vir skupaj s svetilko vedno v takem položaju kot bo potem v uporabi. V tem primeru običajno uporabljamo zrcalne goniofotometre, kjer svetilko obračamo po kotu φ, meritev po kotu δ pa izvedemo s pomočjo zrcala, ki svetlobo preusmeri v vodoravno smer do merilnika osvetljenosti, ki je tudi v tem primeru fiksno pritrjen.



Slika 4.29: Zrcalni goniofotometer, kjer se svetilko obrača samo v eni osi, za rotacijo v drugi osi pa se uporabi zrcalo.

Rezultati meritev se podajajo v polarnih diagramih, kot je prikazan na spodnji sliki. Če je svetilka rotacijsko simetrična, zadoščajo že rezultati v eni ravnini. Drugače je potrebno podati vsaj ravnini, ki vsebujeta prečno in vzdolžno od svetilke (ravnina C_0-C_{180} in ravnina C_{90}-C_{270}). Za uporabo v programih za izračun notranje oziroma zunanje osvetljenosti pa običajno podajamo rezultate v 24 C-ravninah, ki so tako med seboj premaknjene za 15°.



Slika 4.30: Prostorska porazdelitev svetilnosti podana v polarnem diagramu za eno C ravnino (levo) in prikaz lege različnih C-ravnin glede na svetilko (desno)

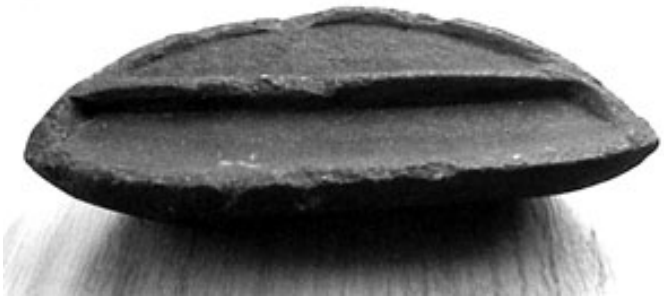
5 SVETLOBNI VIRI

Čeprav je sonce tisti vir svetlobe in energije ob katerem smo se razvili v sodobnega človeka (homo sapiens sapiens), pa je človek že zelo zgodaj začel uporabljati umetne svetlobne vire. Že pred več kot 30.000 leti so na primer v jamah Altamire nastale slikarije, ki so tako globoko, da sončna svetloba oziroma naravna svetloba do tja ne seže. Torej so takratni umetniki že morali uporabljati umetno razsvetljavo. Najbrž pa so jo uporabljali že prej, vse od kar so poznali in uporabljali ogenj. Prva dokazana uporaba ognja sega v obdobje homo erectusa pred približno 400.000 leti.

5.1 KRATKA POLJUDNA ZGODOVINA SVETLOBNIH VIROV

5.1.1 PRVI ZAČETKI (13.000 LET PR. N. ŠT.)

Za osvetljevanje votlin je pračlovek je uporabljal primitivne svetilke, sestavljene iz materialov, ki so se nahajali v okolici: kamnov, školjk, rogov in drugih materialov. Napolnjene so bile z gorivom (živalske ali rastlinske maščobe) in so imeli vlaknast stenj (iz lanu, konoplje, papirusa ..). Pojavile so se predvsem v krajih z zmerno klimo, kjer je bilo dovolj goriva. Veliko teh svetilk je bilo najdenih v jami Lascaux v Franciji, ki je sicer precej bolj znana po stenskih risbah. Njihova starost je ocenjena na več kot 15.000 let.



Slika 5.1: Kamnita svetilka, stara približno 7.000 let.

Iz sumerskih časov poznamo alabasterske svetilke (2600 let pr. n. št.), ki so bile zelo podobne školjkam, kar kaže na uporabo tudi pravih školjk v te namene. Prvotni ljudje so tudi ugotovili, da reflektor pomaga usmerjati svetlobo in prispevati k bolj svetlem okolju. V stenah jam so našli vdolbine, ki so jih uporabljali v ta namen.

Poleg surovin za goriva so se živali uporabljale tudi za neposredno proizvajanje svetlobe, saj obstajajo zapisi o uporabi žuželk – kresnic za priročen vir svetlobe. Na otokih zahodno od Indije ter na Japonskem so kresnice zaprli v primitivne kletke, kjer so te proizvajale svetlobo. Kresnice proizvajajo svetlobo v času parjenja, saj se lahko z njo sporazumevajo v popolni temi. Zanimivo je, da se iz kresnic da pridobiti snovi, ki se jih lahko posuši in shrani, ob stiku z zrakom pa bodo še vedno oddajala svetlobo.

Količina goriva za uporabo v svetilkah je bila odvisna predvsem od njegove razpoložljivosti. Največ se je uporabljalo oljčno olje. Pa tudi druga rastlinska olja, na primer sezamovo olje

(predvsem na vzhodu) ali orehovo olje. Drugo skupino goriva so tvorile živalske maščobe To so bila predvsem ribja olja in olja pridobljena iz ptic ali pa maščobe v obliki loja. Kasneje je bila najpogostejša uporaba maščob dobljenih iz kitov.

5.1.2 OLJNE LONČENE SVETILKE – GRČIJA (600 LET PR. N .ŠT.)

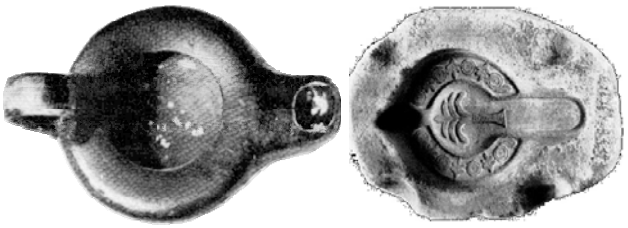
Po svetilkah iz naravnih materialov in po grobo obdelanih kamnitih svetilkah so se pojavile lončene svetilke. Prve grške lončene svetilke so bile izdelane ročno. Najprej so bile v obliki manjšega okroglega pladnja, na katerem je bil stenj iz platna. Stenj je bil na eni strani potopljen v olje, na drugi strani pa je bil pritrjen na rob pladnja. Najpogostejše gorivo je bilo oljčno olje, uporabljala pa so se tudi druga rastlinska olja in redkeje živalske maščobe.

Slika 5.2: Preprosta lončena svetilka z izdelanim držalom za stenj, ki je preprečeval, da bi stenj padel iz svetilke. Starost svetilke je ocenjena na 5.000 let.

Prva izboljšava, ki se je pojavila pri lončenih svetilkah je bila izdelava kljuna, kamor se je pritrdil stenj. Obe strani kljuna so nato zavihali navzgor, kar je dalo stenju še dodatno oporo. Ročaj svetilke se prvič pojavi na svetilkah iz Miniona v sedmem stoletju pred našim štetjem. Kasnejše svetilke so bile izdelane z lončarskim kolesom in z uporabo kalupov. Lončene svetilke so bile poceni, praktične ter enostavne za izdelavo in uporabo. Bile pa so sila nerodne. Olje je pogosto curljalo iz luknje v kateri je bil stenj. Od šestega do četrtega stoletja pr. n. š. so bile Atene največji proizvajalec in izvoznik visoko kakovostnih lončenih svetilk. Podobne svetilke so v uporabi ponekod po svetu še danes.

5.1.3 SVETILKE Z OLJNIM REZERVOARJEM (500 LET PR. N .ŠT.)

Postopno se je z izboljšavami svetilk telo oljne svetilke zaprlo, in tako je nastal popolnoma zaprt rezervoar. To se je zgodilo okoli leta 500 pr. n. š. Svetilke z oljnim rezervoarjem so sestavljene iz lončene ali kovinske posode s kljunom (ali več kljuni) ter pokrovom, ki je preprečeval polivanje goriva ali njegov nezaželen vžig.



Slika 5.3: Grška lončena svetilka in kalup za izdelavo svetilke. Lončevina je bila prevlečena z glazuro, kar je pripomoglo k temu, da ni vpijala olja.

V tem obdobju je bila večina svetilk narejenih s pomočjo kalupov, ki so bili izdelani iz kamna, gline ali malte. Kamniti kalupi so bili narejeni ročno iz mehkega apnenca in so se lahko uporabljali več let. Glino se je najprej zvaljalo v liste in se jo nato ročno vstavilo med dva kalupa, ki sta se sestavila. Po sušenju se je svetilko še ročno obdelalo in se jo žgalo v peči, kjer se je dokončno utrdila. Glinaste kalupe in kalupe izdelane iz malte se je lahko izdelalo z odlitkom že izdelane svetilke, kar je vodilo k velikemu razmahu kopiranja. Večji proizvajalci so se poizkušali izogniti kopiranju svojih izdelkom z vrezom pečata na dno svetilke. Umetnikom tedanjega časa so se zdele oljne svetilke mikaven medij za ustvarjanje. Tako so grške, rimske in egipčanske svetilke poslikane z najrazličnejšimi motivi, prav tako pa se nahajajo svetilke kot motiv na drugih umetniških medijih.

5.1.4 SVETILNIK IZ ALEKSANDRIJE (280 LET PR. N .ŠT.)

Svetilnik je bil visok več kot 134 m in je stal na otoku Pharos pri vhodu v aleksandrijsko pristanišče v Egiptu. Z mestom je bil povezan preko nasipa. Zgradili so ga za zagotavljanje varne plovbe ladja, ki so prihajale v aleksandrijsko pristanišče, ki je bilo takrat eno pomembnejših mest v Sredozemlju. Svetilnik je ponoči deloval s pomočjo ognja, podnevi pa z odboji sončne svetlobe. Kako pomemben je bil kažejo tudi njegove upodobitve na rimskih kovancih. Stal je do 14. stoletja, kasneje pa so na njegovem mestu zgradili utrdbo (1480), ki naj bi branila pristanišče. Od šestih največjih čudes starega sveta, ki jih je zgradil človek, je bil svetilnik iz Aleksandrije zadnji, ki je izginil.

5.1.5 SVEČA (400)

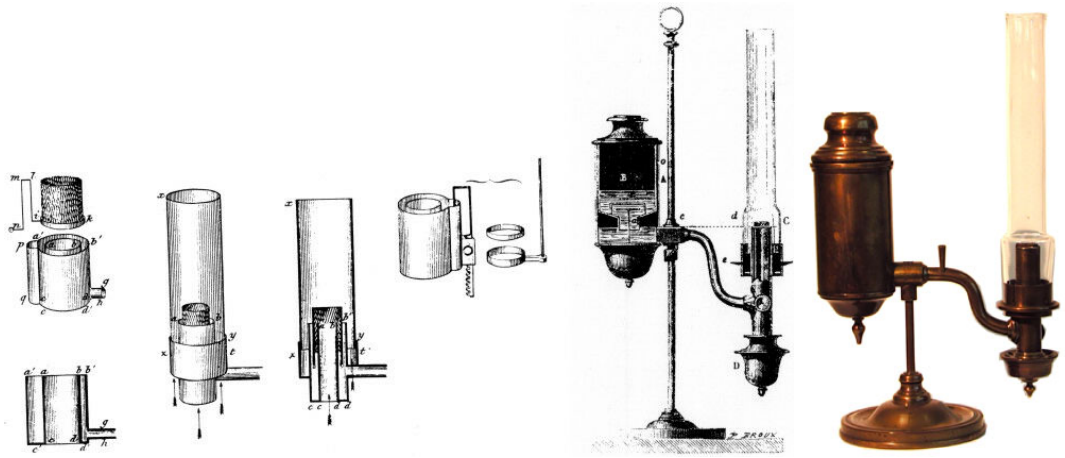
Prve sveče so najverjetneje izdelali stari Egipčani, ki so stenj iz trsja namočili v strjeno živalsko mast. Da so v starem Egiptu uporabljali sveče kažejo odkriti svečniki. Množično so jih izdelovali tudi Rimljani in sicer iz strjenega loja goveda ali drobnice. Je pa slabost uporabe loja v ta namen zelo neprijeten vonj in dim, ki nastajata pri gorenju. Poleg Evropejcev so sveče izdelovali tudi stari Kitajci in Japonci. Namesto loja so uporabljali vosek, ki je bil pridobljen iz insektov in je bil mešan s semenjem raznih dreves. Stenj je bil izdelan iz zvitega riževega papirja. Tudi v Indiji so uporabljali vosek, saj je bila uporaba živalskih maščob prepovedana. Pridobili so ga s posnemanjem zavretega cimeta.

Sveče, kot jih poznamo danes, izvirajo iz časa okoli leta 400, morda tudi nekoliko prej. Ker so bile zelo drage, so se na domovih zelo malo uporabljale. Izdelane so bile iz čebeljega voska, ki pri gorenju ne oddaja neprijetnega vonja in dima. Postale so tudi simbol krščanstva, saj čebela velja za simbol čistosti. Kolonialisti v Ameriki so ugotovili, da se da iz sivkasto zelene jagode lovorjevega grma izdelati vosek, ki oddaja prijeten vonj in gori s čistim plamenom. Ker pa je bila proizvodnja zelo dolgotrajna, je začetno navdušenje kmalu izginilo. So se pa sveče uveljavile z odkritjem parafinskega voska, pridobljenega iz oljnih skrilavcev. Pri destilaciji petroleja je ostal modro bel vosek, ki je gorel s čistim plamenom. Prednost parafinskega voska je njegova nizka cena, problem pa njegova nizka točka taljenja, zaradi česar mu je potrebno dodati stearinsko kislino.

Proizvodnja in prodaja sveč je tudi danes zelo popularna in predvideva se še dodatna rast prodaje. Na to kažejo številne raziskave trga. Ena od raziskav je pokazala, da se letno samo v ZDA proda za približno 2,3 milijarde dolarjev sveč. Od tega 35 % konec leta v času praznikov.

5.1.6 SVETILKE S KROŽNIM PLAMENOM (1784)

Leta 1784 je kemik Ami Argand razvil princip uporabe oljnih svetilk z votlim krožnim stenjem obdanim s steklenim dimnikom (angl. argand lamp). Votel stenj je omogočal pretok zraka skozi njegovo sredino, kot tudi okoli njega. Steklen dimnik pa je plamen ščitil pred vplivi okolja in omogočil boljši dotok zraka v plamen. Oboje je precej izboljšalo izgorevanje olja s čimer je svetilka oddajala več svetlobe z manj dima.



Slika 5.4: Sestava Argandovega gorilnika z dvojnim plamenom in Argandova svetilka s steklenim dimnikom ki pripomore k stabilizaciji in podaljšanju plamena. Posoda z gorivom je nameščena nad nivo gorilnika da teža gorivo poskrbi za dobro omočenje stenja.

Argandov gorilnik je tudi omogočal nadzor nad količino svetlobe, ki jo svetilka oddaja. Njen svetlobni tok je bil približno enak svetlobnemu toku desetih sveč. Svetilka je potrebovala mnogo več goriva kot klasična, zato so jo uporabljali le premožnejši. Najboljše delovanje so dosegli z uporabo olja pridobljenega iz kitove masti, katerega cena je s povečanim povpraševanjem naglo zrasla. Svetilke so uporabljali tudi za razsvetljavo javnih krajev. Takoj po njenem nastanku se je močno razširila po Franciji in Angliji, od koder je prišla tudi v ZDA.

5.1.7 BETTY SVETILKE (1790)

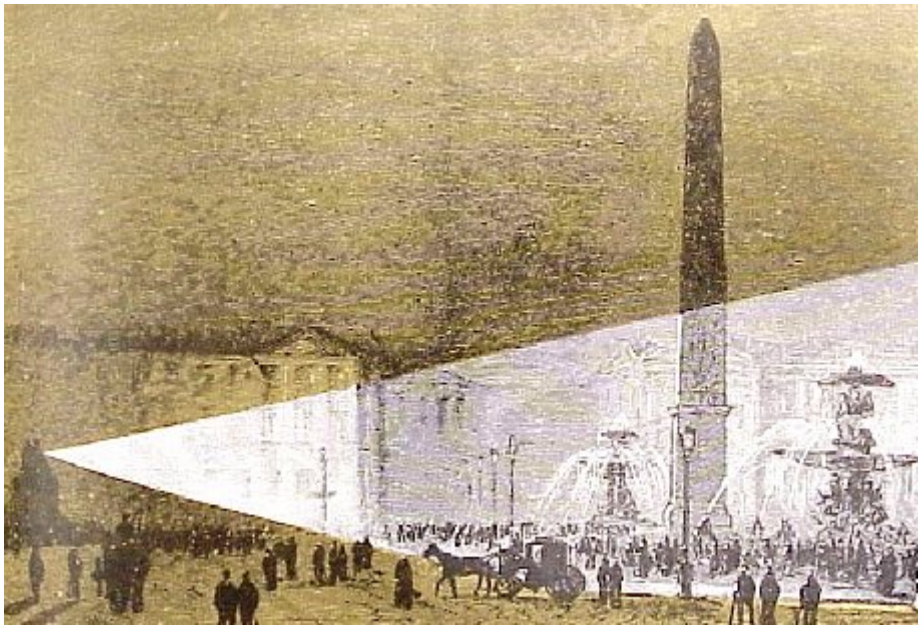
Betty svetilke so preproste oljne svetilke, ki jih sestavljajta odprta (kasneje zaprta) posoda, napolnjena z živalskimi ali rastlinskimi maščobami in neke vrste porozen stenj. Osnovna oblika je podobna oljnim svetilkam izpred tisočletij, le material je bil v tem primeru kovina, običajno železo ali medenina. Ime Betty, je verjetno izpeljanka iz nemške besede »besser« in naj bi ponazarjala izboljšavo osnovne oblike. Izboljšano je bilo predvsem držalo stenja, ki je bilo bolj čvrsto ter oblika posode z gorivom. Ideja je bila, da se odvečno gorivo iz stenja pretoči nazaj v posodo. Pokrov s katerim se je zaprlo posodo pa je povečal temperaturo goriva ter zmanjševal kajenje ter nasploh povečal izkoristek.

Slika 5.5: Različne izvedbe Betty ali Betsy svetilk. Svetilka je bila nemškega, avstrijskega ali Madžarskega izvora. Uporabljalo se je ribje olje ali ostanke maščobe. Izdelujejo jih še danes, vendar se danes kot gorivo večinoma uporablja oljčno oziroma rastlinsko olje.

Betty svetilke so bile posebej razširjene v Ameriki, kjer so jo uporabljali tedanji kolonizatorji. Za njih so uporabljali tudi ime Betsy. Svetloba, ki so jo oddajale Betty svetilke, je bila za tedanji čas relativno dobra (kot dve sveči), bila pa je odvisna od velikosti svetilke, uporabljenega stenja in goriva. Izdelane so bile v dveh osnovnih oblikah kot namizne in kot svetilke, ki so se lahko obesile pod strop.

5.1.8 OBLOČNICE (1809)

Leta 1809 je Sir Humphrey Davy prvi predstavil svetilko, ki je delovala na električni tok. Kot vir svetlobe je imela električni oblok, ki je gorel v zraku med dvema oglenima elektrodama. Obločnice (angl. Carbon Arc Lamp) so prvič uporabili pri razsvetljavi opere v Parizu. V širšo uporabo pa so prišle šele leta 1877.



Slika 5.6: Preizkus obločnice v Parizu (Place de la Concorde) leta 1846.

V času med 1809 in 1860 je bil edini izvor električne energije baterija, zato je bila uporaba obločnic precej omejena in so se razširile šele z uporabo električnih generatorjev za proizvodnjo električne energije. Obločnica je sestavljena iz dveh oglenih elektrod skozi kateri teče električni tok. Pri tem se del ogljika upari in če elektrodi razmaknemo, se med

njima zaradi uparjenega ogljika pojavi električni oblok, ki daje močno belo svetlobo. Ker elektrodi odgorevata, je potrebno stalno popravljati razdaljo med njima, sicer lahko oblok ugasne.

Slika 5.7: Obločnice proizvajalca General Electric. Tuljave in zapleten mehanizem (na sliki desno) v zgornjem delu svetilke je bil namenjen omejevanju toka, vžigu z razmakom elektrod po priključitvi napetosti in vzdrževanju konstantne razdalje med oglenima elektrodama.

Vrhunec uporabe so električne obločnice doživele leta 1884, ko jih je bilo v ZDA v uporabi že 90.000. Uporabljale so se tako v cestni razsvetljavi kot tudi za notranjo razsvetljavo večjih prostorov. Danes so v uporabi le še v starejših filmskih projektorjih.

5.1.9 RAZSVETLJAVA S PLINSKIMI SVETILKAMI (1814)

Plinske svetile so se začele prvič uporabljati za razsvetljavo ulic v Londonu leta 1814. Zasluga gre inženirju Williamu Murdocku, ki je leta 1792 prvič uporabil plin za razsvetljavo svojega doma in delavnice. Do leta 1823 je bilo v Londonu inštaliranih že 40.000 svetilk, ki so razsvetljevale 344 km ulic in cest. Plinske svetilke so uporabljali tudi za razsvetljavo gledališč, saj so prinesle mnoge izboljšave (npr. centralizirani daljinski nadzorni sistem).

Slika 5.8: Cestna plinska svetilka. Prve plinske svetilke so svetlobo proizvajale s plinskim plamena, kasneje pa so začeli uporabljati plinsko mrežico, kjer svetloba nastaja na osnovi luminiscence, zaradi česar imajo take svetilke boljši svetlobni izkoristek. Plinske svetilke za cestno razsvetljavo so še danes veliko v uporabi.

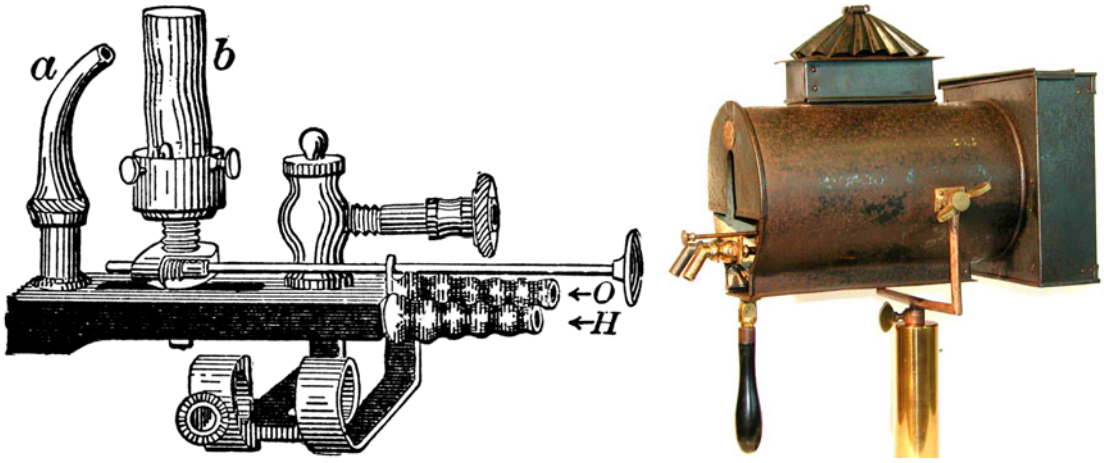
Plinske svetilke so se uporabljale tudi v gledališčih v ZDA. Prvič leta 1816 v gledališču Chesnut Street Theater v Philadelphiji, leta 1926 pa še v New Yorškem gledališču Bowery Theater, ki je v času svojega delovanja zgorel kar devetkrat. V Chicagu so se pojavile leta 1850, ko je začela delovati prva mestna plinarna. Dokler se niso pojavile in uveljavile mestne plinarne (okoli leta 1817), so morala gledališča sama skrbeti za pripravo in skladiščenje plina. Ne glede na to, da ima plin precej prednosti pred oljnimi svetilkami in svečami, so številna gledališča pogorela prav zaradi plinskih svetilk.

Številne izboljšave plinskih svetilk so nastajale ob razvoju novih tipov gorilcev. Vse te izboljšave pa niso bistveno izboljšale delovanja plinskih svetilk. Prva večja izboljšava je bila Welsbachova predstavitev plinske mrežice leta 1885. Plinska mrežica je naprava, ki oddaja svetlobo s pomočjo luminiscence, če je segreta na določeno temperaturo. Narejena je iz majhne pletene bombažne vrečke, potopljene v kemično spojino, ki je bila na začetku sestavljena iz 60 % magnezijevega oksida, 20 % lantanovega oksida in 20 % itrijevega oksida in nato posušena. Ko se takšno vrečko pritrdi nad gorilnik, bombaž zgori, ostane pa trdna ampak krhka mrežica, ki ob visoki temperaturi oddaja svetlobo.

Sprva so plinske mrežice oddajale zelenkasto svetlobo in pri tem niso bile posebej uspešne. Kasneje so razvili nove, ki so bile sestavljene iz 99 % torijevega oksida (ta je radioaktiven) in 1 % cerijevega oksida. Taka mrežica je oddajala precej bolj belo svetlobo. Namesto bombaža so začeli uporabljati svilo in kasneje azbest.

5.1.10 MAGNEZIJEVA SVETILKA (1826)

Princip delovanja magnezijeve svetilka (angleško limelight) je približno leta 1826 izumil Anglež Thomas Drummond. Ugotovil je, da kos apna (kalcijev oksid) ob oksidaciji oddaja svetlobo. Do oksidacije apna pride pri segrevanju s kisikovim in vodikovim plamenom. Ko je razbeljeno apno postavljeno v center paraboličnega reflektorja, svetlobni snop seže do 152 km daleč. Ugotovitve je prvič zapisal v svojem delu »Philosphical Transactions« leta 1826 v katerem je opisal, kako je »dosegel svetlobo, ki je bila 83 krat svetlejša od najsvetlejšega ognja, dobljenega iz Argandove svetilke«.



Slika 5.9: Magnezijeva svetilka, na sliki levo, ki prikazuje zgradbo svetilke predstavlja a gorilnik, b pa kos magnezija. Na cevi označeni z O in H se priključi dovod kisika in vodika. Na desni sliki je prikazana magnezijeva svetilka v obliki gledališkega reflektorja.

Šele leta 1856 so podobne svetilke prvič uporabili v gledališčih, in sicer v Londonu, namesto apna pa so uporabljale magnezij. Leta 1860 so bile magnezijeve svetilke že v splošni uporabi. V gledališčih so se uporabljale za poustvarjanje sončne svetlobe, lunine svetlobe in za iskalne žaromete (angleško spotlight). Magnezijeve svetilke so bile v uporabi v gledališčih vse do leta 1910. V zvezi z njimi se je v angleško govorečih državah do danes obdržala fraza »in the limelight«, ki opisuje ljudi, ki so v centru pozornosti torej »v soju žarometov«.

5.1.11 VŽIGALICE (1827)

Vžigalice so angleški izum iz leta 1827. Zasluga zanje gre kemiku in lekarnarju Johnu Walkerju. Do takrat je bilo treba svetilke in sveče prižigati s pomočjo drugega plamena ali iskre, ki je nastal z udarcem kremena ob kovino. John Walker je ugotovil, da konec palice ali trske, namočen v zmes antimonovega sulfida, kalijevega klorida, drevesne smole in škroba, ter posušen, lahko zanetimo z drgnjenjem ob kakšen drug trden predmet. Njihova edina slaba lastnost je bil slab vonj. John Walker svoj izum ni nikoli patentiral. Največji uporabniki vžigalic so hitro postali kadilci, ki so tako dobili enostaven način prižiganja cigar. Vžigalice brez slabega vonja je izdelal francoski kemik Charles Sauria leta 1830, uporabil pa je beli fosfor. Ker pa je beli fosfor strupen in povzroča vnetje čeljusti, so jih kmalu opustili. Prve varne vžigalice so izdelali na Švedskem s pomočjo rdečega fosforja. Za prižiganje so potrebovale žveplov brusni papir. Patent za te vžigalice je dobil leta 1855 Johan Edvard Lundstrom. Škatlica za vžigalice, kakršno poznamo danes je bila izumljena šele leta 1889.

5.1.12 KEROZINSKE SVETILKE ALI PETROLEJKE (1853)

Kerozinska svetilka oziroma petrolejka je bila prvič predstavljena v Nemčiji leta 1853. Gre za nekoliko izboljšano Argandovo svetilko, ki pa kot gorivo uporablja eno od destilacijskih frakcij nafte, ki jih poznamo pod imeni kot so kerozin, petrolej ali parafin. Izboljšan je bil predvsem način dovajanja goriva v gorilec.

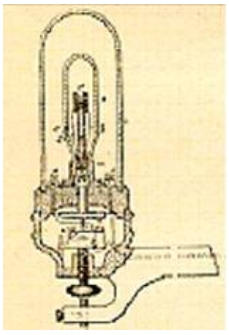
Slika 5.10: Kerozinske svetilke ali petrolejke so še danes zelo pogosto uporabljen vir svetlobe v nerazvitem delu sveta. Ker ogrožajo zdravje uporabnikov, jih v zadnjem času poskušamo zamenjati z električnimi svetilkami s svetlečimi diodami in sončnimi celicami kot virom energije.

Večina goriv, ki so jih uporabljali pred kerozinom, je bilo gostih in lepljivih, zato niso dovolj omakala stenjev. Problem so reševali tako, da so rezervoar z gorivom postavili nad svetilko. Tako je teža goriva omogočala boljše omakanje stenja. Druga rešitev je bila uporaba mehanizma za poganjanje črpalke za gorivo (Carcel leta 1800). Moderatorska svetilka, ki jo je leta 1835 patentiral Franchot, je uporabljala močno spiralno vzmet z usnjenim ventilom, ki je potiskala gorivo po opori do gorilca. Prva izboljšava, ki je bila namenjena izključno svetilkam ki uporabljajo kerozin je bil t.i. Duplex gorilec, ki ga je leta 1865 patentiral angleški izumitelj Joseph Hinks. Sestavljala sta ga dva paralelna ploščata stenja. Tej izboljšavi je sledilo še več drugih, ki so izboljševale različne dele svetilk. Zanimiva je bila uporaba ventilatorja, ki ga je poganjal urni mehanizem in je potiskal zrak v gorilec ter tako izboljšal zgorevanje goriva.

Uspeh kerozinskih svetilk je omogočilo škotsko izumiteljstvo in ameriška podjetnost. Škot James Young je bil izumitelj, ki je leta 1847 razvil proces destilacije kerozina iz mineralnega olja, pridobljenega iz oljnih skrilavcev. Proces je patentiral leta 1850 in ustanovil podjetje Young's Paraffin Oil Co iz katerega je kasneje nastal današnji British Petroleum Co. Na začetku kerozin zaradi visoke cene ni bil najbolje sprejet (razen v Nemčiji). Proizvajali so ga namreč le v Romuniji in Burmi. Stanje se je spremenilo leta 1859, ko so se raziskav na tem področju in iskanja novih virov kerozina lotili tudi v ZDA. V tem obdobju je nastalo približno 80 novi patentov na področju kerozinskih svetilk vsako leto. Kerozin se je za razsvetljavo domov uporabljal približno do leta 1856, nato pa ga je nadomestil zemeljski plin.

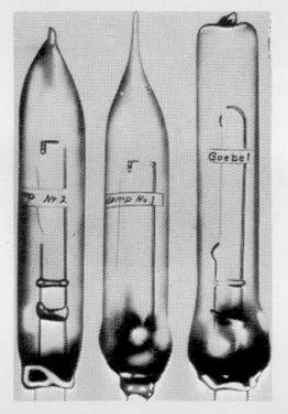
5.1.13 PRVE ELEKTRIČNE ŽARNICE (1820 - 1875)

Leta 1820 je Warren De la Rue zaprl platinasto tuljavo v delno vakuumirano stekleno cev in jo priključil na vir napetosti. Tuljava je zažarela in zasvetila. Ideja je bila, da bo visoka talilna točka platine omogoča obratovanje pri visokih temperaturah in da vakuumirana steklena cev ne vsebuje veliko delcev zraka, ki bi reagiral s platino, kar bi onemogočilo njeno oksidacijo in pregoretje. Načrt je bil neuspešen zaradi prehitrega izparevanja platine, ki je povrhu vsega še zelo draga. Nekaj kasneje, leta 1835 je James Bowman Lindsay demonstriral električni sistem razsvetljave z uporabo prototipa žarnice. Žal pa svojega izuma ni zaščitil ali ga dalje razvijal. Leta 1850 je Edward Shepard izumil električne žarnice, ki so uporabljale oglena vlakna. Istega leta je začel z naogljenim papirjem eksperimentirati Joseph Wilson Swan.



Slika 5.11: Žarnica s platinasto žarilno nitko, ki jo je izdelal Waren De la Rue

Izum žarnice se včasih pripisuje Edisonu vendar to ni najbolj točno, saj je prvo zelo podobno žarnico izdelal že Henrich Göbel. Göbel, nemški priseljenec v New Yorku, po poklicu urar, je že tri desetletja pred Edisonom (1854) izdelal žarnico v kateri je za žarilno nitko uporabil naogljeno bambusovo vlakno, ki ga je vstavil v stekleno bučko.



Slika 5.12: Žarnice nemškega optika Göbla.

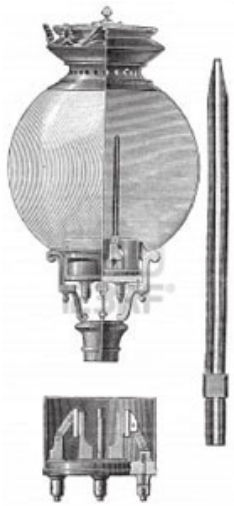
Vendar je bila težava vseh začetkov žarnic v slabem vakuumu v stekleni bučki. Zaradi tega je bila življenjska doba teh žarnic izredno kratka. Svetile so samo nekaj ur. Zato je odločilno pripomogel k uspehu električnih žarnic izum Hermana Sprengla. Ta je leta 1875 izumil živosrebrno vakuumsko črpalko, s katero je bilo mogoče ustvariti zadosten vakuum v stekleni bučki in tako podaljšati življenjsko dobo žarnic.

Leta 1875 sta Henry Woodward in Matthew Evans patentirala svojo izvedbo žarnice v Kanadi (Toronto). Henry Woodward je bil študent medicine, Matthew Evans pa hotelir. Žarnica je bila naprednejša od kasnejših Edisonovih žarnic, saj je podobno kot današnje za polnilo uporabljala dušik. Za vlakno sta uporabila ogljik, ki sta ga pritrdila na zvrtani elektrodi. Ko so se kasneje njuni finančni podporniki odločili izdatneje financirati njun projekt se je Woodward žal odselil v Anglijo, Evans pa ni imel dovolj sredstev, da bi nadaljeval sam.

5.1.14 YABLOCHKOVA SVEČA (1876)

Leta 1867 je ruski inženir elektrotehnike Pavel Yablochkov predstavil izboljšano verzijo obločnice z oglenimi elektrodami, ki je bila znana kot Yablochkova sveča. Pri Yablochkovi sveča sta bili ogleni elektrodi nameščeni paralelno in vpeti v porcelanast podstavek, kar je rešilo probleme z stalnim popravljanjem razdalje med elektrodama.

Ogljikovi elektrodi sta izparevali zaradi toka, ki sta ga prevajali. Tok elektronov skozi ogljikovo paro je povzročil oblok, ki je oddajal zelo močno, belo svetlobo. Da je bilo izparevanje iz obeh ogljikovih palic enakomerno je uporabil izmenični tok. Ne glede na ostro svetlobo obločnih sijalk je Yablochkova sveča dosegla takojšni uspeh. Za razsvetljavo je bila uporabljena leta 1877 v Parizu, leta 1878 pa v Londonu. Naslednjih nekaj desetletij se je njena uporaba močno razširila za razsvetljavo javnih krajev, tovarn in trgovin.



Slika 5.13: Yablochkova sveča z dvema paralelnima elektrodama in brez zapletenega mehanizma za vzdrževanje razdalje med elektrodama.

5.1.15 SWANOVA ŽARNICA (1879)

Med drugimi znanstveniki tudi Josephu Wilsonu Swanu pripadajo zasluge za izum žarnice. Swan je 5. februarja leta 1879 demonstriral žarnico z ogljikovim vlaknom približno 700 ljudem v kraju Newcastle v Angliji. Žarnica, ki jo je izdelal, je svetila približno 13 ur. Swanov razvoj žarnice je bil objavljen 29. oktobra 1880 v reviji »Engineering«, ki ga je takole citirala: "Electric lighting by incandescence is just as simple as arc lighting is difficult, all that is required is a material which is not a very good conductor of electricity, highly infusible and which can be formed into a wire or lamina, and is neither combustible in air, or if combustible, does not undergo changes in a vacuum".

Slika 5.14: Sir Joseph Wilson Swan in dve njegovih žarnic.

Žarilno vlakna je Swan izdeloval tako, da je zavijal prah oglja v papir ali karton, nato pa zvitek položil v talilni lonček. Nastal je naoglen papir, ki ga je v obliki drobnega traku vstavil v vakuumirano stekleno bučko in ga povezal na baterijo (Grovejevo celico). Baterija je bila prešibka, da bi prišlo do popolne razbeljenosti vlakna in žarnica je zato oddajala le rdečkasto svetlobo. Kasneje je žarilna vlakna izdeloval iz bombažne niti prepojene z žvepleno kislino in ogljem. Taka je bila tudi žarilna nitka, ki jo je uporabil ob prvi

predstavitvi v Newcastlu. Nazadnje je izumil še metodo izdelave vlaken z uporabo kolodija, ki je bil vbrizgan v raztopino, ki se je strjevala. Tako dobljena trdna snov se je naoglila ob visokih temperaturah.

5.1.16 EDISONOVA ŽARNICA (1879)

Tomas Alva Edison (1847-1931) je bil rojen v Milanu v državi Ohio in je preživel večino svojega otroštva v Port Huronu v ameriški zvezni državi Michigan. Njegova prva ljubezen je bila kemija. Leta 1877 je začel eksperimentirati z električnimi žarnicami, kar je zaradi pomanjkanja denarja in drugih težav kmalu opustil. Leta 1878 mu je prijatelj Grosvenor P. Lowrey, patentni zastopnik, pomagal zbrati 300.000 dolarjev, za podporo raziskav. Dne 15. oktobra 1878 je nastalo podjetje The Edison Electric Light. Namen podjetja je bil posedovati, proizvajati, upravljati in licencirati uporabo različnih orodij, ki se uporabljajo za proizvodnjo svetlobe, toplote ter pogonov s pomočjo električne energije. Edison je patentiral več kot 1000 inovacij. Poleg žarnice gredo Edisonu zasluge tudi za sisteme proizvodnje električne energije, za gramofon, za »kinetoscope« (filmsko kamero) in za filmski projektor (»Vitascope« patentiran leta 1896). Je tudi avtor zelo znanega stavka "Genius is ninety-nine percent perspiration and one percent inspiration".

Slika 5.15: Thomas Alva Edison z eno svojih žarnic v roki in dve njegovih prvih žarnic.

Edisonova prva uspešna žarnica je uporabljala naogleno bombažno nit kot žarilno vlakno, vstavljeno v vakuumirano stekleno bučko. Nastala je na podlagi kupljenih patentov Henryja Woodwarda in Matthewa Evansa. Edisonov prototip je 21. oktobra 1879 deloval 45 ur. Naslednji dan je Edison eksperimentiral z uporabo naoglene lepenke. Vlakno iz lepenke je bilo še uspešnejše. Dne 31. decembra 1879 je Edison pripravil prvo javno predstavitev novega izuma v New Jerseyu. V predstavitvi je bilo uporabljenih 100 žarnic moči 100 W, ki so bile označene s 16 kandelami. Njihova življenjska doba je bila 100 ur. Leta 1880 je Edison eksperimentiral še z drugimi materiali za vlakna (les, trava, lasje in bambus). Po 6000 testiranih primerih se je najbolje odrezal bambus (omogočal je življenjsko dobo žarnice do 120 ur). Edison je za svojo žarnico 17. januarja leta 1880 dobil patent s patentno številko 223.898. V patentu je bila žarnica prikazana s spiralno žarilno nitko, čeprav je Edison v prvih komercialnih žarnicah kasneje uporabljal ravno žarilno nitko podkvaste oblike. Leta 1883 je bilo po svetu že 70.000 žarnic, ki jih je napajalo 300 elektrarn. Vendar

pa je tega leta Edison izgubil svoj patent za žarnico, ker je sodišče odločilo, da je njegova žarnica nastala na podlagi žarnice Williema Sawyerja. Edison je potreboval kar 6 let, da je na sodišču dokazal, da je razvoj visokoohmskega oglenega vlakna njegovo delo. Da bi se izognil podobnim težavam zaradi Swanovega patenta v Angliji, sta ustanovila skupno podjetje Ediswan, ki je proizvajalo in tržilo žarnice v Angliji.

5.1.17 VISOKOTLAČNE SIJALKE (1901)

Visokotlačne sijalke (angleško High Intensity Discharge Lamp) so se pojavile v začetku dvajsetega stoletja. Prva je bila leta 1901 predstavljena visokotlačna živosrebrova sijalka. Kasneje so razvili še visokotlačno natrijevo sijalko in visokotlačno kovinsko halogenidno sijalko (angleško High Pressure Metal Halide Lamp).

Visokotlačne sijalke imajo boljši izkoristek od električnih žarnic z žarilno nitjo, nimajo pa zveznega barvnega spektra. Pri visokotlačni živosrebrovi sijalki, ki oddaja pretežno UV svetlobo, le-to premaknemo v vidni del s pomočjo fluorescenčnih fosforjev, ki so nanešeni na steno zunanje steklene bučke, v kateri se nahaja gorilnik s plinom. Slabost visokotlačnih sijalk je v tem, da potrebujejo takoj po vžigu nekaj časa, da se segrejejo in dosežejo polni svetlobni tok. Njihova življenjska doba je razmeroma dolga (do 24.000 ur), pogoste pa so okvare vžigne elektronike. Do težav lahko pride tudi v primeru okvare zunanje steklene bučke, saj lahko v tem primeru sijalko raznese.

5.1.18 ŽIVOSREBROVE SIJALKE (1901)

Prva praktična živosrebrova sijalka je bila Hewittova sijalka izdelana leta 1901. To je bil izvor svetlobe v obliki cevi dolge približno 122 cm, ki je proizvajala svetlobo modro-zelene barve. Prva visokotlačna živosrebrova sijalka podobna današnjim je bila predstavljena leta 1934 in je imela moč 400 vatov.

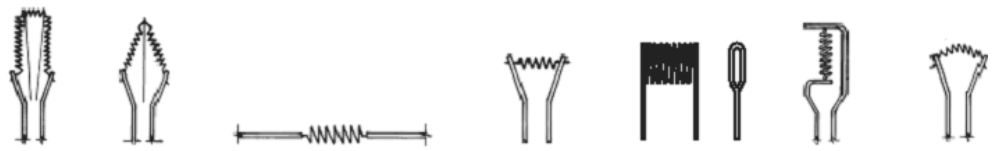
Slika 5.16: Peter Cooper Hewitt , dve njegovih živosrebrovih sijalk in shema strukture in priključitve na električno napetost.

Gorilnik živosrebrovih sijalk vsebuje plin argon in majhen delež živega srebra. Elektrode so narejene iz volframa in so prevlečene s posebno pasto iz barijevega oksida. Ta zmanjšuje vžigno napetost, ki je potrebna za vžig sijalke. Po treh do petih minutah po vžigu se živo srebro popolnoma upari in sijalka oddaja svetlobo karakteristične modro-zelene barve.

Svetloba vsebuje velik delež UV svetlobe valovne dolžine med 254 nm in 365 nm. Sevanje svetlobe v rdečem področju spektra pa je praktično zanemarljivo. Barvna temperatura živosrebrnih sijalk znaša med 4000 K in 4500 K, medtem, ko je njen indeks barvnega videza samo 20. Z dodatkom fosfornega sloja se izkoristek poveča za 10 do 15 %, indeks barvnega videza pa se dvigne na 50. Življenjska doba živosrebrovih sijalk je med 10.000 in 24.000 ur.

5.1.19 ŽARNICE Z VOLFRAMOVO ŽARILNO NITJO (1907)

Pred letom 1880 so bile vse žarilne nitke v žarnicah narejene iz naoglenega papirja ali bombaža, od leta 1880 do 1884 pa je bila običajna nitka iz bambusa. Med leti 1888 in 1890 se je pojavilo celulozno vlakno, tantalova nitka pa je bila predstavljena leta 1908. Prve žarnice z volframovimi nitkami so se uporabljale med leti 1907 in 1910 v ZDA, izdelane pa so bile za moči do 500 W. Slabost tedanjih volframovih žarilnih nitk je bila izjemna krhkost. Elastično volframovo nitko, ki je prinesla trajnejše in odpornejše oblike žarnic, je okoli leta 1911 izumil William D. Coolidge. Volfram je za žarilne nitke zelo primeren material, saj ima tališče pri 3370 ^{0}C. V žarnicah so volframove nitke segrete na temperaturo med 2.000 ^{0}C in 3.000 ^{0}C, pri čemer je svetloba oddana pri nižjih temperaturah rumenkaste barve, pri višjih pa je bolj bela. Če žarnica obratuje pri višji temperaturi je tudi izparevanje volframa hitrejše. To pa se pozna pri njegovem naparevanju na notranjih straneh steklene bučke, kar sčasoma zmanjšuje izkoristek žarnice. Oblika volframove nitke je odvisna od želene moči žarnice in velikosti zagonskega toka.



Slika 5.17: Nekatere oblike volframovih žarilnih nitk.

Življenjska doba žarnice z volframovo nitko je zelo odvisna od pogojev pri katerih obratuje. Najbolj pomembni dejavniki so zunanja temperatura, vibracije in napetost na katero je žarnica priključena. Pri nižji napetosti se nit manj segreje, zato je večja verjetnost, da bo takšna žarnica obratovala dlje. Je pa zato njen svetlobni izkoristek nižji.

5.1.20 ŽARNICE POLNJENE S PLINOM (1913)

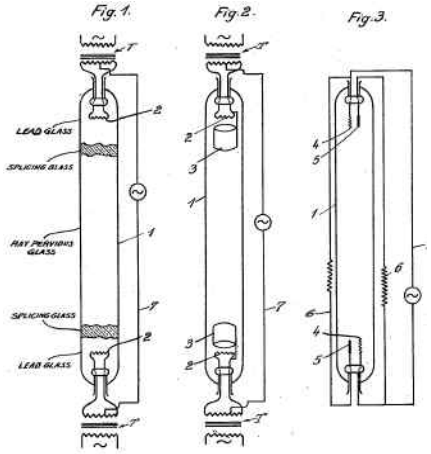
Po predstavitvi volframove žarilne nitke je bil naslednji pomembnejši korak v razvoju žarnice narejen leta 1913 ko je Langmuir naredil prvo s plinom polnjeno žarnico pri normalnem tlaku. Ugotovil je, da višji tlak ne samo zmanjšuje uparjanje volframa ampak tudi odvaja veliko toplote in s tem zmanjšuje izkoristek. Ugotovil pa je tudi, da navijanje nitke v spiralo zmanjšuje površino nitke, ki je izpostavljena plinu in zato zmanjšuje izgubo toplote. Žarnice s spiralno navito žarilno nitko in polnjene s plinom so bile prvič predstavljene leta 1913 in so imele moč 500 W, 700 W ter 1.000 W. Delovale so z boljšim izkoristkom in enako življenjsko dobo kot vakuumirane žarnice. V prvih s plinom polnjenih žarnicah je bil uporabljen dušik nato pa ga je leta 1914 zamenjal argon, ki ima nižjo toplotno prevodnost.

5.1.21 NIZKOTLAČNE NATRIJEVE SIJALKE (1932)

Raziskave o nizkotlačnih razelektritvah v plinu natrijevih sijalk so se začele približno leta 1920. Prvi komercialni izdelek je bila cestna razsvetljava med krajema Beek in Geleen na Nizozemskem julija 1932. Izkoristek sijalk, uporabljenih pri tej cestni razsvetljavi, je znašal 40 lm/W. Istega leta so bile takšne sijalke uporabljene tudi v Londonu. Moderne nizkotlačne natrijeve sijalke danes slovijo kot sijalke z največjim svetlobnim izkoristkom saj je ta večji od 220 lm/W. Delovanje je podobno kot delovanje fluorescentnih sijalk. Za nadzor vžiga in delovanja potrebujejo posebno predstikalno napravo. Ker je specifična moč na dolžino obloka majhna, so te sijalke precej velike. Sijalka moči 180 W je dolga kar 120 cm. Da dosežejo maksimalni svetlobni tok je potreben kratek čas ogrevanja. Nizkotlačne natrijeve sijalke najlažje prepoznamo po njihovi značilni temni jantarjevi barvi. Indeks barvnega videza je 0, zato se uporabljajo le tam, kjer je pomemben velik svetlobni izkoristek (cestna razsvetljava). Zaželene so tudi v bližini astronomskih observatorijev, saj se njihovi dve spektralni črti zelo lahko izločita iz spektralnim meritev svetlobe zvezd.

5.1.22 FLUORESCENČNE SIJALKE (1937)

Prvo fluorescenčno sijalko je izumil nemški znanstvenik Edmund Germer in jo skupaj s Friedrichom Meyerjem in Hansom Spannerjem patentiral leta 1927. Kot osnovo je vzel živosrebrovo sijalko, ki ji je dodal fluorescenčni fosfor in s tem izboljšal njen izkoristek. Fluorescenčna sijalka, kot jo poznamo danes, je bila prvič predstavljena javnosti v New Yorku v poznih tridesetih (1937). Izdelali so jo v podjetju General Electric pod vodstvom Georga Inmana. Šlo je za izboljšano Germerjevo flourescenčno sijalko od katerega so tudi odkupili patent.



Slika 5.18: Slika iz patentne prijave U.S. 2,182,732 fluorescenčne sijalke izumiteljev (F. Meyer, H. Spanner, E. Germer).

Fluorescenčna sijalka je po principu delovanja nizkotlačna sijalka. Običajno je izdelana v obliki dolge cevi z elektrodami, pritrjenimi na obeh koncih. Izkoristki flourescenčne sijalke se gibljejo od 65 do 80 lm/W, z elektronskimi predstikalnimi napravami pa dosežejo tudi preko 100 lm/W. Izdelujejo jih z različnimi barvnimi temperaturami in indeksi barvnega videzi in tudi z različnimi barvami svetlobe (rdeča, modra, zelena).

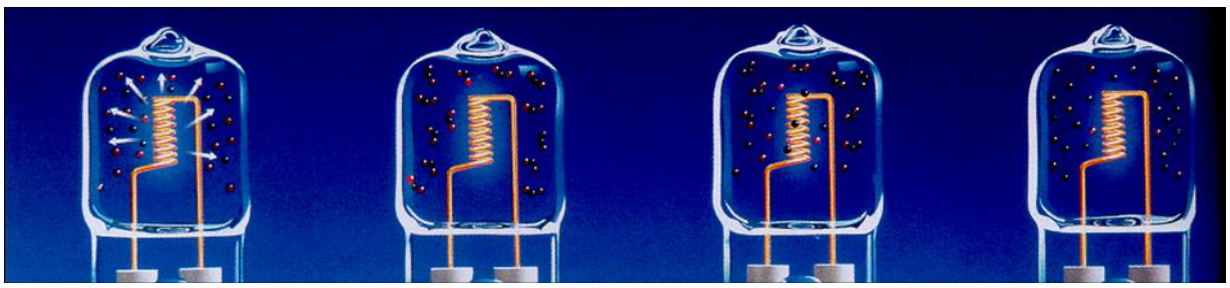
V poznih osemdesetih letih razvita kompaktna fluorescentna sijalka je povzročila pravo revolucijo v svetlobni tehniki. Sijalka, znana predvsem pod imenom varčna žarnica, je preprosta zložena fluorescentna cev, ki danes ni večja od standardne žarnice. Energijsko varčne kompaktne fluorescenčne sijalke proizvajajo vsi pomembnejši proizvajalci sijalk in obstajajo v močeh od 9 do 50 W.

5.1.23 HALOGENSKE ŽARNICE (1960)

Halogenska žarnica je bila prvič predstavljena leta 1960 za uporabo na gledaliških odrih in v studiih. Podobna je navadnim žarnicam z žarilno nitjo polnjenim z inertnim plinom, s to razliko, da je pri halogenski žarnici v stekleni balon dodan še aktivni halogenski plin kot je brom ali jod.

Slika 5.19: Primeri halogenskih žarnic.

Inertni plin je v halogenski žarnici uporabljen za zmanjševanje izparevanja volframa, medtem ko halogenski plin zmanjšuje nalaganje izparelega volframa na stene sijalke. Izpareli volfram reagira z bromom v atmosferi okoli žarilne nitke. Nastane volframov bromid, ki se z kroženjem atmosfere v steklenem balonu po določenem času vrne v bližino žarilne nitke. Na žarilni nitki zaradi vročine volframov bromid razpade in volfram se usede nazaj na žarilno nitko. Ker pa nalaganje volframa ni ravno na mestu, kjer je volfram izparel, se na določenih mestih volframova nitka še zmeraj tanjša, kar s časoma privede do njenega pregoretja. Da se ta proces nemoteno odvija, pa mora biti temperatura sten zelo visoka, tudi nad 250 ^{0}C. Na določenih mestih lahko doseže celo 700 °C. To pa pomeni, da je potrebno za balon žarnice uporabiti kremenčevo steklo, ki zdrži tako visoke temperature.



Slika 5.20: Krožni proces v halogenski žarnici. Volfram, ki izpari iz žarilne nitke (1. slika), se veže z bromom (2. slika), spojina pa kasneje razpade (3. slika) in volfram se ponovno usede na žarilno nitko (4. slika).

Ker je kremenčevo steklo porozno, halogenske žarnice ne smemo prijeti z golimi rokami ampak na primer z rokavicami ali vsaj koščkom papirja. V nasprotnem primeru bomo

steklen balonček namastili, to pa lahko privede do njegovega neenakomernega raztezanja pri povišani temperaturi. V posameznih primerih lahko zaradi tega tudi poči in žarnica bo pregorela.

Halogenska sijalka je torej zaradi opisanega krožnega procesa, ki zmanjšuje usedanje volframa na stene balona stabilnejši svetlobni vir kot so navadne žarnice. Ker žarilna nitka obratuje na višji temperaturi imajo tudi višjo barvno temperaturo. Zaradi krožnega procesa pa je daljša tudi življenjska doba. Slabost je le visoka temperatura zunanjih sten.

5.1.24 KOVINSKO-HALOGENIDNE SIJALKE (1960)

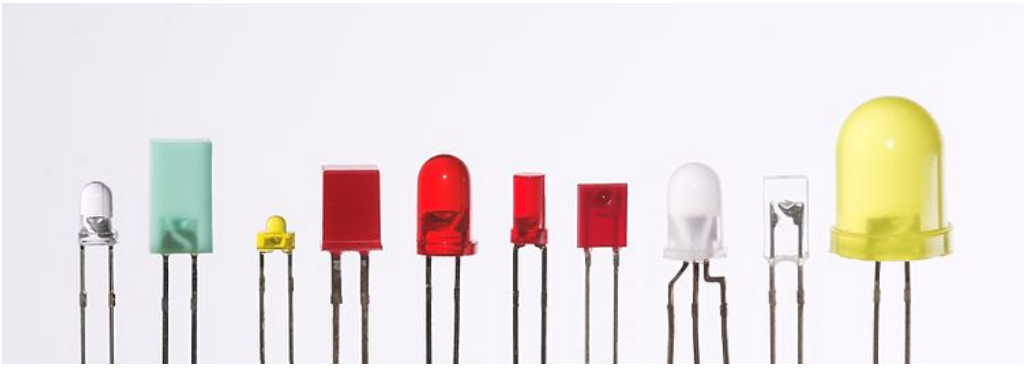
Prva visokotlačna kovinsko-halogenidna sijalka je bila narejena okoli 1960. V osnovi so to visokotlačne živosrebrove sijalke, ki imajo v gorilnik dodane razne kovine, s katerimi se izboljšujta izkoristek in spremeni spekter proizvedene svetlobe. Gorilnik pri teh sijalkah je napolnjenen z zagonskim plinom ter mešanico živega srebra in soli, ki vsebujejo kovine (redke zemlje). Tipične soli, ki se uporabljajo pri teh sijalkah so natrijev jodid, skandijev jodid, talijev jodid in indijev jodid. Nekatere kovinsko halogenidne sijalke imajo zunanji stekleni balon prevlečen s fluorescenčnimi fosforji podobno kot živosrebrova sijalk. Vendar to ni nujno potrebno, saj oddajajo malo UV svetlobe. Ko se jodidi zaradi obloka uparijo, oddajajo svetlobo drugimi valovnimi dolžinami kot živo srebro, zato imajo te sijalke bolj zvezen spekter. Zagon teh sijalk se izvede z zagonskimi elektrodami, ko pa oblok dovolj segreje gorilnik, pa bimetalno stikalo priključi glavne elektrode.

Značilnost visokotlačnih kovinsko-halogenidnih sijalk je zelo dober izkoristek (85 do 115 lm/W), dolga življenjska doba in bolj poln svetlobni spekter, kar pomeni boljši indeks barvnega videza. Slabost pa je, da jih ne moremo uporabljati v vseh položajih, ne da bi to vplivalo na izkoristek oziroma svetlobni tok sijalke.

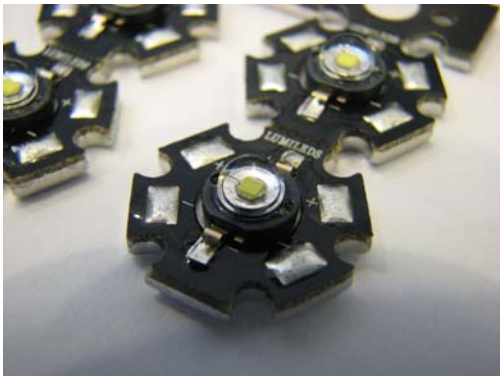
5.1.25 SVETLEČA DIODA - LED (1965)

Svetleča dioda ali LED je polprevodniški element, ki spreminja električno energijo v svetlobno. Svetlobno energijo oddajajo elektroni, ko prečkajo zaporno plast in se rekombinirajo z vrzelmi. Energija sproščenega fotona in s tem valovna dolžina svetlobe je odvisna od uporabljenega materiala. Če želimo svetlobo v vidnem delu spektra, silicij, ki ga največ uporabljamo v polprevodniški tehniki, ni primeren. Za svetleče diode se uporabljajo zmesi galija in arzena (GaAs) ali indija in fosforja (InP). Pa tudi polprevodniki drugih zmesi trivalentnih in petvalentnih kemijskih elementov (GaAsP, GaP itd.).

Na začetku so svetleče diode obstajale samo v rdeči barvi, nato so se pojavile zelene in rumene. V sredini devetdesetih pa so razvili še modre in bele. LED običajno delujejo v napetostnem področju od 1 do 3 V pri enosmernih tokih do nekaj amperov. Na začetku so se LED uporabljale za indikatorje v napravah, v zadnjem času pa se je njihova uporaba zelo hitro širi tudi na področje razsvetljave. Uporabljajo pa se tudi namesto laserjev v tiskalnikih, v optičnih bralnikih, za generiranje signalov v telekomunikacijah, v žepnih svetilkah, v LED zaslonih.



Slika 5.21: Svetleče diode ali LED (Light Emitting Diode) različnih barv, velikosti in oblik. Svetleče diode majhnih moči obratujejo z enosmernim tokom med 10 mA in 100 mA in se uporabljajo predvsem kot indikatorji.



Slika 5.22: Bele močnostne svetleče diode danes dosegajo moči do 5 W (na čip) in obratujejo z enosmernim tokom, večjim od 1000 mA. Te na sliki so pritrjene na posebna podnožja ki olajšajo montažo in poskrbijo za dobro hlajenje.

5.1.26 VISOKOTLAČNE NATRIJEVE SIJALKE (1966)

Visokotlačne natrijeve sijalke so se počasi razvijale in pridobivale na popularnosti vse od njihove predstavitve leta 1966. Omogočajo bolj ekonomičen vir razsvetljave kot živosrebrove sijalke ali fluorescentne sijalke in imajo boljši indeks barvnega videza kot nizkotlačne natrijeve sijalke. Njihov izkoristek se giblje med 80 in 140 lm/W, kar je najboljši izkoristek med sijalkami, ki oddajajo belo svetlobo. Narejene so bile za razsvetljavo v industriji ter za cestno razsvetljavo. Sestavljene so iz steklenega ali keramičnega gorilnika v katerem se nahaja mešanica ksenona, natrija in živega srebra. Ksenon je namenjen za zagon sijalke, saj se zelo hitro ionizira. Ko zaradi tega nastane oblok, se uparita tudi natrij in živo srebro. Živo srebro se uporabi predvsem za dvig tlaka v gorilniku zaradi česar nastanejo optimalne razmere za oddajanje svetlobe natrija. Indeks barvnega videza oddane svetlobe je med 20 in 80, barvna temperatura je med 1900 K in 2800 K. Slabost visokotlačnih natrijevih sijalk je v tem, da potrebujejo nekaj časa da se segrejejo in dosežejo polni svetlobni tok. To se pozna še posebej pri nenadnih izklopih, saj se mora v tem primeru sijalka pred ponovnim vklopom še ohladiti.

5.1.27 VISOKOTLAČNA KSENONSKA SIJALKA (1969)

Visokotlačna ksenonska sijalka se je najprej pojavila v Nemčiji. Leta 1969 so jo razvili pri OSRAMu. Sijalka naj bi zadostila potrebam nemškega državnega televizijskega sistema za

snemanje v studiih pri svetlobi, ki je čim bolj podobna sončni. Njihova uporaba se je hitro razširil po Evropi in preostalem svetu. Danes se največ uporablja v filmski in zabavni industriji. Sijalka deluje z enosmernim tokom in za zagon potrebuje posebno zagonsko vezje, ki proizvede visokonapetostni pulz. Vezje skrbi tudi za omejevanje toka skozi sijalko, saj ima ta med obratovanjem zelo majhno upornost. Moderna visokotlačna ksenonska sijalka ima visok izkoristek (od 100 lm/W do 110 lm/W) in proizvaja svetlobo s spektrom, ki je zelo podoben spektru dnevne svetlobe. Barvna temperatura je 5600 K. Trenutno jih proizvajajo z električnimi močmi od 200 W pa do več kot 17.000 W. Sijalka poleg ksenona vsebuje še živo srebro, kovinske dodatke in halogene.

Slika 5.23: Visokotlačna ksenonska sijalka s kratkim oblokom. Sijalka za delovanje potrebuje razmeroma velik enosmerni tok, za vžig pa visokonapetostni impulz.

5.1.28 ŽVEPLOVE SIJALKE (1994)

Eno izmed novejših odkritij v svetlobni tehniki so žveplove sijalke, ki so se pojavile leta 1994. Razvilo jih je ameriško podjetje Fusion Lighting s podporo ministrstva za energetiko. Žveplova sijalka je v velikosti žogice za golf in je sestavljena iz steklene buče, ki vsebuje nestrupeno žveplo in inertni plin argon. Vir mikrovalov s frekvenco 2,45 GHz obstreljuje sijalko, medtem ko z ventilatorjem hlajen elektromotor vrti sijalko z 3400 vrtljaji na minuto s čimer se doseže ustrezno hlajenje in razporeditev žvepla. Če tega hlajenja ni, se sijalka po približno dveh sekundah popolnoma stali.

Slika 5.24: Žveplova sijalka je napolnjena z argonom in žveplom. Da oddaja svetlobo jo je potrebno obsevati z elektromagnetnim sevanjem v mikrovalovnem področju.

Mikrovalovi vzbujajo plin, ki segreje žveplo. Tako nastane plazma, ki oddaja močno svetlobo. Prve prototipne sijalke so bile 5,9 kW enote z izkoristkom 80 lm/W. Barvna temperatura svetlobe je okrog 6000 K z indeksom barvnega videza 79. Žveplova sijalka se

prižge skoraj trenutno in omogoča regulacijo moči. Ne proizvaja magnetnega polja in proizvodnja svetlobe je konstantna skozi celo življenjsko dobo. Novejše žveplove sijalke imajo izkoristek 120 lm/W. Svetloba, ki jo oddaja, ima zvezni spekter, čeprav je razmeroma malo energije na obeh robnih področjih: na meji z ultra-vijolično in z infrardečo svetlobo. Življenjska doba je približno 60.000 ur medtem ko je življenjska doba magnetrona, naprave za proizvodnjo mikrovalov, samo 15.000 do 20.000 ur.

5.2 SODOBNI SVETLOBNI VIRI

Od svetlobnih virov, opisanih v prejšnjem poglavju, jih je že kar nekaj odnesla zgodovina. Podobno se prav sedaj dogaja tudi z navadno žarnico, ki smo jo v Evropski uniji vzeli iz prometa. Tako kot že pri nekaterih drugih svetlobnih virih, je vzrok prenizek svetlobni izkoristek in torej prevelika poraba električne energije.

V nadaljevanju so podane nekatere glavne lastnosti svetlobnih virov, ki se jih trenutno največ uporablja. Med njimi je na prvem mestu še vedno navadna žarnica, ki še vedno velja za zelo dober svetlobni vir, če nas seveda ne zanima njena energetska učinkovitost.

5.2.1 NAVADNA ŽARNICA

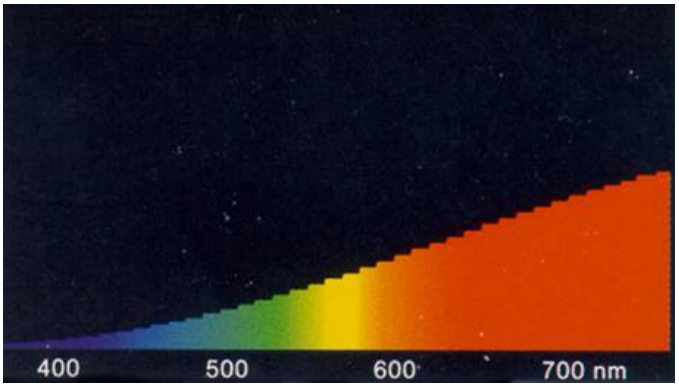
Navadna žarnica je svetlobni vir, ki je omogočil, da se je umetna razsvetljava razširila v skoraj vsak dom zahodnega sveta. Sestavljena je iz žarilne nitke iz volframa zaprte v stekleno bučko in priključene na dve elektrodi. Ko skozi nitko steče tok, se ta segreje in zažari. Na začetku so bili stekleni baloni vakuumirani. Kasneje so jih, da bi preprečili nabiranje izparelega volframa na notranjo steno balona, začeli polniti z inertnimi plini. Danes so vakuumirane samo še žarnice majhnih moči.

Žarnica večino energije odda v obliki toplote oziroma infra-rdečega sevanja (okoli 90 %), tako da ima od sodobnih svetlobnih virov najslabši izkoristek. Ta znaša pri navadni 100 W žarnici približno 13 lm/W. Žarnice manjših moči imajo še nekoliko slabšega. Včasih pa so žarnice namenoma narejene s slabšim izkoristkom, ker jim to podaljša življenjsko dobo, saj v tem primeru obratujejo na nižji temperaturi.

Slika 5.25: Najbolj običajna oblika navadne žarnice. V EU so v prodaji samo še žarnice z močjo pod 20 W in pa posebne žarnice npr. za hladilnike ali za pečice.

Barvna temperatura navadnih žarnic je približno 2700 K, indeks barvnega videza pa znaša od 95 do 100. Življenjska doba navadnih žarnic je okoli 1000 ur, predvsem zaradi velike

občutljivosti na prenapetosti ter zaradi izhlapevanja volframa iz žarilne nitke. Nitka se zaradi tega s časom tanjša in postaja vedno bolj občutljiva na tresljaje in prenapetosti.

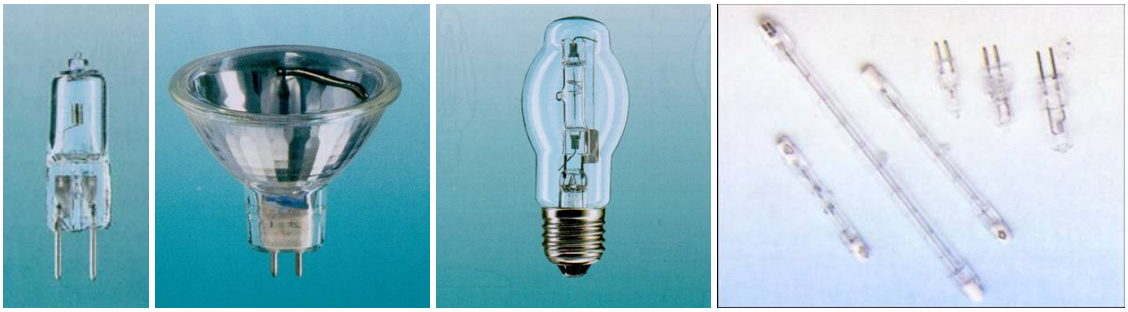


Slika 5.26: Spekter navadne žarnice je zvezen s poudarjenim rdečim delom. UV svetlobe praktično ni.

5.2.2 HALOGENSKA ŽARNICA

Kot smo že opisali, je halogenska žarnica izboljšana verzija navadne žarnice. Znotraj steklene bučke ima poleg inertnega plina tudi halogene pline, kot na primer jod ali brom. Ti plini se vežejo na izhlapeli volfram in ga nalagajo nazaj na volframovo nitko. Proces imenujemo halogenski krožni cikel in omogoča, da žarnica deluje na višji temperaturi okoli 3000 K. Krožni cikel tudi preprečuje, da bi se volfram nalagal na steklo. Zaradi višje temperature obratovanja žarnice, je barva temperatura nekoliko višja kot pri navadni žarnici (3000 K). Izkoristek halogenskih žarnic je prav tako nekoliko višji in znaša do 25 lm/W, indeks barvnega videza pa je podobno kot pri navadni žarnici med 95 in 100. Življenjska doba je od 2000 pa do 4000 ur pri sodobnih halogenskih žarnicah. Spekter halogenske žarnice je praktično enak spektru navadne žarnice s tem da je vrh spektra (ki je prav tako v IR področju) malo premaknjen proti manjšim valovnim dolžinam.

Halogenske žarnice so bile dolgo časa poznane predvsem v nizko napetostni izvedbi za napetosti 6 V, 12 V ali 24 V. V zadnjem času pa so se uveljavile predvsem izvedbe za napetost 230 V in sicer kot zamenjava za navadne žarnice, ki jih v EU ni več na tržišču. Tako bo še nekaj let, potem bo pa tudi halogenska žarnica zaradi preslabega energijskega izkoristka umaknjena s trgovskih polic.

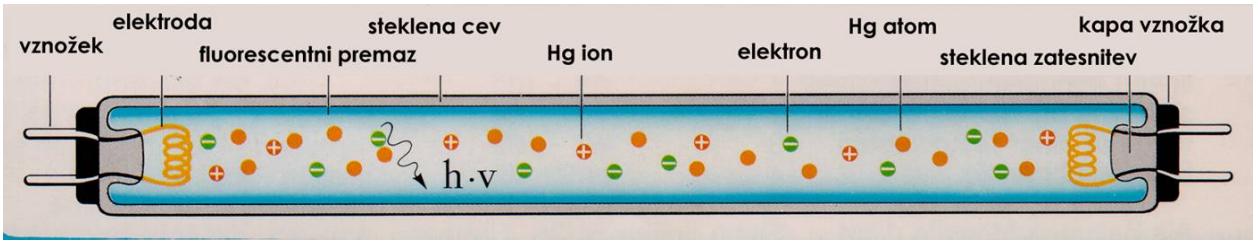


Slika 5.27: Halogenske žarnice različnih oblik. Od leve: navadna nizkonapetostna halogenska žarnica, reflektorska NN žarnica, žarnica za omrežno 230 V napetost in reflektorske sofitne žarnice (z vznožkom na obeh straneh).

Ena od prednosti navadnih in halogenskih žarnic za normalno omrežno napetost (230 V) je tudi, da jih lahko priključimo direktno na električno inštalacijo. Pri halogenskih žarnicah za nizko napetost pa moramo uporabiti ustrezen klasičen ali pa elektronski transformator.

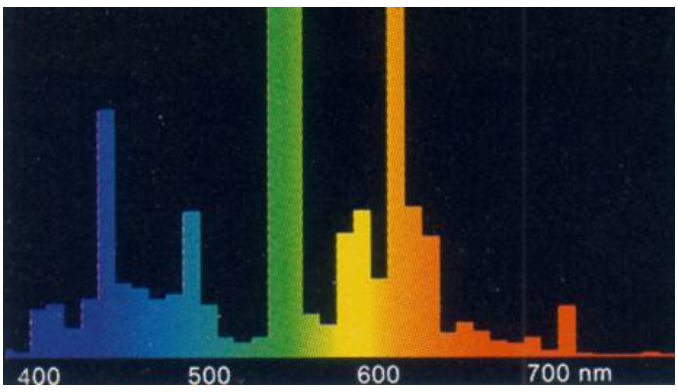
5.2.3 FLUORESCENČNA SIJALKA

Fluorescenčna sijalka je po principu delovanja nizkotlačna živosrebrova sijalka. Sestavljena je iz steklene cevi, ki ima na obeh koncih vstavljeni elektrodi. Napolnjena je z žlahtnim plinom z dodanim živim srebrom. Žlahtni plin služi zagonu, svetlobo pa med delovanjem oddaja živosrebrova para. Ker je zato večina svetlobe v UV delu spektra, je notranjost steklene cevi prevlečena z fluorescenčnimi fosforji, ki so sijalki tudi dali ime.



Slika 5.28: Prerez skozi fluorescenčno sijalko.

Sestava fluorescenčnega premaza pogojuje spekter fluorescenčne sijalke, ki je predvsem črtni spekter z nekaj izrazitimi črtami, običajno v področjih rdeče, zelene in modre barve. Od spektra je odvisna tudi barvna temperatura ter indeks barvnega videza. Barvno temperaturo lahko izbiramo v področju med 2700 K (toplo bela svetloba, nemška oznaka: ww), preko 4000 K (naravno bela svetloba, nw) do 6500 K (dnevno bela svetloba, tw). Danes so na voljo tudi fluorescenčne sijalke z višjimi barvnimi temperaturami (8000 K, 17000 K), vendar se te običajno uporabljajo samo v določenih kombinacijah z drugimi barvnimi temperaturami ali v posebne namene. Indeks barvnega videza je lahko med 60 in 95. Starejše fluorescenčne sijalke imajo slabšega (60 do 70), pri novejših pa je običajno med 80 in 85. Če nam to ne zadošča, lahko izberemo fluorescenčne sijalke z indeksom barvnega videza med 90 in 95. Moramo pa se zavedati, da večji indeks barvnega videza pomeni debelejši nanos fluorescenčnega prahu, zato je svetlobni izkoristek teh sijalk manjši.



Slika 5.29: Spekter svetlobe fluorescenčne sijalke. Vidimo, da spekter predvsem črtni z zelo slabo zastopanimi rdečimi valovnimi dolžinami.

Brez fluorescenčne obloge sijalka oddaja približno 3 % vidne svetlobe in 63 % UV svetlobe, ostalo pa je toplota. S fluorescenčno oblogo omenjenih 63 % UV svetlobe pretvorimo v 25 % vidne svetlobe in 38 % toplote. Končna bilanca je tako 28 % vidne svetlobe, 34 % IR svetlobe in 38 % toplote. Svetlobni izkoristek je pri današnjih fluorescenčnih sijalkam med 80 lm/W in 104 lm/W. Življenjska doba pa je med običajnih 8.000 ur do 12.000 ur, pa do 20.000 ur pri modernih izvedbah.

Slika 5.30: Številska oznaka na sijalki, ki je napisana za nazivno močjo sijalke, podaja indeks barvnega videza (prva številka pomnožena z 10) in barvno temperaturo svetlobe (druga in tretja številka pomnoženi s 100). Oznaka 830 na sliki tako pomeni indeks barvnega videza med 80 in 85 in barvno temperaturo 3000 K.

Obstaja več družin fluorescentnih sijalk, ki jih razlikujemo glede na premer cevi. Družini, ki sta danes večinoma v uporabi sta T8 in T5. Številka za črko T podaja premer sijalke v osminkah palca. Včasih se oznake podajajo tudi v milimetrih, torej T25 in T16. Starejše fluorescenčne sijalke, ki so se začele uporabljati v sredini 20 stoletja pa so imele oznako T12 in premer 38 mm. Predstavljajo zastarelo tehnologijo, tako da se jih v sodobne svetilke ne vgrajuje več, jih pa včasih še srečamo v kakšni stari svetilki, ki ni bila veliko v uporabi.

Fluorescentne sijalke se v javni razsvetljavi vsaj pri nas praktično ne uporabljajo. Srečamo jih po nekaterih drugih državah, vendar veliko manj kot na primer visokotlačne natrijeve ali visokotlačne kovinsko-halogenidne sijalke. Problem je razmeroma majhna moč in torej tudi majhen svetlobni tok in velike dimenzije. Zato je težko izdelati ustrezen reflektor, to pa pomeni tudi slab svetlobni izkoristek svetilke. Težavo predstavlja tudi vžig sijalke pri nižjih temperaturah okolice, zaradi česar je njihova uporaba večinoma omejena na pokrite javne prostore, kot so na primer podhodi ter stranske in manj prometne ceste.

Fluorescenčna sijalka potrebuje za delovanje ustrezno predstikalno napravo, ki omogoči vžig sijalke in stabilizacijo (omejevanje) toka skozi sijalko med delovanjem. Včasih so se uporabljale elektromagnetne predstikalne naprave, ki so bile sestavljene iz elektromagnetne dušilke za omejevanje toka in iz štarterja, ki je pomagal pri vžigu sijalke. Lastnost teh predstikalnih naprav je razmeroma velika poraba električne energije (ki seveda predstavlja izgube) in utripanje sijalke s 100 Hz. Zaradi velike porabe energije so bile elektromagnetne predstikalne naprave slabših energijskih razredov (večja poraba energije) že pred časov v EU vzete iz prodaje. Modernejša izvedba predstikalne naprave je elektronska predstikalna naprava, ki ima poleg manjše porabe električne energije za svoje delovanje tudi to dobro lastnost, da odpravlja utripanje sijalke. Sestavljena je iz usmernika in visokofrekvenčnega razsmernika. Sijalka tako deluje na frekvenci okoli 30.000 Hz. Za omejevanje toka še vedno skrbi dušilka, ki pa je zaradi visoke frekvence precej manjša.

Elektronske predstikalne naprave omogočajo tudi regulacijo svetlobnega toka fluorescenčne sijalke, ki jo dosežemo s spreminjanjem frekvence na izhodu predstikalne naprave. Slaba lastnost teh predstikalnih naprav pa je, da lahko povzročajo motnje in harmonsko popačenje napetosti v omrežju, če niso ustrezno kompenzirane.

Slika 5.31: Od leve proti desni: elektromagnetna dušilka kot del klasične predstikalne naprave za fluorescenčne sijalke, štarter sestavljen iz tlivke in bimetalnega stikala in skupina elektronskih predstikalnih naprav za sijalke različnih moči.

Fluorescenčne sijalke izvedbe T8

Fluorescenčne sijalke v izvedbi T8 so danes najbolj pogosto uporabljen svetlobni vir v notranji razsvetljavi poslovnih prostorov. Povprečna življenjska doba T8 sijalk z elektronsko predstikalno napravo se giblje okoli 20.000 ur. Kot vse fluorescentne sijalke je tudi T8 občutljiva na temperaturo, pri čemer ima sijalka optimalen izkoristek, če temperatura v njeni neposredni okolici znaša 25°C. Zato ni najbolj primerna za uporabo v javni razsvetljavi, pri notranji razsvetljavi pa moramo poskrbeti za ustrezno hlajenje. Obstaja več standardnih dolžin ravnih T8 sijalk kot na primer: 590 mm, 1200 mm in 1500 mm. Znotraj vsake dolžine obstaja več vrst sijalk, ki se razlikujejo glede na indeks barvnega videza ter podobno barvno temperaturo svetlobe. Izkoristki T8 sijalk se gibljejo okoli 90 lm/W če jih uporabljamo z elektronskimi predstikalnimi napravami. S klasičnimi elektromagnetnimi predstikalnimi napravami so izkoristki nekoliko manjši.

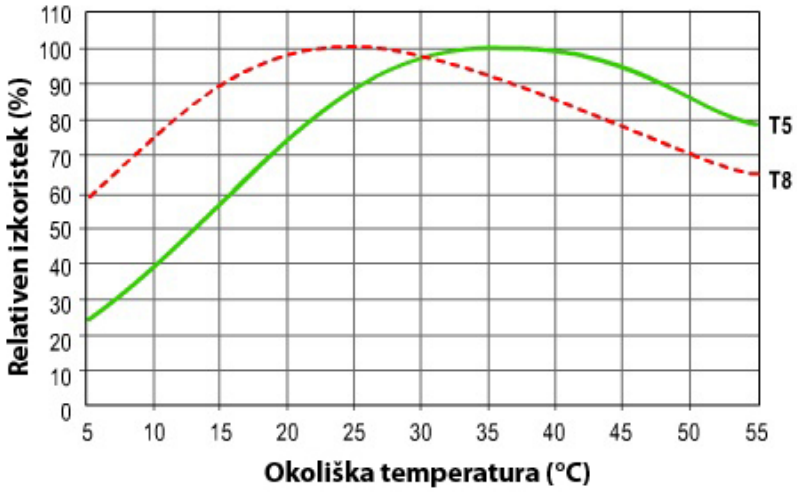
Slika 5.32: Razlika v premeru fluorescenčnih sijalk v izvedbi T8 (zgornji dve) in izvedbi T5 (spodnji dve) je očitna že na prvi pogled. Poleg tega so različne tudi dolžine.

Fluorescenčne sijalke izvedbe T5

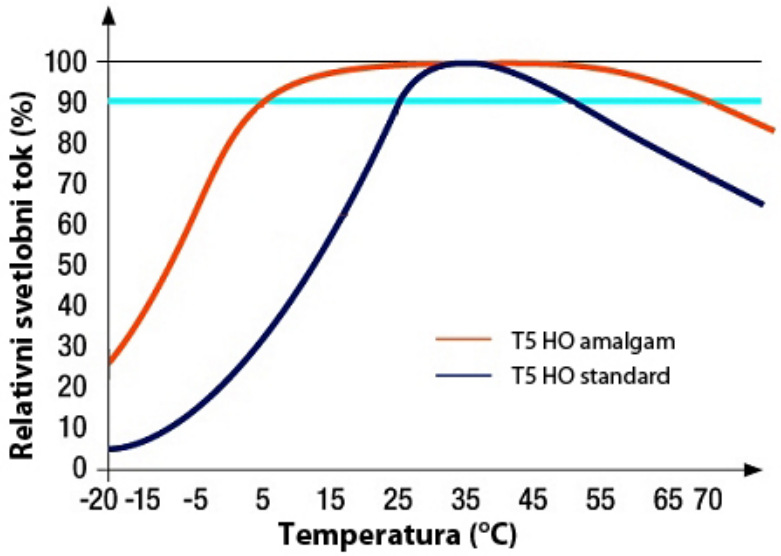
Izvedba T5 je najnovejša tehnologija cevastih fluorescentnih sijalk. Imajo boljši izkoristek kot T8 sijalke ter primerljivo življenjsko dobo (giblje se od 20.000 do 24.000 včasih pa tudi do 30.000 ur, odvisno od izvedbe). Prednost T5 sijalk v primerjavi s T8 sijalkami je tudi manjši premer sijalk, kar omogoča večjo učinkovitost svetilke ter natančnejši nadzor nad

svetlobno distribucijo svetilke (lažjo izdelavo reflektorja). Te prednosti pridejo do izraza predvsem v notranji razsvetljavi.

Občutljivost T5 sijalk na temperaturo je večja kot pri T8. So pa zato optimirane za delovanje pri višji temperaturi, saj je znotraj svetilke temperatura vedno višja od okoliške temperature. Za uporabo v hladnih in zelo toplih prostorih obstajajo T5 sijalke z dodatkom amalgama, ki znatno zmanjša upad učinkovitosti T5 sijalk v hladnih okoljih, vendar se v zunanji razsvetljavi to vrsto T5 sijalk zaradi višje cene le redkokdaj uporablja. Izkoristki T5 sijalk dosegajo vrednosti od okoli 90 lm/W do preko 100 lm/W. Obvezna je uporaba elektronske predstikalne naprave saj T5 sijalke z elektromagnetnimi predstikalnimi napravami ne delujejo.



Slika 5.33: Relativni izkoristek T5 in T8 sijalk pri različnih temperaturah.



Slika 5.34: Relativni izkoristek navadnih T5 v primerjavi s T5 sijalkami z dodatkom amalgama.

Podobno kot pri T8 sijalkah obstaja več standardnih dolžin sijalk T5, ki pa niso enake kot pri T8. Dolžine, ki se danes najpogosteje uporabljajo so: 549 mm, 849 mm, 1149 mm in

1449 mm, čeprav so na voljo tudi krajše sijalke (od 130 mm dalje). Pri vsaki dolžini je na voljo več sijalk z različnimi močmi in parametri oddane svetlobe.

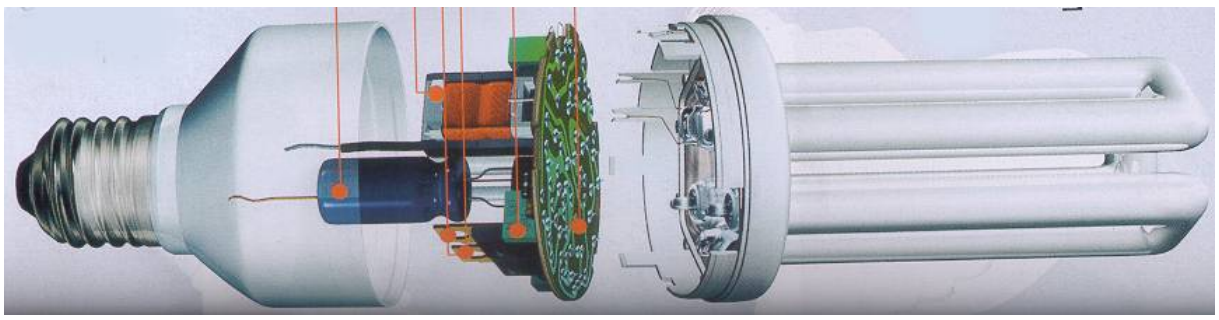
Poleg v ravni izvedbi so tako T8 kot T5 fluorescenčne sijalke na voljo tudi v številnih drugih izvedbah. Na voljo pa so tudi sijalke za posebne namene kot na primer za dezinfekcijo zraka ali vode (brez fluorescenčne obloge) za solarije, v t.i. »black light« izvedba, v posameznih osnovnih barvah (rdeča, zelena, modra) in številne druge.

Slika 5.35: Različne izvedbe fluorescenčnih sijalk; od leve proti desni: klasična cevna T5 sijalka, T5 sijalka v krožni obliki, T8 sijalka v »black light« izvedbi, ki oddaja UV svetlobo, primerno za varnostno kontrolo npr. bankovcev, T8 sijalka brez fluorescenčne obloge za dezinfekcijo zraka (UV svetloba uniči klice) in fluorescenčna sijalka za solarije.

5.2.4 KOMPAKTNA FLUORESCENTNA SIJALKA

Kompaktne fluorescentne sijalke so po principu delovanja enake cevnim fluorescentnim sijalkam, imajo pa kompaktnejšo obliko. Na trgu so se pojavile kot varčna zamenjava za navadne žarnice. Prvi prototipi so nastali že v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, na trgu pa so se pojavile v začetku osemdesetih. V večini primerov so opremljene z elektronsko predstikalno napravo in E27 ali E14 vznožkom. Pri nas jih poznamo predvsem pod imenom »varčne žarnice«. V zadnjih letih je šel razvoj predvsem v smeri zmanjševanja dimenzij, da bi res dosegli velikost, kot jo imajo navadne žarnice. Problem je predvsem v tem, ker je dolžina cevi fluorescenčne sijalke pogojena z njeno električno močjo oziroma z želenim svetlobnim tokom. Zato so sijalke večjih moči še vedno večje kot navadne žarnice, kjer je razlika v velikosti pri različnih električnih močeh manjša.

Spekter svetlobe kompaktnih fluorescenčnih sijalk je enak spektru fluorescenčnih sijalk, kot je prikazan na sliki 5.29. Prav tako lahko izbiramo med sijalkami z različno barvno temperaturo svetlobe in z različnimi indeksi barvnega videza. Tudi oznake slednjih dveh lastnosti so enake (glejte opis oznake na sliki 5.30).



Slika 5.36: Najbolj pogosta oblika kompaktne fluorescenčne sijalka je sestavljena iz ohišja z E27 navojnim vznožkom v katerem se nahaja elektronska predstikalna naprava, ki je povezana z elektrodami na obeh koncih cevi.

Poleg najbolj znanih »reftrofit« kompaktnih fluorescenčnih sijalk, ki so opremljene z navojnimi vznožki in se uporabljajo za zamenjavo navadnih žarnic, poznamo tudi kompaktne fluorescenčne sijalke ki imajo bajonetne vznožke imenovane tudi »pin vznožke«. Te so namenjene uporabi v svetilkah, ki so namensko izdelane za take sijalke in ne za navadne žarnice. Na tržišču sta dve izvedbi in sicer sijalke z 2 »pinoma« in sijalke s 4 »pini«. Tiste, ki imajo samo dva priključka so namenjene obratovanju s klasičnimi elektromagnetnimi predstikalnimi napravami. Elektromagnetna dušilka je vgrajena v svetilki in se jo po odpovedi sijalke ne zamenja. Štarter pa je vgrajen v sijalki. Sijalke s 4 priključki pa obratujejo z elektronskimi predstikalnimi napravami, ki so vgrajene v svetilki. Njihov izkoristek je zato nekoliko boljši.

Slika 5.37: Kompaktne fluorescenčne sijalke z ločeno predstikalno napravo različnih moči. Spodaj desno sijalka iste moči v izvedbi s štirimi kontakti (čisto desno) in v izvedbi z dvema kontaktoma (ob njej levo).

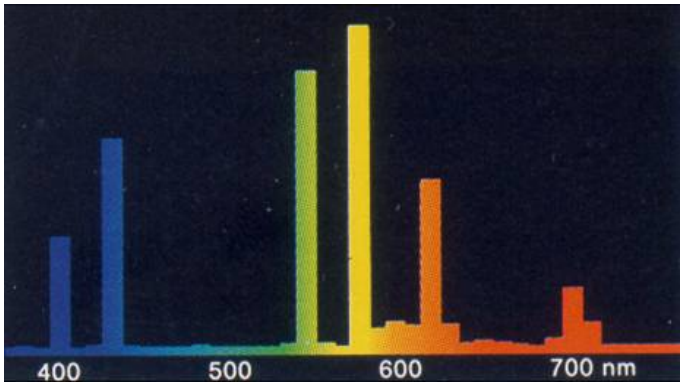
Kompaktne fluorescentne sijalke z ločeno predstikalno napravo se ločijo glede na obliko, barvo svetlobe, moč ter vrsto okovja. Izkoristek se giblje od 40 do 70 lm/W, povprečna življenjska doba pa sega od 10.000 do 20.000 in je odvisna od specifične sijalke ter večinoma tudi od pogostosti prižiganja in ugašanja.

5.2.5 VISOKOTLAČNA ŽIVOSREBROVA SIJALKA

Visokotlačna živosrebrova sijalka je bila ena prvih sijalk na princip luminiscence ob razelektritvi v plinu, ki se je uveljavila predvsem v javni razsvetljavi. Danes se zaradi slabega izkoristka uporablja vedno redkeje, v nekaj letih pa bo iz istega vzroka v EU umaknjena iz prodaje podobno kot so že bile navadne žarnice. V zadnjem času jo uspešno nadomeščajo visokotlačne kovinsko-halogenidne sijalke. Še vedno pa je predvsem v starejših svetilkah po Sloveniji veliko visokotlačnih živosrebrovih sijalk v obratovanju.

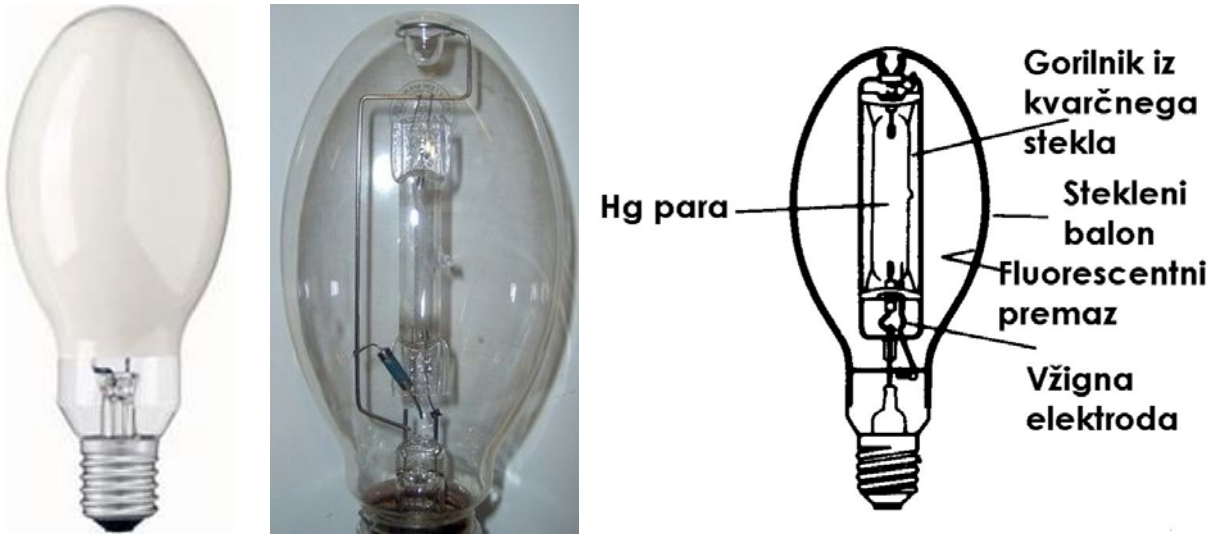
V svoji najpogostejši izvedbi oddaja nevtralno belo svetlobo z barvno temperaturo 4000 K in ima izrazit črtni spekter. Tako kot nizkotlačna živosrebrova sijalka (fluorescenčna sijalka) tudi visokotlačna oddaja večino svetlobe v UV delu spektra. S fluorescenčno

prevleko na notranjosti zunanjega steklenega balona to UV svetlobo pretvorimo v vidno svetlobo. Spekter je tako odvisen ne samo od spektra plina v gorilniku pač pa predvsem od sestave fluorescenčnega premaza. Posledica črtnega spektra je zelo slab indeks barvnega videza, ki sega zgolj od 23 pa do 55.



Slika 5.38: Spekter visokotlačne živosrebrove sijalke je izrazito črten. Modre črte so črte živega srebra ostale pa so dobljene s fluorescenčnim premazom zunanjega steklenega balona.

Električne moči segajo od okoli 50W do 1000W (odvisno od proizvajalca), vznožek je v večini primerov E27 pri večjih močeh pa se uporablja E40. Svetlobni izkoristek je od 40 lm/W do nekje 60 lm/W, življenjska doba pa je običajno nekaj večja od 15.000 ur.



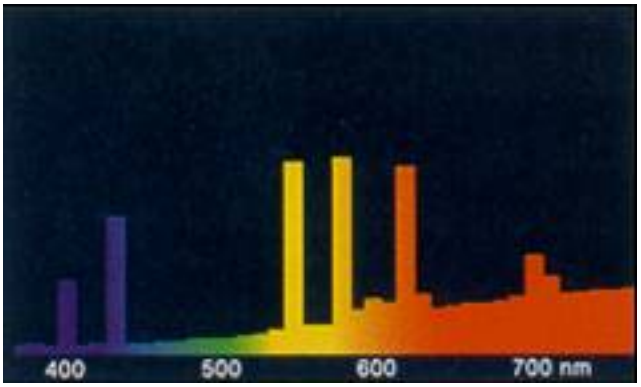
Slika 5.39: Visokotlačna živosrebrova sijalka, levo v običajni obliki s fluorescenčnim premazom na zunanjem balonu, v sredini brez fluorescenčnega premaza tako, da se vidi gorilnik (steklena kapsula, kjer je živosrebrova para, ki sveti) in upor vžigne elektrode ter desno prikaz sestavnih delov.

Kot vse sijalke tudi visokotlačna živosrebrova sijalka za svoje delovanje potrebuje ustrezno predstikalno napravo. Ker se vžig izvede s pomočjo pomožne elektrode, ki je vgrajena v sijalki, je zunanja predstikalna naprava sestavljena samo iz elektromagnetne dušilke za omejevanje toka. Ko sijalko priklopimo na omrežje se najprej vzpostavi oblok med spodnjo glavno elektrodo in pomožno elektrodo. Oblok segreje notranjost gorilnika in ko se živo srebro upari in s tem poveča tlak, se oblok preseli iz pomožne elektrode, ki je priključena preko upora, na zgornjo glavno elektrodo.

5.2.6 ŽARNICA ZA MEŠANO SVETLOBO

Visokotlačno živosrebrovo sijalko je možno dobiti tudi v izvedbi, ki jo pri nas poznamo pod imenom »žarnica za mešano svetlobo«. V tem primeru je zunanja dušilka za omejevanje toka skozi gorilnik zamenjana z žarilno nitko, ki se nahaja v notranjosti zunanjega steklenega balona okoli gorilnika. Žarilna nitka s svojo upornostjo omejuje tok skozi gorilnik pri tem pa tudi oddaja svetlobo. Zato »žarnica« za delovanje ne potrebuje zunanje predstikalne naprave in jo lahko, podobno kot navadno žarnico, priključimo direktno na električno inštalacijo.

Kot lahko vidimo na spodnji sliki je svetlobni spekter te žarnice oziroma sijalke sestavljen iz spektra žarilne nitke (zvezni spekter s pretežno rdečo svetlobo) in karakterističnega črtnega spektra visokotlačne živosrebrove sijalke, ki ga pogojuje kombinacija fluorescenčnih fosforjev v premazu zunanjega balona. Ker je spekter zaradi žarilne nitke precej bolj poln, je višji tudi indeks barvnega videza, ki dosega vrednosti okoli 70. Barvna temperatura svetlobe je običajno 3400 K. Življenjska doba je daljša kot pri navadni žarnici, ker je temperatura žarilne nitke nižja, ne dosega pa življenjske dobe živosrebrovega dela. Znaša okoli 5000 h. Izkoristek je slab (30 lm/W) vendar pa še vedno boljši kot pri navadni žarnici. Žarnice za mešano svetlobo so na voljo za električne moči od 160 W do 500 W.



Slika 5.40: Spekter žarnice za mešano svetlobo.

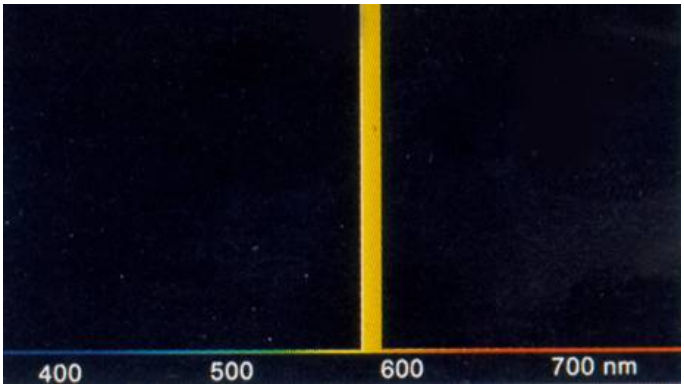
Žarnica za mešano svetlobo je bila prva alternativa navadni žarnici z željo po manjši porabi električne energije. Vendar pa se je zaradi slabega indeksa barvnega videza in razmeroma hladne svetlobe (vsaj v primerjavi z navadno žarnico) uveljavila predvsem v prostorih , kjer ni stalne prisotnosti ljudi. Še največ jih danes najdemo po kmetijskih gospodarskih poslopjih in hlevih. Danes jo je seveda več kot uspešno izrinila kompaktna fluorescenčna sijalka. Edina prednost žarnice za mešano svetlobo je danes samo še večja priključna moč in večji svetlobni tok v eni enoti.

5.2.7 NIZKOTLAČNA NATRIJEVA SIJALKA

Nizkotlačna natrijeva sijalka je po načinu delovanja podobna fluorescentnim sijalkam, vendar namesto živosrebrove pare uporablja natrijevo paro kot sevalni plin. Ker ima natrij precej visoko vrelišče, mora biti temperature gorilnika vsaj 290 °C, da se natrij upari in začne svetiti. Zato je gorilnik, ki je narejen iz dolge steklene palice, obdan z še enim vakuumiranim steklenim balonom, ki služi kot toplotna izolacija in zmanjšuje izgube

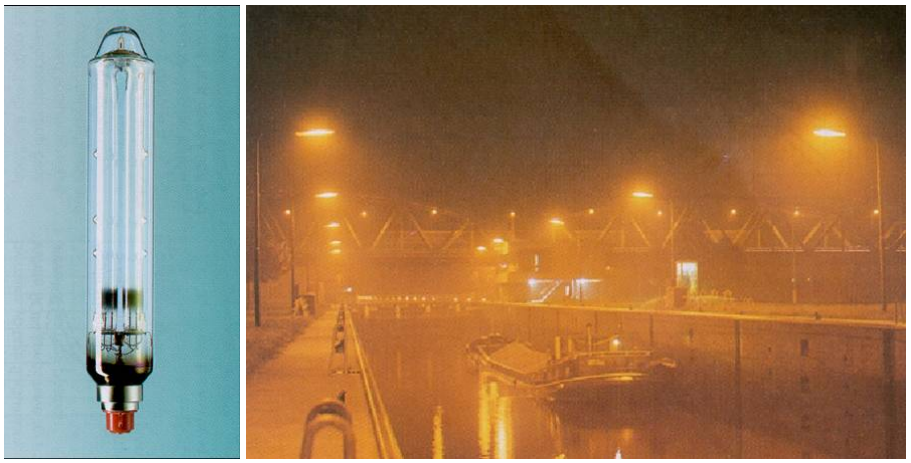
toplote. Natrijev sevalni spekter ima samo dve spektralni črti, ki pa ležita zelo blizu skopaj: 589 nm in 589,6 nm. Spekter je prikazan na spodnji sliki.

Zaradi specifičnega spektra, ki vsebuje samo rumeno svetlobo, ki je praktično monokromatska, je indeks barvnega videza komaj malo večji od nič. Barvna temperature (podobna barvna temperatura) je okoli 1750 K. Nizkotlačna natrijeva sijalka ima življenjsko dobo približno 16.000 ur. Priključne električne moči segajo do 180W. Glavna prednost nizkotlačnih natrijevih sijalk je visok svetlobni izkoristek, ki je posledica dejstva, da je valovna dolžina svetlobe (589 nm) zelo blizu valovni dolžini, na katero so naše oči najbolj občutljive (555 nm). Svetlobni izkoristek je tako do 180 lm/W, kar je največ med svetlobnimi viri, ki so trenutno v široki uporabi.



Slika 5.41: Spekter nizkotlačne natrijeve sijalke, na sliki je prikazana samo ena spektralna četa, v resnici sta dve vendar zelo blizu skopaj: 589 nm in 589,6 nm.

Ena od slabih lastnosti so tudi razmeroma velike dimenzije, saj je sijalka moči 160 W dolga kar 120 cm. Zaradi velikosti je seveda zelo težko izdelati ustrezen reflektor in svetilko. To in pa slabe lastnosti svetlobe so pripomogle, da se je svetilka uporabljala izključno v cestni razsvetljavi, pa še to samo v določenih državah. V Sloveniji so bile nizkotlačne natrijeve sijalke inštalirane v nekaj predorih, vendar so jih v zadnjih letih ob prenovah praktično povsod zamenjali.



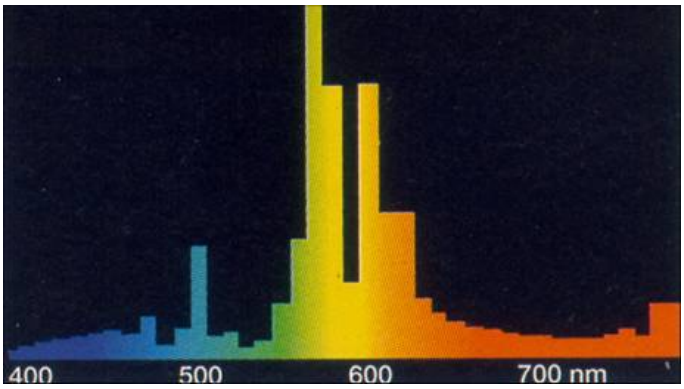
Slika 5.42: Izgled nizkotlačne natrijeve sijalke in pristanišče, osvetljeno s takimi sijalkami. Vidimo lahko, da je svetloba izrazito rumena in monokromatska, zaradi česar ni možno ločiti barv predmetov.

Nizkotlačna natrijeva sijalka potrebuje za svoje delovanje predstikalno napravo za omejevanje toka, ni pa potrebna posebna vžigna naprava. Predstikalna naprava je tako sestavljena samo iz posebnega transformatorja.

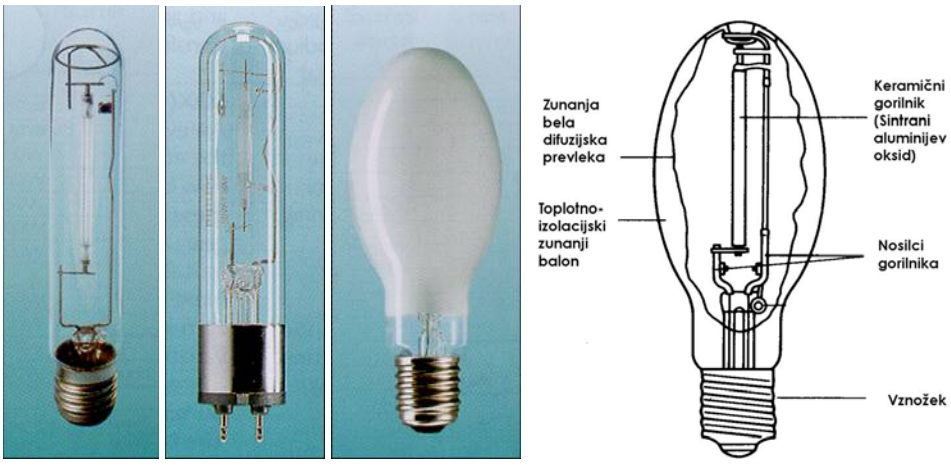
5.2.8 VISOKOTLAČNA NATRIJEVA SIJALKA

Visokotlačna natrijeva sijalka prav tako kot nizkotlačna oddaja predvsem rumeno svetlobo, vendar ima nekoliko širši spekter. Predvsem novejše izvedbe imajo precej boljši spekter od starejših modelov in že skoraj belo barvo svetlobe. Zaradi bolj polnega spektra ima visokotlačna natrijeva sijalka višji indeks barvnega videza, ki dosega vrednosti okoli 65. Barvna temperatura svetlobe običajnih visokotlačnih natrijevih sijalk je okoli 2000 K. Hkrati ima le nekoliko nižji svetlobni izkoristek (95 lm/W do 150 lm/W), zaradi česar je danes to najpogosteje uporabljana sijalka za cestno razsvetljavo. Življenjska doba sijalke sega do 24.000 ur, električne moči pa do 1000 W.

Tlak v gorilniku sijalke je približno 0,25 bara, temperatura pa okoli 1000 K. Sijalke so na voljo s prozornim zunanjim steklenim balonom ali z zunanjim steklenim balonom iz mlečnega stekla, ki pomaga zmanjšati svetlost sijalke in s tem bleščanje. Od drugih visokotlačnih sijalk (živosrebrove, kovinsko halogenidne) jih ločimo po obliki gorilnika, ki je tanek in dolg.



Slika 5.43: Spekter visokotlačne natrijeve sijalke. V spektru še vedno prevladuje rumena barva, vendar pa so zastopane tudi druge valovne dolžine, kar prinese boljši indeks barvnega videza.



Slika 5.44: Tri različne izvedbe visokotlačnih natrijevih sijalk in razlaga sestavnih delov. Spoznamo jih po obliki gorilnika, ki je ozek in dolg. Gorilniki ostalih visokotlačnih sijalk imajo večji premer in so krajši.

Tudi visokotlačna natrijeva sijalka potrebuje za svoje delovanje predstikalno napravo. Tako kot pri fluorescenčnih sijalkah se danes uporabljajo še klasične elektromagnetne predstikalne naprave in novejše elektronske predstikalne naprave. Klasična izvedba je sestavljena iz elektromagnetne dušilke z dodatnim odcepom ter iz vžigne naprave. Običajno je dodan še kondenzator za odpravo motenj in kompenzacijo jalove energije dušilke. Pri elektronski predstikalni napravi gre za podoben princip kot pri fluorescenčni sijalki. Izmenično napetost najprej usmerimo in nato ponovno razsmerimo z večjo frekvenco. Z ustreznimi predstikalnimi napravami je mogoča tudi regulacija svetlobnega toka visokotlačne natrijeve sijalke, vendar običajno le v omejenem obsegu. Največkrat se uporablja dvostopenjska regulacijo s katero lahko svetlobni tok zmanjšamo v času, ko je na osvetljeni cesti manj prometa in je torej predpisana svetlost (ali osvetljenost) zato nižja.

Obstaja več različnih izvedb visokotlačnih natrijevih sijalk, od katerih ima vsak svoje prednosti in slabosti. Nekatere od tipov smo prikazali v spodnji tabeli, ki pa še zdaleč ne prikazuje vseh sijalk, ki obstajajo na tržišču. Življenjska doba je mišljena kot čas do 50 % odpovedi, razen če je označeno drugače.

Philips				
Slika	**Oznaka**	**Električna moč (W)**	**Življenjska doba (ure)**	**Posebnosti**
	SON	70 - 1000	28.000	
	SON-T Pia Eco	130 - 360	32.000	Boljši izkoristek ter daljša življenjska doba kot običajne visokotlačne natrijeve sijalke
	Ceramalux® ALTO® Non-Cycling	50 - 1000	30.000 (30%)	Bolj odporna na nihanja napajalne napetosti.
	MASTER SON APIA Plus Hg Free	150 - 400	38.000	Ne vsebuje živega srebra. Podaljšana življenjska doba

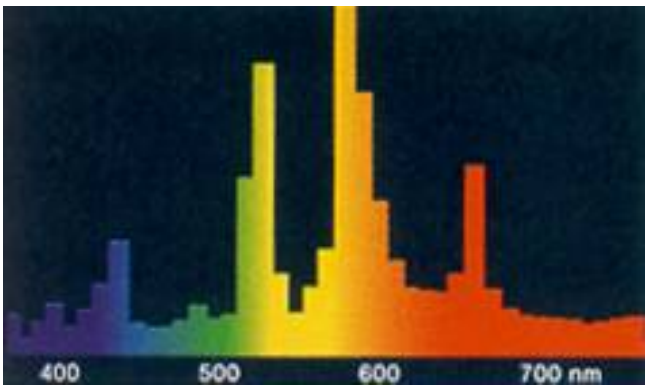
Tabela 5.1: Osnovni podatki nekaterih visokotlačnih natrijevih sijalk iz proizvodnega programa firme Philips.

Osram				
Slika	**Oznaka**	**Jakost**	**Življenska doba [ure]**	**Posebnosti**
	Vialox NAV-E	100-1000	16.000-24.000	
	Vialox NAV-E SUPER 4Y	50-400	24.000-28.000	Daljša življenjska doba, večji izkoristek
	Vialox NAV-T 4Y	70-400	28.000-32.000	Daljša življenjska doba
	Vialox NAV-TS SUPER 4Y	70-150	24.000-28.000	Daljša življenjska doba, ter večji izkoristek.

Tabela 5.2: Osnovni podatki nekaterih visokotlačnih natrijevih sijalk iz proizvodnega programa firme Osram.

5.2.9 VISOKOTLAČNA KOVINSKO-HALOGENIDNA SIJALKA

Visokotlačna kovinsko-halogenidna sijalka je izpeljanka visokotlačne živosrebrove sijalke. Z dodajanjem kovinskih soli in halogenidov v gorilnik sijalke dosežemo bolj zvezen spekter in s tem boljši indeks barvnega videza. Kljub temu je v spektru še vedno opaziti nekaj značilnih spektralnih črt živosrebrove pare. Ker je spekter, ki ga oddaja tak gorilnik, v področju vidne svetlobe in ne v področju UV svetlobe kot pri živosrebrovi sijalki, fluorescentni premaz znotraj sijalke ni potreben. Nekatere izvedbe sijalk so sicer še vedno opremljene z belih zunanjim balonom, ki pa je bel zaradi zmanjševanja bleščanja in ne zaradi fluorescenčnega premaza.



Slika 5.45: Spekter kovinsko-halogenidne sijalke.

Življenjska doba sijalke znaša okoli 15.000 ur. Barvna temperatura oddane svetlobe je odvisna od natančne sestave plina v gorilniku in lahko sega od okoli 3000 K do 20.000 K pri posebnih izvedbah sijalk. Pri večini standardnih tipov sijalk pa je najvišja barvna temperatura, ki je na voljo, okoli 4300 K. Izkoristek sijalke se giblje od 67 lm/W do 95 lm/W. Zaradi velikega razpona električne moči (od 20 W do 2000 W), kompaktne oblike ter dobrega indeksa barvnega videza (do 95), se njena uporaba v javni kot tudi v notranji razsvetljavi povečuje. V javni razsvetljavi se uporablja predvsem v mestnih središčih, kjer je zaželena dobra barvna reprodukcija in bolj bela svetloba kot jo dajejo visokotlačne natrijeve sijalke.

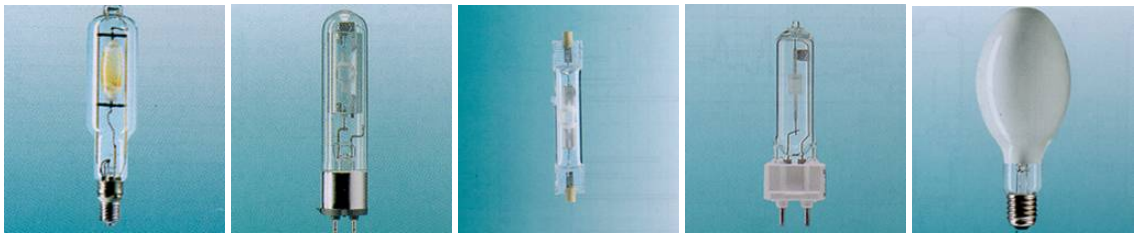
Philips				
Slika	**Oznaka**	**Električna moč (W)**	**Življenjska doba (ure)**	**Posebnosti**
	Master CosmoWhite CPO-TW	45 - 140	15.000-30.000	Bela svetloba, majhna velikost
	Master CityWhite CDO-ET	50 - 150	18.000	Možna zamenjava za visokotlačne natrijeve sijalke, toplo bela svetloba, možna regulacija
	Master Colour City CDM-TT	250 - 400	10.000 (20%)	Možna zamenjava za visokotlačne natrijeve sijalke, hladno bela svetloba
	Mastercolor CDM-ED37 Protected	350 - 400	24.000	Nizka vsebnost živega srebra, dobra barvna reprodukcija (CRI>90)

Tabela 5.3: Osnovni podatki nekaterih visokotlačnih kovinsko-halogenidnih sijalk iz proizvodnega programa firme Philips. Opisane so osnovne lastnosti.

Osram				
Slika	**Oznaka**	**Električna moč (W)**	**Življenjska doba (ure)**	**Posebnosti**
	Powerball HCI-T	35-150W	12.000	
	Powerball HCI-TM	250-400W	12.000	Možnost takojšnjega ponovnega prižiga
	Powerball HCI-TT	50-250 W	12.000-18.000	Možna zamenjava za visokotlačne natrijeve sijalke brez menjave predstikalne naprave
	Powerball HCI-E/P	35-150W	12.000	Možna uporaba v odprtih svetilkah

Tabela 5.4: Osnovni podatki nekaterih visokotlačnih kovinsko-halogenidnih sijalk iz proizvodnega programa firme Osram. Opisane so osnovne lastnosti.

Predstikalna naprava za kovinski halogenidne sijalke je podobna oziroma v nekaterih primerih celo enaka kot za visokotlačne natrijeve sijalke. V klasični elektromagnetni izvedbi jo sestavljata dušilka in startna naprava, možna pa je tudi elektronska izvedba. Tako klasična kot elektronska predstikalna naprava v določenih izvedbah omogočata zatemnjevanje sijalke oziroma regulacijo svetlobnega toka. Pri klasičnih predstikalnih napravah gre ponavadi za dvostopenjsko regulacijo (polna in znižana moč oz. svetlobni tok). Pri elektronskih predstikalnih napravah je možna tudi zvezna regulacija, v najbolj pogostem primeru od 100 % do 50 %. Zatemnjevanje pod 50 % pa lahko, podobno kot pri visokotlačnih natrijevih sijalkah, pri določenih tipih visokotlačnih kovinsko-halogenidnih sijalk povzroči drastično znižanje življenjske dobe.

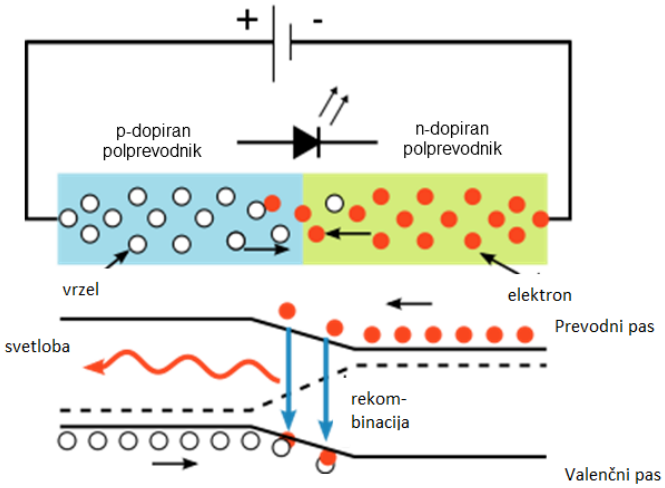


Slika 5.46: Različne oblike in moči kovinsko-halogenidnih sijalk. Za razliko od visokotlačnih natrijevih sijalk, imajo kovinsko halogenidne krajši in bolj okrogel gorilnik.

Ker je svetloba kovinsko halogenidnih sijalk zelo podobna svetlobi halogenskih žarnic (barvna temperatura 3000 K, indeks barvnega videza 95) in ker so na voljo tudi izvedbe sijalk z majhnimi močni, se kovinsko-halogenidne sijalke vse bolj uveljavljajo tudi v notranji razsvetljavi. Trenutno največji problem predstavlja znana pomanjkljivost visokotlačnih sijalk – dolg zagonski čas. V tem času se poleg jakosti spreminja tudi barva svetlobe.

5.2.10 SVETLEČE DIODE (LED)

Svetleče diode danes veljajo za svetlobni vir prihodnosti. Svetleča dioda je narejena na enak način kot ostale polprevodniške diode. Razlika je le v tem, da je velikost sproščene energije ob rekombinaciji atoma z vrzeljo v področju p-n spoja tako velika, da je oddani foton v področju vidne svetlobe. Velikost energije fotona in s tem valovna dolžina oddane svetlobe je odvisna od uporabljenega polprevodniškega materiala. Zato lahko svetleče diode oddajajo samo svetlobo določenih valovnih dolžin in ne poljubne.



Slika 5.47: Princip delovanja svetleče diode. Ko elektroni prestopijo p-n spoj se rekombinirajo z vrzelmi pri tem pa oddajo odvečno energijo v obliki fotona.

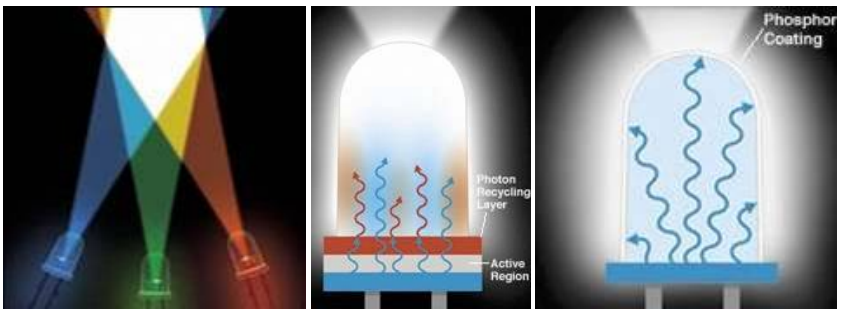
Za razsvetljavo so zanimive samo bele svetleče diode. Ker imajo svetleče diode vedno praktično monokromatsko svetlobo, bele svetlobe ne moremo doseči na primer z mešanjem različnih materialov. Uporabni pa so drugi pristopi. Belo svetlobo svetlečih diod danes dosežemo na tri različne načine:

- z uporabo rdeče, zelene in modre svetlobe. Podobno kot pri ostalih svetlobnih virih tudi pri svetlečih diodah lahko belo svetlobo dobimo z mešanjem treh osnovnih barv svetlobe. Ta princip se uporablja predvsem takrat, kadar želimo imeti možnost spreminjanja barve svetlobe;

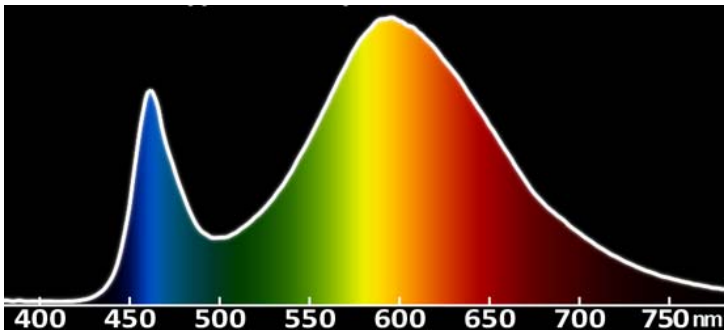
- z uporabo modre svetleče diode in fluorescenčnega fosforja. Belo svetlobo lahko dobimo s kombinacijo modre in rumene oziroma oranžne svetlobe. Če svetlečo diodo, ki oddaja modro svetlobo prekrijemo s fluorescenčnim fosforjem, ki del te modre svetlobe premakne v rumeni del spektra dobimo belo svetlobo. Z večjo ali manjšo količino uporabljenega fosforja lahko dobimo bolj ali manj izrazit rumeni

del spektra in s tem bolj ali manj toplo belo barvo svetlobe. Ta princip je trenutno prevladujoč pri močnostnih belih svetlečih diodah;

- z ultravijolično svetlečo diodo in ustrezno mešanico fluorescenčnih fosforjev. Princip je enak kot pri fluorescenčnih sijalkah. Svetleča dioda oddaja UV svetlobo, to svetlobo pa z mešanico fluorescenčnih fosforjev različnih barv prestavimo v vidni del spektra. Dobljeni spekter je lahko različen (odvisno od mešanice), tako da ima taka svetleča dioda lahko različno barvo svetlobe pa tudi različen indeks barvnega videza.



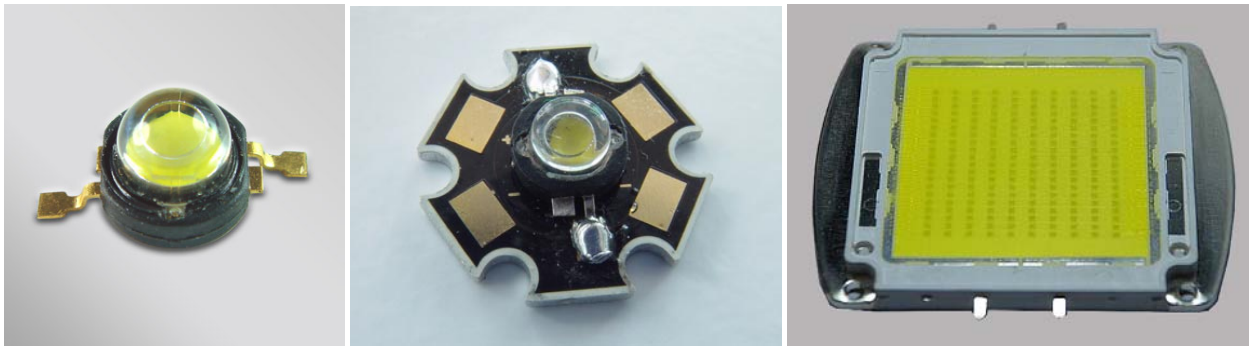
Slika 5.48: Načini proizvodnje bele svetlobe pri svetlečih diodah (LED).



Slika 5.49: Značilni spekter bele svetleče diode, ki je izdelana iz modre LED in dodanega fluorescenčnega fosforja. Vidimo lahko modro konico originalne LED in bolj širok rumen hrbet, ki je odvisen od uporabljenega fosforja.

Razvoj svetlečih diod je v zadnjih letih skokovit in karakteristike kot na primer indeks barvnega videza ter svetlobni izkoristek se znatno izboljšujejo iz leta v leto. Trenutno se izkoristki svetlečih diod v laboratorijih gibljejo preko 200 lm/W, indeks barvnega videza pa sega tudi do 95. Oglaševana življenjska doba svetlečih diod je med 30.000 urami in 50.000 urami. Barvna temperatura svetlečih diod je poljubna, vendar pa imajo svetleče diode nižjih barvnih temperatur nižje izkoristke kot svetleče diode istih moči in višjih barvnih temperatur. Se je pa potrebno zavedati, da so karakteristike svetleče diode, predvsem svetlobni izkoristek in življenjska doba močno odvisne od temperature p-n spoja med obratovanjem. Ker so vrednosti v laboratorijih izmerjene pri hladnem p-n spoju (običajno pri temperaturo 20 °C in s pulznim tokom), jih v dejanskem obratovanju ne moremo doseči. Segrevanje p-n spoja na 100 °C pa lahko povzroči več kot polovični padec izkoristka in drastično znižanje življenjske dobe. Zato je pri uporabi svetlečih diod predvsem pomembno dobro odvajanje toplote. Pri ustrezno koncipiranim in izdelanih produktih danes dosegamo izkoristke tudi čez 100 lm/W in življenjsko dobo (vsaj teoretično) okoli 50.000 ur.

V razsvetljavi se večinoma uporabljajo t.i. močnostne svetleče diode. Za razliko od prvih svetlečih diod, ki so obratovale s toki v mA področju, so nazivni toki močnostnih svetlečih diod reda velikosti 1000 mA ali celo več. Napajalna napetost je lahko enosmerna, lahko pa je tudi izmenična, vendar v tem primeru svetleča dioda utripa s frekvenco izmenične napetosti. Padec napetosti na polno obremenjeni svetleči diodi je v področju nekaj voltov (običajno okoli 3 V). Svetleče diode torej za napajanje potrebujejo ustrezen usmernik, ki je običajno nadgrajen z stabilizatorjem toka. Prevelik tok skozi svetlečo diodo bi namreč povzročil povečano segrevanje in pregretje p-n spoja s tem pa odpoved diode. Podobno kot sijalke potrebujejo predstikalno napravo, potrebujejo svetleče diode ustrezen napajalnik. Nekateri proizvajalci se poskušajo napajalniku izogniti z uporabo serijske vezave več diod tako da je skupen padec napetosti enak nazivni napetosti inštalacije (230 V), utripanje pa odpravijo z vzporedno vezavo dveh svetlečih diod z nasprotno polarizacijo, tako da v eni polperiodi sveti ena, v drugi pa druga svetleča diode. Vendar običajno tovrstni izdelki ne dosegajo potrebnega izkoristka in življenjske dobe.



Slika 5.50:Nekaj značilnih izvedb močnostnih belih svetlečih diod (LED): posamična LED za polaganje na tiskovino, LED na zvezdastem podnožju za montažo na hladilnik in polje 200 močnostnih belih LED.

Uporaba svetlečih diod v razsvetljavi je povzročila velike spremembe pri oblikovanju svetilk. Kompaktna oblika ter relativno nizka jakost posamezne svetleče diode namreč narekujeta uporabo večjega števila svetlečih diod v svetilki ter usmerjanje svetlobnega toka vsake svetleče diode (ali manjšega števila svetlečih diod) posebej. To se pozna tako pri novih svetilkah za notranje prostore kot pri svetilkah za zunanjo razsvetljavo.

LED diode so se začele najprej uporabljati v dekorativnih svetilkah, saj so njihove majhne dimenzije omogočile oblikovanje novih oblik svetilk.

Slika 5.51: Dekorativne svetilke s svetlečimi diodami proizvajalcev (od leve proti desni): Intra, iGuzzini, Vertigo Bird.

Za razliko od principa klasične svetilke iz preteklosti, kjer smo žarnico vstavili v svetilko s pomočjo navojnega vznožka, so pri sodobnih svetilkah svetleče diode integralni del svetilke, saj je samo tako mogoče doseči ustrezno hlajenje p-n spoja in posledično ustrezen svetlobni izkoristek. To pa pomeni, da je potrebno v primeru odpovedi (določenega dela) svetlečih diod zamenjati celotno svetilko. Zato se je v tehnični notranji razsvetljavi uveljavila uporaba LED modulov, ki omogočajo zamenjavo v primeru okvare ter tudi uporabo enakih modulov v različnih svetilkah.

Slika 5.52: LED moduli proizvajalcev (od leve proti desni): GE, Xicato in Cree.

V javni razsvetljavi se proizvajalci svetilk prav tako pogosto odločajo za uporabo modulov, vendar zaenkrat večina proizvajalcev svetilk razvija in uporablja svoje module, ki ne omogočajo zamenljivosti med proizvajalci, pa tudi ne vedno med svetilkami istega proizvajalca.

Slika 5.53: Primer treh LED modulov za zunanjo razsvetljavo. Na levi sta dva modula proizvajalca Osram, na desni pa modul proizvajalca Siteco.

5.2.11 PRIMERJAVA KARAKTERISTIK SVETLOBNIH VIROV

V razsvetljavi se danes uporablja širok spekter svetlobnih virov, ki imajo zelo različne lastnosti. Nekateri so dosegli končno stopnjo razvoja in se umikajo iz proizvodnje (navadne žarnice), drugi so še v fazi intenzivnega razvoja (svetleče diode). Ni pa vsak svetlobni vir primeren za vse aplikacije, tako da je treba svetlobni vir vedno izbrati s temeljitim razmislekom. V pomoč smo v spodnji tabeli zbrali bistvene karakteristike sodobnih svetlobnih virov. Pri tem smo se omejili na standardne izdelke, ki se uporabljajo v razsvetljavi, zato karakteristik svetlobnih virov za posebne namene ni v tabeli. Vrednosti v tabeli so povzetek podatkov različnih proizvajalcev in ne predstavljajo nujno karakteristike točno določenega izdelka posameznega proizvajalca oziroma posameznega tipa.

Svetlobni vir	Električna moč (W)	Življenjska doba do 50 % odpovedi (ure)	Barvna temperatura (K)	Izkoristek (lm/W)	Indeks barvnega videza
Navadna žarnica	od 20 do 150	1.000	2700	od 3 do 20	med 95 in 100
Halogenska žarnica	od 20 do 2.000	od 2.000 do 4.000	3000	do 25	med 95 in 100
Fluorescentna sijalka T5	od 8 do 80	24.000	med 2700 in 6500	do 90	med 80 in 95
Fluorescentna sijalka T8	od 14 do 70	20.000	med 2700 in 6500	do 90	med 60 in 93
Kompaktna fluorescentna sijalka	od 5 do 80	do 20.000[1]	med 2500 in 6000	od 60 do 75	med 80 in 90
Visokotlačna živosrebrova sijalka	do 1.000	nad 16.000	med 3200 in 4000	do 60	med 20 in 55
Nizkotlačna natrijeva sijalka	do 180	do 16.000	1800	do 180	do 20
Visokotlačna natrijeva sijalka	od 50 do 1.000	do 24.000	2000	do 130	med 20 in 65
Kovinsko-halogenidna sijalka	od 20 do 2.000	od 12.000 do 24.000	med 2700 in 4200	od 67 do 95	do 95
Svetleče diode	od 1 do 5[5]	50.000[2]	med 2700 in 6000	od 50 do 70[3]	med 60 in 80[4]

[1] Odvisno od pogostosti prižiganja in ugašanja.
[2] Odvisno od kakovosti izvedbe hlajenja.
[3] Izkoristki nekaterih prototipnih svetlečih diod že presegajo 100 lm/W tudi v svetilkah.
[4] Posebne izvedbe svetlečih diod ali modulov imajo indeks barvnega videza tudi do 98.
[5] Velja za posamezen čip.

Tabela 5.5: Povzetek karakteristik svetlobnih virov.

5.3 PREDSTIKALNE NAPRAVE

Razen navadnih, halogenskih in žarnic za mešano svetlobo za omrežno napetost 230 V, svetlobnih virov ne moremo priključiti direktno na omrežje oziroma električno inštalacijo. Pri nizko napetostnih halogenskih žarnicah je vzrok prenizka obratovalna napetost, zaradi česar moramo uporabiti ustrezen napetostni pretvornik. Pri sijalkah pa je vzrok v uporovni karakteristika plina, kjer s povečanim tokom upornost pada, kar pomeni, da je oblok oziroma razelektritev v plinu sama po sebi nestabilna. Poleg tega je za vžig določenih skupin sijalk, na primer visokotlačnih natrijevih in kovinsko halogenidnih, potrebna napetost, ki je višja od nazivne napetosti inštalacije. Zato sijalke priključujemo na električno

inštalacijo preko t.i. predstikalne (včasih tudi predspojne) naprave. (ang. ballast, nem. Vorschaltgäret)

Predstikalna naprava pri sijalkah ima dve funkciji:

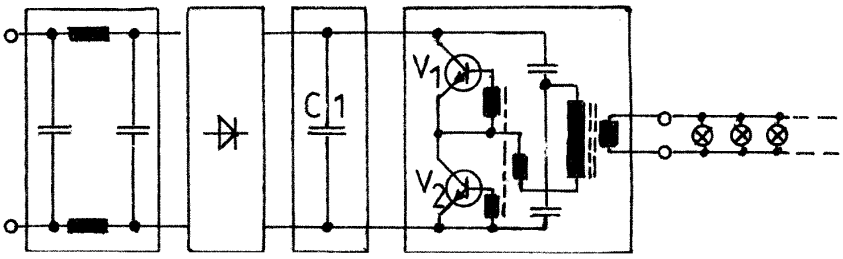
- da ob vklopu zagotovi dovolj visoko napetost in ustrezne pogoje, ki omogočijo preboj v sijalki in njen vžig ter,
- da po vžigu omeji tok na vrednost, ki zagotavlja nazivno obratovanje sijalke.

Predstikalne naprave so bile dolgo časa v t.i. klasični izvedbi, kjer se je tok omejeval po večini z elektromagnetno dušilko. V zadnjem času pa so vse bolj pogoste elektronske predstikalne naprave, ki se počasi uveljavljajo praktično pri vseh sijalkah.

5.3.1 NAPETOSTNI PRETVORNIKI ZA NN HALOGENSKE ŽARNICE

Nizko napetostne (NN) halogenske žarnice so razmeroma majhni svetlobni viri, zaradi česar so se najprej uveljavile v različnih manjši svetilkah kot so žepne baterije, namizne svetilke, dekorativne svetilke ipd. Zaradi tega imajo nizko električno moč (od 5 W dalje), kar pa pogojuje tudi nizko napajalno napetost, saj bi drugače izredno majhen tok zahteval posebne oblike žarilnih nitk. Običajne nazivne napetosti so tako 6 V, 12 V in 24 V. Z enosmernim napajanjem v npr. žepni svetilki delujejo brez problema, če pa jih želimo priključiti na električno inštalacijo, pa moramo poskrbeti za ustrezen napetostni pretvornik.

Slika 5.54: Klasičen, toroidni in elektronski transformator za napajanje halogenskih žarnic.



Slika 5.55: Shema elektronskega transformatorja Halotronic (Osram), ki deluje po principu visokofrekvenčnega transformatorja. Od leve proti desni so sestavni deli: VF filter, usmernik, gladilni kondenzator, VF razsmerniško vezje in VF transformator. Ker je transformator zaradi uporabe visoke frekvence precej manjši od klasičnega, so tudi izgube in stroški manjši.

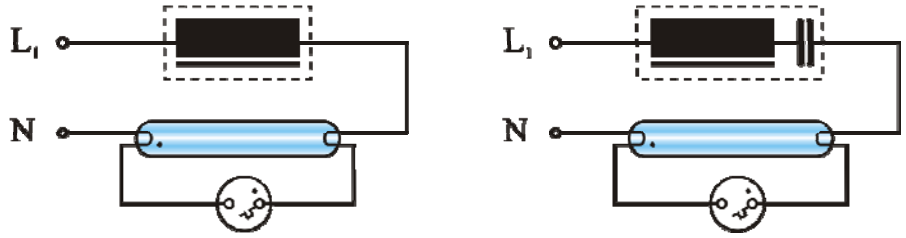
V začetku so bili kot napetostni pretvorniki uporabljeni navadni dvonavitni transformatorji, na primer s prestavnim razmerjem 230/12 V in ustreznim nazivnim tokom na sekundarni strani, da je bilo nanje mogoče priključiti več NN halogenskih žarnic vzporedno. Ker je napetost razmeroma majhna, so sekundarni toki precej veliki, npr. pri skupni moči

priključenih žarnic 200 W kar 16,7 A. Taki transformatorji so imeli precej izgub poleg tega pa so bili dostikrat tudi precej glasni (brenčanje s frekvenco 50 Hz). Zaradi tega so začeli izdelovati toroidne transformatorje, ki so nekoliko izboljšali skupen izkoristek razsvetljavne naprave na račun manjših izgub v transformatorju, poleg tega pa tudi niso bili tako glasni.

S pojavom različne močnostne elektronike in elektronskih pretvornikov smo prišli tudi do t.i. elektronskih transformatorjev za NN halogenske žarnice. Možnih je več principov, na primer pretvornik s pulzno širinsko modulacijo ali pa visokofrekvenčni transformator. Predvsem ta slednji princip je dostikrat uporabljen v elektronskih transformatorjih za NN halogenske žarnice. Prednost so ne samo manjše izgube pač pa tudi nižja cena, saj sta danes tako baker kot železo, ki ju potrebujemo za izdelavo klasičnih ali toroidnih transformatorjev, dragi surovini.

5.3.2 KLASIČNE PREDSTIKALNE NAPRAVE ZA FLUORESCENTNE SIJALKE

Pod pojmom klasična predstikalna naprava razumemo kombinacijo elektromagnetne dušilke in štarterja. Za omejevanje toka lahko uporabimo več različnih električnih elementov. Pri enosmernem toku je možna samo uporaba ohmskega upora. Le-tega lahko uporabimo tudi pri izmeničnem toku, vendar pa tok na uporu povzroča velike izgube delovne energije. Zato je pri izmeničnem toku bolj smiselna uporaba dušilke ali kondenzatorja. Uveljavila se je predvsem dušilka, ker je preprosta za izdelavo in trpežna za uporabo. Dušilka s svojo induktivno upornostjo skrbi za omejevanje toka skozi sijalko. Njena induktivnost je izbrana tako, da je pri nazivni napetosti 230 V moč sijalke enaka nazivni moči. Za vžig fluorescenčne sijalke pa je potreben še dodaten del in sicer štarter.



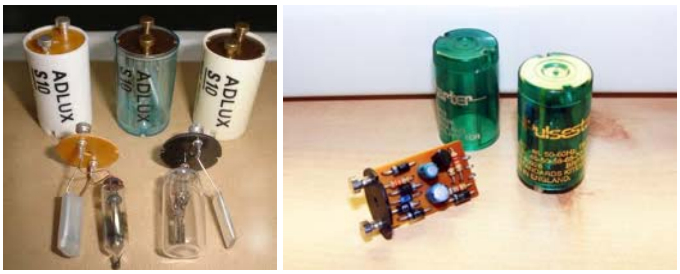
Slika 5.56: Shematični prikaz elektromagnetne predstikalne naprave. Na levi strani je prikazana induktivna vezava, na desni pa kapacitivna vezava. Štarter je na obeh slikah prikazan pod sijalko.

Obstaja več vrst štarterjev, vendar je danes najbolj razširjen tlilni štarter. Sestavljen je iz steklene bučke polnjene z žlahtnim plinom (ponavadi neonom), znotraj katere je tudi bimetalno stikalo. Ko se na štarterju pojavi napetost, se neon v stekleni bučki razelektri in pojavi se tok, ki posledično segreje bimetalno stikalo. Ta se, ko je njegova temperatura zadosti velika, sklopi, in skozi štarter ter elektrode v sijalki steče električni tok, ki segreje elektrode. Vroče elektrode v plin v sijalki oddajajo proste elektrone in s tem zmanjšajo upornost plina v sijalki. Bimetalno stikalo se v času, ko je sklopljeno, ohlaja, saj v stekleni bučki ni več razelektritve plina. Ko se bimetalno stikalo zadosti ohladi, se razklene in v tem trenutku se na elektrodah v sijalki zaradi inducirane napetosti v dušilki pojavi visoka napetost (od 500V do 1200V), ki sijalko vžge. Če se tok skozi plin v sijalki zaradi nezadostne količine prostih nosilcev nabojev v sijalki prekine, se proces ponovi in se

ponavlja do uspešnega vžiga sijalke. Potrebna vžigna napetost se s starostjo sijalke povečuje, tako da starejše sijalke potrebujejo večjo napetost za vklop. Ko je predstikalna naprava ne more več preseči, se sijalke ne da več vklopiti in jo je potrebno zamenjati.

Slika 5.57: Nekaj različnih oblik elektromagnetnih dušilk za fluorescenčne sijalke.

Poleg tlilnega štarterja obstajajo tudi drugačne izvedbe, tudi na primer elektronski štarter. Njegova prednost je, da je lažje nastaviti čas segrevanja elektrod kar pripomore k lažjemu vžigu sijalke. Poleg tega pa je možno tudi ustaviti vžiganje sijalke, če ta po določenem času ne vžge.



Slika 5.58: Tlilni in elektronski starter. Zaradi možnosti zamenjave in širše uporabe sta obe izvedbi na zunaj enaki, prav tako priključna kontakta.

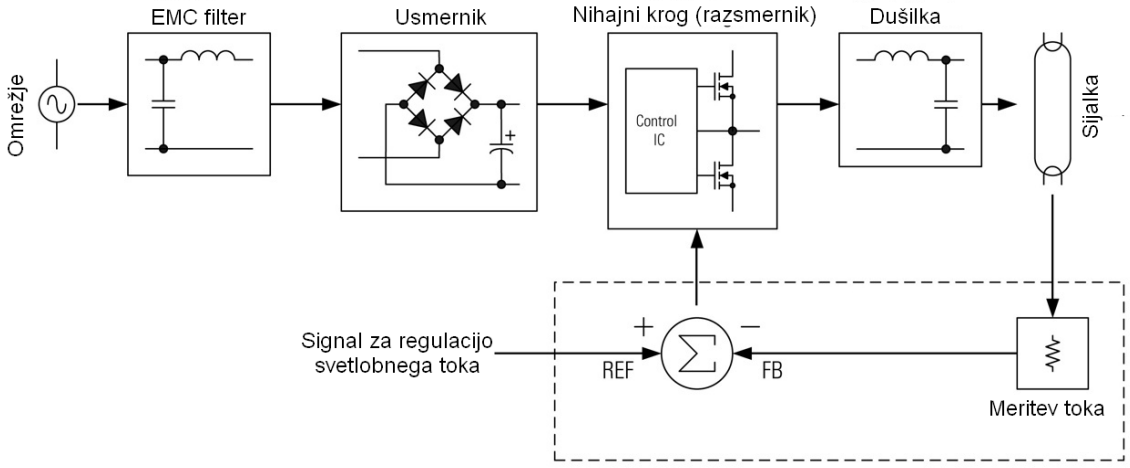
Izdelava elektromagnetne dušilke vpliva na velikost izgub, zato se dušilke ločijo po energijskih razredih, podobno kot je to pri drugih električnih napravah. V Evropski uniji so že nekaj časa prepovedane elektromagnetne dušilke z večjimi izgubami in so dovoljene le še tiste, ki imajo zaradi bolj kakovostne izdelave zmanjšane izgube. Če pa želimo izgube še zmanjšati, uporabimo elektronsko predstikalno napravo.

5.3.3 ELEKTRONSKE PREDSTIKALNE NAPRAVE ZA FLUORESCENČNE IN KOMPAKTNE FLUORESCENČNE SIJALKE

Porabo električne energije oziroma povečanje svetlobnega izkoristka je pri fluorescenčnih sijalkah možno doseči z več pristopi. Ena možnost je uporaba bolj učinkovitih fluorescenčnih fosforjev. Pomaga tudi izboljšanje poteka razelektritve v plinu, kar je prineslo manjše premere fluorescenčnih sijalk (iz T12 smo prešli na T8 in sedaj na T5). Ena možnost pa je tudi elektronska predstikalna naprava. Glavna razlika med elektronsko in klasično predstikalno napravo je, da pri elektronski sijalka obratuje s tokom višje frekvence kot pri klasični predstikalni napravi. Pri slednji je frekvenca toka 50 Hz, pri elektronski pa od 20 kHz do 100 kHz. Pri višji frekvenci se namreč pri prehodu toka skozi nič manj ionov deionizira, to pa pomeni, da je v cevi sijalke več prostih nosilcev naboja. Poleg tega pri višjih frekvencah toka sijalke tudi ne opazimo več utripanja sijalke (stroboskopskega pojava), ki je lahko pri 50Hz toku skozi sijalko zelo moteč.

Slika 5.59: Nekaj primerov različnih elektronskih predstikalnih naprav za fluorescenčne in kompaktne fluorescenčne sijalke.

Če odmislimo del, ki služi za generacijo visokofrekvenčne napetosti, je delovanje elektronske predstikalne naprave praktično enako delovanju elektromagnetne. V obeh primerih je namreč za omejevanje toka skozi sijalko uporabljena dušilka. Je pa dušilka pri visokofrekvenčnem toku precej manjša kot pri običajnih 50 Hz. S tem pa so manjše tudi izgube. Poleg tega, da imajo elektronske predstikalne naprave tudi manjšo porabo energije, omogočajo še dodatne prednosti kot na primer vzdrževanje konstantne napetosti na sijalki ne glede na nihanje napajalne napetosti. Lahko pa tudi zaznavajo ali se sijalka približuje koncu svoje življenjske dobe in jo v takem primeru izklopijo.



Slika 5.60: Glavni gradniki elektronske predstikalne naprave za fluorescenčne sijalke z možnostjo regulacije svetlobnega toka, ki poteka s pomočjo spreminjanja frekvence razsmernika.

V grobem pa so vse elektronske predstikalne naprave za fluorescentne sijalke vključujejo naslednje elemente, ki si s strani omrežne napetosti sledijo (slika 5.60):

- EMC filter, ki odstranjuje harmonske motnje napetosti, ki jih ustvarja usmernik in ki bi brez filtra uhajale v omrežje;
- usmernik, ki izmenično omrežno napetost pretvarja v enosmerno;
- vezje za korekcijo faktorja moči, ki skrbi za konstantno napetost na svojem izhodu
- visokofrekvenčni generator (razsmernik) z resonančnim vezjem generira napetost visoke frekvence, ki napaja sijalko,
- dušilka, ki skrbi za omejevanje toka skozi sijalko,
- vezje za regulacijo frekvence visokofrekvenčnega generatorja pri predstikalnih napravah z možnostjo regulacije svetlobnega toka

Nazivna moč sijalke	El. moč sijalke (W)	El. Moč sijalke in PSN (W)	Svetlobni tok (lm)	Izkoristek sijalke (lm/W)	Skupen izkoristek (lm/W)
T8 58 W	58	71	5200	90	73
T8 36 W	36	46	3350	93	73
T8 18 W	18	23	1350	75	59

Tabela 5.6: Priključne moči in svetlobni izkoristek T8 fluorescenčnih sijalk pri obratovanju s klasično (elektromagnetno) predstikalno napravo (PSN)

Nazivna moč sijalke	El. moč sijalke (W)	El. Moč sijalke in PSN (W)	Svetlobni tok (lm)	Izkoristek sijalke (lm/W)	Skupen izkoristek (lm/W)
T5 51 W	51	55,5	5000	98	90
T5 32 W	32	36	3200	100	89
T5 16 W	16	19	1300	81	68

Tabela 5.7: Priključne moči in svetlobni izkoristek T5 fluorescenčnih sijalk pri obratovanju z elektronsko predstikalno napravo (PSN)

Obstaja več vrst elektronskih predstikalnih naprav, ki so specializirane za različne vrste aplikacij, kot na primer pogosto prižiganje in ugašanje, konstantno gorenje sijalke, nekatere omogočajo regulacijo svetlobnega toka in podobno. Predvsem regulacija svetlobnega toka je velika prednost elektronskih predstikalnih naprav. Svetlobni tok lahko spreminjamo tako, da spreminjamo tok skozi sijalko. To pa je najlažje izvesti s spreminjanjem frekvence napetosti, na katero je priključena sijalka. Pri višji frekvenci se poveča induktivna upornost dušilke, ki omejuje tok skozi sijalko, tako da se tok zmanjša. Ker bi lahko zaradi manjšega toka sijalka ugasnila, je potrebno hkrati poskrbeti za dodatno segrevanje elektrod v sijalki, tako da se nadomesti manjše število prostih nosilcev naboja, ki nastajajo pri ionizaciji plina. To se najlažje izvede tako, da se med druga dva priključka elektrod priključi ustrezen kondenzator. S povečano frekvenco se tok skozi kondenzator, s tem pa tudi skozi elektrodi, poveča.

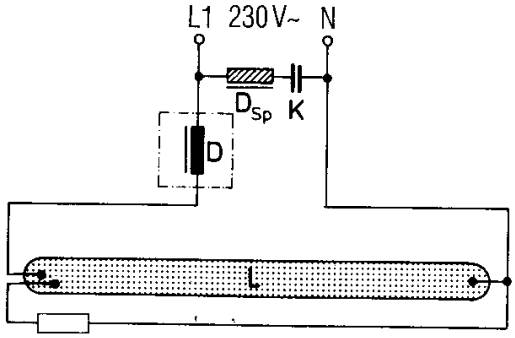
5.3.4 ELEKTROMAGNETNE PREDSTIKALNE NAPRAVE ZA VISOKOTLAČNE SIJALKE

Tudi visokotlačnih sijalk ne moremo priključiti na omrežje brez ustrezne predstikalne naprave, ki ima enake funkcije kot pri fluorescenčni sijalki: omejevanje toka skozi sijalko in vžig sijalke po vklopu. Za omejevanje toka v primeru klasičnih predstikalnih naprav služijo ustrezne elektromagnetne dušilke, podobno kot pri fluorescenčnih sijalkah. Poleg dušilk z enim navitjem se uporabljajo tudi transformatorji z dvema navitjema ali avto-transformatorji z delno ločenim navitjem. V nekaterih primerih pa so dušilke izdelane tudi z dvema povezanima ali nepovezanima navitjema, ki pomagata tudi pri vžigu sijalke.

Principi vžiga so pri visokotlačnih sijalkah različnih vrst nekoliko različni. Nizkotlačna natrijeva sijalka lahko vžge že pri omrežni napetosti in zato posebna vžigna naprava ni

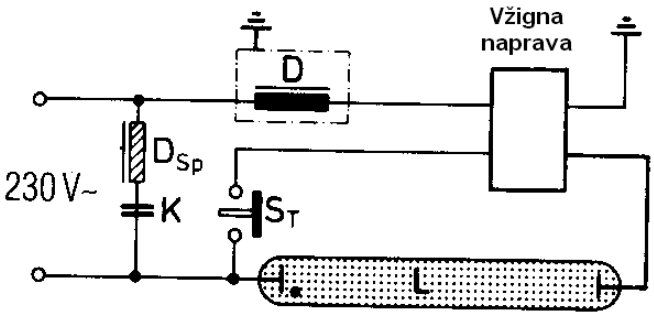
potrebna. Potrebna je samo ustrezna dušilka oziroma avto-transformator, ki omejuje tok skozi sijalko.

Podobno je pri visokotlačni živosrebrovi sijalki, ki tudi lahko vžge pri nazivni napetosti, čeprav si pri tej sijalki pomagamo z dodatno vžigno elektrodo v gorilniku, ki je z delovno elektrodo povezana preko ustreznega upora. Ta elektroda je nameščena zelo blizu druge elektrode, tako da že pri nazivni napetosti med njima pride to tlenja v plinu, kar privede do segrevanja plina v gorilniku in uparjanja živega srebra. S tem se poveča število prostih nosilcev naboja, vžge se oblok, ki se preseli iz pomožne na glavno elektrodo, ker je upornost preko tega dela vezja manjša. Tudi v tem primeru potrebujemo torej samo dušilko (ali avto-transformator) za omejevanje toka skozi sijalko po vžigu.



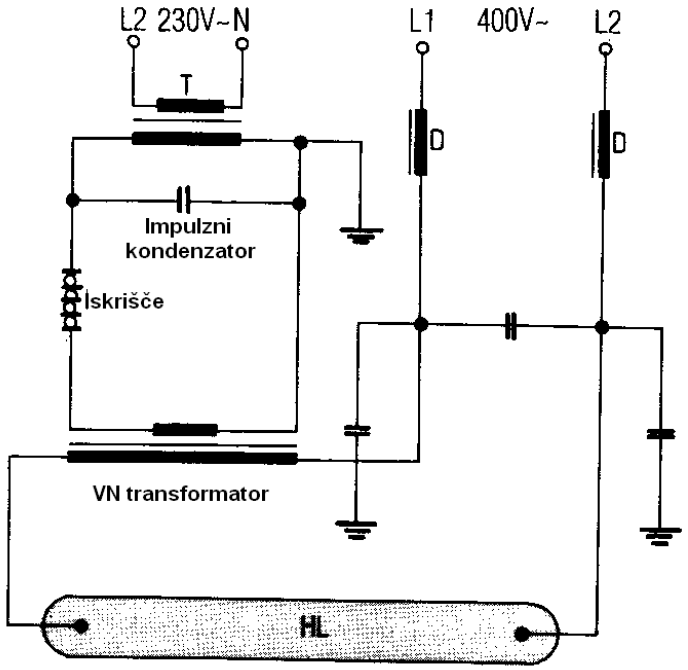
Slika 5.61:Shematski prikaz klasične predstikalne naprave za visokotlačno živosrebrovo sijalko. Predstikalna naprava je sestavljena samo iz dušilke (D), lahko pa dodamo še dodatni dušilko (D_{Sp}) in kondenzator (K) za odpravo motenj. Pomožna elektroda, ki je preko upora vezana na eno od glavnih elektrod je že sestavni del sijalke.

Pri visokotlačni natrijevi (VT Na) in kovinsko-halogenidni (VT MH) sijalki pa za vžig potrebujemo višjo napetost kot je nazivna. Običajno je pri hladni sijalki (VT Na ali VT MH) za vžig potrebna napetost velikost med 3 kV in 4,5 kV. Ustrezno vžigno napetost dosežemo z vžigno napravo, ki s posebnim vezjem v trenutku, ko omrežna napetost doseže maksimalno vrednost, s pomočjo tiristorja sprazni kondenzator preko dodatnega navitja dušilke. Nastal tokovni impulz v dušilki inducira visoko napetost, ki se prišteje omrežni napetosti in zadošča, da hladna sijalka vžge.



Slika 5.62: Predstikalna naprava za visokotlačne natrijeve in kovinsko halogenidne sijalke. Sestavljata jo dušilka (D) in vžigna naprav, ki vsebuje kondenzator in tiristor. Tudi tu sta lahko dodani dušilka (D_{Sp}) in kondenzator (K) za odpravo motenj.

S povišano temperaturo plina v gorilniku se poviša tudi prebojna trdnost, zato taka vžigna naprava ne more vžgati segrete sijalke, ampak je treba počakati, da se sijalka najprej ohladi. Če želimo vžgati vročo sijalko so potrebni napetostni impulzi med 25 kV in 70 kV. To lahko dosežemo s posebno predstikalno napravo, ki poleg dušilke in transformatorja vsebuje tudi iskrišče. Vendar pa je s tako visoko napetostjo možno vžigati samo sofitne sijalke, torej tiste, ki imajo kontakta na obeh koncih. Pri sijalkah z vznožkom z Edisonovim navojem namreč obstaja nevarnost prebitja izolacije na vznožku.



Slika 5.63: Predstikalna naprava za vroči vžig visokotlačnih natrijevih ali kovinsko-halogenidnih sijalk. Poleg dušilk za omejevanje toka (D) vsebuje še impulzni kondenzator, iskrišče in visokonapetostni transformator s čimer dosežemo dovolj visoko napetost, da sijalka vžge tudi, ko je še topla.

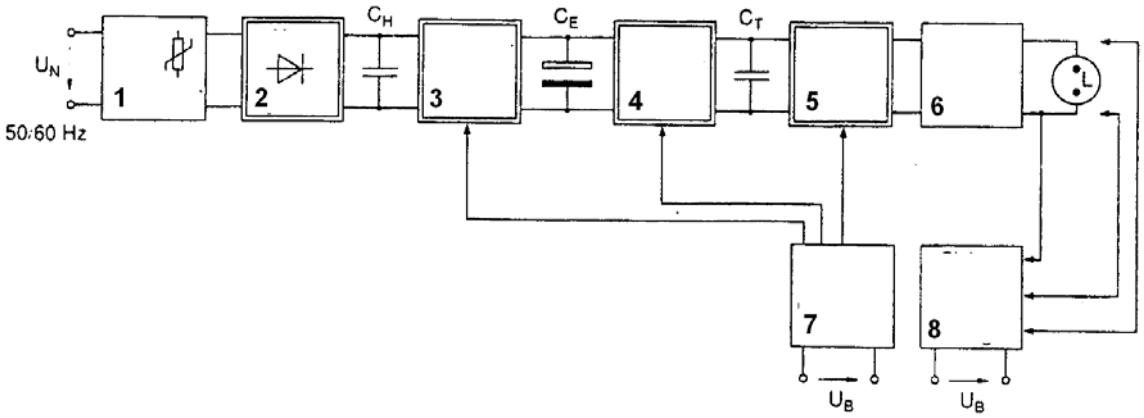
5.3.5 ELEKTRONSKE PREDSTIKALNE NAPRAVE ZA VISOKOTLAČNE SIJALKE

Če so pri fluorescenčnih sijalkah elektronske predstikalne naprave prej pravilo kot izjema, pa je pri visokotlačnih sijalkah ravno obratno. Še vedno najbrž več kot 90 % visokotlačnih sijalk obratuje z klasičnimi elektromagnetnimi predstikalnimi napravami. Po uspehu elektronskih predstikalnih naprav pri fluorescenčnih sijalkah so seveda iskali tudi ustrezno rešitev za visokotlačne sijalke. Pokazalo pa se je, da oblok v visokotlačnem gorilniku pri frekvencah v kHz področju gori precej nemirno. To je povzročajo migotanje, včasih tudi fliker ali celo ugasnitev sijalke. Poleg tega so zaradi tokovnih konic elementi v predstikalni napravi oddajali zvoke in ker gre za frekvence v slušnem področju, je bilo to zelo moteče.

Kasneje so sicer ugotovili, da se pri določenih sijalkah da poiskati frekvenčno področje, kjer je oblok stabilen. Pri 70 W kovinsko-halogenidni sijalki je to recimo področje pri 22 kHz. Ker pa so ta področja zelo ozka, mora biti frekvenca predstikalne naprave zelo stabilna in je potrebno uporabiti resonančna vezja ali druge načine za stabilizacijo sijalke. Ker pa ima

vsaka sijalka drugačno stabilno frekvenco in bi torej morali za vsako narediti specifično vezje, se je razvoj v to smer ustavil.

Elektronske predstikalne naprave za visokotlačne sijalke tako delajo v področju do 500 Hz, običajno kar pri 100 Hz frekvenci. V tem področju je gorenje obloka v gorilniku še stabilno, ni pa toliko prednosti, ko jih nudijo visokofrekvenčne predstikalne naprave pri fluorescenčnih sijalkah. Kljub temu elektronske predstikalne naprave tudi pri visokotlačnih sijalkah odpravljajo moteče utripanje svetlobe, podaljšajo življenjsko dobo sijalke, pripomorejo k bolj stabilni barvni temperaturi svetlobe in nekoliko zmanjšajo porabo električne energije.



Slika 5.64: Blok shema elektronske predstikalne naprave za visokotlačne sijalke. Posamezni sestavni deli: 1..EMC filter in prenapetostna zaščita, 2..usmernik, 3..vezje za korekcijo faktorja delavnosti moči, 4..vezje za znižanje napetosti iz omrežne napetosti na napetost sijalke (tipično okoli 100 V), 5..razsmernik, 6..vžigna naprava, 7..kontrolno vezje za nadzor nad delovanje naprave, 8.. kontrolno vezje za nadzor nad obnašanjem sijalke in izklop pri nepravilnem delovanju.

Elektronske predstikalne naprave omogočajo tudi regulacijo svetlobnega toka in sicer stopenjsko ali zvezno. Vendar je pri tem potrebno paziti, da se sijalke preveč ne zatemni, ker to močno skrajša njeno življenjsko dobo. Običajno se jih zato zatemnjuje samo do 50 % svetlobnega toka.

5.3.6 NAPAJALNIKI ZA SVETLEČE DIODE

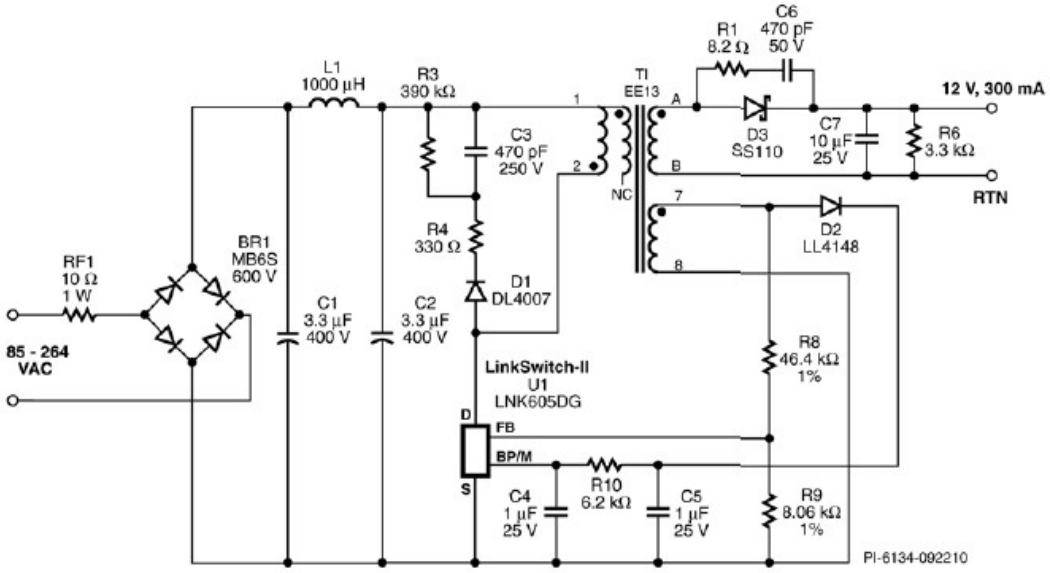
Osnovna značilnost svetlečih diod (LED) je, da za delovanje potrebujejo konstanten enosmerni tok. Pri signalnih svetlečih diodah se tok giblje med 10 mA in 30 mA. Pri močnostnih belih svetlečih diodah pa so toki običajno 350 mA, 700 mA, 1000 mA ali celo 1200 mA. Napajalnik za svetleče diode mora zato imeti na izhodu konstanten tok. Ker je padec napetosti na eni svetleči diodi razmeroma majhen (med približno 1 V in 4 V), svetleče diode običajno vežemo zaporedno. Pri tem je seveda potrebno paziti, da skupen padec napetosti ne prekorači največje izhodne napetosti napajalnika, ki je običajno med 12 in 30 V. Nazivna moč napajalnika je tako nekje v področju do 100 W, redko tudi več.

Imajo pa svetleče diode to prednost, da lahko s spreminjanjem toka zelo enostavno spreminjamo njihov svetlobni tok. In sicer v področju od 0 % do 100 %, kar je možno le še pri žarnicah, sijalke pa imajo običajno spodnjo mejo višjo.

Paziti pa moramo, da izhodni tok napajalnika ne preseže nazivnega toka svetleče diode. V tem primeru se svetleča dioda pregreje, to pa močno zmanjša njeno življenjsko dobo. Poleg tega delovanje pri povišani temperaturi zmanjša tudi izkoristek svetleče diode.

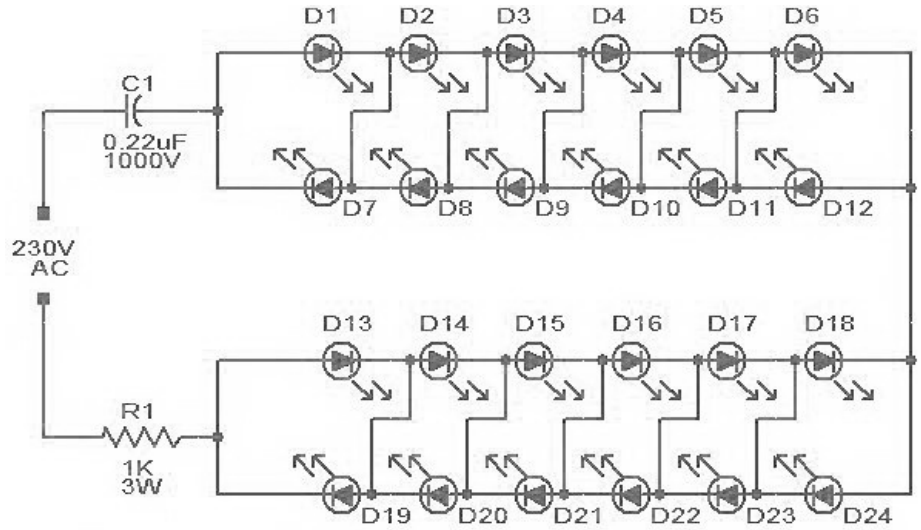
Slika 5.65: Nekaj napajalnikov za svetleče diode različnih proizvajalcev.

Večino napajalnikov deluje v t.i. stikalnem načinu, kar pomeni da omrežno napetost usmerijo in jo nato razsekajo in zgladijo s kondenzatorjem. Pri takih napajalnikih se izhodni tok oziroma napetost regulirata z različnim trajanjem impulzov pri isti frekvenci (pulzno širinska modulacija). Druga možnost je isto trajanje impulzov pri nižji frekvenci, kar pa lahko pri zelo majhnih tokih pripelje do opaznega utripanja svetlečih diod.



Slika 5.66: Električno vezje napajalnika za svetleče diode s 300 mA izhodom in 12 V izhodno napetostjo.

Kot že rečeno, so se na tržišču pojavili tudi izdelki, kjer svetleče diode obratujejo na omrežni napetosti (230 V, 50 Hz) brez uporabe napajalnika. V tem primeru je ustrezno število svetlečih diod vezanih zaporedno, tako da je skupen padec na njih 230 V ali malo več. Ker svetleče diode pri izmenični napetosti utripajo, se običajno veže dve taki verigi vzporedno vendar z nasprotno polariteto. V eni polperiodi sveti ena, v drugi pa druga. Taka varianta je seveda bistveno cenejša, je pa precej bolj občutljiva na nihanje napajalne napetosti. Če ta preveč niha, niha tudi svetlobni tok svetlečih diod. Poleg tega pa lahko prenapetosti v inštalaciji povzročijo prevelik tok skozi svetleče diode in njihovo uničenje. Ker so vezane zaporedno običajno ob okvari ene odpove celotna veriga.



Slika 5.67: Električno vezje izdelka s svetlečimi diodami, ki se brez napajalnika priključijo direktno na omrežno napetost 230 V, 50 Hz. Da se prepreči odpoved polovice svetlečih diod ob odpovedi ene, so v vezju prečne povezave za vsako svetlečo diodo.

Slika 5.68: »Retrofit« izvedba reflektorja s svetlečimi diodami, kjer so svetleče diode priključene direktno na omrežno napetost brez elektronskega napajalnika.

6 SVETILKE

Svetilka je naprava v kateri namestimo svetlobni vir in ki temu svetlobnemu viru zagotavlja primerno okolje za obratovanje, po drugi strani pa na mestu uporabe zagotavlja ustrezno porazdelitev svetlobe tega svetlobnega vira. Danes je svetilka seveda električna naprava in njene glavne naloge so:

- razdeljevanje, filtriranje in spreminjanje svetlobe (če je to potrebno);
- pritrditev, nošenje in zaščita svetlobnega vira in
- napajanje oziroma priključitev svetlobnega vira na električno omrežje.

Če malo analiziramo te tri glavne naloge, lahko ugotovimo da se dajo brez težav razširiti v precej bolj pester nabor nalog svetilke. Pri električni svetilki je seveda najbolj pomembno, da svetilka poveže svetlobni vir z virom energije (omrežjem) zaradi česar so del svetilke tudi npr. predstikalne naprave, pa tudi naprav za kompenzacijo jalove energije, če je to potrebno. Poleg tega mora svetilka tudi vzdrževati obratovalno temperaturo vira v ustreznih mejah. Pomembno je tudi, da svetilka ščiti svetlobni vir pred zunanjimi vplivi (vdor voda, vlage tujkov), pa tudi da ščiti uporabnika pred nevarnostmi električnega toka (zaščita pred dotikom delov pod napetostjo). Poleg tega mora omogočati tudi enostavno namestitev in vzdrževanje. Tu so tudi naloge, povezane s svetlobo: razdeljevanje, usmerjanje ali razprševanje svetlobe, včasih tudi filtriranje ali spreminjanje spektralne sestave in seveda preprečevanje bleščanja. Ne smemo pozabiti tudi, da se mora svetilka ustrezno vključevati v okolje in da mora biti gospodarna.

6.1 DELITEV SVETILK

Svetilke lahko delimo po več različnih kriterijih. Najprej jih lahko v groben razdelimo glede na mesto uporabo, torej na svetilke za notranjo uporabo in svetilke za zunanjo uporabo. Slednje morajo biti zaščitene proti vremenskim vplivom, imeti pa morajo tudi dovolj robustno zgradbo. Pri notranjih svetilkah teh omejitev seveda ni.

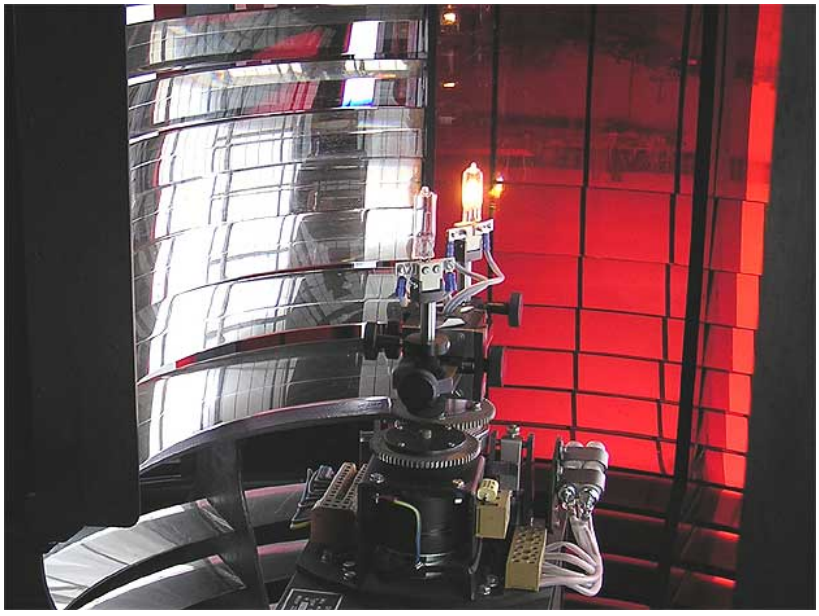
Potem jih lahko delimo na vrsto svetlobnega vira. Torej na tiste, pri katerih je svetlobni vir navadna ali halogenska žarnica ali kompaktna fluorescenčna sijalka, danes tudi sijalka s svetlečimi diodami. Tem svetlobnim virom je skupno da imajo E27 vznožek in ne potrebujejo predstikalne naprave. Sledijo svetilke za različne vrste sijalk. Ker sijalke potrebujejo predstikalno napravo, je ta del svetilke. Zato pri takih svetilkah tudi ni možno uporabljati različnih vrst svetlobnih virov običajno tudi ne isto vrsto svetlobnega vira različnih moči. Danes poznamo tudi svetilke s svetlečimi diodami, ki so integralni del svetilke in se jih niti ne da odstraniti ali zamenjati.

Svetilke lahko delimo tudi glede na porazdelitev svetlobnega toka. Svetilka ki sveti pretežno navzdol se imenuje direktna svetilka. Tista, ki sveti predvsem navzgor pa indirektna. Poznamo še pretežno direktno, direktno indirektno in pretežno indirektno. Več o delitvi svetilk glede na porazdelitev svetlobnega toka je povedanega v zadnjem poglavju, kjer je govora o opisu lastnosti svetilk.

Glede na izdelavo lahko svetilke razdelimo na odprte in zaprte. Lahko pa jih delimo tudi glede na stopnjo zaščite pred vdorom tujkov oziroma na stopnjo zaščite pred vdorom vlage ali vode. Pa tudi glede na zaščito pred dotikom delov pod napetostjo.

Slika 6.1: Različne vrste svetilk, od leve proti desni: svetilka za razsvetljavo delovnih mest, dekorativna svetilka (lestenec), reflektor, tehnična svetilka za mokre in vlažne prostore, cestna svetilka.

Svetilke lahko delimo tudi na električne in ostale. V zahodnem razvitem svetu se sicer pretežno uporablja električne svetilke, vendar pa se v svetu uporablja še vedno tudi sveče in predvsem kerozinske svetilke. Potem jih lahko delimo tudi na svetilke za razsvetljavo in na posebne svetilke. Včasih se ta delitev opisuje tudi kot delitev med svetilkami, ki zagotavljajo ustrezno osvetljenosti in svetilkami, ki zagotavljajo ustrezno svetlost. Med slednje sodijo na primer signalne svetilke, semaforji, svetleči prometni znaki pa tudi reklamni napisi in svetlobne veriga za novoletno okrasitev. Skupno jim je to, da morajo biti dovolj svetle, da jih (pravočasno) opazimo in prepoznamo. Tiste, ki morajo zagotavljati ustrezno osvetljenost pa lahko naprej delimo na tiste za notranjo razsvetljavo in tiste za zunanjo razsvetljavo. Svetilke za notranjo razsvetljavo seveda lahko delimo še naprej: svetilke za splošno razsvetljavo, svetilke za razsvetljavo delovnih mest, svetilke za namensko razsvetljavo (na primer table v učilnici), svetilke za bivalne prostore in nenazadnje dekorativne svetilke in pa specialne svetilke. Med tiste za zunanjo razsvetljavo pa spadajo: cestne svetilke, svetilke za osvetlitev večjih površin, reflektorji, različne namenske svetilke, pa seveda tudi tu: dekorativne svetilke in specialne svetilke.



Slika 6.2: Specialna svetilka za svetilnike. Vidimo da je tu posebna leča, ki usmerja svetlobo v ozek snop, precej večja od samega svetlobnega vira.

6.2 SPLOŠNE ZNAČILNOSTI IN SESTAVNI DELI SODOBNIH SVETILK

Glede na glavne naloge svetilke, ki smo jih našteli v uvodu v poglavje, lahko sestavne dele vseh svetilk ločimo na: svetlobno-tehnične, električne ter mehanske sestavne dele.

Svetlobno-tehnični elementi proizvajajo svetlobni tok (to je svetlobni vir ali viri), ga oblikujejo in modificirajo in poskrbijo da gre v pravi smeri ter da svetilka ne povzroča bleščanja (sem spadajo reflektor ter morebitne leče, rastri, ščitniki in podobno). Električni elementi se začnejo s priključnimi sponkami. Sledi predstikalna naprava, stikala, vznožki oziroma okovi za svetlobne vire in notranje ožičenje. V določenih primerih so lahko v svetilko vgrajeni tudi določeni zaščitni elementi na primer pred previsoko temperaturo. Mehanski elementi pa so namenjeni zaščiti svetilke pred okoljskimi vplivi in njeni pritrditvi.

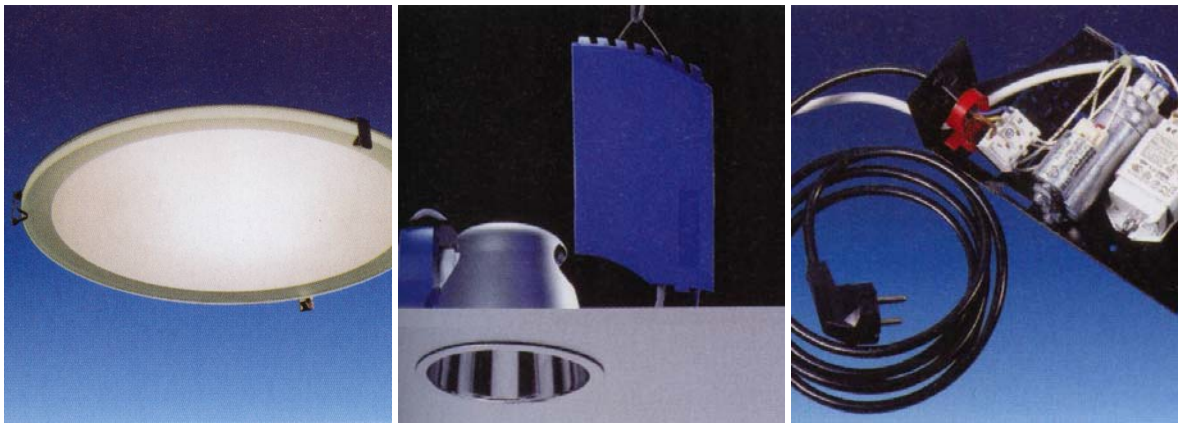
Slika 6.3: Mehanski in svetlobno-tehnični elementi svetilk za zunanjo uporabo morajo prenesti ekstremne vremenske in mehanske obremenitve (tudi vandalizem).

Svetilke morajo torej ustrezati:

- svetlobno-tehničnim zahtevam: ustrezna porazdelitev svetlobnega toka, ustrezna porazdelitev svetilnosti, omejevanje bleščanja in dober izkoristek;
- mehanskim zahtevam: ustrezna mehanska trdnost, odpornost na toploto, kemijske vplive, sončno svetlobo …, zaščita pred vdorom tujkov in vode oziroma vlage, enostavna konstrukcijska izvedba, lahko montaža in vzdrževanje ter seveda trajnost;
- električnim zahtevam: obratovalna zanesljivost, zaščita pred previsoko napetostjo dotika, zaščita pred elektromagnetnimi (radijskimi) motnjami, enostavna konstrukcija električnih delov ter enostavna montaža in vzdrževanje in seveda dolga življenjska doba sestavnih delov;
- ne smemo pa pozabiti tudi na oblikovne zahteve: ustrezen estetski videz svetilke, estetska in kakovostna končna obdelava, harmonično vklapljanje v končno okolje tako notranje kot zunanje.

Slika 6.4: Primer notranje svetilke proizvajalca Thorn

Na zgornji sliki vidimo primer notranje svetilke. Belo ohišje predstavlja mehanski element svetilke, ki je namenjen pritrditvi oziroma obešanju svetilke (če je spuščena s stropa) pa tudi nošenju električnih in svetlobno-tehničnih elementov. Viden je tudi aluminijasti raster, ki je svetlobno-tehnični element in je namenjen zaščiti pred bleščanjem. Če bi raster odstranili, bi najprej videli fluorescenčno sijalko, za njo pa aluminijasti reflektor, oba sta svetlobno-tehnična elementa. V notranjosti bi našli še okove za povezavo sijalke z virom energije, pa seveda predstikalno napravo, ožičenje in priključne sponke. Vse to pa predstavlja električne elemente svetilke.

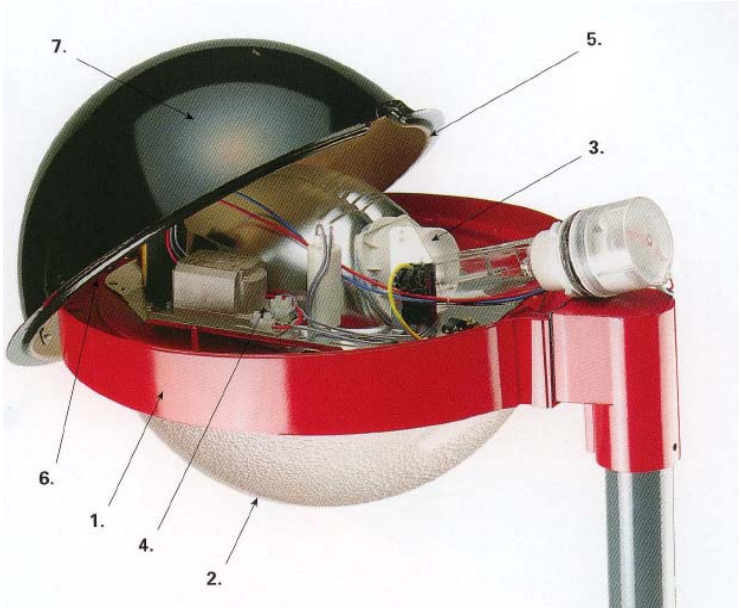


Slika 6.5: Elementi svetilk za notranje prostore (od leve): motno steklo kot refraktor (razprševalec svetlobe) – svetlobno-tehnični element; ohišje in obešala – mehanski elementi in predstikalna naprava in kondenzator . električna elementa.

Na spodnji sliki pa je prikazana svetilka za zunanjo razsvetljavo. Tudi tu lahko vidimo posamezne sestavne dele, ki so označeni s številkami:

1. nosilni element, ki je namenjen tako nošenju ostalih elementov kot tudi pritrditvi svetilke na drog. Spada torej med mehanske dele;
2. kapa iz prosojnega materiala (stekla ali plastike) je svetlobno-tehnični element in je namenjena razprševanju svetlobe, kar zmanjša bleščanje in poskrbi, da so tla pod svetilko bolj enakomerno osvetljena;

3. je nastavek za pritrditev vznožka svetilke (mehanski element), ki zagotavlja da je svetilka v pravem položaju glede na reflektor (svetlobno-tehnični element) na katerega je nastavek pritrjen;
4. električni sklop svetilke, ki ga sestavljajo (od leve proti desni) črna vžigna naprava, elektromehanska dušilka, priključne sponke in ožičenje ter kondenzator za odpravo motenj in izboljšanje faktorja delavnosti toka. Moder in rdeč vodnik peljeta do vznožka v katerega je pritrjena sijalka;
5. pokrov (7) in nosilni del svetilke (1) sta izdelana tako, da je pokrov možno odstraniti brez orodja (lažje vzdrževanje svetilke). Poleg tega se svetilka odpre zgoraj in ne spodaj, kar pomeni bolj ergonomsko držo serviserja med menjavo svetlobnega vira ali katerega drugega elementa svetilke;
6. med pokrovom in nosilnim delov svetilke je vstavljeno tesnilo, ki zagotavlja da je notranjost svetilke zaščitena pred vdorom vode ali vlage pa tudi prahu in žuželk.;
7. pokrov svetilke, ki je tudi mehanski element in zagotavlja zaščito elementov v svetilki pred vremenskimi in mehanskimi vplivi.



Slika 6.6: Elementi svetilke za zunanjo razsvetljavo.

6.3 SVETILKE ZA NOTRANJO RAZSVETLJAVO

Kot smo zapisali v uvodu, je svetilke možno deliti na zelo različne načine. V tem poglavju bodo svetilke za notranjo razsvetljavo predstavljene razdeljeno glede na mesto in način pritrditve ter glede na porazdelitev svetlobnega toka.

6.3.1 VISEČE SVETILKE

Viseče svetilko so pritrjene na strop in spuščene proti tlom. Uporabljajo se predvsem v prostorih z visokim stropom, kjer želimo svetilko približati površini, ki jo osvetljuje ter s tem povečati osvetljenost te površine (osvetljenost narašča oziroma pada s kvadratom razdalje). Primer je recimo svetilka nad jedilno mizo. Poleg tega tak način pritrditve svetilke

omogoča vizualno lepše in zapletenejše oblike svetilke. Uporabljajo se tudi takrat, kadar na stropu zaradi drugih inštalacij ni prostora za stropne svetilke.

Slika 6.7: Primeri treh visečih svetilk. Prva iz leve prikazuje tipično pisarniško svetilko, ki večino svetlobnega toka seva navzgor in s tem omogoča bolj difuzno porazdelitev svetlobe v prostoru. Druga slika prikazuje svetilko za industrijske hale in trgovska središča, kjer je strop večinoma previsok za učinkovito razsvetljavo prostora in tal. Desna slika prikazuje lestenec, ki prostoru daje vizualno privlačnost in prestiž.

V visečih svetilkah se uporabljajo skoraj vse vrste svetlobnih virov. V lestencih se uporabljajo navadne ali halogenske žarnice (ali njihovi varčnejši nadomestki), v visečih pisarniških svetilkah se uporabljajo večinoma fluorescentne sijalke, v visečih svetilkah za nakupovalna središča ali industrijske hale (srednja slika spodaj) pa visokotlačne kovinsko halogenidne ali natrijeve sijalke.

Slika 6.8: Uporaba visečih svetilk v proizvodnih prostorih. V visokih halah s spuščenimi svetilkami dosežemo večje osvetljenosti na delovnih mestih pri manjši porabi električne energije. Poleg tega konstrukcija industrijskih hal dostikrat ne omogoča drugačne namestitve svetilk.

6.3.2 STROPNE SVETILKE

Stropne svetilke delimo na vgradne in nadgradne. Vgradne so vgrajene v strop, ki je lahko votel oziroma spuščen (na primer strop iz mavčnih plošč), ali pa poln, na primer betonski. Pri vgradnji v strop, ki vsebuje material za toplotno izolacijo, je potrebno zagotoviti dovolj prostora za ustrezno hlajenje svetilke. To je posebej pomembno pri svetilkah, ki uporabljajo svetlobne vire z žarilno nitko. Prednost vgradnih svetil pred nadgradnimi je predvsem manjša vizualna opaznost, kar je še posebej pomembno pri velikih prostorih z relativno nizkim stropom (na primer pisarne), ali pa v majhnih prostorih, kjer je nameščeno veliko število svetilk. Za razliko od vgradnih so nadgradne pritrjene na strop. Običajno jih uporabljamo tam, kjer strop ne omogoča vgradnje svetilk.

Svetilke

Slika 6.9: Primer treh vgradnih stropnih svetilk. Svetilka na levi ima zelo široko svetlobno distribucijo, svetilka na desni pa zelo usmerjeno.

Slika 6.10: Uporaba vgradnih stropnih svetilk za razsvetljavo poslovnih prostorov. Uporabljamo jih predvsem v prostorih, kjer so nameščeni spuščeni stropi, ki omogočajo enostavno namestitev.

Vgradne svetilke svetijo zgolj na tla in ne osvetljujejo stropa, razen s svetlobo, ki se od tal odbije nazaj proti stropu. Posledica je lahko temen sklop. Po drugi strani je nadgradne svetilke možno narediti tako, da vsaj delno osvetljujejo tudi strop. Z vgradnimi svetilkami tako ni mogoče doseči enako razpršene (difuzne) svetlobe kot pri nadgradnih svetilkah.

Slika 6.11: Primeri treh nadgradnih stropnih svetilk. Svetilka na levi je večinoma namenjena uporabi v poslovnih prostorih, svetilka na sredi ima zelo razpršeno porazdelitev svetlobe in se večinoma uporablja v stanovanjskih zgradbah, svetilka na desni pa v industrijskih in zunanjih aplikacijah, saj ima dobro IP in IK zaščito.

Nadgradne stropne svetilke se uporabljajo kjer vgradnja ni mogoče ali pa bi bila predraga in kadar je zaželena večje razpršenost svetlobe. To je primer predvsem v stanovanjski gradnji, saj je pri večini stanovanjskih gradenj število izpustov v posameznem prostoru zelo omejeno s tem pa tudi število svetilk, ki jih lahko namestimo v prostor. Ker nimamo možnosti izbire števila svetilk, moramo torej izbrati svetilko, ki ustrezno osvetli celoten prostor.

6.3.3 STENSKE SVETILKE

Stenske svetilke uporabljamo, kadar je to zaželeno iz estetskih razlogov ali pa kadar je svetilke zaradi tehničnih razlogov težko namestiti na strop. V določenih primerih stenske svetilke uporabimo tudi, kadar je strop zelo visok in bi bila potrebna električna moč svetilk na stropu zaradi tega precej večja kot je moč stenskih svetilk. Osvetljenost namreč pada s kvadratom razdalje in če svetilke namestimo 2 m nad tlemi na steno hodnika in ne na 4 m visok strop, je pri enaki osvetljenosti priključna moč 4-krat manjša. Seveda pa je potrebno izbrati svetilke, ki imajo ustrezno porazdelitev svetilnosti, da so tla kljub namestitvi na steno, ustrezno osvetljena. Tako namestitev dostikrat srečamo na hodnikih starih stavb, na primer hotelov ali upravnih stavb.

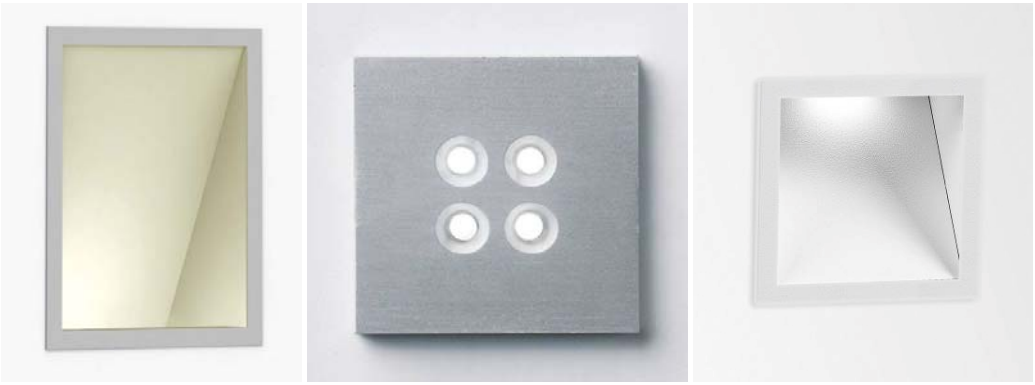
Slika 6.12: Primeri treh nadgradnih stenskih svetilk. Svetilka na levi je zaradi svoje oblike in materialov namenjena predvsem za bolj tradicionalna in luksuzna okolja, srednja in desna pa v bolj modernistično in minimalistično oblikovanje interjerje.

Tudi stenske svetilke lahko razdelimo na nadgradne ali vgradne. Nadgradne stenske svetilke se zelo pogosto uporabljajo v dekorativne namene. Lahko jih uporabimo tudi za zagotavljanje večje količine svetlobe, ki v prostor vpada iz strani in s tem zagotavlja prijaznejšo in bolj sproščujočo atmosfero. Svetloba, ki vpada s strani ima namreč tako smer kot naravna svetloba ki vstopa skozi okna. Nadgradne stenske svetilke pogosto uporabljajo v bivanjskih prostorih, predvsem v sobah namenjenih dnevnim dejavnostim in prostorih namenjenih počitku. Primere takih prostorov srečamo tako v stanovanjih (dnevna soba, spalnica) kot tudi v hotelih, zdravilišča in podobnih stavbah.

Slika 6.13: Uporaba vgradne stenske svetilke za osvetlitev stopnišča v notranjem prostoru in uporaba nadgradnih stenskih svetilk za osvetlitev zunanjosti stanovanjske hiše.

Vgradne stenske svetilke se uporabljajo predvsem tam kjer bi nadgradne stenske svetilke ovirala gibanje oseb ali motile podobo prostora. V večini primerov so vgradne stenske

svetilke indirektne svetilke, ki osvetljujejo strop prostora. Zelo pogosto pa, predvsem v zadnjem času, srečamo tudi vgradne stenske svetilke manjših dimenzij, ki so nameščene nizko ob tleh. Svetijo v tla in diskretno osvetljujejo pohodno površino. Uporablja se jih tako v notranji razsvetljavi, predvsem za diskretno nočno osvetlitev hodnikov in stopnišč, kot tudi za zunanjo osvetlitev poti in stopnic.



Slika 6.14: Primer treh stenskih vgradnih svetilk .Leva sveti navzgor v strop in s tem indirektno osvetljuje prostor, srednja predstavlja markirno svetilko, desna pa sveti navzdol in osvetljuje talno površino.

Veliko vgradnih stenskih svetilk ima ločeno predstikalno napravo, ki je nameščena nekaj metrov stran od same svetilke in napaja eno ali več svetilk. Pri nameščanju vgradnih stenskih svetilk v mokre prostore kot na primer kopalnice ali WC-je je potrebno posebno pozornost posvetiti ustrezni IP zaščiti svetilke.

6.3.4 STOJEČE SVETILKE

Pod stoječe svetilke štejemo svetilke, ki stojijo na tleh in so relativno visoke. Uporabljajo se predvsem v bivanjskih prostorih ali pa v bivanjskih predelih poslovnih prostorov, kot so na primer lože za sedenje in podobno. V večini primerov so namenjene dekorativnim namenom, lahko pa tudi za indirektno osvetlitev prostorov takrat, ko nam zadošča manjša količina svetlobe. Na primer v dnevni sobi med gledanjem televizije.

Slika 6.15: Trije primeri stoječih svetilk proizvajalcev (od leve proti desni): Artemide, Vibia, Foscarini.

Stoječe svetilke lahko delimo na direktne in indirektne. Indirektne so namenjene osvetlitvi prostora ali dela prostora z difuzno svetlobo. Direktne pa so dostikrat uporabljene kot lokalna razsvetljava, na primer za branje v dnevni sobi.

Slika 6.16: Stoječe svetilke, indirektne, direktne ali kombinirane, največ uporabljamo v bivalnih prostorih, kjer nam omogočajo prijetno difuzno svetlobo za sprostitev, direktne svetlobe pa tudi dovolj za npr. branje.

6.4 SVETILKE ZA ZUNANJO RAZSVETLJAVO

Pod svetilkami za zunanjo razsvetljavo najprej pomislimo na cestne svetilke. Vendar pa je zunanja razsvetljava precej širši pojem kot pa cestna razsvetljava. Zunaj srečamo tudi svetilke za razsvetljavo peščevih površin, pa različnih objektov, športnih površin in podobno. V nadaljevanju so predstavljene osnovne skupine svetilk.

6.4.1 SVETILKE ZA CESTNO RAZSVETLJAVO

Svetilke za cestno razsvetljavo so namenjene razsvetljevanju prometnih površin. Običajno so pritrjene na razmeroma visokih drogovih (kandelabrih), ki so nameščeni ob prometni površini v enakomernih razmakih, včasih pa so pritrjene tudi na fasade stavb ob cesti ali na jeklenice napete čez cestno površino.

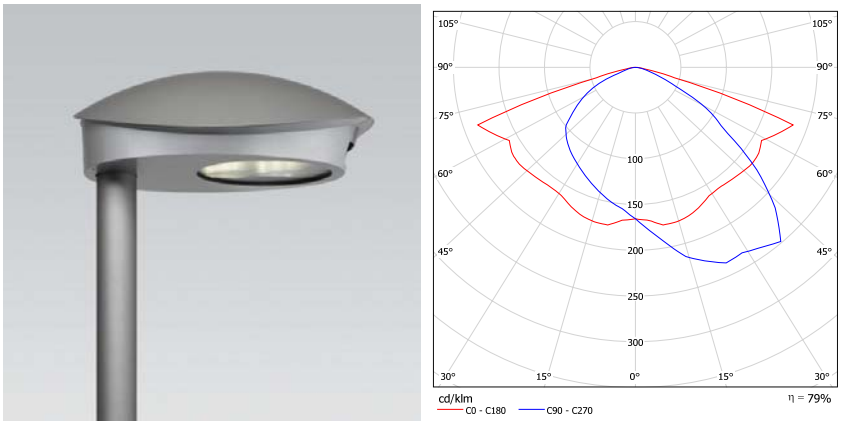
Slika 6.17: Primeri namestitve cestnih svetilk. Stebri cestnih svetilk so običajno višji, kot je širina cestišča, da lahko dosežemo ustrezno enakomernost svetlosti cestišča.

Svetlobna porazdelitev cestnih svetilk je zaradi omenjene montaže na robu površine, ki jo osvetljujejo in zaradi njene specifične oblike (dolga in ozka) asimetrična in je namenjena osvetljevanju čim daljšega odseka ceste, ki naj bi bil tudi čim bolj enakomerno osvetljen. Nekatere svetilke imajo zato tudi možnost prilagajanja natančne pozicije svetlobnega vira ali reflektorja znotraj svetilke, s čimer lahko dodatno optimiziramo porazdelitev svetlobnega toka. Vse svetilke za cestno razsvetljavo morajo biti seveda ustrezno zaščitene proti vremenskim vplivom.

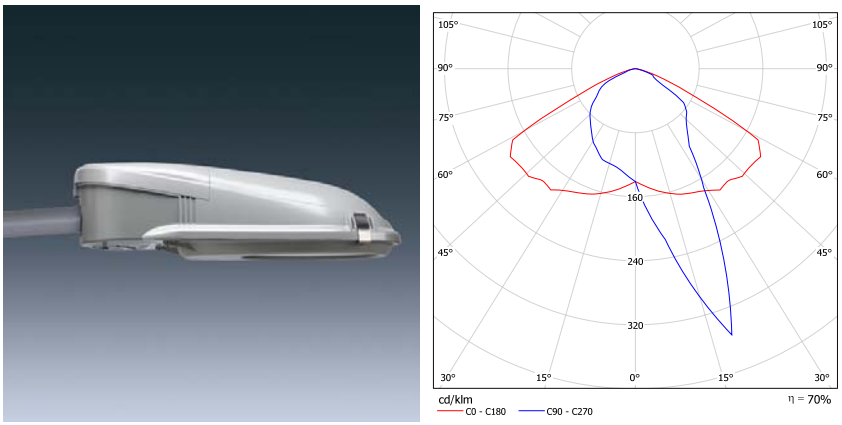
Svetilke

Svetlobni viri, ki se danes večinoma uporabljajo v svetilkah za cestno razsvetljavo so visokotlačna natrijeva sijalka, visokotlačna kovinsko-halogenidna sijalka in v zadnjem času svetleče diode. Visokotlačna živosrebrova sijalka je pogosto prisotna v starejših instalacijah vendar pa se pri prenovah ali novih inštalacija ne uporablja več, saj se v naslednjih letih v EU umika iz prodaje.

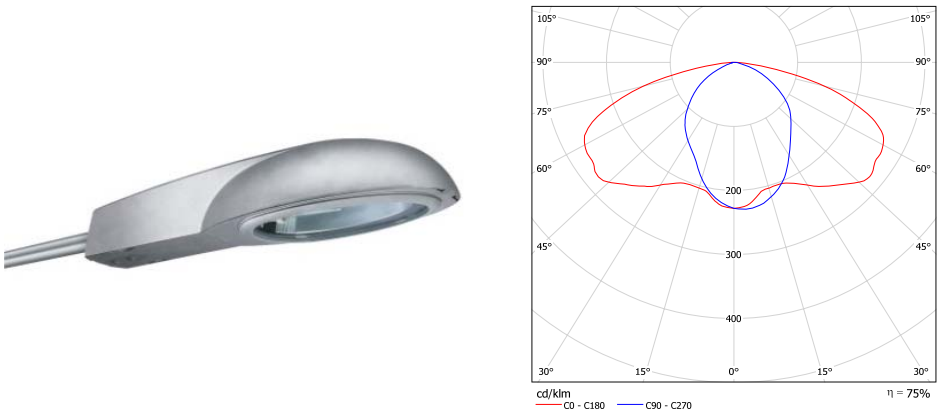
Na spodnjih slikah vidimo tri primere sodobnih svetilk za cestno razsvetljavo. Bistvene svetlobno-tehnične lastnosti svetilk se lahko razberejo iz priloženih polarnih diagramov, na katerih se vidi kotna porazdelitev svetilnosti v vzdolžni smeri, vzporedno s cesto (v rdeči barvi) ter v prečni smeri, pravokotno na cesto (v modri barvi). Vidimo, da je vzdolžna porazdelitev svetilnosti simetrična in zelo široka, saj mora svetilka osvetliti čim večji odsek ceste na obe strani. Pri drugi svetilki tudi lahko vidimo, da je svetilnost naravnost navzdol manjša kot pri nekoliko večjih kotih (maksimum doseže pri kotu 40°) kar pripomore k bolj enakomerni osvetljenosti v vzdolžni smeri. Porazdelitev v prečni smeri pa je precej bolj ozka in asimetrična. Svetilka mora osvetliti samo cestno površino in ne sme svetiti po okoliških površinah, zato mora biti porazdelitev svetilnosti ustrezno prilagojena. In ker svetilka stoji na robu ceste in ne na sredini, je potrebna asimetrična karakteristika, ki ima pri večjem kotu večjo svetilnost, da dosežemo ustrezno enakomerno osvetljenost ceste.



Slika 6.18: Svetilka serije SQ proizvajalca Siteco s pripadajočim polarnim diagramom kotne porazdelitve svetilnosti.



Slika 6.19: Svetilka serije Civic proizvajalca Thorn s pripadajočim polarnim diagramom kotne porazdelitve svetilnosti.



Slika 6.20: Svetilka serije Manta proizvajalca Philips s pripadajočim polarnim diagramom kotne porazdelitve svetilnosti

6.4.2 SVETILKE ZA RAZSVETLJAVO PREDOROV

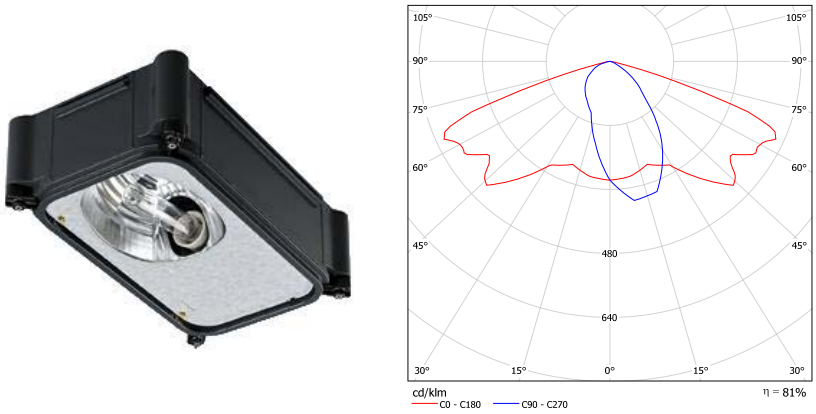
Razsvetljava predorov je zelo specifično področje razsvetljave, poleg tega je tudi atmosfera v predoru specifična (agresivna) kar zahteva tudi posebne izvedbe svetilk. Svetilke za razsvetljavo predorov imajo lahko simetrično ali asimetrično kotno porazdelitev svetilnosti. V predorih za motorni promet se večinoma uporabljajo asimetrične, kjer je svetlobni tok usmerjen proti toku prometa. Ta način osvetljevanja cestne površine predora ustvarja višjo svetlost cestne površine, medtem ko sprednja stran ovire (tista, ki jo vidi voznik) ni osvetljena. S tem se ustvari t.i. 'negativni kontrast', ki omogoča boljšo zaznavanje ovire, kot če bi bila sprednja stran ovire tudi osvetljena.

Slika 6.21:Primeri različnih namestitev svetilk v cestnih predorih.

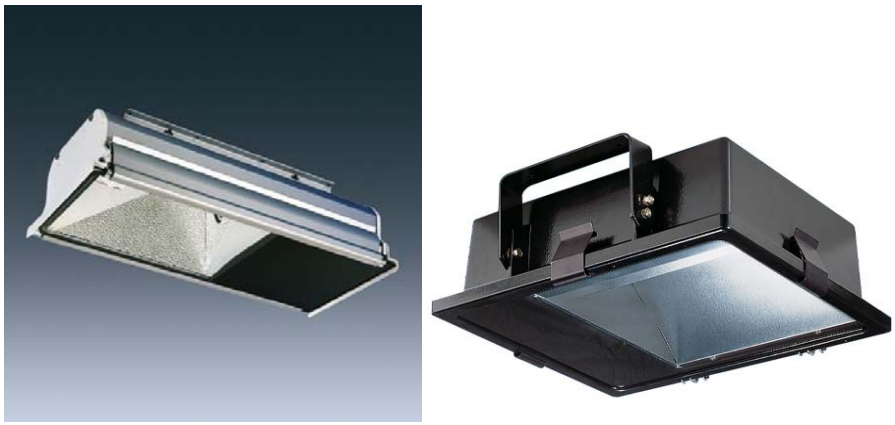
Svetilke

Svetilke s simetrično porazdelitvijo svetlobnega toka so bolj pogoste v predorih za pešce ali mešan promet, zaradi česar se njihove karakteristike približajo svetilkam za vse pokrite zunanje površine. Več o teh svetilkah bomo napisali v poglavju 6.4.6.

Na spodnjih slikah je prikazanih nekaj primerov svetilk za razsvetljavo predorov.



Slika 6.22: Predorska svetilka Tunlite proizvajalca Philips s pripadajočim polarnim diagramom kotne porazdelitve svetilnosti.

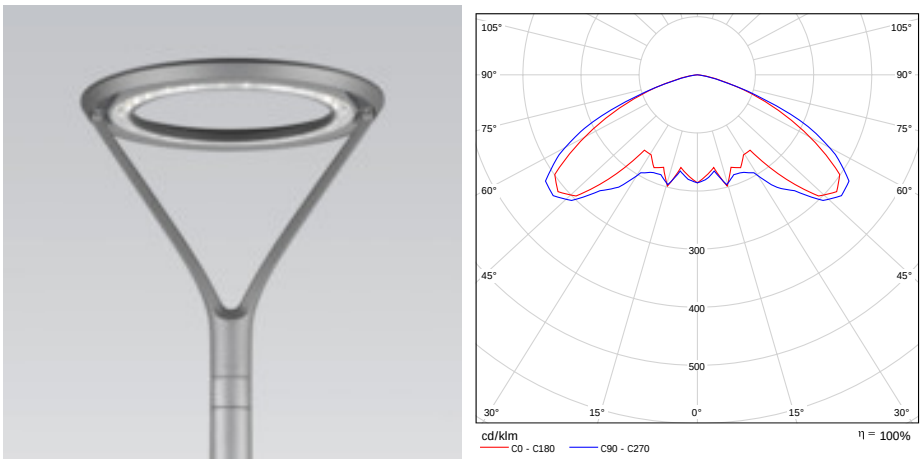


Slika 6.23: Predorska Svetilka Gotthard proizvajalca Thorn (levo) in predorska svetilka AF4 proizvajalca Schréder (desno).

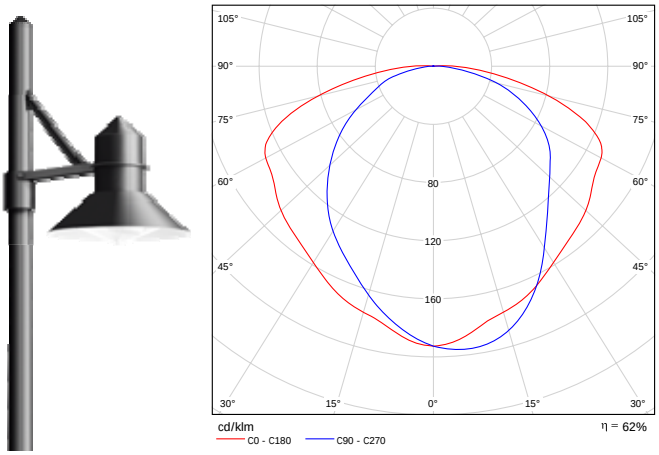
V predorskih svetilkah uporabljamo enake svetlobne vire kot v cestnih svetilkah. Danes predvsem visokotlačne natrijeve in kovinsko-halogenidne sijalke. V zadnjem času tudi svetleče diode, vendar zelo redko, ker je hlajenje predorskih svetilk precej slabše od hlajenja cestnih svetilk. To pa vpliva na življenjsko dobo in izkoristek svetlečih diod. V manjših predorih včasih srečamo tudi fluorescenčne sijalke. V nekaterih slovenskih predorih so bile včasih nameščene tudi svetilke z nizkotlačnimi natrijevimi sijalkami (na primer v galeriji na koncu gorenjske avtoceste pred izvozom na ljubljansko Celovško cesto) vendar so jih v zadnjem času zamenjali z modernimi svetilkami z visokotlačnimi sijalkami. Včasih v predorih srečamo tudi kombinacijo visokotlačnih natrijevih svetilk z značilno rumeno barvo, ki jih na primer ob odstavnih nišah zamenjajo visokotlačne kovinsko-halogenidne sijalke z belo svetlobo. Na ta način voznike opozorimo na prostore, kamor se lahko umaknejo oziroma kjer lahko pričakujejo na primer parkirana vozila in ljudi na cesti – torej nevarnost.

6.4.3 SVETILKE ZA RAZSVETLJAVO PEŠČEVIH POVRŠIN

Svetilke za razsvetljavo peščevih površin so namenjene osvetljevanju mestnih središč, trgov in parkov ter ostalih površin, kjer so pešci glavni udeleženci v prometu. Običajno so montirane na nižjih kandelabrih, zaradi česar je njihova vizualna podoba pomembnejša kot npr. pri svetilkah za cestno razsvetljavo. Svetlobna porazdelitev je lahko asimetrična ali simetrična. Svetlobni viri, ki se večinoma uporabljajo v teh svetilkah so: kompaktna fluorescentna sijalka in kovinsko halogenidna sijalka, visokotlačna natrijeva sijalka se uporablja redkeje, povečuje pa se uporaba svetlečih diod. Predvsem je zaželena bela svetloba in dober indeks barvnega videza. Razporeditev in oblika teh svetilk sledi arhitekturnim okoliščinam površin v veliko večji meri kot pri cestni razsvetljavi.



Slika 6.24: Svetilka DL 20 proizvajalca Siteco s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti.

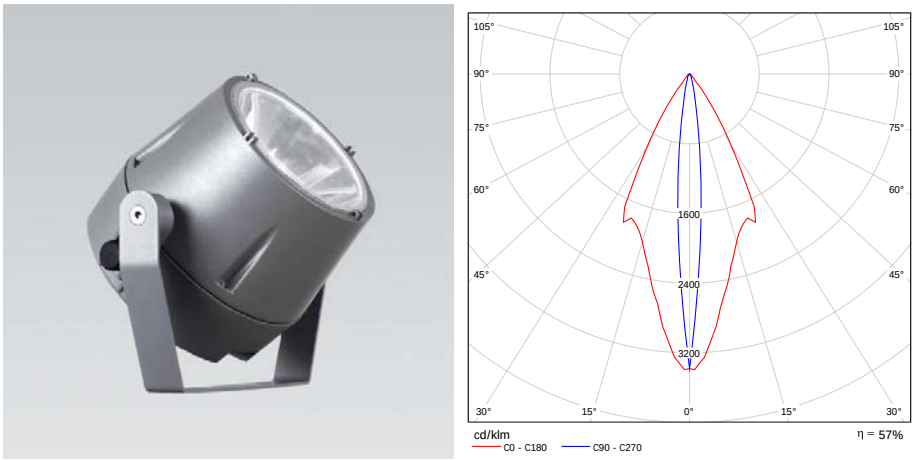


Slika 6.25: Svetilka 7933 proizvajalca Bega s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti.

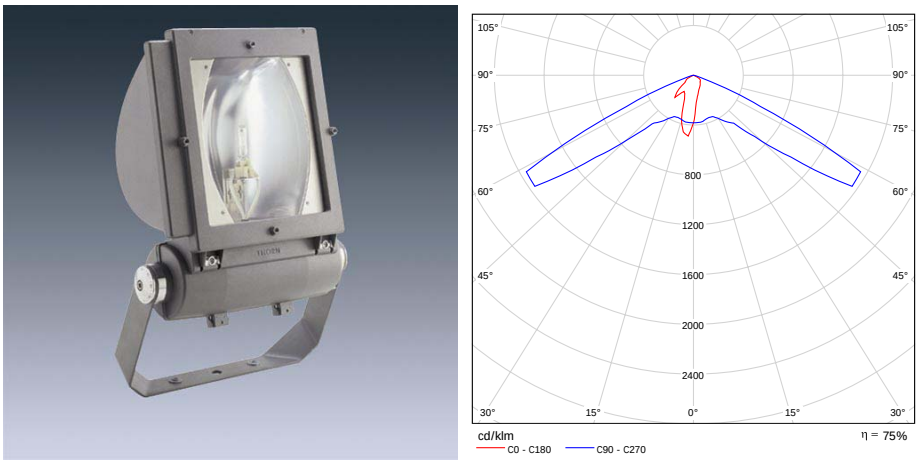
Pri izbiri svetilk za peščeve površine gledamo, da porazdelitev svetilnosti ni preveč zaprta. Širša porazdelitev svetilnosti namreč pripomore k večji polcilindrični osvetljenosti. Ta je še posebej pomembna v višini obrazov (običajno upoštevamo višino 150 cm) saj omogoča ustrezno razpoznavanje obrazov mimoidočih. Če namreč lahko razločimo poteze obraza osebe, ki nam prihaja nasproti, imamo večji občutek varnosti.

6.4.4 ŽAROMETI

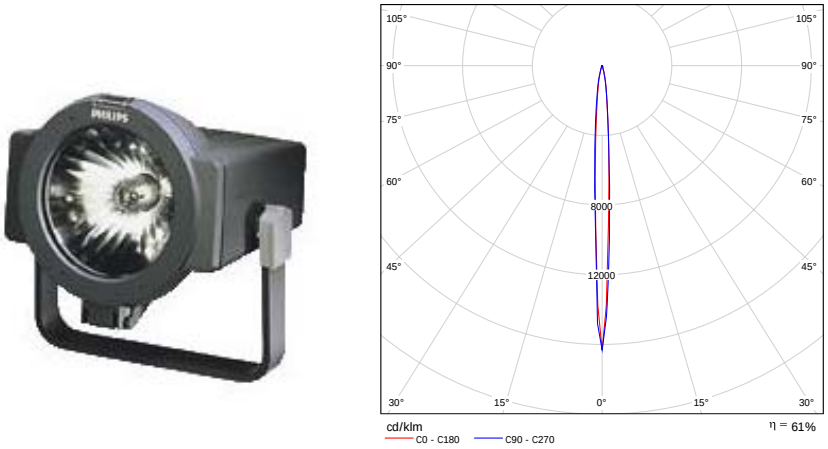
Žarometi ali reflektorji so svetilke, ki so namenjene osvetljevanju fasad, spomenikov ali drugih objektov v javnem prostoru. Uporabljamo pa jih lahko tudi za osvetljevanje večjih površin kot na primer parkirišč. Žaromete običajno delimo glede na svetlobno porazdelitev: asimetrična, ozko-snopna, srednje-snopna ali široko-snopna. Priključna električna moč žarometa je odvisna od uporabljenega svetlobnega vira in sega od nekaj vatov pri uporabi sodobnih svetlečih diod (LED) pa do kilovata ali več pri uporabi visokotlačnih sijalk. V žarometih lahko uporabljamo praktično vse svetlobne vire z izjemo nizkotlačnih natrijevih sijalk, ki so prevelike, da bi lahko ustrezno oblikovali reflektor. Danes se v javni razsvetljavi največ uporabljajo kovinsko halogenidne sijalke, visokotlačne natrijeve sijalke in vedno bolj tudi svetleče diode. Na voljo so tudi žarometi za halogenske žarnice, ki so sicer bistveno cenejši vendar pa je njihova uporaba zaradi večje porabe električne energije precej dražja. Bistvene karakteristike žarometov so: kot svetlobnega snopa, natančnost usmerjanja svetlobe ter možnost uporabe različnih nastavkov, ki dodatno oblikujejo svetlobni snop.



Slika 6.26: Žaromet SiCompact proizvajalca Siteco s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti.



Slika 6.27: Žaromet Contrast proizvajalca Thorn s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti. Porazdelitev je zelo nesimetrična in široka ker je žaromet namenjen razsvetljavi večjih talnih površin npr. parkirišč.



Slika 6.28: Žaromet DecoFlood proizvajalca Philips s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti.

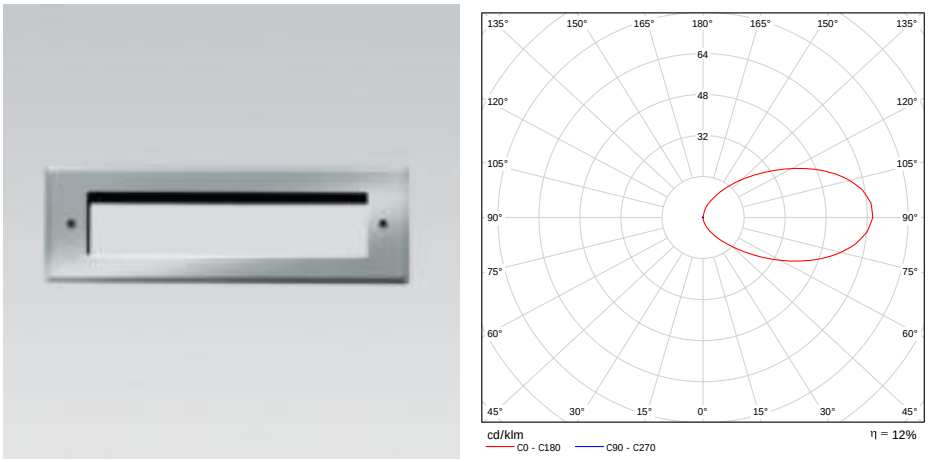
Pri namestitvi žarometov moramo v skladu s slovensko Uredbo o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja paziti na dvoje:

- pri razsvetljavi fasad in spomenikov je potrebno svetlobne snope usmeriti tako, da svetloba ne uhaja mimo osvetljene površine in da je površina osvetljena v skladu z drugimi določili uredbe. V določenih primerih si lahko pomagamo tudi z zaslonkami, ki so prigrajene na ohišje žarometa in s katerimi lahko zožamo svetlobni snop;
- pri razsvetljavi večjih površin (parkirišč) moramo žaromete namestiti tako, da je njihova svetleča površina (steklo) nameščena vzporedno s tlemi. Če so žarometi nameščeni na steno ali na kandelabre ob robu osvetljene površina, moramo uporabiti take s asimetrično površino. V nasprotnem primeru le del svetlobe konča na osvetljeni površini, preostali del pa predstavlja izgube.

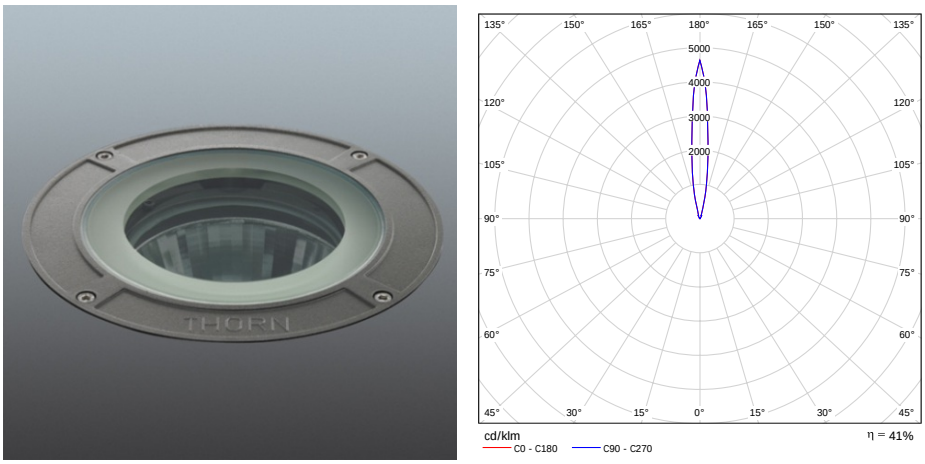
6.4.5 VGRADNE ZUNANJE SVETILKE

Vgradne zunanje svetilke se uporabljajo pri osvetljevanju peščevih površin, na primer poti v parkih, trgov, podhodov, stopnišč in podobno. Svetilke morajo biti ustrezno zaščitene pred vremenskimi vplivi in poškodbami (vandalizmom). Ločimo vgradne talne svetilke ter vgradne stenske svetilke. Vgradne talne svetilke so namenjene označevanju poti (‘markiranju’) ter ponekod osvetljevanju fasad ter ostalih vertikalnih površin v kolikor tega ne prepovedujejo zakonodajne zahteve. Vgradne stenske svetilke pa so namenjene osvetljevanju pohodnih površin kot na primer stopnic.

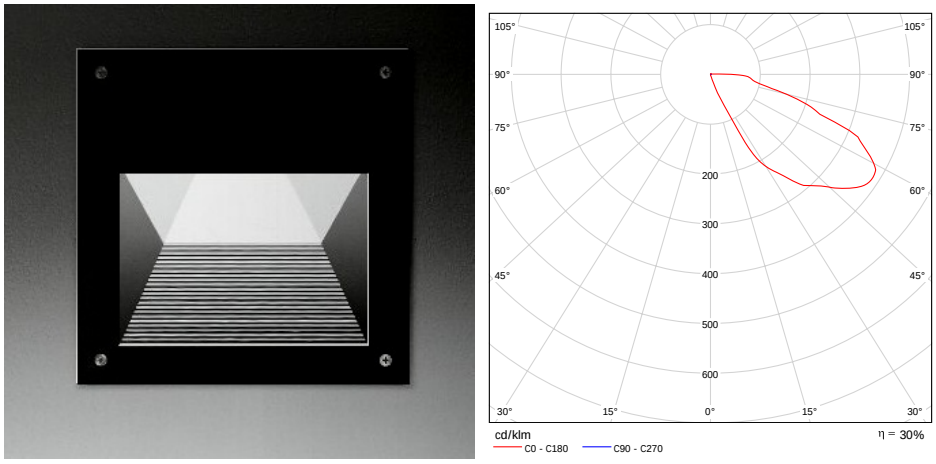
Vgradne svetilke imajo običajno manjšo priključno električno moč, zato se kot svetlobni viri največ uporabljajo kompaktne fluorescentne sijalke in v zadnjem času predvsem svetleče diode. Pri starejših izvedba srečamo tudi nizkonapetostne halogenske žarnice. Slednje imajo to prednost, da uporaba napetosti pod 50 V sama po sebi predstavlja ustrezno zaščito pred nevarno napetostjo dotika, kar je zaradi izpostavljenosti vremenskim vplivom še posebej pomembno. Kadar želimo nekoliko večjo moč ali pa manjše dimenzije kot pri svetilkah s kompaktnimi fluorescenčnimi sijalkami, lahko uporabimo tudi visokotlačne kovinsko halogenidne sijalke.



Slika 6.29: Svetilka CW proizvajalca Siteco s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti. Svetilko montiramo v steno, glede na porazdelitev svetilnosti pa je namenjena razsvetljavi celotne okolice in ne samo tal.



Slika 6.30: Svetilka Mica proizvajalca Thorn s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti. Svetilka je namenjena montaži v tla in osvetljevanju objektov nad svetilko, npr. dreves.



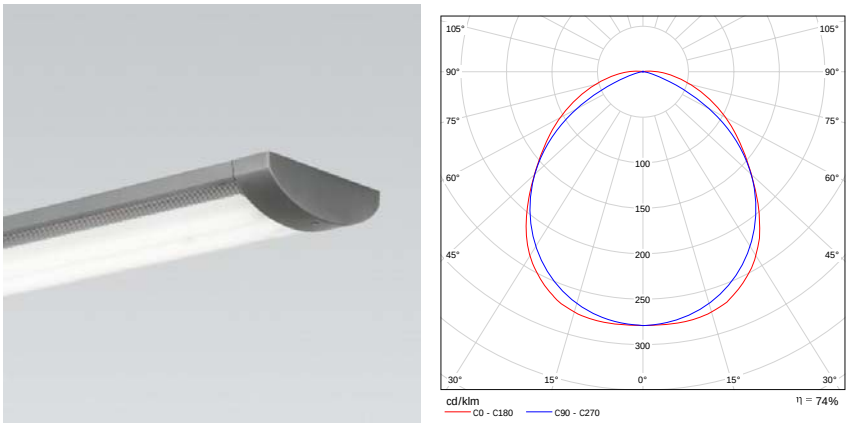
Slika 6.31: Svetilka 2233 proizvajalca Bega s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti. Ker je svetilka namenjena montaži v steno in osvetljevanju talne površine, je diagram porazdelitve svetilnosti značilno nesimetričen.

6.4.6 SVETILKE ZA POKRITE ZUNANJE POVRŠINE

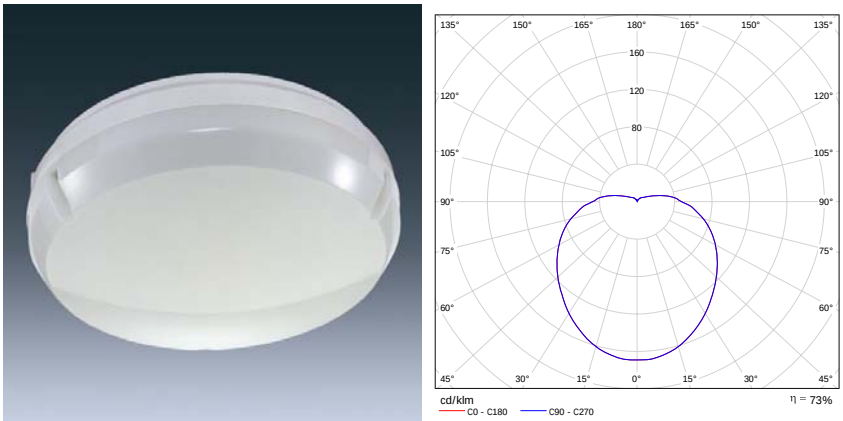
Med svetilke za pokrite zunanje površine štejemo svetilke, ki se jih pritrjuje na strop ali na stene pokritih javnih prostorov kot na primer podhodov, nadstreškov, pokritih stopnišč in podobno. Potrebna je visoka stopnja zaščite proti vremenskim vplivom, pogosto pa tudi proti udarcem (vandalizmu). Večinoma so namenjene enakomernemu osvetljevanju pohodnih površin oziroma celotnega osvetljenega prostora.

V teh svetilkah se večinoma uporabljajo kompaktne fluorescentne sijalke, fluorescentne sijalke ter kovinsko halogenidne sijalke. V zadnjem času pa se uveljavljajo tudi svetleče diode. Ker so namenjene predvsem površinam za pešce, je tudi tu potrebno nameniti pozornost ustrezni barvi svetlobe ter dobremu barvnemu videzu.

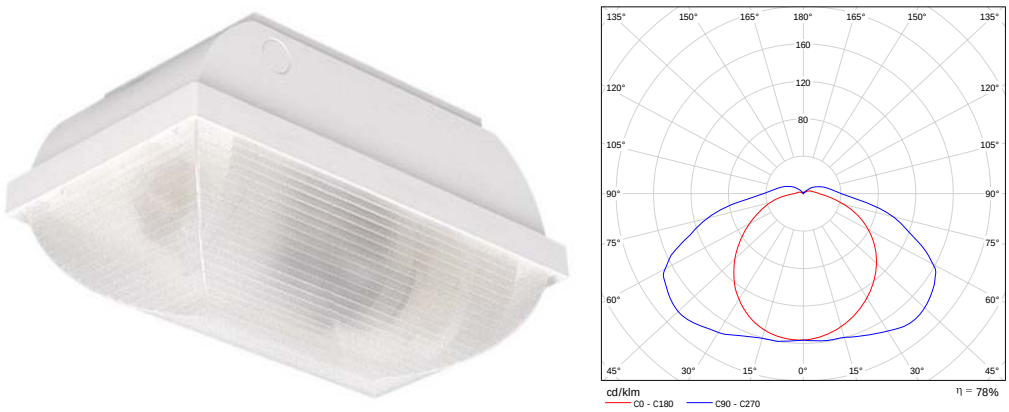
Prav tako pa je zaželeno, da porazdelitev svetilnosti omogoča ustrezno polcilindrično osvetljenost za zaznavanje obrazov mimoidočih. Kot lahko vidimo na spodnjih slikah so zato vsi diagrami porazdelitve svetilnosti precej široki. To je še posebej pomembno pri pokritih prostorih z razmeroma nizkimi stropi, kot so na primer podhodi pod cesto ali železnico. Za take primere je med spodnjimi tremi svetilkami najbolj primerna tista na sliki 6.33, ki sveti tudi v vodoravni smeri in celo malenkost navzgor. Zaradi tega je delno osvetljen tudi strop, kar še dodatno pripomore k boljšemu občutku varnosti v tovrstnih prostorih.



Slika 6.32: Svetilka TV 10 proizvajalca Siteco s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti.



Slika 6.33: Svetilka Leopard proizvajalca Thorn s rotacijsko simetričnim diagramom porazdelitve svetilnosti.



Slika 6.34: Svetilka FCC110 proizvajalca Philips s pripadajočim polarnim diagramom porazdelitve svetilnosti.

6.5 PODAJANJE KARAKTERISTIK SVETILK

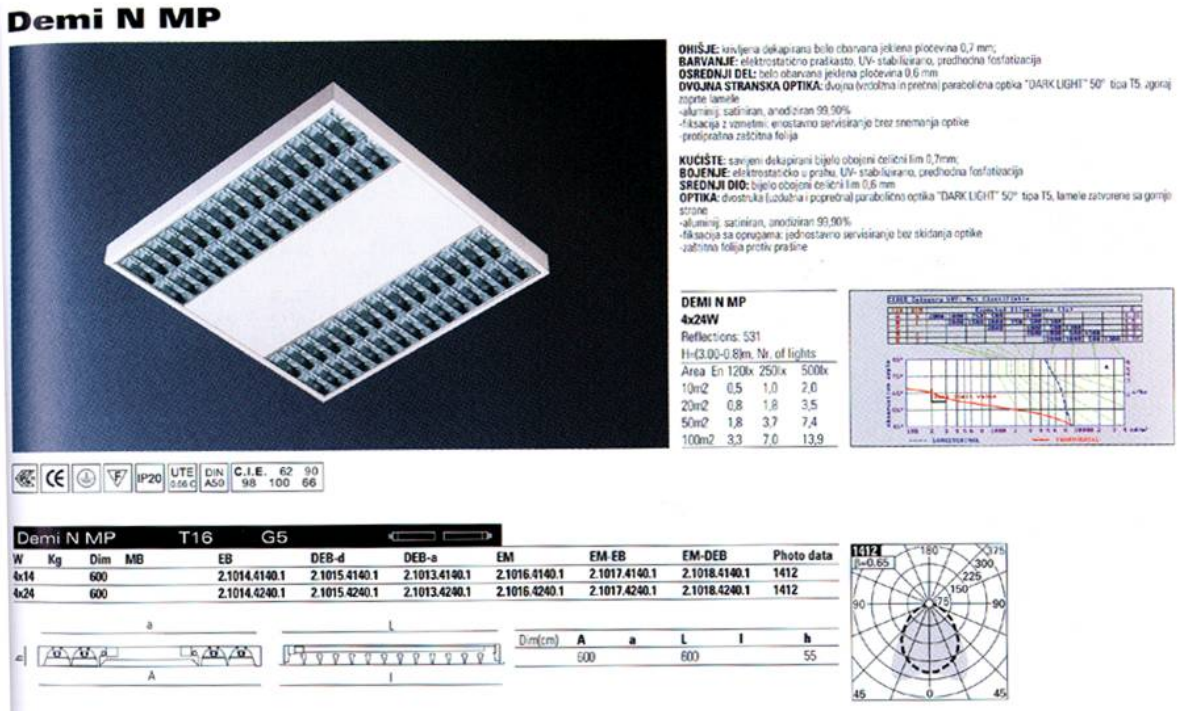
Proizvajalec svetilke je dolžan le-to tudi ustrezno označiti oziroma opremiti z osnovnimi podatki, ki kupcu oziroma projektantu razsvetljave omogočajo ustrezno izbiro. Za ustrezen izbor in izvedbo izračunov pred samim nakupom ali vgradnjo, je poleg osnovnih podatkov, potrebno poznati tudi prostorsko porazdelitev svetilnosti.

6.5.1 OSNOVNI PODATKI O SVETILKI

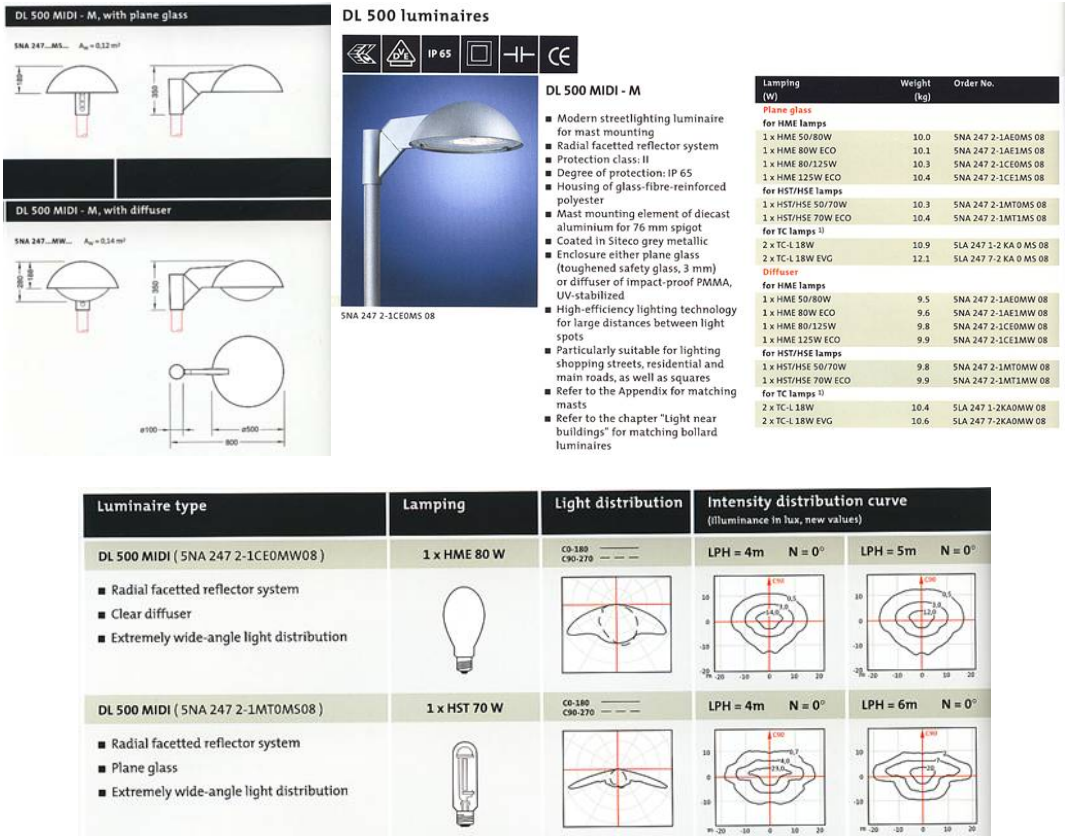
Na podlagi osnovnih podatkov si ustvarimo prvi vtis o svetilki, na podlagi katerega lahko vsaj približno ocenimo ali svetilka ustreza namenu oziroma predvideni vrsti uporabe. Med osnovne podatke lahko štejemo:

- proizvajalca, serijo in tip svetilke;
- vrsto in število in nazivno moč svetlobnih virov;
- nazivno napetost svetilke in njeno priključno moč;
- porazdelitev svetlobnega toka;
- svetlobni izkoristek svetilke;
- diagram prostorske porazdelitve svetilnosti;
- krivulja svetlosti za zaščito pred bleščanjem (se danes nadomešča s podatki o poenotenem indeksu bleščanja UGR);
- IP oznaka zaščite pred tujki in vodo;
- oznaka zaščite pred previsoko napetostjo dotika;
- oznaka zaščite pred radijskimi motnjami, protipožarna in eksplozijska zaščita ter po potrebi tudi
- oznaka zaščite pred metanjem žoge.

Nekaj osnovnih podatkov kor so proizvajalec, serija in tip svetilke ter podatki o vrsti in številu svetlobnih virov ter električnih parametrih svetilke, najdemo na embalaži svetilke. Vse ostale podatke pa običajno proizvajalci podajajo v tiskanih ali elektronskih katalogih.



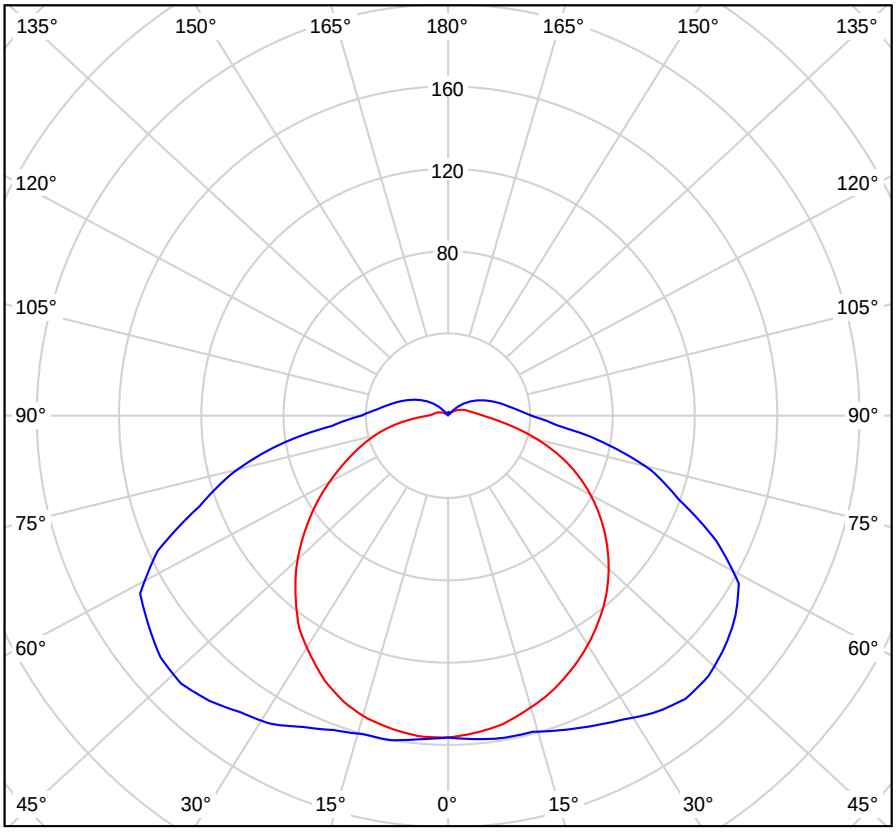
Slika 6.35: Stran iz kataloga proizvajalca svetilk Intra Lighting za notranjo svetilko Demi N NP. Podane so dimenzije, vrste možnih svetlobnih virov z navedeno električno močjo. Slikovno sta predstavljeni tudi prostorska porazdelitev svetilnosti v dveh ravninah ter prostorska porazdelitev svetlosti, ki služi oceni bleščanja. V pomoč bodočemu uporabniku je podana tudi tabela iz katere lahko razberemo koliko svetilk potrebujemo za določeno osvetljenost v izbranem prostoru s podano površino.



Slika 6.36: Stran iz kataloga proizvajalca svetilk Siteco za cestno svetilko DL 500. Navedeni so podobni podatki kot v prejšnjem primeru.

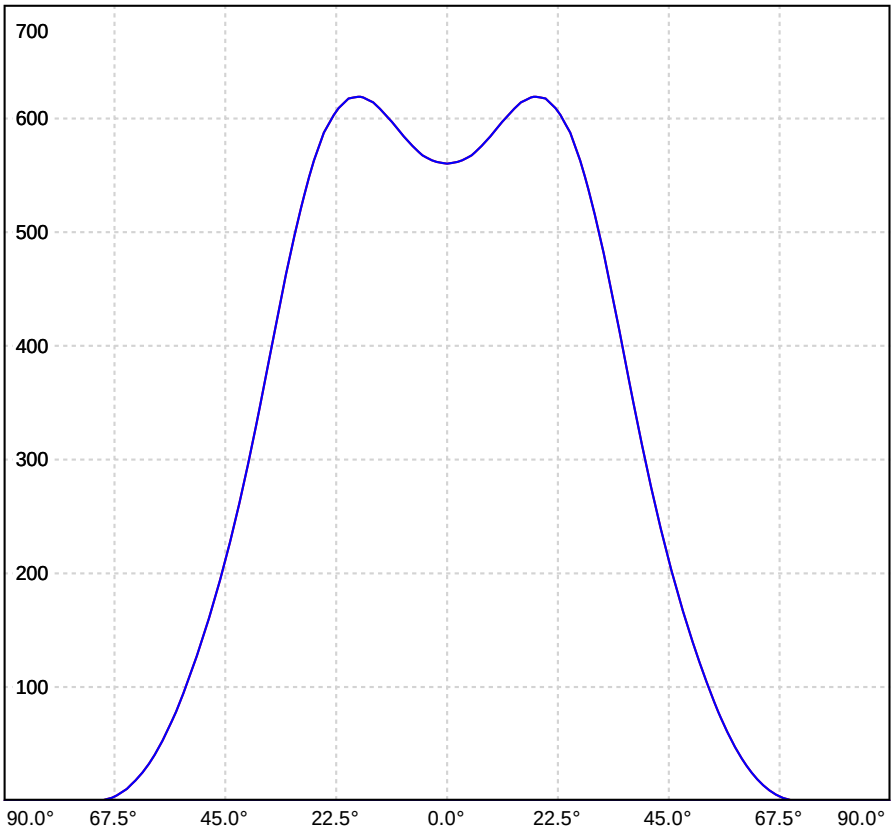
6.5.2 PROSTORSKA PORAZDELITEV SVETILNOSTI

V svetlobno tehničnem smislu je prostorska porazdelitev svetilnosti svetilke verjetno najbolj pomembna lastnost, ki jo moramo poznati pri projektiranju notranje ali zunanje razsvetljave. S njeno pomočjo je namreč mogoče izračunati osvetljenost v prostoru ali svetlost na cestni površini. Tako lahko že v naprej preverimo ali bodo predvidene svetilke izpolnile zahteve, ki jih pred razsvetljavo postavljajo zakonodajni dokumenti, standardi in priporočila. Za podajanje prostorske porazdelitve svetilnosti običajno uporabljamo polarne diagrame. Lahko pa jo podamo tudi s pomočjo izokandelnih ali izoluksnih diagramov, ki se bolj kot v notranji uporabljajo v cestni razsvetljavi..



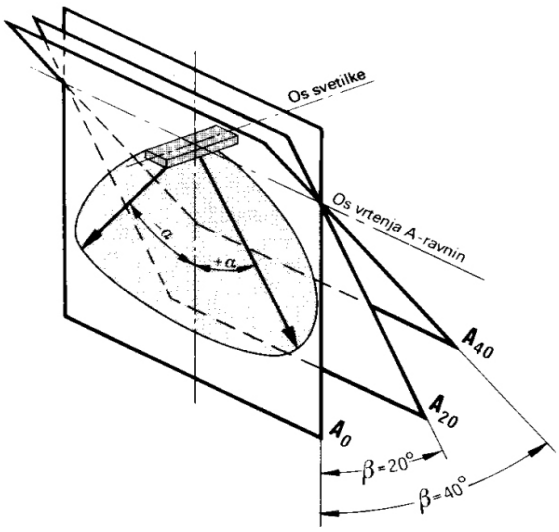
Slika 6.37: Primer polarnega diagrama prostorske porazdelitve svetilnosti. Krogi predstavljajo merilo za svetilnost (40 cd, 80 cd, 120 cd ...), radialne črte pa podajajo kot sevanja. Svetilka se nahaja v središču diagrama (krogov). Na sliki sta predstavljeni dve prostorski porazdelitvi in sicer tista v prečni osi svetilke in tista v vzdolžni osi svetilke.

Polarni diagrami predstavljajo velikost svetilnosti, ki jo v določeni smeri oddaja svetilka. Smer je pri tem določena s kotom v diagramu. Ker je prostorska porazdelitev svetilnosti tridimenzionalno telo, predstavlja vsak diagram samo en prerez tega prostorskega telesa na izbrani ravnini, ki pa vedno seka središčno točko svetlobnega vira ali svetilke. Običajno prostorsko porazdelitev svetilnosti podajajmo v polarnem koordinatnem sistemu (kot je prikazan na sliki 6.37). Za žaromete z ozkim snopom pa se jih podaja tudi v kartezijskem koordinatnem sistemu (kot je na sliki 6.38). V tem primeru so koti sevanja navedeni na abscisni osi (osi neodvisne spremenljivke, x osi), svetilnost pri določenem kotu pa na ordinatni osi (osi odvisne spremenljivke, y osi).

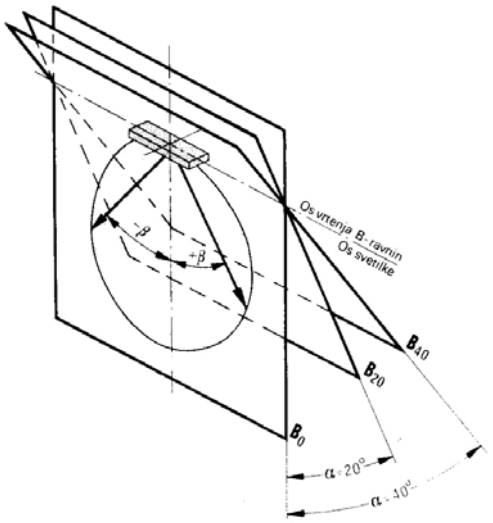


Slika 6.38: Primer kartezijskega diagrama prostorske porazdelitve svetilnosti v izbrani ravnini.

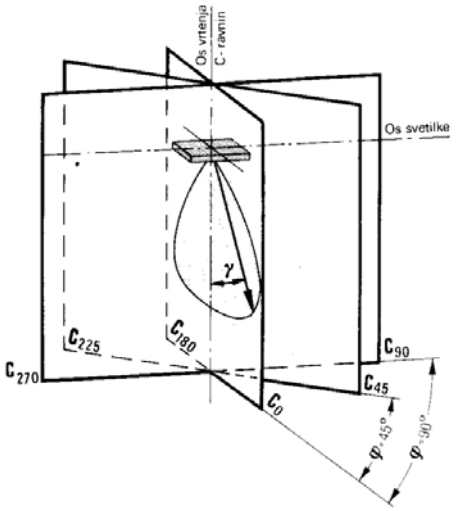
Da lahko podamo celotni tridimenzionalno podobo prostorske porazdelitve svetilnosti uporabimo sistem več ravnin, ki pod določenimi koti sekajo prostorsko telo svetilnosti. Posamezni diagrami prostorske porazdelitve svetilnosti so seveda odvisni od orientacije ravnin, ki jih prikazujejo. V svetlobni tehniki se uporabljajo trije standardni sistemi ravnin, ki so prikazani na spodnjih slikah.



Slika 6.39: A-sistem ravnin. Vidimo, da je vsem ravninam skupna prečna os svetilke, ki je torej tudi os vrtenja ravnin. Ravnine so označene s črko A in številko, ki podaja kot nagiba ravnine (β) glede na navpičnico skozi svetilko. Da lahko podamo celotno prostorsko porazdelitev svetilnosti potrebujemo ravnine od A0 do A180, ki je že tudi zrcalna podoba ravnine A0.



Slika 6.40: B-sistem ravnin. V tem sistemu je os vrtenja ravnine in skupna premica vseh ravnina vzdolžna os svetilke. Ravnine so označene podobno, torej s črko B in številko, ki podaja kot nagiba ravnine (α) glede na navpičnico skozi svetilko. Podobno tudi tu potrebujemo ravnine od B0 do B180, da lahko podamo celotno prostorsko telo porazdelitve svetilnosti.



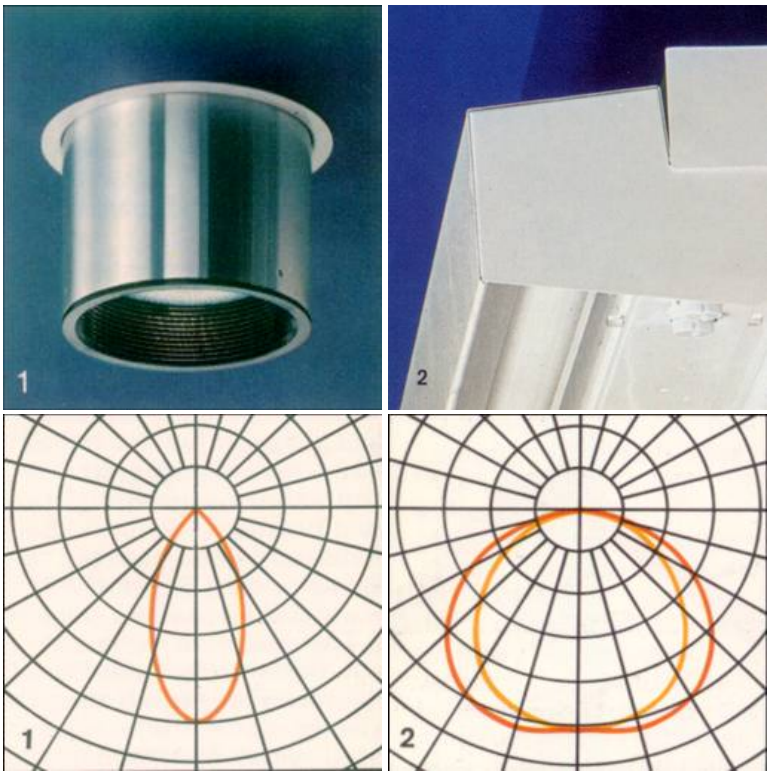
Slika 6.41: C-sistem ravnin. C ravnine se vrtijo okoli navpične osi skozi svetilko. Označene so podobno, torej s črko C in številko, ki podaja kot (γ), za katerega je ravnina zavrtena. Oznako 0 ima ravnina, ki vsebuje tudi prečno os svetilke in je torej enaka ravnini A0. Ravnina C90 pa je enaka ravnini B0. Za podajo celotne porazdelitve svetilnosti potrebujemo ravnine od C0 do C180, ki je tudi v tem primeru zrcalna podoba ravnine C0. Če pa je svetilka simetrična glede na navpično os, pa sta ravnin C0 in C180 enaki. V takih primerih se dostikrat uporabi oznaka C0-C180 ali C90-C270.

Zaradi lažje uporabe so diagrami prostorske porazdelitve svetilnosti običajno normirani na svetlobni tok vira v svetilki 1000 lm. Ker je dejanski svetlobni tok vira običajno drugačen, je potrebno vrednosti v diagramu pomnožiti z ustreznim faktorjem. Dejanska svetilnost je tako:

$$I = I_d \cdot \frac{\Phi_d}{1000\ lm}$$

Enačba 33: Enačba za izračun dejanske vrednosti svetilnosti iz vrednosti svetilnosti, ki jo odčitamo iz diagrama (I_d) in vrednosti dejanskega skupnega svetlobnega toka vseh virov v svetilki (Φ_d).

Število ravnin, ki jih uporabimo za prikaz prostorske porazdelitve svetilnosti je odvisen od oblike svetilke. Pri rotacijsko simetričnih svetilkah je tudi porazdelitev svetilnosti lahko rotacijsko simetrična in v tem primeru zadošča prikaz v eni ravnini. Pri ostalih svetilkah je potreben prikaz porazdelitve svetilnosti vsaj v dveh ravninah, ki vsebujeta prečno in vzdolžno os svetilke (ravnini A0 in B0 oziroma C0-C180 in C90-C270). Za ustrezno točne izračune osvetljenosti pa potrebujemo podatke o porazdelitvi svetilnosti v več ravninah. Običajno se ti podajajo vsaj s 30 stopinjskim korakom med ravninami, ki zagotavlja, da lahko podatke med posameznima podanima (izmerjenima) ravninama interpoliramo z ustrezno točnostjo.

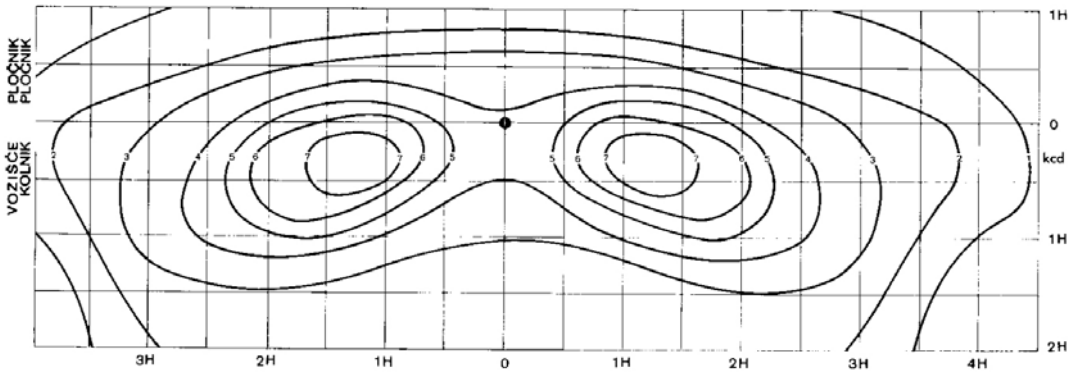


Slika 6.42: Pri rotacijsko simetričnih svetilkah (oznaka 1) je za ustrezno podajo prostorske porazdelitve svetilnosti dovolj, če to podamo v eni sami ravnini. Pri svetilkah, ki imata različni dolžini v vzdolžni in prečni osi (oznaka 2) moramo uporabiti vsaj dve (A0 in B0).

Prikaz prostorske porazdelitve svetilnosti v polarnih diagramih, predvsem v diagramih s C-sistemom ravnin sledi načinu izvajanja meritev prostorske porazdelitve in je danes najbolj pogosto uporabljen način prikaza tovrstnih podatkov. Zelo uporaben je za izračune osvetljenosti s pomočjo računalniških programov, nekoliko manj pa, če bi želeli osvetljenost izračunati »na roke«. Za ta namen sta bistveno bolj uporabna izokandelni diagram in izoluksni diagram, ki sta bila v široki uporabi predvsem pri cestnih svetilkah, kjer jih lahko srečamo še danes.

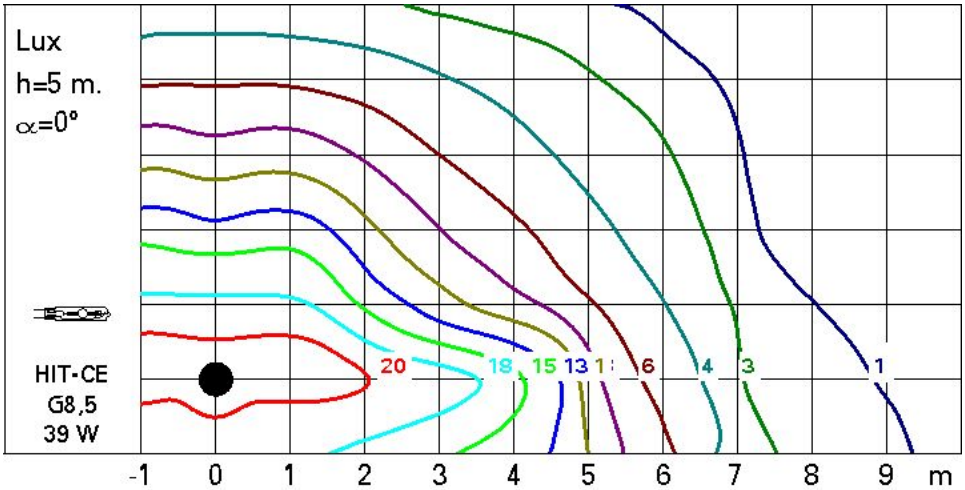
Izokandelni diagram za cestno svetilko (slika 6.43) prikazuje krivulje z enako svetilnostjo na vodoravni površini pod svetilko. Uporabljen je kartezični koordinatni sistem, ki je normiran na višino montaže svetilke (H). Svetilka se nahaja v središču koordinatnega sistema (označena s piko). Površina pred svetilko (pod svetilko na diagramu) je označena kot vozišče, površina za svetilko (nad svetilko na diagramu) pa kot pločnik. Krivulje

podajajo svetilnosti z enoto kilo-kandela (kcd). Diagram običajno uporabljamo tako, da ga povečamo ali pomanjšamo glede na merilo načrta ceste in položimo preko le-tega. Tako lahko odčitamo svetilnost v posameznih točkah cestne površine, iz tega podatka pa lahko potem izračunamo svetlost ali osvetljenost površine v teh točkah.



Slika 6.43: Izokandelni diagram za cestno svetilko. Krivulje prikazujejo točke enakih svetilnosti.

Za cestne svetilke, namenjene razsvetljavi peščevih površin so bolj kot izokandelni diagrami uporabni izoluksni diagrami. V tem primeru standardi namreč podajajo zahtevane vrednosti osvetljenosti, ki jih lahko iz izoluksnega diagrama kar direktno odčitamo. Primer takega diagrama prikazuje slika 6.44. Na diagramu so (v tem primeru z barvnimi) črtami prikazane točke z enako osvetljenostjo. Diagram je prikazan v kartezijskem koordinatnem sistemu z merilom 1 meter (m). Ker je merilo absolutno in ne relativno kot v prejšnje primeru, je na diagramu navedena tudi višina montaže svetilke (5 m). Svetilka se tudi v tem primeru nahaja v središču koordinatnega sistema in je prikazana s piko. Iz podatka pod navedbo višine montaže (α=0°) lahko ugotovimo kot naklona svetilke. Na diagramu je označena tudi uporabljena sijalka (HIT-CE z vznožkom G8,5 in moči 39 W). Uporaba diagrama je podobna kot pri izokandelnem diagramu. Najprej ga ustrezno povečamo ali pomanjšamo da ustreza merilu načrta osvetljene površine. Nato ga položimo preko tega načrta in v želenih točkah direktno odčitamo osvetljenosti, ki jih zagotavlja izbrana svetilka.



Slika 6.44: Izoluksni diagram. Barvne krivulje povezujejo točke enakih osvetljenosti. Enota je lux. Podana je tudi višina montaže svetilke (5 m), njen nagib (α=0°) in uporabljena sijalka (HIT-CE, vznožek G8,5, električna moč 39 W).

6.5.3 PORAZDELITEV SVETLOBNEGA TOKA

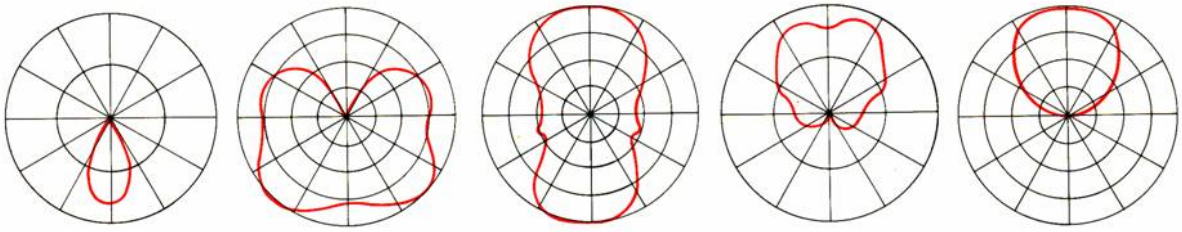
Delitev svetilk glede na porazdelitev svetlobnega toka deli svetilke na tiste, ki svetijo navzdol in tiste ki svetijo navzgor. Glede na to, da svetilke običajno nameščamo nad površino, ki jo osvetljujemo, večina svetilk sveti navzdol. S tem dosežemo tudi najboljši svetlobni izkoristek razsvetljave. Vendar pa želimo v določenih primerih osvetliti tudi površino nad svetilko (strop) na primer pri obešenih svetilkah, kjer bi bil zelo temen strop lahko moteč. Zato lahko svetilke del svetlobnega toka oddajajo tudi navzgor. Izjema so indirektne svetilke, ki večino svetlobnega toka oddajajo navzgor. Uporabljamo jih na primer tam, kjer montaža svetilk na strop ni možna ali primerna (na primer spomeniško zaščiteni poslikani stropi v cerkvah ali gradovih).

Glede na razmerje med delov svetlobnega toka, ki ga svetilka oddaja navzdol in delom, ki ga oddaja navzgor, lahko svetilke razdelimo v 5 skupin (z oznakami od A do E), ki so prikazane v spodnji tabeli.

Skupina	Delež svetlobnega toka, ki ga svetilka oddaja v spodnji polprostor	Delež svetlobnega toka, ki ga svetilka oddaja v zgornji polprostor
A direktna	90 % do 100 %	0 % do 10 %
B pretežno direktna	60 % do 90 %	10 % do 40 %
C direktno-indirektna	40 % do 60 %	40 % do 60 %
D pretežno indirektna	10 % do 40 %	60 % do 90 %
E indirektna	0 % do 10 %	90 % do 100 %

Tabela 6.1: Delitev svetilk glede na porazdelitev svetlobnega toka

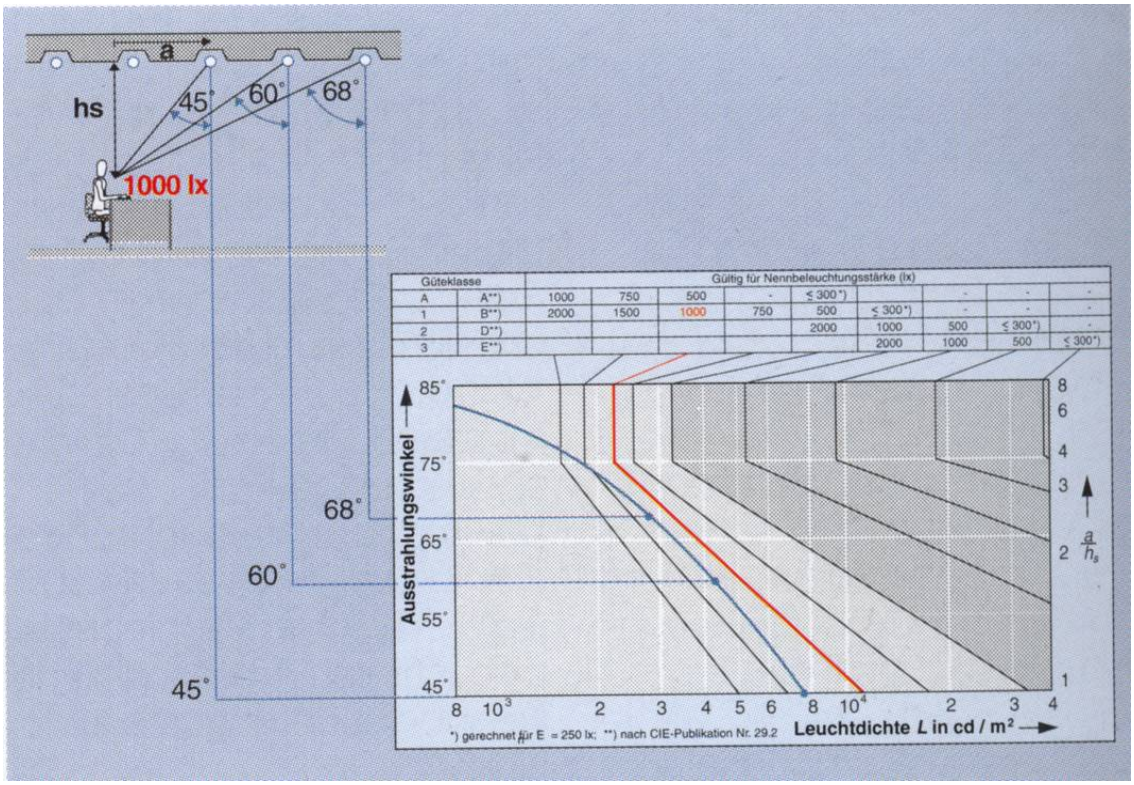
Porazdelitev svetlobnega toka se običajno najlažje vidi iz diagrama prostorske porazdelitve svetilnosti. Karakteristični primeri diagramov za posamezne skupine svetilk so prikazani na spodnji sliki.



Slika 6.45: Značilni diagrami porazdelitve svetilnosti za posamezne skupine svetilk. Od leve proti desni: A direktna svetilka, B pretežno direktna svetilka, C direktno-indirektna svetilka, D pretežno indirektna svetilka in E indirektna svetilka.

6.5.4 KOTNA PORAZDELITEV SVETLOSTI

Na podlagi diagrama kotne porazdelitve svetilnosti lahko izdelamo tudi diagram kotne porazdelitve svetlosti. Pri tem poleg svetilnosti v posamezni smeri upoštevamo še velikost projekcije svetle površine svetilke v tej smeri. Primer takega diagrama je podan na sliki 6.46 spodaj.



Slika 6.46: Diagram kotne porazdelitve svetlosti (modra črta), ki ga dobimo iz diagrama kotne porazdelitve svetilnosti ob upoštevanju velikosti vidne svetle površine svetilke pri posameznem kotu.

Kotni diagram svetlosti se uporablja za ugotavljanje velikosti oziroma ustreznosti bleščanja. Na zgornji strani imamo zato podane razrede prostorov glede na dovoljeno bleščanje (označene z A, 1, 2, 3 ali A, B, D, E) ter navedbo osvetljenosti v prostoru, ki je povezana z eno od mejnih krivulj v diagramu. Na podlagi razreda prostora in njegove osvetljenosti izberemo eno od teh mejnih krivulj. Na sliki je z rdečo barvo označena mejna krivulja za prostor razreda 1 (B) pri osvetljenosti 1000 lx. V kolikor krivulja kotne porazdelitve svetlosti (modra krivulja) na celotnem področju leži levo od mejne krivulje (rdeča krivulja), kot je to v primeru na sliki, potem bleščanje v takem prostoru ni moteče. V kolikor pa krivulja svetlosti seka mejno krivuljo oziroma leži desno od nje, potem bo bleščanje v takem prostoru moteče in sicer pri kotih, kjer je krivulja svetlosti desno od mejne krivulje.

6.5.5 IZKORISTEK SVETILKE

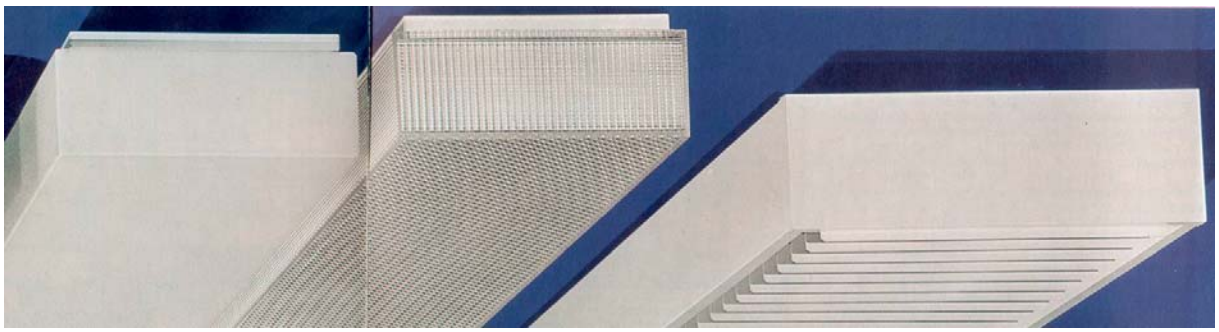
Izkoristek svetilke nam pove, kolikšen del svetlobnega toka, ki ga oddajajo svetlobni viri v svetilki, zapusti svetilko. Zaradi konstrukcijskih ali oblikovnih značilnosti svetilke namreč del svetlobnega toka lahko ostane v svetilki in ne prispeva k osvetljenosti prostora (ali svetlosti ceste). Ločimo dva svetlobna izkoristka svetilke in sicer:

- optični izkoristek svetilke, ki podaja razmerje med svetlobnim tokom, ki izhaja iz svetilke pri standardnih obratovalnih pogojih (način montaže, temperatura okolice, nazivna napetost …) in nazivnim svetlobnim tokom vseh svetlobnih virov v svetilki in

- obratovalni izkoristek svetilke, ki je definiran enako, le da upošteva dejanske obratovalne pogoje (način montaže, položaj svetlobnih virov, temperaturo okolice, dejanska napetost …).

V primeru ko obratovalni pogoji vplivajo na svetlobni tok svetlobnih virov v svetilki, se oba izkoristka razlikujeta. Največkrat je obratovalni izkoristek svetilke manjši od optičnega izkoristka, saj se svetlobni tok npr. fluorescenčnih sijalk zmanjša zaradi previsoke ali prenizke temperature okolice ali zaradi npr. navpične montaže.

Na izkoristek svetilke najbolj vpliva sama konstrukcija svetilke in uporabljeni materiali. Na spodnji sliki so prikazani primeri treh svetilk s cevnimi fluorescenčnimi sijalkami, ki so po konstrukciji zelo podobni, razlikujejo pa se v materialu, ki je uporabljen kot zaščita pred bleščanjem. Posledično so njihovi svetlobni izkoristi zelo različni.



Slika 6.47: Svetilke za cevne fluorescenčne sijalke z različno vrsto zaščite pred bleščanjem. Leva svetilka ima nameščeno opalno kapo, ki svetlobo razprši. Podoben princip je uporabljen tudi pri srednji svetilki, ki ima nameščeno prozorna kapa z mikro-prizmatično strukturo, ki svetlobo tudi razprši, vendar so izgube svetlobe v samem materialu manjše. Desno pa je svetilka, ki bleščanje zmanjšuje z uporaba lamelnega rastra, tako da je večina površine prosta in ne vpija svetlobe. Zato ima ta svetilka najboljši izkoristek.

V spodnji tabeli so podani še nekateri izkoristki svetilk s fluorescenčnimi sijalkami.

Izvedba svetilke	Optični izkoristek
Fluorescenčna sijalka na nosilcu	92 %
Svetilka z belim reflektorjem	70 % - 75 %
Svetilka z zrcalnim reflektorjem	71 % - 76 %
Svetilka s širokim zrcalnim rastrom	70 % - 75 %
Svetilka z ozkim zrcalnim razstrom	55 %
Stropna svetilka z opalno kapo	50 % - 65 %
Stropna svetilka z mikroprizmatično kapo	60 % - 70 %
vgradna svetilka z mikroprizmatično kapo	60 % - 70 %
viseče direktno-indirektna svetilka z zrcalnim rastrom	80 %

Tabela 6.2: Optični izkoristki različnih izvedb svetilk s fluorescenčnimi sijalkami.

6.5.6 ZASTRTOST SVETILKE

Zastrtost svetilke je lastnost, ki jo poznamo samo pri cestnih svetilkah in s katero nekateri predpisi oziroma priporočila podajajo stopnjo omejevanja bleščanja. V splošnem ločimo zastrte, polzastrte in nezastrte svetilke. Ločijo se po dovoljeni maksimalni svetilnosti pri kotih 80° in 90° glede na navpičnico skozi svetilko. Pri nezastrti svetilki je omejitev podana v absolutni vrednosti in sicer svetilnosti pri kotu 90° ne sme presegati 1000 cd. Pri zastrti

in nezastrti svetilki pa so omejitve podane relativno oziroma normirano na 1000 lm svetlobnega toka. Vrednosti so podane v spodnji tabeli.

	Maksimalna dopustna svetilnost pri kotu	
Svetilka	**80°**	**90°**
zastrta	30 cd/1000 lm	10 cd/1000 lm
polzastrta	100 cd/1000 lm	50 cd/1000 lm
nezastrta	-	1000 cd

Tabela 6.3: Dovoljene svetilnosti pri kotih 80° in 90° za zastrte, polzastrte in nezastrte cestne svetilke.

6.5.7 OZNAKA IP IN IK STOPNJE ZAŠČITE

Oznaka IP stopnje zaščite pri svetilkah tako kot pri drugih električnih aparatih označuje stopnjo mehanske zaščite oziroma zaščite pred vdorom tujkov ter vdorom vode oz. vlage. Oznaka je sestavljena iz črk IP (Ingress Protection) ki jima sledita dve številki ter morebitne dodatne črke.

Oznaka stopnje zaščite se določi s pomočjo izvedbe ustreznega preizkusa. Postopki so standardizirani v standardu IEC 60529.

Prva številka podaja stopnjo zaščite pred vdorom tujkov oziroma stopnjo zaščite pred dotikom delov pod napetostjo. Če ne upoštevamo oznake 0, ki pomeni da svetilka ni zaščitena pred vdorom tujkov in pragu, imamo še 6 različnih stopenj:

Oznaka (prva številka)	Velikost tujka, pred katerim je svetilka zaščitena	Opis stopnje zaščite
0	-	Brez zaščite.
1	> 50mm	Zaščita pred vdorom tujkov večjih od 50 mm oz. zaščita pred dotikom na primer s hrbtno stranjo dlani.
2	> 12,5 mm	Zaščita pred vdorom tujkov večjih od 12,5 mm oz. zaščita pred dotikom npr. s prstom.
3	> 2,5 mm	Zaščita pred vdorom tujkov večjih od 2,5 mm oz. zaščita pred dotikom z orodjem npr. z izvijačem.
4	> 1 mm	Zaščita pred vdorom tujkov večjih od 1 mm oz. zaščita pred dotikom z npr. žico
5	zaščita proti nabiranju prahu	Svetilka ni povsem zaščitena proti vdoru prahu, vendar količina vdora ne ovira delovanja svetilke.
6	zaščita pred vdorom prahu	Prašni delci ne morejo vdreti v telo svetilke.

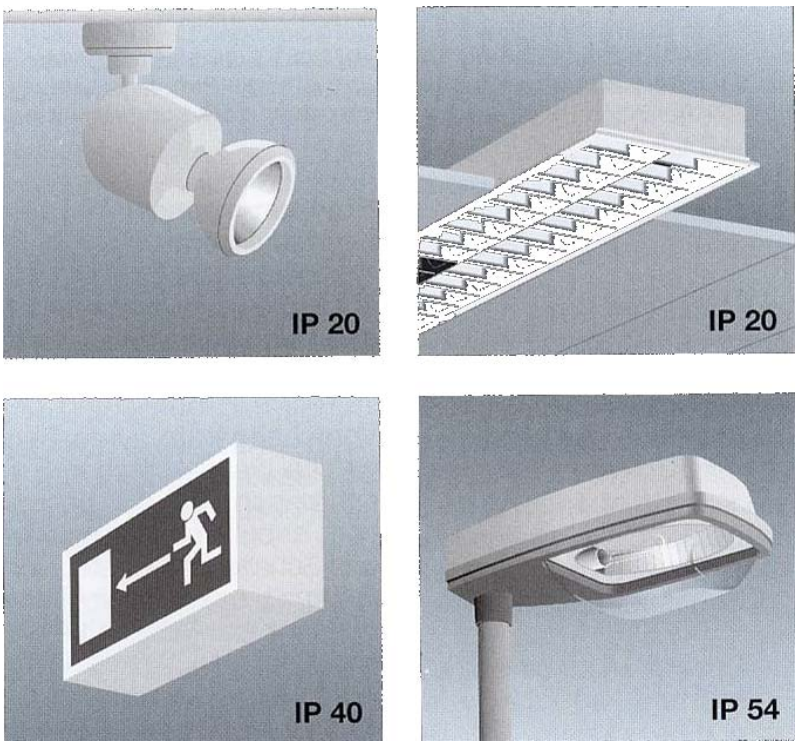
Tabela 6.4: Pomen prve številke v oznaki IP podaja zaščito svetilke oz. naprave pred vdorom tujkov.

Druga številka v IP oznaki pa označuje zaščito proti vdoru vode ali vlage. Poleg oznake 0, ki tudi v tem primeru pomeni, da svetilka ni zaščitena pred vdorom vode, pozna standard še 8 oznak. Njihov pomen je podan v spodnji tabeli.

Oznaka (druga številka)	Opis stopnje zaščite
0	Brez zaščite.
1	Svetilka je zaščitena pred kapljajočo vodo iz navpične smeri.
2	Svetilka je zaščitena pred kapljajočo vodo iz poševne smeri oziroma pred kapljajočo vodo iz navpične smeri, če je svetilka nagnjena do 15°.
3	Svetilka je zaščitena pred pršečo vodo do kota 60° glede na navpičnico.
4	Svetilka je zaščitena pred brizgajočo vodo iz vseh smeri.
5	Svetilka je zaščitena pred curkom vode iz poljubne smeri.
6	Svetilka je zaščitena pred močnim curkom vode iz katerekoli smeri oziroma pred poplavljanjem.
7	Svetilka je zaščitena pred potopitvijo v vodo do globine 1 m ter za omejen čas.
8	Svetilka je zaščitena pred trajno potopitvijo v vodo do globine, večje od 1 m (dovoljena globina je podana na svetilki).

Tabela 6.5: Druga številka v IP oznaki podaja stopnjo zaščite svetilke pred vdorom vode ali vlage.

Če preizkus stopnje zaščite pred vdorom tujkov ali pred vdorom vode ni bil izveden, tako svetilko ne smemo označiti z oznako 0, prav tako pa posamezne številke ne smemo izpustiti. Če bi oznaka vsebovala samo eno številko (npr. IP 2) namreč ni mogoče določiti ali se nanaša na zaščito pred vdorom tujkov ali zaščito pred vdorom vode. V tem primeru se namesto ustrezne številske oznake uporabi črka X. Če se številka 2 nanaša na zaščito pred vdorom tujkov, to označimo z IP 2X. Če pa gre za oznako zaščite pred vdorom vode pa z IP X2.



Slika 6.48: Nekaj primerov IP oznak različnih svetilk.

Za obema številkama lahko oznaka zaščite vsebuje še določene dodatne črkovne oznake. Te se lahko nanašajo ali na zaščito pred dotikom nevarnih delov pod napetostjo ali pa na dodatne informacije, povezane z zaščito svetilke (naprave).

Dodatna črka	Zaščita pred dotikom nevarnih delov pod napetostjo z
A	hrbtno stranjo dlani (kot IP 1X)
B	prstom (kot IP 2X)
C	orodjem (kot IP 3X)
D	žico (kot IP 4X)

Tabela 6.6: Pomen dodatne črkovne oznake, ki podaja stopnjo zaščite pred dotikom nevarnih delov pod napetostjo.

Dodatna črka	Pomen
H	Svetilka oz. naprava za visoko napetost.
M	Preizkus zaščite pred vdorom vode je bil izveden med premikanjem gibljivih delov naprave (npr. med vrtenjem pri motorju)
S	Preizkus zaščite pred vdorom vode je bil izveden med mirovanjem gibljivih delov naprave.
W	Svetilka je odporna tudi na vremenske vplive.

Tabela 6.7: Pomen dodatne črkovne oznake, ki podaja dodatne informacije o zaščiti.

Prvi dve izdaji standarda IEC 60529 sta predvidevali v IP oznaki še tretjo številko, ki naj bi podajala zaščito pred mehanskimi udarci. Kasneje so to oznako umaknili iz standarda in namesto nje uvedli IK oznako. IK oznaka zaščite je opisana v standardu EN 62262 in označuje stopnjo zaščite pred mehanskimi udarci, kot jih prikazuje spodnja tabela:

Stopnja zaščite	Zaščita pred
00	brez zaščite
01	udarcem z jakostjo 0.15 Joula (J)
02	udarcem z jakostjo 0.20 J
03	udarcem z jakostjo 0.35 J
04	udarcem z jakostjo 0.5 J
05	udarcem z jakostjo 0.7 J
06	udarcem z jakostjo 1 J
07	udarcem z jakostjo 2 J
08	udarcem z jakostjo 5 J
09	udarcem z jakostjo 10 J
10	udarcem z jakostjo 20 J

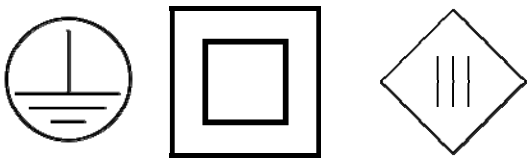
Tabela 6.8: Stopnje IK oznake za označevanje zaščite pred mehanskimi udarci in ustrezne jakosti testnega udarca.

6.5.8 ZAŠČITA PRED DOTIKOM DELOV POD NAPETOSTJO

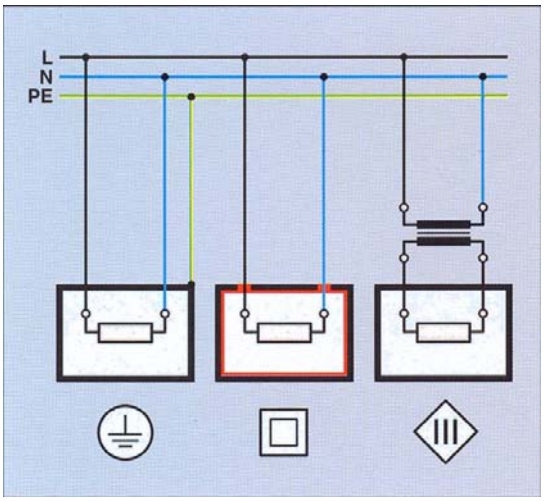
Če ne upoštevamo izjem, kot so na primer plinske svetilke, so svetilke električne naprave. Zato morajo biti, tako kot ostale električne naprave, ustrezno zaščitene pred dotikom delov pod napetostjo.

Standardi (IEC 536-2, IEC 61140) ločijo 5 razredov zaščite pred dotikom delov električnih naprav, ki so pod napetostjo:

- razred 0: svetilka je zaščitena samo z osnovno izolacijo. V primeru okvare te izolacije nastopi možnost dotika izpostavljenega prevodnega dela pod napetostjo. Ker samo enojna zaščita ne zagotavlja ustrezne varnosti uporabnika, take svetilke (električni aparati) niso več dovoljene;
- razred OI: svetilka je poleg z osnovno izolacijo opremljena tudi s sponko z ozemljitvijo. Vendar pa ta sponka v primeru uporabe priključne vrvice s samo dvema žilama ni priključena. Posledično ta razred zaščite tudi ne zagotavlja ustrezne varnosti;
- razred I: poleg uporabe osnovne izolacije so pri tem razredu zaščite tudi vsi izpostavljeni prevodni deli svetilke ozemljeni. V primeru okvare osnovne izolacije bo stik faznega vodnika z izpostavljenih prevodnim delom pognal tok, ki bo povzročil izklop nadtokovne zaščite ali stikala na diferenčni tok (RCD stikalo);
- razred II: svetilke razreda II so poleg z osnovno izolacijo opremljene še z dodatno izolacijo ali pa je osnovna izolacija ustrezno ojačana. V primeru poškodbe ali okvare osnovne izolacije tako dodatna izolacija zagotavlja ustrezno varnost uporabnika;
- razred III: svetilke razreda III se napajajo iz vira električne energije, ki ustreza zahtevam za varnostno malo napetost (SELV). To pomeni, da je napajalna napetost dovolj majhna, da v primeru okvare svetilke skozi telo ne more pognati nevarnega toka.



Slika 6.49: Oznake zaščite svetilk (električnih naprav) pred dotikom delov pod napetostjo. Od leve: oznaka za ozemljitveno sponko, pri napravah razreda I, oznaka za zaščitni razred II – zaščita z dvojno izolacijo in oznaka za zaščitni razred III – uporaba varnostne male napetosti.



Slika 6.50: Prikaz razredov zaščite pred dotikom delov pod napetostjo. Od leve proti desni: razred I, razred II in razred III.

6.5.9 OZNAKA PROTIPOŽARNE ZAŠČITE

Praktično vsi svetlobni viri se pri proizvodnji svetlobe tudi segrevajo. Največ toplote poleg svetlobe proizvedejo sicer navadne in halogenske žarnice, vendar pa precej visoke temperature dosežejo tudi drugi svetlobni viri. Zaradi tega so svetilke lahko potencialni vzrok požara in jih ne smemo nameščati na gorljive materiale oziroma je treba med njimi in gorljivim materialom namestiti ustrezno požarno pregrado. Izjema so svetilke, ki so izdelane tako, da njihova zunanja površina ne preseže določene temperature in jih lahko namestimo tudi na gorljive materiale oziroma na (v) pohištvo. Take svetilke so označene s posebnimi simboli, ki so prikazani v spodnji tabeli.

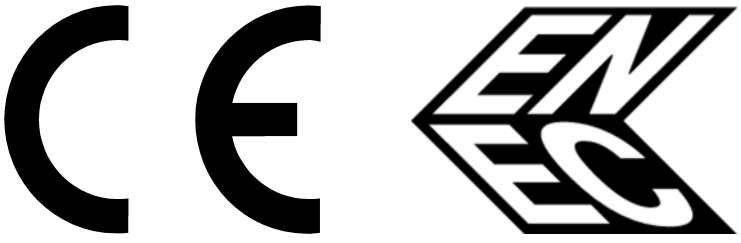
Oznaka	Opis
	Dovoljena namestitev na materiale z vnetiščem nad 180 °C
	Dovoljena montaža na (v) pohištvo iz materiala z vnetiščem nad 180 °C
	Dovoljena montaža na (v) pohištvo iz poljubnega materiala (upoštevati navodila)
	Svetilka z omejeno temperaturo površine (pri montaži upoštevati navodila proizvajalca
	Dovoljen položaj montaže (horizontalno)
	Prepovedan položaj montaže (horizontalno)

Tabela 6.9: Oznake protipožarne zaščite svetilk.

6.5.10 OSTALE OZNAKE IN CERTIFICIRANJE SVETILK

Svetilka mora ustrezati vsem obveznim standardom, ki veljajo za svetilke ali katerikoli element, ki je vgrajen v svetilko. Na področju evropske unije tako obstaja več standardov, ki določajo kvaliteto izdelave in obratovanja svetilk, predstikalnih naprav, transformatorjev, štarterjev, vznožkov (okovov) za svetlobne vire ter samih svetlobnih virov.

Proizvajalec mora, v kolikor trži svetilko v katerikoli evropski državi, na svetilko nalepiti znak CE, s katerim izjavlja, da je svetilka skladna z vsemi relevantnimi evropskimi uredbami in standardi, ki se nanašajo na to svetilko. Znak CE ni vezan na preizkuse v neodvisnih laboratoriji, pač pa z njim lahko svetilko opremi proizvajalec sam, če izpolni določene pogoje. Svetilka pa je lahko opremljena tudi z znakom ENEC, ki pomeni, da je svetilko testirala neodvisna testna organizacija (laboratorij) in potrdila, da je skladna z relevantnimi standardi.

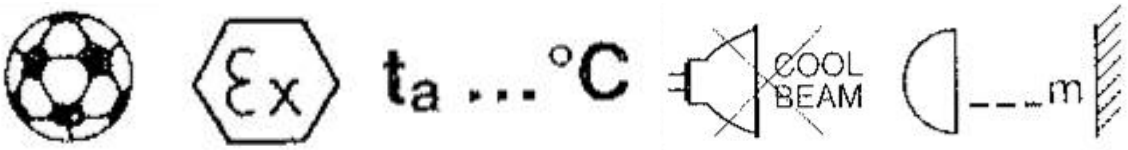


Slika 6.51: Izgled CE in ENEC znaka

Poleg tega je svetilka lahko opremljena tudi z znakom zaščite pred radijskimi motnjami. Znak pomeni, da svetilka med obratovanjem ne povzroča motenj, ki bi motile sprejem radijskega ali televizijskega signala. Oznaka je namenjena svetilkam, ki se uporabljajo v bivalnih prostorih . Svetilke za delovne prostore so iz označevanja s to oznako izvzete.

Slika 6.52: Izgled oznake za zaščito svetilke pred radijskimi motnjami. Levi znak je namenjen svetilkam s fluorescenčnimi sijalkami, desni pa svetilkam s fluorescenčnimi sijalkami in elektronsko predstikalno napravo.

Na spodnji sliki je še nekaj znakov, ki jih lahko srečamo na svetilkah. Levo je znak, ki pomeni, da je svetilka opremljena z zaščitno mrežo, ki jo ščiti pred udarci z žogo. Take svetilke so namenjene športnim objektom. Če je raster mreže večji od 60 mm je znak običajno opremljen z dodatnim napisom »ni za tenis«. Sledi znak za proti-eksplozijsko zaščito. Svetilko, ki je opremljena s takim znakom lahko uporabljamo v eksplozijsko ogroženih prostorih, seveda v skladu z ostalimi deli oznake. Tretja oznaka je oznaka dovoljeno temperaturo okolice, nato sledi oznaka, ki prepoveduje uporabo »cool beam« svetlobnih virov v svetilki in čisto desno je še oznaka za minimalno razdaljo žarometa od osvetljenega predmeta.



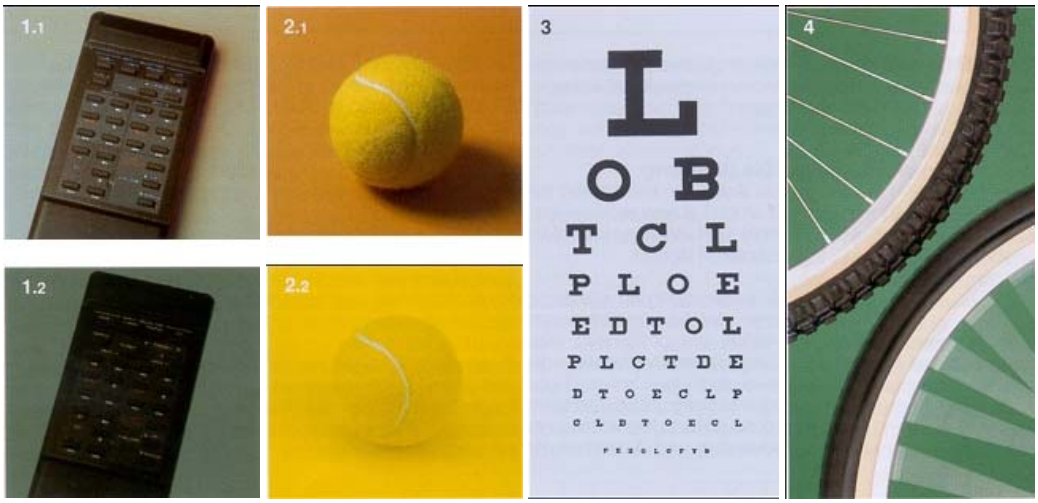
Slika 6.53: Dodatne možne oznake na svetilkah. Od leve proti desni: oznaka zaščite pred poškodbo z žogo, oznaka protieksplozijske zaščite, oznaka najvišje dovoljene temperature okolice, oznaka prepovedi uporabe »cool beam« svetlobnih virov in oznaka minimalne dovoljene razdalje žarometa od osvetljenega predmeta

7 NAČRTOVANJE RAZSVETLJAVE

Razsvetljava je v prvi vrsti namenjena zagotavljanju vidnih sposobnosti. Zato je potrebno pri načrtovanju razsvetljave vedno izhajati iz namembnosti prostora, za katerega načrtujemo razsvetljavo ter iz potreb po svetlobi, pri delu ali »delu«, ki se bo opravljalo v prostoru. Seveda pa je to samo en vidik načrtovanja razsvetljave. Poleg tega, da mora svetloba zagotoviti ustrezne vidne pogoje, mora biti razsvetljava tudi ustrezno integrirana v stavbo oziroma okolje, biti mora varčna oziroma energetsko učinkovita ter omogočati primerno namestitev in vzdrževanje. Pri vsem tem pa ne smemo pozabiti na ceno oziroma stroške, ki so povezani z inštalacijo, vzdrževanjem in obratovanjem razsvetljave, ki jo načrtujemo.

7.1 KAKOVOST NOTRANJE RAZSVETLJAVE

Uporaba našega čutila za vid in s tem kontakt z našo okolico sta neločljivo povezana s svetlobo. Svetloba Sonca nas spremlja že od vsega začetka in je imela veliko vlogo tudi pri našem razvoju. Ima pa eno veliko pomanjkljivost: ni na voljo vedno in tudi ne povsod. Zato je človek že zelo zgodaj začel uporabljati umetne svetlobne vire. Danes je umetna svetloba oziroma razsvetljava z umetno svetlobo nepogrešljiv del našega sveta in brez nje bi si težko predstavljali naše življenje.



Slika 7.1: Naše zaznavanje okolice in predmetov je odvisno od njihove svetlosti, kontrasta (v svetlosti ali barvi) med okolico in predmetov, velikosti predmeta in časa zaznavanja.

Namen razsvetljave z umetno svetlobo je, da nam omogoči zaznavanje naše okolice. Če želimo predmete v naši okolici videti oziroma jih razločiti, pa morajo biti izpolnjeni sledeči pogoji:

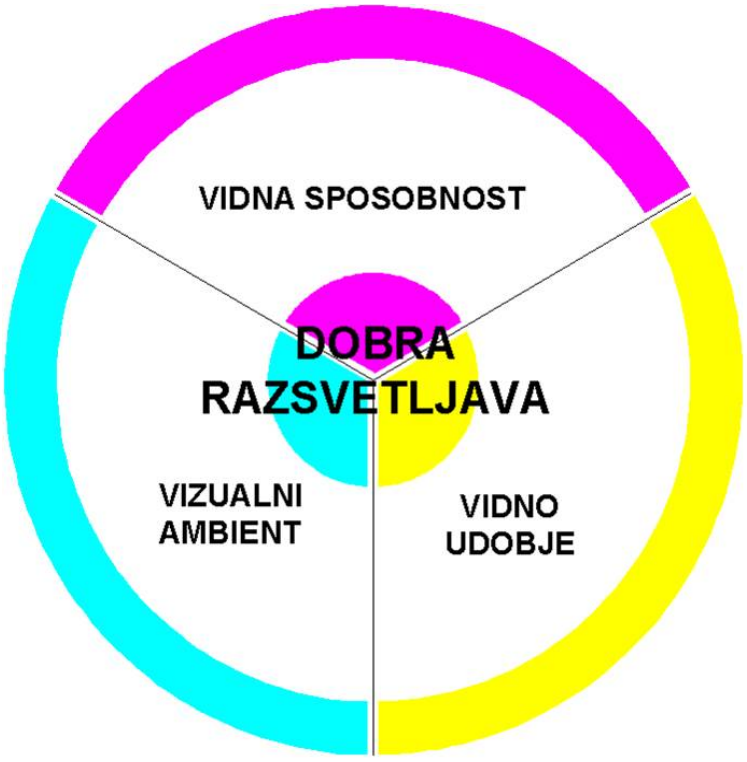
- minimalna svetlost predmetov oziroma okolice. Detajli, ki jih pri močni sončni svetlobi opazimo brez težav, se nam v mraku izgubijo. Ne samo zaznavanje detajlov, pač pa tudi zaznavanje barv je močno odvisno od svetlosti predmetov;
- minimalen kontrast; predmet se mora razlikovati od okolice v svetlosti ali barvi, drugače ga ne moremo opaziti;

- minimalna velikost opazovanega predmeta tudi vpliva na njegovo zaznavanje. Večji kot je predmet, lažje ga opazimo. Vendar pa je pri večji svetlosti predmeta ostrina našega vida večja in lažje opazimo tudi manjše predmete;
- minimalen čas in sicer minimalen čas zaznavanja ter minimalen čas, potreben za adaptacijo naših oči na nove razmere, če se je svetlost okolice spremenila. Ker naš vidni sistem temelji na kemijskih spremembah v fotoreceptorjih, mora biti predmet dovolj časa v našem vidnem polju. Zato predmete, ki gredo prehitro mimo nas ali pa se zelo hitro spreminjajo (npr. vrtijo), ne moremo (dobro) opaziti.

Osnovna naloga razsvetljave z umetno svetlobo je torej zagotoviti ustrezne vidne pogoje, ki jih lahko na kratko povzamemo kot dovolj velika svetlost okolice in predmetov v njej ter ustrezna enakomernost svetlosti. Dobra razsvetljava pomeni dobre vidne pogoje in s tem lažje delo, to pa pomeni tudi večjo produktivnost, večjo kakovost, pa tudi večjo varnost pri delu. Dobra razsvetljava tako tudi motivira za boljše delo. in zmanjša utrujenost pri delu. Dobra razsvetljava je tudi rentabilna investicija saj zaradi manj napak in poškodb zmanjša stroške. Po drugi strani zaradi boljše motivacije za delo poveča produktivnost in zaradi večje koncentracije pri delu poveča kakovost opravljenega dela.

7.1.1 OPTIMALNA RAZSVETLJAVA

Včasih je zadoščalo, če je razsvetljava z umetno svetlobo zagotavljala ustrezne vidne sposobnosti delavca na delovnem mestu. Danes od razsvetljave pričakujemo več. Poleg zagotavljanja ustreznih vidnih sposobnosti mora nuditi tudi dobro vidno udobje in prispevati k boljšemu vizualnemu ambientu.



Slika 7.2: Tri glavne naloge razsvetljave z umetno svetlobo: zagotavljanje vidnih sposobnosti, zadostnega vidnega udobja in prijetnega vizualnega ambienta.

Zagotavljanje vidnih sposobnosti pomeni, da nam razsvetljava omogoča izvajanje zadanih vidnih nalog. Od svetlosti predmetov in okolice je namreč odvisno kako hitro in kako točno bomo lahko delo opravljali. Razsvetljava mora tudi nuditi vidno udobje oziroma dobro počutje pri delu. To pomeni, da gledamo oziroma vidimo potrebne detajle brez prevelikega truda, naprezanja in utrujenosti. Razsvetljava pa lahko tudi oblikuje našo okolico (vidni ambient) in tako izboljša naše razpoloženje. Ob dobri razsvetljavi prostor okoli nas doživljamo pozitivno, ni nas stran (vsaj podzavestno) in prostor stimulira za dobro opravljanje dejavnosti.

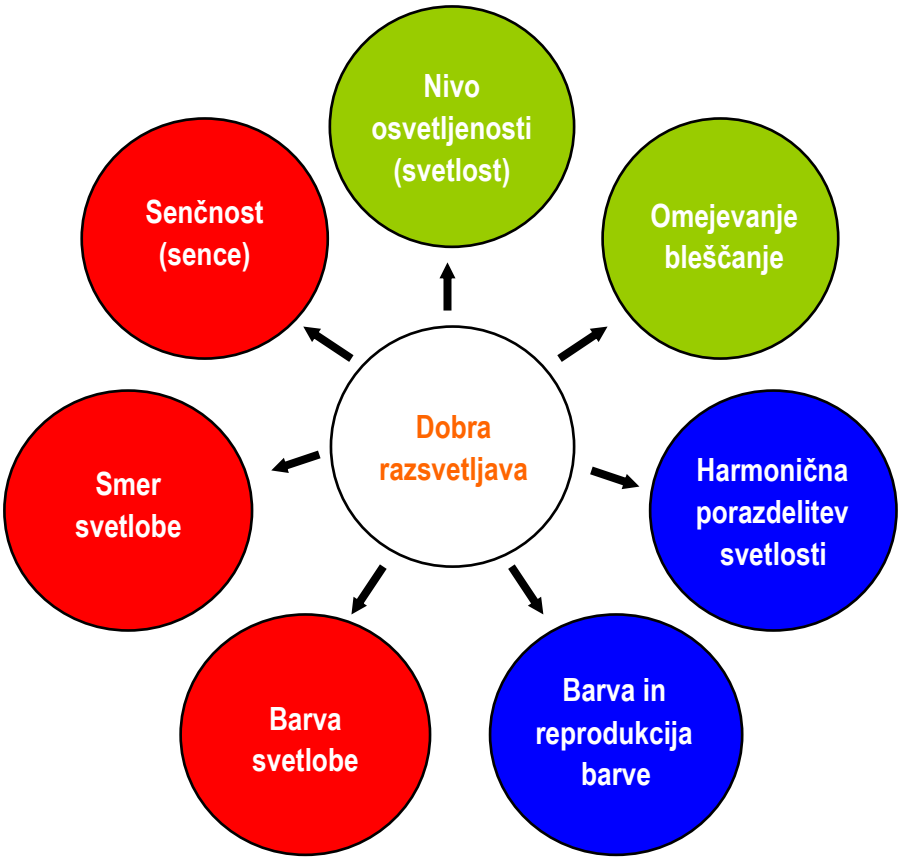
Seveda pa se pri načrtovanju razsvetljave dostikrat srečamo s situacijo, ko si zahteve po omenjenih glavnih nalogah razsvetljave nasprotujejo. Na primer za delo z zelo drobnimi predmeti je potrebna visoka osvetljenost delovnega mesta, to pa lahko poslabša prijetnost vizualnega ambienta. V takih primerih moramo eni (ali dvema) od omenjenih nalog razsvetljave dati prednost pred drugima. Katero izberemo za bolj pomembno je seveda odvisno od dejavnosti, ki se bo v prostoru odvijala. V delovnih prostorih je na prvem mestu zagotavljanje vidne sposobnosti pa tudi ustrezno vidno udobje. Oboje lahko dostikrat dosežemo samo na račun slabšega vizualnega ambienta. V prostorih namenjenih počitku je seveda na prvem mestu ustrezen vizualni ambient, ki mu sledi vidno udobje. Če so naše vidne sposobnosti pri tem malo omejene to ni narobe, saj v tem prostorih ne opravljamo dela. Z ustrezno izbiro prioritet glede na dejavnost v prostoru lahko torej za vsak prostor pridemo do optimalne razsvetljave.

7.1.2 LASTNOSTI DOBRE RAZSVETLJAVE

Po temeljitem razmisleku kaj vpliva na naštete naloge dobre razsvetljave oziroma kako doseči dobre vidne sposobnosti, vidno udobje pri delu in ustrezen vizualni ambient, pridemo do sedem lastnosti dobre razsvetljave:

- zadosten nivo osvetljenosti (svetlosti),
- ustrezno omejeno bleščanje,
- harmonična porazdelitev svetlosti,
- zadosten indeks barvnega videza,
- ustrezna barva svetlobe,
- primerna smer svetlobe in
- ustrezne sence, ki jih povzroča razsvetljava.

Prvi dve lastnosti vplivata na vidno sposobnost, ki jo razsvetljava zagotavlja z ustrezno svetlostjo oziroma osvetljenostjo predmetov in njihove okolice. Seveda je pri tem zelo pomembno, da razsvetljava ne blešči. Naslednji dve lastnosti vplivata na vidno udobje. Slaba porazdelitev svetlosti v prostoru vpliva na naše psihološko zaznavanje prostora, slab indeks barvnega videza svetlobe pa na zaznavanje barv v prostoru. Ob nepravilno izbranih parametrih razsvetljave se bomo morali ob gledanju naprezati, to pa pomeni slabo vidno udobje. Zadnje tri lastnosti lahko pripišemo vplivu na vizualni ambient. Neprimerna barva svetlobe, nepravilna smer in s tem neustrezne sence v prostoru sicer ne vplivajo na naše vidne sposobnosti, zato pa prostor naredijo neprivlačen.



Slika 7.3: Sedem lastnosti dobre razsvetljave. Zeleni del vpliva na zagotavljanje vidnih sposobnosti, modri del na vidno udobje v prostoru in rdeči del na prijetnost vizualnega ambienta.

7.1.3 NIVO OSVETLJENOSTI

Za delovanje našega vidnega sistema so pomembne svetlosti opazovanih predmetov ter njihove okolice. Višje svetlosti in večji kontrasti (razlike med svetlostjo predmetov in okolice) pomenijo lažjo vidno nalogo.

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

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

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

Slika 7.4: Zahtevnost vidne naloge je odvisna od svetlosti predmeta in okolice ter kontrasta (razlike svetlosti) med njima. Branje črnega teksta na beli podlagi je nezahtevna vidna naloga, branje sivega teksta na črni podlagi pa lahko smatramo za težko vidno nalogo.

Potrebna osvetljenost

Vendar pa je svetlosti praktično nemogoče predvideti v naprej, torej v fazi načrtovanja razsvetljave, saj so odvisne od osvetljenosti in odsevnosti predmetov in površin v našem vidnem polju. Zato se pri načrtovanju razsvetljave običajno zadovoljimo z doseganjem ustreznih osvetljenosti, pri čemer računamo na določene povprečne in običajne svetlosti površin in predmetov v območju posameznih vidnih nalog (delovnih mest).

Za optimalne vidne pogoje mora biti svetlost opazovane površine nad 100 cd/m^2. Če upoštevamo, da je odsevnost pisarniškega papirja približno 70 %, lahko izračunamo ustrezno osvetljenost v pisarni s pomočjo spodnjega izraza.

$$E = \frac{L \cdot \pi}{\rho} = \frac{100 \cdot \pi}{0{,}7} = 450\ lx$$

Enačba 34: Ustrezna osvetljenost pisarniškega delovnega mesta ob predpostavki, da je odsevnost papirja približno enaka 70 %. V izrazu je L ustrezna svetlost papirja, ρ pa njegova odsevnost.

Vidna naloga	Potrebna osvetljenost
Gibanje na prostem	30 lx
Gibanje v prostoru, orientacija, občasno bivanje	100 lx
Občasno delo	150 lx
Opravila pri majhnih zahtevah za vid	300 lx
Opravila pri povprečnih zahtevah za vid	500 lx
Opravila pri večjih zahtevah za vid	750 lx
Opravila pri velikih zahtevah za vid	1000 lx
Opravila pri posebnih zahtevah za vid	1500 lx
Zelo natančne vidne naloge	> 2000 lx

Tabela 7.1: Okvirne vrednosti osvetljenosti glede na zahtevnost vidne naloge.

Iz zgornje tabele lahko ugotovimo, da je primerna osvetljenost hodnikov in podobnih prostorov med 100 lx in 150 lx. Pri stalnih delovnim mestih, kjer so vidne naloge lahke (npr. delo z večjimi predmeti v normalno kontrastnem okolju) zadošča osvetljenost 300 lx, pri težjih vidnih nalogah (delo z zelo majhnimi predmeti v slabo kontrastnem okolju), pa mora biti osvetljenost večja. Pri zelo zahtevnih vidnih nalogah so potrebne tudi osvetljenosti do 1.500 lx, kjer pa si ne moremo privoščiti napak (npr. pri operaciji na odprtem prsne košu) pa še veliko večje, tudi do 20.000 lx. Na podlagi teh vrednosti lahko pri upoštevanju zahtevnosti vidne naloge v posameznem prostoru določimo potrebne osvetljenosti. Nekaj vrednosti je zbranih v spodnji tabeli. Običajno večja osvetljenost pomeni lažje opravljanje vidne naloge in s tem tudi lažje delo. Vendar pa večja osvetljenost pomeni tudi večje stroške in sicer tako večjo investicijo v razsvetljavno napravo kot tudi večje obratovalne stroške (višji račun za električno energijo). Zato se pri izbiri ustreznih osvetljenosti vedno išče določen kompromis med lažjimi pogoji dela, ki lahko prinesejo tudi večjo produktivnost in s tem večji dobiček ter med nižjimi stroški za razsvetljavo. Da pa pri iskanju kompromisa ne bi preveč poslabšali pogojev dela za delavce, se moramo pri izbiri osvetljenosti držati standardov in priporočil, ki podajajo minimalne potrebne vrednosti osvetljenosti za posamezna delovna mesta.

Prostor	Potrebna osvetljenost
Koncertna dvorana	100 lx
Knjižnica (del s knjižnimi policami)	200 lx
Čitalnica	500 lx
Pisarna (splošno)	500 lx
Stopnišča in hodniki	100 lx – 150 lx
Učilnice in predavalnice	300 lx – 500 lx
Risalnice	750 lx
Laboratoriji	500 lx
Operacijske dvorane (mesto operacije)	> 10000 lx

Tabela 7.2: Okvirne vrednosti osvetljenosti glede na vrsto prostora.

V Sloveniji je za razsvetljavo delovnih prostorov merodajen privzeti evropski standard z oznako SIST EN 12464. Standard ima dva dela, prvi del (SIST EN 12464-1 Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 1. del: Notranji delovni prostori) se nanaša na delovna mesta v prostorih, drugi del (SIST EN 12464-2 Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 2. del: Zunanji delovni prostori) pa na delovna mesta na prostem. Glavni del standarda predstavlja tabela v kateri so navedena različna delovna mesta in potrebni parametri za njihovo razsvetljavo.

Table 5.11 — Industrial activities and crafts – Electrical and electronic industry

Ref. no.	Type of area, task or activity	$\bar{E}_m$ lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specific requirements
5.11.1	Cable and wire manufacture	300	25	0,60	80	
5.11.2	Winding: - large coils - medium-sized coils - small coils	 300 500 750	 25 22 19	 0,60 0,60 0,70	 80 80 80	
5.11.3	Coil impregnating	300	25	0,60	80	

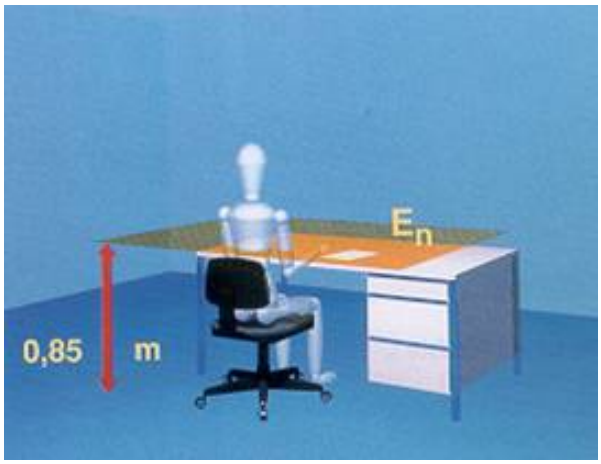
Slika 7.5: Del tabele iz angleške verzije standarda EN 12464-1:2011, kjer lahko vidimo opise delovnih mest (v tem primeru v električni in elektronski industriji) in v prvem stolpcu zahtevane vzdrževane osvetljenosti za ta delovna mesta.

V standardu podane zahtevane osvetljenosti so t.i. vrednosti vzdrževane osvetljenosti. Gre za vrednosti pod katere osvetljenost na delovnih mestih (na površini delovne naloge) v nobenem primeru ne sme pasti. Dejanska osvetljenost mora torej biti nekaj večja. Ker osvetljenost zaradi staranja svetlobnega vira, zapraševanja svetilke … s časom pada, je pri projektiranju potrebno predvideti nekaj večjo vrednost. Podane osvetljenosti se vedno nanašajo na dejansko področje in usmerjenost vidne naloge in ne na povprečno osvetljenost v prostoru. Če je torej v standardu podana potrebna osvetljenost za navijanje manjših tuljav 750 lx, moramo to osvetljenost zagotoviti na mestu, kamor delavec gleda medtem ko navija tuljavo, torej na sami tuljavi. V okolici tega delovnega mesta je osvetljenost lahko nekoliko nižja.

Osvetljenost delovne površine	Osvetljenost neposredne okolice
≥ 750 lx	500 lx
500 lx	300 lx
300 lx	200 lx
200 lx	150 lx
≤150 lx	enako kot osvetljenost delovne površine

Tabela 7.3: Potrebne osvetljenosti neposredne okolice delovne površine (področja dela) v odvisnosti od osvetljenosti delovnih površin.

Če pri načrtovanja razsvetljave še ne poznamo razporeda delovnih mest v prostoru, moramo ustrezne osvetljenosti zagotoviti po celotnem prostoru. Običajno se s takim problemom srečamo pri načrtovanju razsvetljave poslovnih stavb, kjer sicer vemo, da se bo v prostoru odvijala pisarniška dejavnost, ne poznamo pa točnega števila pisalnih miz v prostoru in njihove razporeditve. V takih primerih razsvetljavo načrtujemo tako, da po celotnem prostoru na višini 0,85 m dosežemo povprečno osvetljenost 500 lx, ki se zahteva za delo v pisarni. V kolikor pa vemo tudi, da se bodo vsa dela odvijala v sedečem položaju, lahko višino delovnih mest znižamo na 0,70 m.



Slika 7.6: V prostorih, kjer se delo odvija za pisalno mizo (pisarniški in podobni prostori) moramo vrednost vzdrževane osvetljenosti iz standarda doseči na površini pisalne mize. V koliko v času načrtovanja te višine ne poznamo, običajno uporabimo višino 0,85 m.

Enakomernost osvetljenosti

V standardu podane vrednosti vzdrževane osvetljenosti so vedno povprečne vrednosti in sicer gre za povprečje na površini delovne naloge, saj je (tudi na manjših površinah) zelo težko doseči popolnoma enakomerno osvetljenost. Da pa osvetljenosti na posameznih delih delovne površine ne bi bile preveč različne, kar bi seveda lahko povzročajo težave pri delu, standard podaja tudi zahtevano enakomernost osvetljenosti.

$$U_0 = \frac{E_m}{E_{sr}}$$

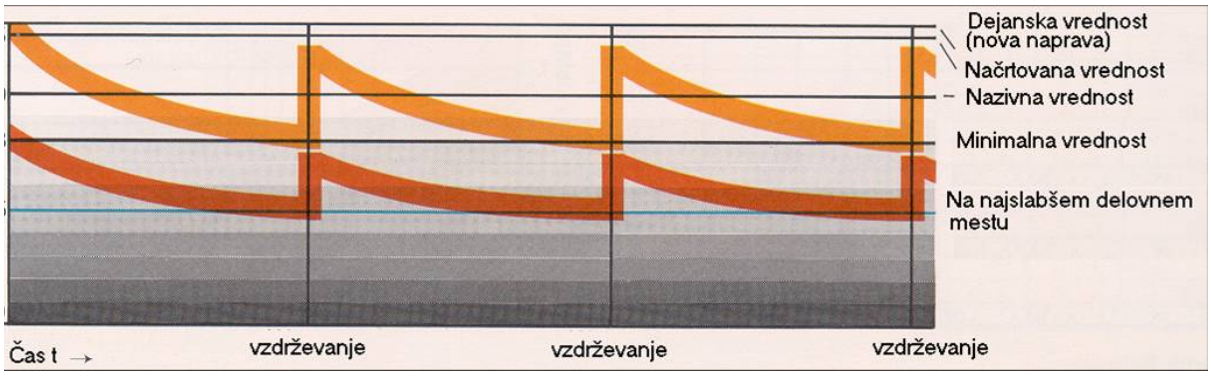
Enačba 35: Prostorska enakomernost osvetljenosti je podana kot razmerje med minimalno vrednostjo osvetljenosti (E_m) in povprečno vrednostjo osvetljenosti (E_{sr}).

V prejšnji verziji standard iz leta 2001 je bila za vse vidne naloge določena enotna zahtevana enakomernost osvetljenosti v vrednosti 0,7. Minimalna izmerjena (izračunana) osvetljenost torej ni smela biti manjša od 70 % povprečne vrednosti osvetljenosti v vseh merilnih (računskih) točkah. Za razliko od stare verzije, pa nova verzija standarda EN 12464-1:2011 podaja zahtevano enakomernost za vsako delovno mesto posebej. Za določena delovna mesta so tako v novi verziji standarda dovoljene tudi enakomernosti osvetljenosti, ki so manjše od 0,7 (glej sliko 7.5, stolpec označen z U_0). Za osvetljenost neposredne okolice področja dela (delovne naloge) standard določa kot ustrezno enakomernost v višini 0,5.

Pri načrtovanju razsvetljave pa ne smemo pozabiti tudi na enakomernost osvetljenosti med posameznimi prostori. Če je namreč razlika v osvetljenostih sosednjih prostorov prevelika, bomo lahko pri prehodu iz enega prostora v drugega, na primer iz zelo osvetljene finomehanične delavnice (1000 lx) na sosednji hodnik (100 lx) imeli težave z adaptacijo oči (prilagoditev na svetlost okolice), ki zahteva nekaj časa. Zato je priporočljivo, da so osvetljenosti sosednjih prostorov v razmerju, ki ni večje od 1:5. To pomeni, da bi v zgornjem primeru bilo potrebno zagotoviti osvetljenost hodnika vsaj 200 lx, čeprav standard kot ustrezno podaja vrednost 100 lx.

Časovna enakomernost osvetljenosti

Osvetljenost v prostoru s časom pada. Delno je to posledica upada svetlobnega toka zaradi staranja svetlobnih virov, delno pa zaradi nabiranja prahu na svetilki oziroma na stenah prostora, kar zmanjšuje presevnost oz. odsevnost svetlobe. Glede na to, da je predpisana vzdrževana osvetljenost v standardu najmanjša dovoljena vrednost osvetljenosti na delovnih mestih, je potrebno v trenutku, ko osvetljenost pade pod mejo vzdrževane osvetljenosti, izvesti vzdrževanje razsvetljave.



Slika 7.7: Ker osvetljenost s časom pada, je potrebno vsakič, ko pade pod predpisano vrednost vzdrževane osvetljenosti na najslabše osvetljenem delovnem mestu, izvesti vzdrževanje.

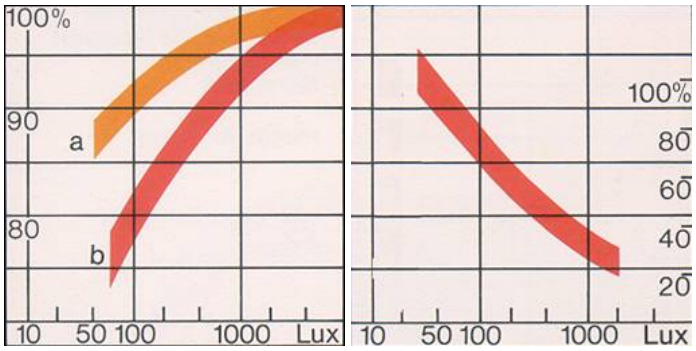
Vzdrževanje razsvetljave običajno vključuje zamenjavo nedelujočih svetlobnih virov ter čiščenje svetilk. V kolikor se v prostoru opravlja dejavnost, ki povzroča tudi večje nabiranje prahu na stenah prostora, je v sklopu vzdrževanja razsvetljave priporočljivo izvesti tudi pleskanje prostora z barvami, ki imajo ustrezno visoko odsevnost. Na pogostost vzdrževanja vpliva predvsem izbrana začetna vrednost osvetljenosti v prostoru, na katero tudi projektiramo razsvetljavo. Če je ta večja, bodo tudi intervali med potrebnimi

vzdrževanji večji. Običajna vrednost t.i. faktorja načrtovanja je 1,25 (oziroma 0,8), kar pomeni da je začetna vrednost osvetljenosti pri novi razsvetljavi 25 % večja od zahtevane vrednosti vzdrževane osvetljenosti v prostoru oziroma na delovnih mestih.

Na izbran faktor načrtovanja vplivata razmerje med stroški za vzdrževanje in velikostjo investicije v »povečano« razsvetljavo. Če gre za prostor, kjer je vzdrževanje enostavno in lahko sproti brez večjih stroškov zamenjamo vsak nedelujoči svetlobni vir sproti, potem je lahko faktor načrtovanja ustrezno nižji. V prostorih, kjer je dostop do svetilk otežen (visoki prostori, stalna zasedenost prostora, večji predmeti pod svetilkami) oziroma kjer je vzdrževanje povezano z večjimi stroški (potreba po uporabi dvižne ploščadi in ustrezno kvalificirane delovne sile) pa je potrebno izbrati večji faktor načrtovanja, saj bomo zaradi omenjenih vzrokov razsvetljavo vzdrževali manj pogosto. Stroški vzdrževanja vplivajo tudi na način menjave svetlobnih virov. Če je zamenjava svetlobnih virov enostavno, bomo običajno menjali vsak svetlobni vir posebej in to takoj po tem, ko neha delovati. Če je zamenjava svetlobnih virov problem, bomo ob vzdrževanju zamenjali vse svetlobne vire hkrati, tudi tiste, ki še delujejo. Glede na to, da imajo svetlobni viri določeno življenjsko dobo, je zelo verjetno, da bodo starejši svetlobni viri, ki smo jih pustili v svetilkah, zelo kmalu odpovedali.

Posebne zahteve za osvetljenost

Ne glede na to, da predpisane vrednosti vzdrževane osvetljenosti zadoščajo za zagotavljanje vidnih sposobnosti na delovnih mestih, se v določenih primerih vseeno odločimo za višje vrednosti osvetljenosti, kot jih predpisuje standard.



Slika 7.8: Nivo osvetljenosti na delovnem mestu vpliva na relativno sposobnost vida (leva slika: a .. lažja vidna naloga – branje črnega teksta na beli podlagi, b .. težja vidna naloga – branje črnega teksta na sivi podlagi) ter na utrujenost delavcev (desna slika – pri nizkih osvetljenostih je delež delavcev, ki se po koncu delovnega časa počutijo utrujeni, večji) .

Z večjo osvetljenostjo na delovnem mestu lahko bistveno pomagamo delavcem na delovnih mestih v primeru, ko:

- so na delovnem mestu prisotni nenormalno nizki kontrasti (na primer branje sivega teksta na črni podlagi);
- se na delovnem mestu izvaja težje vidne naloge (npr. rokovanje z izredno majhnimi predmeti);
- želimo zmanjšati število napak pri delu;
- sta točnost in produktivnost pri delu zelo pomembna;
- je vidna sposobnost delavcev pod povprečjem.

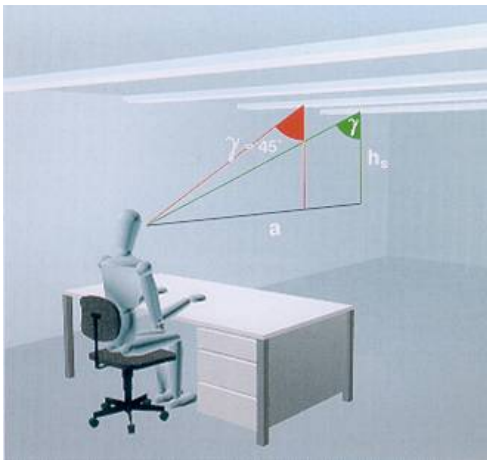
Še posebej v tem zadnjem primeru je priporočljivo, da izberemo vsaj za razred večjo osvetljenost, kot je predpisana v standardu. Vidna sposobnost delavcev je lahko pod povprečjem zaradi zdravstvenih težav z očmi oziroma invalidnosti, pa tudi zaradi starosti. Ker ostrina vida s starostjo pada, lahko starejšim delavcem z višjo osvetljenostjo precej olajšamo delo.

V izjemnih primerih (na primer, kadar so kontrasti na delovnem mestu zelo visoki, ali kadar imamo opraviti z zelo bleščečimi predmeti) lahko izberemo tudi za razred nižjo osvetljenost, kot je predpisana v standardu, vendar moramo res dobro premisliti, če je taka izbira upravičena. V večini primerov je problem bolje reševati s večjo splošno osvetljenostjo prostora ali z bolj difuzno svetlobo.

7.1.4 OMEJEVANJE BLEŠČANJA

Na vidne sposobnosti delavca na delovnem mestu vpliva tudi bleščanje. Bleščanje lahko slepi delavca (fiziološko bleščanje) in s tem zmanjšuje njegove vidne sposobnosti ali pa pri delavcu povzroča večjo utrujenost (psihološko bleščanje). Zato je potrebno razsvetljavo načrtovati tako, da bleščanje zmanjšamo na najmanjšo možno meri.

Bleščanje povzročajo predvsem predmeti v vidnem polju, ki so blizu smeri pogleda. Ker so svetilke običajno nameščene na stropu, na bleščanje najbolj vplivajo tiste, ki so od delavca malo bolj oddaljene in je kot med smerjo podlega ter smerjo proti svetilki manjši od 45°.



Slika 7.9: Svetilke, ki so kritične v pogledu bleščanja, se običajno nahajajo pred delavcem in na takih mestih, da je kot med smerjo pogleda in smerjo proti svetilki manjši od 45°.

Bleščanje se da opraviti ali vsaj omejiti s pravilnim načrtovanjem razsvetljave. Predvsem moramo biti pozorni na svetlost svetilk v smeri proti delavcu. Z izborom svetilk z manjšimi svetlostmi v področju kotov nad 45° glede na pravokotnico na svetlečo ploskev svetilke, bomo bleščanje zmanjšali. Poleg tega lahko bleščanje zmanjšamo tudi z ustrezno razporeditvijo svetilk glede na delovna mesta (tako da se svetilke ne nahajajo direktno pred delavcem v smeri pogleda).

V standardu SIST EN 12464-1 je kot merilo za bleščanje uporabljen indeks bleščanja (UGR – Unified Glare Rating). Definiran je z naslednjo enačbo:

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

Enačba 36: Indeks bleščanja (UGR) je odvisen od svetlosti potencialnega vira bleščanja (L), svetlosti ozadja (L_b) prostorskega kota, pod katerim vidimo vir (ω) ter Guthovega indeksa (p), ki je odvisen od kota med smerjo pogleda in smerjo proti svetilki.

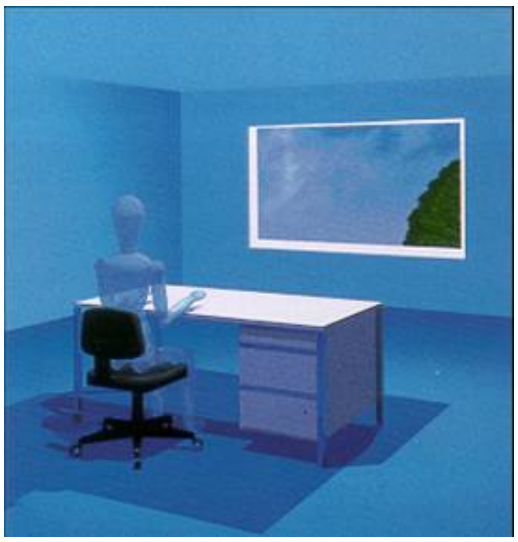
Iz zgornje enačbe vidimo, da večja svetlost svetilk v vidnem polju (L) prinese večje bleščanje. Po drugi strani večja svetlost ozadja (L_b) bleščanje zmanjša. Na bleščanje vpliva tudi velikost svetlobnega vira, ki je v enačbi predstavljena s prostorskim kotom (ω), pod katerim vidimo svetlobni vir in pa smer, pod katerim vidimo svetlobni vir. Le-ta je v enačbo vpeljana preko t.i. Guthovega indeksa (p). Večja vrednost UGR pomeni večje bleščanje.

Podobno kot lahko v standardu SIST EN 12464-1 za (skoraj) vsako delovno mesto najdemo najmanjšo dovoljeno osvetljenost, najdemo tudi največjo dovoljeno vrednost indeksa bleščanja.

Table 5.11 — Industrial activities and crafts – Electrical and electronic industry

Ref. no.	Type of area, task or activity	$\bar{E}_m$ lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specific requirements
5.11.1	Cable and wire manufacture	300	25	0,60	80	
5.11.2	Winding: - large coils - medium-sized coils - small coils	 300 500 750	 25 22 19	 0,60 0,60 0,70	 80 80 80	
5.11.3	Coil impregnating	300	25	0,60	80	

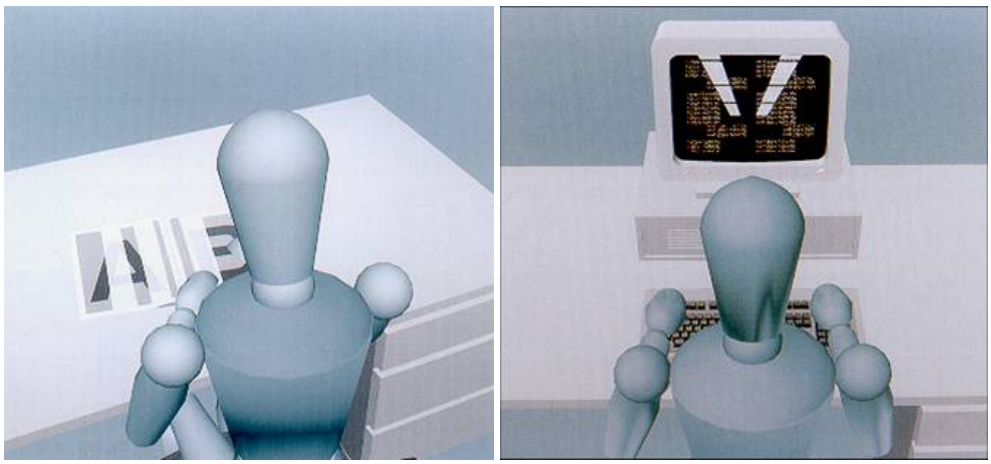
Slika 7.10: Standard EN 12464-1:2011 poleg zahtevane vrednosti vzdrževane osvetljenosti podaja tudi največjo dovoljeno vrednost indeksa bleščanja (UGR).



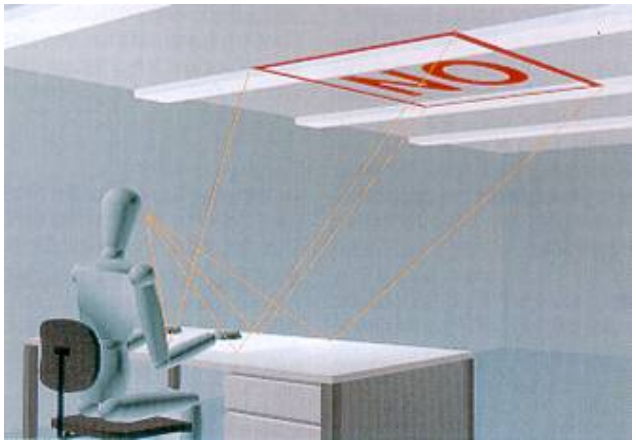
Slika 7.11: Okna so lahko znaten vir bleščanja v delovnih prostorih, zato je potrebno predvideti ustrezna zunanja ali notranja (oziroma oboja) senčila s katerimi lahko zmanjšamo vpad direktne sončne svetlobe v prostor.

Ne glede na to, da je indeks bleščanja UGR določen z razmeroma preprosto enačbo, ga je zelo težko izmeriti. Zato se pri njegovem določevanju opiramo predvsem na izračune. Večina današnjih programov za izračun osvetljenosti v prostoru zna izračunati tudi indeks bleščanja, če pred tem določimo smer pogleda delavca. Sicer pa standard predvideva, da indeks bleščanja poda proizvajalec svetilk.

Vir bleščanja je lahko tudi naravna svetloba (okna in svetlobniki). Še posedaj gre izpostaviti okna, ki se nahajajo v vidnem polju delavcev in so obrnjena na vzhod ali zahod. V tem primeru je velika možnost, da bo zjutraj (vzhodna okna) ali zvečer (zahodna okna) sonce svetilo direktno v prostor in zaradi nizke višine nad horizontom povzročalo vsaj psihološko, v večini primerov pa tudi fiziološko bleščanje. Zato je potrebno na oknih v delovnih prostorih predvideti ustrezna senčila s katerimi lahko bleščanje zmanjšamo oziroma odpravimo.



Slika 7.12: Odsevi svetlobe na delovni površini oziroma na slikovnem zaslonu zmanjšujejo kontraste in s tem vidno sposobnost delavcev.

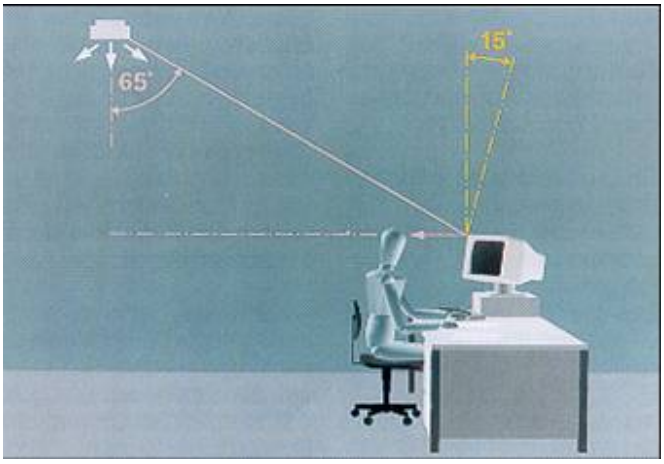


Slika 7.13: Z izbiro pravilnega mesta za svetilke lahko bistveno zmanjšamo ali celo odpravimo odsevno bleščanje na delovnem mestu. Mesto postavitve svetilke je še posebej kritično, kadar imamo na delovnih mestih gladke svetleče površine (npr. zglajene kovinske dele).

Poleg direktnega bleščanja pa lahko težave delavcem na delovnih mestih povzroča tudi odsevno bleščanje – svetilke ali svetleče površine, ki odsevajo od gladkih površin na delovnem mestu. Še posebej so moteči odsevi od slikovnih zaslonov.

Odseve svetlobe na delovnem mestu lahko odpravimo ali vsaj zmanjšamo z ustrezno izbiro materialov na delovnem mestu: Bolj primerni so svetli materiali s hrapavo (mat) površino kot temni zelo gladki materiali. Poleg tega bleščanje razmeroma preprosto odpravimo tudi z ustrezno postavitvijo svetilk na taka mesta, da je vpad svetlobe na delovno mesto od strani in ne od spredaj.

Pri omejevanju bleščanja na slikovnih zaslonih pa je predvsem potrebno izbrati ustrezne svetilke. Primerne so svetilke, ki imajo pri kritičnih kotih (nad 65° glede na normalo na svetlečo ploskev) svetlost ustrezno nizko (pod 1000 cd/m^2).



Slika 7.14: Pravilna izbira svetilk v prostoru zmanjša odsevno bleščanje na slikovnih zaslonih. Pazimo predvsem na ustrezno nizke svetlosti v področju kritičnih kotov.

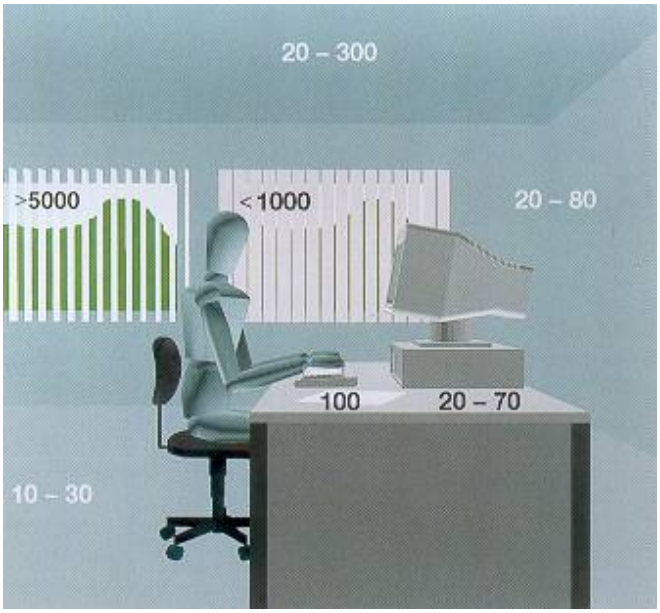
7.1.5 HARMONIČNA PORAZDELITEV SVETLOSTI

Zaradi vpadle svetlobe in različnih odsevnosti predmetov v našem vidnem polju, so le-ti videti bolj ali manj svetli. Različne svetlosti predmetov in njihove okolice nam omogočajo, da predmete lažje opazimo, po drugi strani pa lahko prevelike razlike v svetlosti povzročajo bleščanje. Da omogočimo uporabnikom prostora ustrezne vidne sposobnosti, je torej potrebno zagotoviti ustrezna razmerja svetlosti predmetov oziroma ploskev v prostoru.

Različne študije so pokazale, da je ustrezno (harmonično) razmerje svetlosti dveh sosednjih površin (npr. predmeta dela in njegove neposredne okolice ali neposredne okolice delovne površine in bolj oddaljene okolice) približno 1:3. Pri tem je običajno predmet dela svetlejši od njegove neposredne okolice ter neposredna okolica delovne površine svetlejša od bolj oddaljene okolice, lahko pa je tudi obratno. Tako pridemo tudi do primernega razmerja med svetlostjo področja dela (vidne naloge) in svetlostjo bolj oddaljene okolice, ki naj bi bilo med 1:5 pa do 1:10.

Na spodnji sliki je prikazan primer pisarne z vpisanimi svetlostmi (v cd/m^2) nekaterih površin. Vidimo, da je svetlost vidne naloge (svetlost papirja na pisalni mizi, s katerega delavec bere podatke) med višjimi saj znaša 100 cd/m^2. primerna svetlost pisalne mizi bi torej bila trikrat manjša oziroma med 30 cd/m^2 in 35 cd/m^2. Odvisno od uporabljenega materiala za pisalno mizo, so svetlosti namizne ploskve pri ustrezni razsvetljavi pisarne nekje med 20 cd/m^2 in 70 cd/m^2, kar v večini primerov ustreza. Pri delu ima delavec v

svojem vidnem polju tudi širšo okolico, ki jo v večini primerov predstavljajo stene in tla. Glede na priporočeno stopnjevanje svetlosti v razmerju 1:3, so primerne svetlosti teh okoliških površin nekje med 10 cd/ m^2 in 12 cd/ m^2. Iz podatkov na sliki lahko vidimo, da so svetlosti tal v pisarnah običajno med 10 cd/ m^2 in 30 cd/ m^2, kar ustreza priporočenim razmeram. Svetlosti sten so običajno nekoliko višje (med 20 cd/ m^2 in 80 cd/ m^2), kar je običajno tudi ustrezno, saj so svetlosti na spodnji meji ustrezno nizke, na zgornji meji pa podobne kot svetlosti širše okolice delovne površine (npr. namizne ploskve) in se torej ne razlikujejo od le-te. Na sliki lahko tudi vidimo, da je strop v prostoru običajno najbolj svetel (z izjemo oken) kar prispeva k ustreznemu deležu difuzne svetlobe v prostoru in tako zmanjša moteče premočne sence. Prav tako pa lahko vidimo, da so svetlosti oken tako velike, da bi lahko povzročale bleščanje, zato morajo biti okna opremljena z zavesami ali žaluzijami, ki omogočajo da jih zasenčimo in tako zmanjšamo oziroma odpravimo bleščanje.



Slika 7.15: Svetlost (v cd/m^2) nekaterih površin v pisarni.

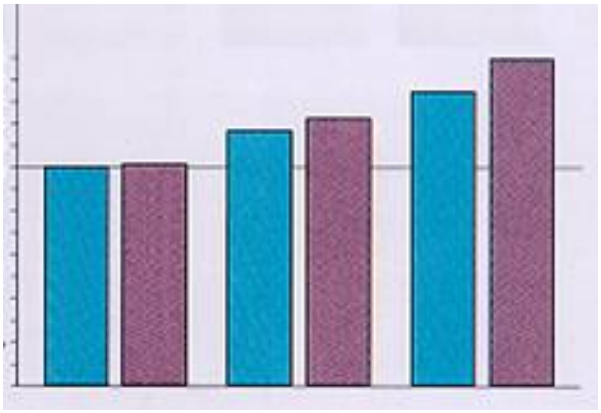
Razlike v svetlosti površin v prostoru pa prispevajo tudi k psihološkem dojemanju prostora. Prostor, kjer so razlike v svetlosti posameznih ploskev premajhne, deluje monotono in dolgočasno. Po drugi strani prostor, kjer so razlike v svetlosti prevelike, deluje dramatično in grozeče. Eno in drugo vpliva na hitrejšo utrujenost delavcev, ki v takem prostoru opravljajo svoje delo. Zato je potrebno barve posameznih površin v prostoru izbrati tako, da prostor zaradi razlik v svetlosti predmetov in površin deluje ustrezno dinamično vendar še ne dramatično.

Ustrezno harmonično porazdelitev svetlosti v prostoru dosežemo s kombinacijo več ukrepov. Uporabimo koncept splošne razsvetljave, ki razmeroma enakomerno osvetli celoten prostor in ga dopolnimo z delno lokalno razsvetljavo (nekoliko bolj osvetljena delovna mesta). Primerno je, če dosežemo razmerje med minimalno in povprečno osvetljenostjo 1:1,5 gledano v celotnem prostoru (in ne na področju delovnih nalog - tam moramo doseči enakomernost, ki je v skladu s standardom). Razsvetljava naj zagotavlja ustrezen delež indirektne svetlobe, ki zabriše preostre senca predvsem na delovnih mestih.

Odsevnosti mejnih površin prostora naj bodo ustrezno visoke (odsevnost stropa vsaj 70 %, sten vsaj 50 % in tal vsaj 20 %), odsevnosti pohištva in ostale opreme v prostoru pa ne premajhne.

Slika 7.16: Svetlosti ploskev vplivajo tudi na psihološki vpliv prostora na njegove uporabnike. Če so razlike v svetlosti premajhne (leva slika) prostor deluje monotono in dolgočasno. Prevelike razlike v svetlostih (desna slika) ga naredijo dramatičnega in grozečega. S pravimi razlikami v svetlostih (srednja slika) pa lahko prostor naredimo dovolj dramatičen, da ni dolgočasen pa tudi še ne dramatičen.

Višje odsevnosti mejnih površin prostora vplivajo tudi na manjšo priključno električno moč razsvetljave v prostoru in s tem na manjšo porabo električne energije. Razmerja med porabo električne energije za direktno in indirektno razsvetljavo prostora z različnimi odsevnostmi mejnih površin so prikazana na spodnji sliki.



Slika 7.17: Razmerja med porabljeno električno energijo v prostoru ob direktni razsvetljavi (levi modri stolpci) in indirektni razsvetljavi (desni vijolični stolpci) pri različnih odsevnosti mejnih ploskev prostora: levo: odsevnost stropa 80 %, sten 70 % in tal 30 %; sredina: odsevnost stropa 70 %, sten 50 % in tal 20 %, desno: odsevnost stropa 30 %, sten 30 % in tal 10 %.

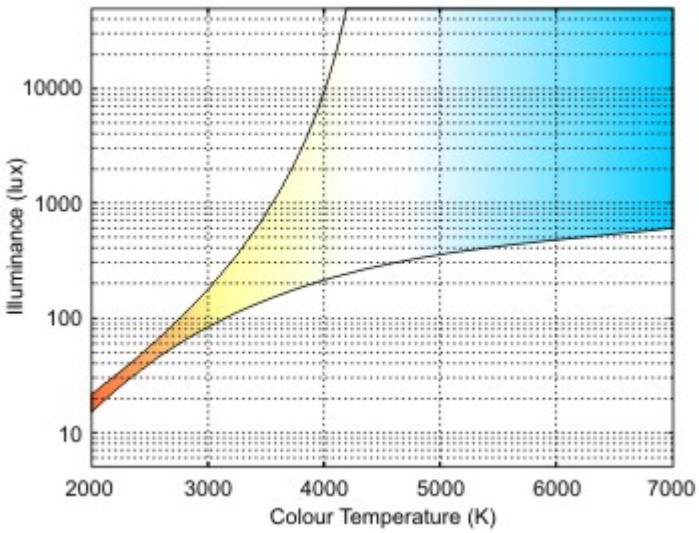
7.1.6 BARVA SVETLOBE IN INDEKS BARVNEGA VIDEZA

Med parametri razsvetljave, ki vplivajo na vidno udobje v prostoru, sta tudi barva svetlobe in indeks barvnega videza. Oba sta odvisna od spektralne sestave svetlobe in torej od uporabljenega svetlobnega vira.

Barva svetlobe

Določene raziskave v sredini prejšnjega stoletja, ko so se začele množično uporabljati fluorescenčne sijalke, ki so omogočale različno barvo svetlobe oziroma različno barvno temperaturo (prej so bile v uporabi predvsem navadne žarnice z barvno temperaturo 2700 K), so pokazale, da je ljudem v manj osvetljenih prostorih ljubša svetloba z nižjo barvno temperaturo, v bolj osvetljenih pa svetloba z višjo barvno temperaturo. To

spoznanje so poimenovali Kruithofov efekt, po raziskovalcu, ki je izvedel omenjeno raziskavo in ki je tudi prvi objavil spodnjo sliko.

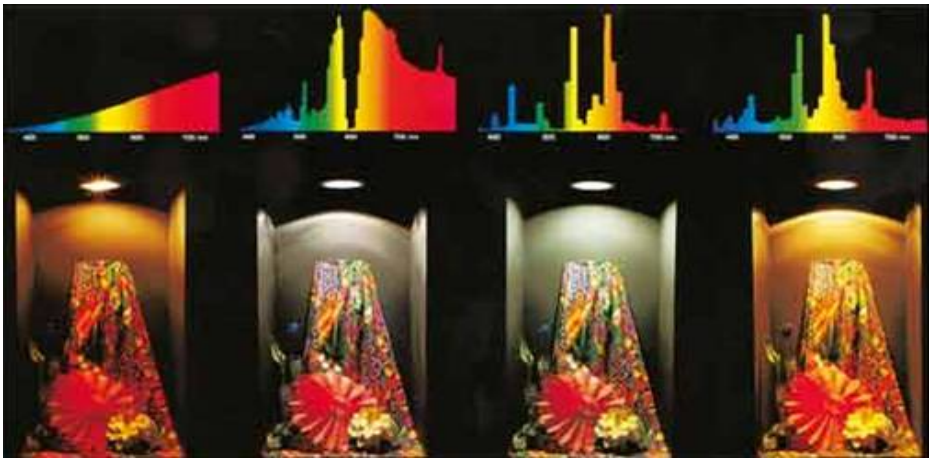


Slika 7.18: Ustrezna barva temperatura svetlobe (na abscisni – x osi) pri določeni osvetljenosti (na ordinatni y-osi) v prostoru.

Kruithofov efekt je zelo preprosto razložiti s primeri iz narave. Ko je osvetljenost z dnevno svetlobo razmeroma majhna (zjutraj in zvečer) je barva svetlobe bolj rumeno-oranžna (nižja barvna temperatura). Podnevi, ko je osvetljenost z naravno svetlobo zunaj velika, pa je barva svetlobe bolj bela (višja barvna temperatura). Ker smo se tekom evolucije prilagodili naravnim svetlobnim razmeram, se nam tudi v prostoru zdi pravilno oziroma ustrezno, da je barvna temperatura pri nižjih osvetljenosti nižja, pri višjih pa višja. Zato se tega pravila pri projektiranju razsvetljave oziroma izbiri barvne temperature držimo tudi danes.

Indeks barvnega videza

Izbira svetlobnega vira vpliva tudi na indeks barvnega videza oziroma na to, kako se bodo barve predmetov videle v določenem prostoru.



Slika 7.19: Štirje različni svetlobni viri z različno spektralno sestavo svetlobe in zato tudi različnim indeksom barvnega videza.

Problem indeksa barvnega videza se je prav tako pojavil z večjo uporabo fluorescenčnih sijalk v notranji razsvetljavi. Do takrat uporabljane navadne žarnice imajo namreč odličen indeks barvnega videza. Na indeks barvnega videza vpliva spektralna sestava svetlobe. Bolj kot je svetlobni spekter zvezen, boljši je indeks barvnega videza.

Ker indeks barvnega videza vpliva na barvni izgled predmetov v (delovnem) prostoru, moramo biti pri izbiri ustreznih svetlobnih virov pozorni predvsem na to, kako dobro se morajo pri posameznih delovnih procesih razlikovati barve. Pri določenih dejavnosti (npr. kovanje železnih izdelkov) barvni izgled predmetov praktično ni pomemben. Pri drugih dejavnostih (npr. kontrola barvnih odtisov v tiskarni) pa je ustrezen indeks barvnega videza uporabljenih svetlobnih virov lahko odločilnega pomena za poslovni uspeh podjetja. Na pomembnost ustreznega indeksa barvnega videza lahko sklepamo tudi po tem, da je minimalni indeks barvnega videza eden od parametrov, ki jih podaja standard za notranjo razsvetljavo SIST EN 12464-1.

Table 5.11 — Industrial activities and crafts – Electrical and electronic industry

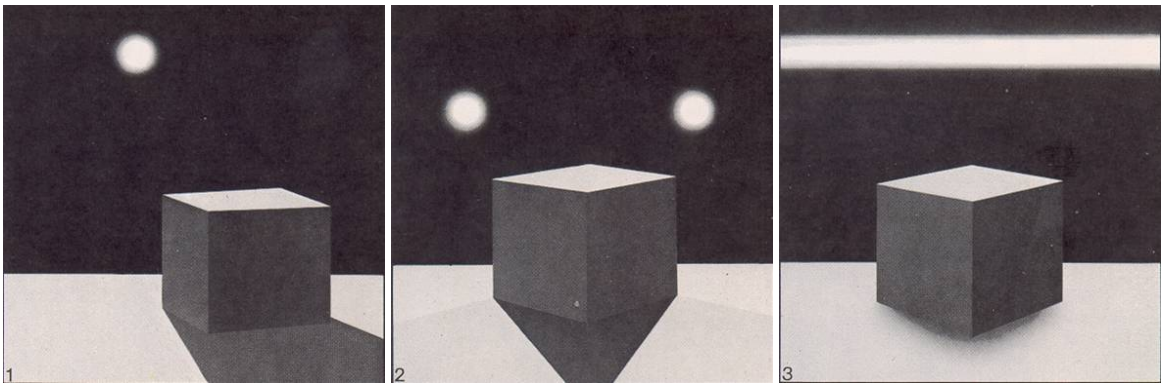
Ref. no.	Type of area, task or activity	$\bar{E}_m$ lx	UGR_L –	U_o –	R_a –	Specific requirements
5.11.1	Cable and wire manufacture	300	25	0,60	80	
5.11.2	Winding: - large coils - medium-sized coils - small coils	 300 500 750	 25 22 19	 0,60 0,60 0,70	 80 80 80	
5.11.3	Coil impregnating	300	25	0,60	80	

Slika 7.20: Četrti stolpec v tabeli zahtevanih parametrov za razsvetljavo delovnih mest v notranjih prostorih se nanaša na minimalno potrebno vrednost indeksa barvnega videza Ra.

Kljub temu, da sta tako barvna temperatura svetlobe kot indeks barvnega videza odvisna od spektralne sestave svetlobe, pa med seboj nista povezana. Svetlobni viri z različnimi barvnimi temperaturami imajo lahko enako dober (ali slab) indeks barvnega videza, oziroma svetlobni viri z izbranim indeksom barvnega videza imajo lahko zelo različne barvne temperature svetlobe.

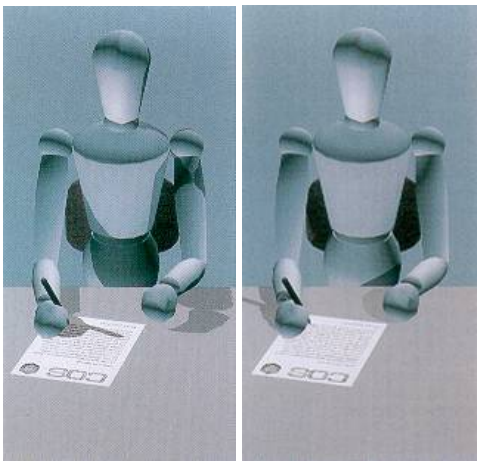
7.1.7 SMER SVETLOBE IN SENČNOST

Smer svetlobe poleg na bleščanje, vpliva tudi na sence (ali senčnost oz. modeliranje) v prostoru. Zelo usmerjena svetloba povzroča temne in izrazite sence. Bolj kot je svetloba razpršena (difuzna) manj so sence opazne. Poleg smeri, na sence vpliva tudi število svetlobnih virov v prostoru. En sam svetlobni vir povzroča močnejše sence, več svetlobnih virov pa sence zmehča in zabriše. Podobno lahko sence zabrišemo tudi z večjim deležem difuzne svetlobe. Če torej v prostoru ne želimo imeti premočnih senc, moramo predvideti večje število svetlobnih virov (z manjšim svetlobnim) oziroma poskrbeti za večji delež difuzne svetlobe. To najlažje dosežemo s tem da imajo mejne površine prostora (stene, strop, tla) ustrezno visoko odsevnost in da so dovolj osvetljene. Uporabimo torej svetilke, ki imajo širšo (manj usmerjeno) prostorsko porazdelitev svetilnosti.



Slika 7.21: Vpliv števila svetlobnih virov na senčnost v prostoru. En sam svetlobni vir povzroča močne in izrazite sence. Z večjim številom svetlobnih virov lahko sence zmehčamo in zabrišemo. Podoben učinek imajo tudi površine v prostoru, ki svetlobo razpršijo in tako prispevajo k večjemu deležu difuzne svetlobe.

Za razliko od bleščanja, sence v prostoru niso nezaželene. Sence namreč lahko izboljšajo vidno zaznavanje plastičnosti (tridimenzionalnosti) predmetov. Lahko pa sence, predvsem če so premočne, tudi motijo zaznavanje oziroma popačijo sliko predmeta, ki nam jo posreduje naš vidni sistem. Prav tako sence motijo, če jih povzroča delavec s svojim telesom oz. deli telesa (npr. rokami) na delovni površini.



Slika 7.22: Določena senčnost je v prostoru zaželena, vendar sence ne smejo ovirati uporabnikov prostora pri njihovem delu. Sence telesnih delov, ki jih uporabljamo pri delu, namreč lahko motijo vidno zaznavanje področja dela in s tem povzročajo težave delavcu. Zato je na delovnim mestih zaželeno, da večina svetlobe prihaja z leve (za desničarje) oziroma z desne (za levičarje).

V večini primerov je potrebno v prostoru smer svetlobe in senčnost načrtovati tako, da sence v prostoru nastanejo, vendar so neizrazite in razmeroma svetle. S tem pomagamo pri prostorskem zaznavanju prostora in predmetov v njem, sence pa niso tako močne, da bi motile pri delu oziroma popačile naše vidno zaznavanje.

V določenih primerih pa namenoma uporabimo močno usmerjene svetlobne vire in smer svetlobe, ki na opazovanih površinah povzroča močne sence. Tak primer je recimo delovno mesto za končno kontrolo izdelkov, kjer moramo preverjati gladkost končne površine ali pa nepravilnosti na površini. Če so le-te razmeroma majhne, jih pri difuzni svetlobi ne bomo opazili. Pri zelo usmerjeni svetlobi, katere smer je praktično vzporedna z opazovano površino, pa bodo sence zaradi nepravilnosti dovolj temne in velike, da jih bomo opazili.

Slika 7.23: Ista površina osvetljena z difuzno (levo) in zelo usmerjeno svetlobo (desno). Močno usmerjena svetloba, katere smer je skoraj vzporedna z opazovano površino, na površini povzroči močne sence. Če je naše delo kontrola gladkosti površine, nam taka smer svetlobe zelo olajša delo. Če pa želimo nepravilnosti na površini skriti, moramo le-to osvetliti s čim bolj difuzno svetlobo.

Želena smer svetlobe in senčnost v prostoru vplivata na postavitev svetilk, pa tudi na postavitev delovnih mest v prostoru, ki ima zadostno količino naravne dnevne svetlobe. Ker so vir dnevne svetlobe običajno okna, ki se nahajajo na steni prostora, je smer dnevne svetlobe običajno zelo izrazita. Zato delovna mesta postavimo tako, da svetloba nanje vpada z leve (oziroma z desne, če delovno mesto uporablja levičar). Tej postavitvi delovnih mest pa prilagodimo tudi postavitev svetilk na stropu. Te običajno razporedimo v linije med delovnimi mesti (ali levo in desno od delovnih mest), ki so vzporedne z steno, na kateri se nahajajo okna. Tako lahko po eni strani z svetilkami dosežemo podobno smer svetlobe, kot jo ima naravna svetloba, po drugi strani pa lahko z njihovo uporabo v dnevnem času zabrišemo premočne sence, ki jih povzroča dnevna svetloba. S postavitvijo delovnih mest in svetilk torej poskušamo doseči, da večina svetlobe vpade na delovno mesto z leve (v primeru delovnega mesta za desničarje), nekaj svetlobe pa tudi z desne s čimer zmanjšamo premočne sence, ki jih na delovnem mestu povzroča na primer leva roka.

Slika 7.24: Za večino delovnih mest je najbolj primerno, da večina svetlobe na delovno mesto vpada od zgoraj levo (velja za delavce, ki so desničarji, za levičarje pa ravno obratno). Pri taki smeri svetlobe desna roka, ki jo večinoma uporabljamo pri delu, ne povzroča motečih senc. Da sence niso preveč izrazite, je potreben tudi manjši del svetlobe iz druge smeri ali večji delež difuzne svetlobe.

Če pri delu uporabljamo obe roki, je potrebno temu ustrezno prilagoditi količino svetlobe, ki vpada na delovno mesto z ene in druge strani. V tem primeru je priporočljivo, da sta oba deleža svetlobe podobna. Ena od možnosti je tudi, da svetloba v tem primeru vpada na delovno mesto od spredaj. Vendar lahko taka smer svetlobe povzroča direktno ali odsevno bleščanje, zato se je običajno izogibam. Primerna je le v primeru delovnih mest, na katerih se ne nahajajo gladki predmeti, na katerih bi svetloba lahko odsevala. V tem primeru svetilke namestimo čim bliže delovnemu mestu s čimer zmanjšamo direktno bleščanje, poskrbimo pa tudi za visok delež difuzne svetlobe. Neprimerna je tudi namestitev svetilk tako, da bi svetloba prihajala iz smeri za delavcem, saj v tem primeru delavec povzroča senco na delovnem mestu s celim svojim telesom.

Slika 7.25: Neprimerne smeri svetlobe. Svetloba od spredaj (leva slika) v večini primerov na delovnem mestu povzroča odsevno bleščanje. Pri svetlobi od zadaj (srednja slika) delavec s svojim telesom povzroča senco na delovnem mestu. Precej položna svetloba iz smeri roke, ki jo uporabljamo pri delu, pa povzroča na delovnem mestu močno dinamično senco, ki lahko zelo moti vidno zaznavanje predmetov dela.

7.2 OSTALI VIDIKI NAČRTOVANJA RAZSVETLJAVE

Kljub temu, da je pri načrtovanju razsvetljave v prvi vrsti treba poskrbeti za njeno kakovost, ki zagotavlja v prostoru:

- ustrezne vidne sposobnosti,
- vidno udobje in
- vizualni ambient,

pa moramo pri načrtovanju razsvetljave paziti, da zadostimo tudi sledečim dodatnim zahtevam:

- ustrezno mora biti integrirana v arhitekturo ali okolje;
- biti mora energetsko učinkovita;
- omogočati mora lahko namestite in vzdrževanje;
- stroški postavitve in vzdrževanja morajo biti sprejemljivi.

Kaj razumemo pod posamezno zahtevo, je na kratko podano v nadaljevanju poglavja.

7.2.1 INTEGRACIJA SVETLOBNOTEHNIČNE OPREME

Pod integracijo svetlobno-tehnične opreme razumemo predvsem umeščanje svetilk v arhitekturo in okolje. Zahteva po integraciji je ponavadi večja v okoljih, kjer je estetska dovršenost večjega pomena, kot na primer muzeji in galerije, pomembnejši javni objekti, prestižnejši stanovanjski objekti in podobno.

Integracija z arhitekturo

Integracija lahko pomeni, da so arhitekturni elementi, kot na primer strop, stene, drugi deli prostora (npr. stebri) ali pohištvo hkrati tudi svetlobni elementi. Ta pristop je zelo pogost, saj sodobni trendi arhitekturnega oblikovanja stremijo k zmanjševanju števila vidnih elementov v prostoru. Slaba stran tega pristopa je seveda višja cena izvedbe in samega načrtovanja, včasih pa je problem lahko tudi vzdrževanje svetil.

Po drugi strani lahko integracija z arhitekturo pomeni tudi, da izberemo svetilke, ki se oblikovno skladajo z arhitekturno idejo prostora. V tem primeru so svetilke vidne in s svojo obliko poudarijo izgled in namen prostora. Take vrste svetilke so na primer kristalni lestenci v dvoranah, namenjenih za gala prireditve.

Slika 7.26: V razstavnem prostoru je razsvetljava integrirana v strop prostora.

Integracija z dnevno svetlobo

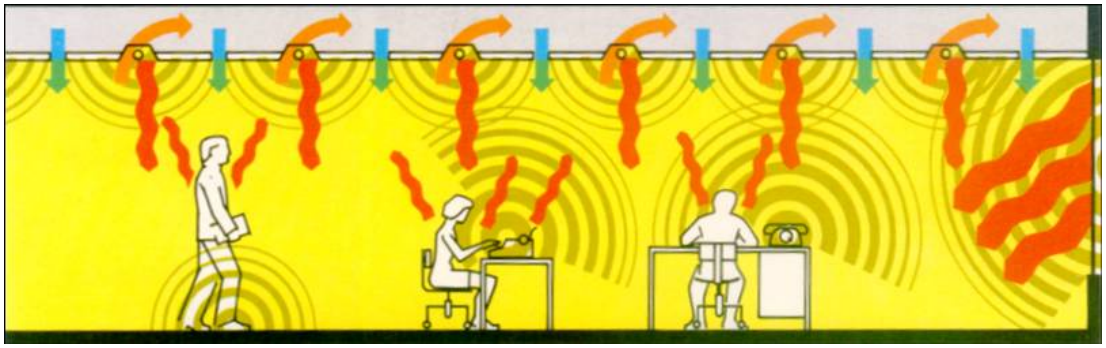
Drug pristop integracije razsvetljave je integracija z dnevno svetlobo. Tudi tu lahko ločimo dva pristopa. Pri prvem uporabljamo razsvetljavo zato, da preko celotnega dneva zagotovimo enakomerno osvetljenost prostora. Temu pristopu običajno rečemo regulacija jakosti razsvetljave glede na prisotnost dnevne svetlobe. S pomočjo senzorjev zaznamo jakost dnevne svetlobe v prostoru ter ustrezno zmanjšamo jakost svetilk. Tak pristop je učinkovit, če omogočimo ločeno regulacijo posameznih svetilk ali skupin svetilk. Prisotnost dnevne svetlobe v prostoru je v večini primerov zelo neenakomerna. Na primer v bližini oken je veliko dnevne svetlobe, v notranjosti prostora pa je je seveda manj. Posledično moramo s sistemom regulacije razsvetljave jakost svetilk blizu okna zmanjšati bolj kot jakost svetilk, ki so od oken bolj oddaljene.

Druga vrsta integracije teži k temu, da je prostor vedno osvetljen na enak način, da svetloba na primer vedno prihaja iz iste smeri.

Slika 7.27: Če želimo, da je prostor podnevi in ponoči podobno osvetljen in uporabljamo za dnevno osvetljevanje naravno svetlobo, je potrebno umetno razsvetljavo ustrezno integrirati v sisteme za osvetlitev z dnevno svetlobo.

Integracija z ostalo tehnično opremo

Pri projektiranju predvsem pa pri montaži svetlobno-tehnične opreme pa se srečamo tudi z integracija z drugo tehnično opremo kot na primer s sistemi za prezračevanje in klimatizacijo ter opremo za požarno varnost. Pri tem je potrebno zelo pazljivo načrtovati mesta postavitve (montaže) posameznih elementov, saj lahko pride do negativnih medsebojnih vplivov. Na primer svetilke lahko poslabšajo zračni tok prezračevalnih sistemov, prezračevalni tok v neposredni bližini svetilke ali svetlobnega telesa lahko poslabša izkoristek ali pospeši nabiranje prašnih delcev, električna oprema v neposredni bližini protipožarnih sistemov lahko poveča možnost kratkega stika in podobno. Včasih pa uporabljamo tudi kombinirane elemente, ki opravljajo nalogo v dveh različnih sistemih. Primer so na primer svetilke, ki so hkrati tudi vstopni deli prezračevalnega sistema za izrabljen zrak. Z uporabo takih svetilk zmanjšamo število tehničnih elementov na stropu prostora, poleg tega pa se svetilke tudi bolje hladijo, kar lahko na primer pri uporabi fluorescenčnih sijalk izboljša njihov izkoristek. Poleg tega toploto, ki jo oddajajo sijalke, takoj odvedemo iz prostora in tako zmanjšamo toplotno obremenitev prostora in posledično tudi potrebo po njegovem hlajenju.



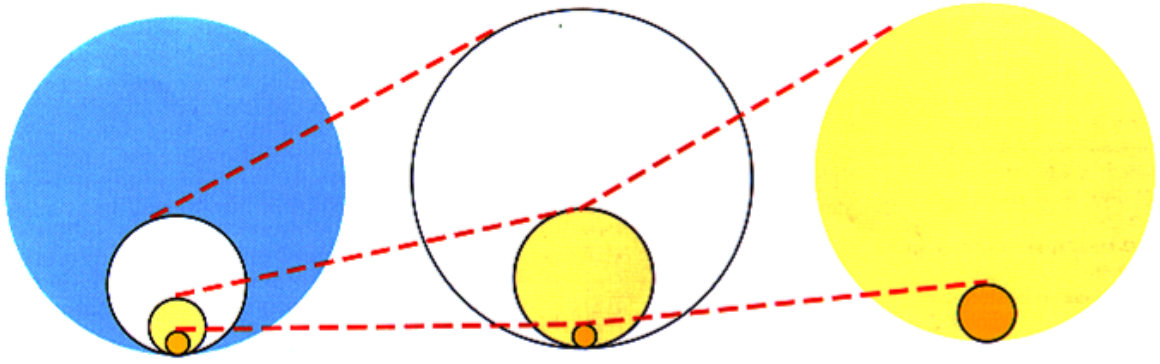
Slika 7.28: Razsvetljava skupaj z ostalo tehnično opremo v prostoru (pa tudi uporabniki) poleg koristi prinese tudi določene obremenitve kot na primer toploto (rdeče puščice)in hrup (rjavi valovi) .

Integracija različne tehnične opreme pride v poštev predvsem v večjih odprtih prostorih, kot so na primer večje pisarne odprtega tipa, večje hale ali razstavni prostori in podobno.

Pri manjših prostorih običajno nimamo prezračevalnih sistemov na stropu, požarni sistemi pa so omejeni na en javljalnik požara. Zato imamo v takih prostorih nekaj lažje delo, ko izbiramo optimalna mesta za postavitev svetilk. Pri integraciji z ostalo tehnično opremo so možnosti poljubne porazdelitve svetilk v prostoru seveda omejene. Največ težav s postavitvijo svetilk pa je v prostorih, kjer tehnološki proces, ki se odvija v prostoru, zahteva večje strojne inštalacije na stropu. Primer so na primer večje hotelske kuhinje ali pa tehnološki procesi, kjer je potrebno odsesavanje prahu ali nevarnih plinov (mizarska delavnica, avtomehanična delavnica ...). V takih prostorih je inštalacija za prezračevanje oziroma odsesavanje obsežna in lahko zajema precejšen del stropa. Če naletimo na tak problem, si pri postavitvi svetilk lahko pomagamo tako, da jih spustimo pod sistem strojnih inštalacij. Če nam seveda višina prostora to omogoča.

7.2.2 ENERGETSKA UČINKOVITOST RAZSVETLJAVE

Po podatkih različnih študij je poraba električne energije za razsvetljavo v Sloveniji približno 20 % celotne porabe električne energije. Od tega znaša poraba za cestno razsvetljavo okoli 6 % porabe električne energije za razsvetljavo ali dober procent celotne porabe električne energije. Podoben delež ima poraba za razsvetljavo v ostalem razvitem svetu. V deželah v razvoju pa je delež porabljene električne energije za razsvetljavo še precej večji in lahko doseže tudi do 80 % celotne porabljene električne energije. Prav tako pa je delež porabe električne energije večji od povprečja v določenih kategorijah stavb. V poslovnih stavbah je na primer ta delež lahko tudi 50 % ali več. Če nam torej z ustreznim načrtovanje uspe znižati porabo električne energije za razsvetljavo, se to lahko zelo pozna tudi pri celotni porabi električne energije oziroma pri stroških obratovanja stavbe. Po ocenah strokovnjakov (podatki mednarodne komisije za razsvetljavo CIE), lahko pri zamenjavi obstoječih tehnologij s sodobnimi sistemi razsvetljave pričakujemo takojšen prihranek pri porabi električne energije za razsvetljavo v velikosti do 20 %. Torej se pri načrtovanju razsvetljava splača potruditi tudi v to smer.



Slika 7.29: Delež električne energije za cestno razsvetljavo v primerjavi z (od leve) celotno porabo energije (celotna poraba 100%, električna energija 17.4 %, el. en. za razsvetljavo 1,9 % in el. en. za cestno razsvetljavo 0,1 %), porabljeno električno energijo(el. en. 100 %, za razsvetljavo 10,8 % in za cestno razsvetljavo 0,7 %) in porabljeno električno energijo za razsvetljavo (100 %, cestna razsvetljava 6,2 %).

Pri tem imamo na voljo dva načina. Prvi je uporaba sodobnih svetlobnih virov, svetilk in regulacijskih sistemov; drugi način pa je, da tehnologijo uporabimo premišljeno in dobro načrtovano. To pomeni, da uporabimo tisti pristop k razsvetljavi, ki ob zadostitvi vsem

svetlobno-tehničnim zahtevam porabi najmanj električne energije. Seveda je priporočljivo, da pri načrtovanju združimo oba načina.

V notranji razsvetljavi ima na energetsko učinkovitost velik vpliv tudi integracija razsvetljave z dnevno osvetlitvijo. Razmeroma velike prihranke lahko dosežemo na primer z uporabo kontrolnih sistemov za razsvetljavo, ki svetlobni tok svetilk prilagajajo dnevni svetlobi, ki je v prostoru na voljo. Prav tako lahko porabo električne energije za razsvetljavo opazno zmanjšamo z uporabo sistemov za regulacija oziroma prižiganje glede na prisotnost uporabnikov v prostoru.

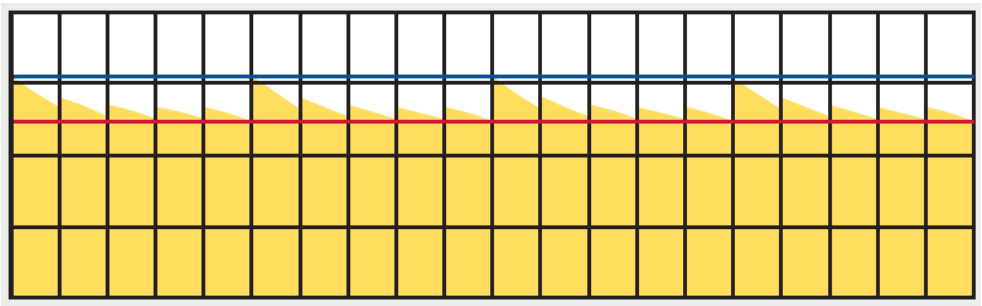
7.2.3 VZDRŽEVANJE RAZSVETLJAVE

Pri načrtovanju razsvetljave je potrebno zadostiti tudi zahtevi po lahkem in cenovno sprejemljivem vzdrževanju svetlobno-tehnične opreme. Pri tem moramo upoštevati tako menjavo svetlobnih virov, kot tudi vzdrževanje in čiščenje svetilk. To je pomembno predvsem na velikih objektih, kjer ti stroški niso zanemarljivi, saj je potrebno za menjavo svetlobnih virov na primer najeti posebno opremo (dvižne ploščadi) in ustrezno kvalificirano delovno silo (z dovoljenjem za delo na višini).

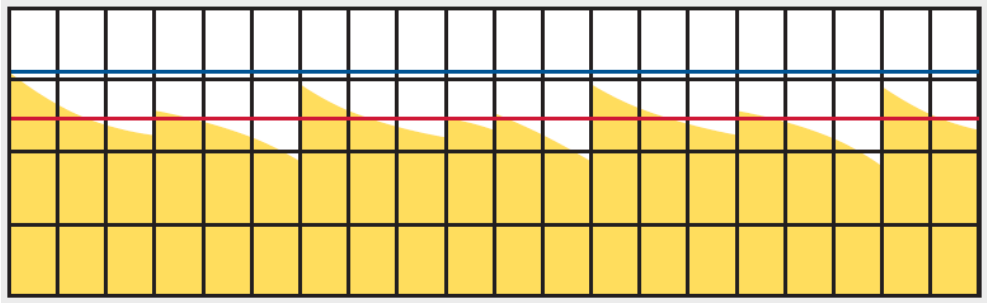
Projekt vzdrževanja razsvetljave je sestavni del projekta razsvetljave, zato mora projektant že pri izbiri svetlobnih virov in svetilk pomisliti tudi na možnosti njihovega vzdrževanja. Življenjska doba izbranih svetlobnih virov in tip izbranih svetilk vplivata na pogostost potrebnega vzdrževanja. Prav tako na to vpliva tudi dejavnost v prostoru. V bolj prašnih prostorih je potrebno svetilke čistiti bolj pogosto kot v čistih prostorih. Na drugi strani pa so seveda stroški, povezani s posameznim vzdrževalnim posegom. Če si pri manjših (in nižjih) prostorih (stanovanjske stavbe, individualne pisarne, sanitarni prostori …) lahko privoščimo menjavo svetlobnega vira vsakokrat, ko odpove, pa je to pri velikih in visokih prostorih enostavno predrago. V nekaterih primerih pa celo nemogoče (npr. bazeni ali zelo frekventni prostori kot so avle na železniških postajah in letališčih).

Pogostost vzdrževanja pri projektiranju določimo posredno preko faktorja vzdrževanja (tudi faktor načrtovanja), ki ga upoštevamo pri izračunu potrebnega števila svetilk glede na zahtevamo osvetljenost v prostoru. Višji faktor vzdrževanja pomeni, da bo začetna osvetljenost v prostoru ustrezno višja od t.i. vzdrževane osvetljenosti, ki jo zahteva standard. To pa pomeni, da bo čas, v katerem bo, zaradi staranja svetlobnih virov, njihove odpovedi in zmanjšanja odsevnosti materialov v svetilkah (zaradi nabiranja prahu), osvetljenost padla pod vzdrževano osvetljenost (po standardu), ustrezno daljši. Običajno vrednost faktorja vzdrževanja je 0,8 (ali 1,25 – recipročna vrednost), kar pomeni da je začetna vrednost osvetljenosti 25 % večja od zahtevane po standardu. V zelo čistih prostorih in v prostorih, kjer vzdrževanje razsvetljave ni problem, lahko izberemo tudi ustrezno večjo vrednost (0,85 – zelo čisti prostori, sprotna menjava svetlobnih virov, redno letno čiščenje). Nasprotno pa moramo v prostorih, kjer je zaprašenost večja ali pa je problem vzdrževanje, izbrati ustrezno manjšo vrednost (0,67 – čisti prostori, triletni vzdrževalni cikel; 0,57 – notranja in zunanja razsvetljava, normalno čisti prostori, triletni vzdrževalni cikel).

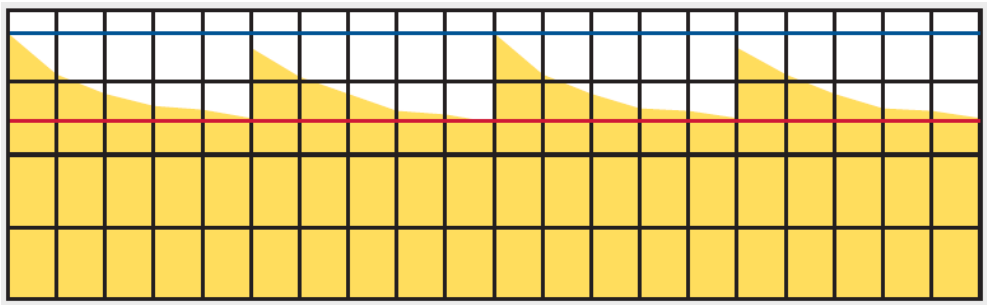
Na slikah v nadaljevanju je podan časovni potek osvetljenosti prostora pri različnih uporabljenih faktorjih vzdrževanja in različnih vzdrževalnih ciklih. Kot primer je uporabljen zelo čist prostor z direktno-indirektno razsvetljavo, svetilke imajo po dve fluorescenčni sijalki T16 moči 54 W ter elektronsko predstikalno napravo. Prostor je velikosti 20 m x 40 m, upoštevane odsevnosti površin v prostoru so: strop 70 %, stene 50 %, tla 20 %. Predviden čas uporabe razsvetljave je 2800 ur letno. Za izračun stroškov je upoštevana cena svetilke 150 €, cena vzdrževalca 50 € na uro in cena vzdrževanja prostora (pleskanje) 5 €/m^2. Porabljen čas za vzdrževanje: 10 minut za zamenjavo svetilke in 15 minut za čiščenje svetilke.



Slika 7.30: Časovni potek razsvetljave v odvisnosti od izbranega faktorja vzdrževanja in izvedbe vzdrževanja. Izbrani faktor vzdrževanja 0,8 (potrebnih je 100 svetilk), čiščenje svetilk vsako leto, obnova prostora (pleskanje) vsakih 5 let, zamenjava sijalk sproti (nedelujoče) oziroma vsakih 5 let (zamenjamo vse sijalke). Skupni stroški 100 % (osnovni primer)



Slika 7.31: Časovni potek razsvetljave v odvisnosti od izbranega faktorja vzdrževanja in izvedbe vzdrževanja. Izbrani faktor vzdrževanja 0,8 (potrebnih je 100 svetilk), čiščenje svetilk vsake 3 leta, obnova prostora (pleskanje) vsakih 5 let, zamenjava sijalk vsakih 6 let (zamenjamo vse sijalke). Skupni stroški 90 % (glede na osnovni primer), vendar pa je v najslabšem primeru osvetljenost prostora samo 80 % predpisane osvetljenosti v standardu



Slika 7.32: Časovni potek razsvetljave v odvisnosti od izbranega faktorja vzdrževanja in izvedbe vzdrževanja. Izbrani faktor vzdrževanja 0,67 (potrebnih je 120 svetilk), čiščenje svetilk vsakih 5 let, obnova prostora (pleskanje) vsakih 10 let, zamenjava sijalk vsakih 5 let (zamenjamo vse sijalke). Skupni stroški 100 % (enaki kot pri osnovnem primeru)

Stroške vzdrževanja je možno zmanjšati tudi z uporabo t.i. ekspertnih sistemov, ki na podlagi podatkov o sijalkah in obratovalnih urah razsvetljave izračunavajo čas do trenutka, ko bo osvetljenost padla pod zahtevano in je torej potrebno vzdrževanje. Ob poznavanju predvidenih datumov potrebnega vzdrževanja lahko optimiramo proces vzdrževanja (npr. predvidimo hkratno vzdrževanje v več prostorih) in tako zmanjšamo stroške npr. najema opreme in delovne sile.

7.2.4 STROŠKI NAČRTOVANJA, INŠTALACIJE IN OPREME

Stroški načrtovanja, inštalacije in opreme za razsvetljavo spadajo pod investicijske stroške, torej stroške, ki nastopijo pred samim začetkom obratovanja sistema razsvetljave. Investitor seveda želi dobiti čim večjo vrednost za čim nižjo investicijo, pri čemer je lahko vrednost izražena na različne načine, med drugim tudi skozi kasnejše stroške obratovanja razsvetljave. Investicija v razsvetljavno napravo predstavlja še dodaten izziv saj je montaža svetlobno-tehnične opreme ena izmed zadnjih v procesu gradnje ali obnove objektov, ko so sredstva za gradnjo že lahko izčrpana (ali celo presežena). Zato investitorji pogosto zahtevajo od projektantov dodatno znižanje potrebnih sredstev za načrtovanje in inštalacijo svetlobno-tehnične opreme pa tudi za samo opremo.

Pogosto pa se tekom načrtovanja razsvetljave ugotovi, da izbira cenejše svetlobno-tehnične opreme pomeni višje stroške vzdrževanja in/ali slabšo energetsko učinkovitost inštalacije. Takrat je potrebno investitorju predstaviti tudi druge možnosti z višjo začetno investicijo, ki pa imajo običajno krajšo predvideno dobo vračanja možnosti.

7.3 ZAKONODAJNE OMEJITVE

Pri projektiranje notranje in zunanje razsvetljave se srečujemo z zakonodajnimi omejitvami ter omejitvami, ki jih predstavljajo standardi in priporočila. Upoštevanje standardov in priporočil v določenih primerih sicer ni obvezno (njihova obvezna uporaba je lahko podana v zakonodajnem dokumentu), vendar pa to lahko pripelje do neustreznih in tehnološko slabih rešitev.

Zahteve tako zakonodaje kot tudi standardov in priporočil gredo v dve smeri. Po eni strani ščitijo uporabnike razsvetljave tako da predpisujejo npr. najmanjše še sprejemljive nivoje svetlosti oziroma osvetljenosti. Po drugi strani pa zagotavljajo ustrezno energetsko učinkovitost razsvetljave tako da predpisujejo največjo dovoljeno porabo električne energije.

7.3.1 ZAKONODAJNE OMEJITVE ZA NOTRANJO RAZSVETLJAVO

V Sloveniji osnovo za zakonodajo na področju notranje razsvetljave predstavlja Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (Ur. list RS, št. 89/99 in 39/05), ki določa, da morajo biti delovni prostori praviloma (razen v primeru izjem navedenih v 30. členu) osvetljeni z:

- naravno svetlobo, kar dosežemo z ustrezno površino in velikostjo oken (velikost površin za osvetljevanje vsaj 1/8 površine tal, površina posameznega prozornega

okna najmanj 1 m^2 pri globini prostora do 4 m, oziroma 1,5 m^2 pri globini nad 4 m, višina in širina okna vsaj 1 m, višina spodnjega roba okna manj kot 1,5 m);
- opremljeni z umetno razsvetljavo, ki zagotavlja osvetljenost delovnih mest v skladu z veljavnimi slovenskimi standardi oziroma vsaj 200 lx; v primeru večjih zahtev mora biti delovno mesto opremljeno tudi z dodatno lokalno razsvetljavo;
- opremljeni z zasilno razsvetljavo, če bi bila zaradi izpada ogrožena varnost in zdravje delavcev v takšnih prostorih, ki zagotavlja osvetljenost vsaj 1 % predpisane vrednosti oziroma vsaj 1 lx;
- v primeru mešane razsvetljave mora biti ta usklajena z naravno svetlobo (smer vpada, barva svetlobe).

Ker zgoraj navedena druga alineja določa, da morajo biti delovna mesta opremljena z umetno razsvetljavo v skladu z veljavnimi slovenskimi standardi, lahko smatramo, da je s tem podana osnova za obvezno uporabo standarda SIST EN 12464. Omenjeni standard ima sicer dva dela. SIST EN 12464-1 se nanaša na delovna mesta v prostorih, standard SIST EN 12 464-2 pa na delovna mesta na prostem.

Poleg tega se razsvetljave delovnih mest dotakne tudi Pravilnik o varnosti in zdravju pri delu s slikovnim zaslonom (Ur. list RS, št. 30/00 in 73/05), ki določa da:
- mora biti naravna in/ali umetna osvetljenost prostora 400 ±100 lx;
- če je le mogoče, razmerje svetlosti med zaslonom in okoljem v neposrednem vidnem polju ne sme presegati vrednosti 1:3, v ožjem vidnem polju 1:10 in v širšem vidnem polju 1:20;
- mora biti delovno okolje oblikovano tako, da viri svetlobe ne povzročajo motečega bleščanja oziroma zrcaljenja na zaslonu.

Zgornje zahteve seveda veljajo le za delovna mesta s slikovnim zaslonom in ne za delovna mesta na splošno.

Zakonodajne omejitve za notranjo razsvetljavo pa se dotikajo tudi porabe električne energije za razsvetljavo. V Sloveniji smo tako leta 2008 sprejeli Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES, Ur. list RS, št. 93/2008, spremembe v Ur. List RS št. 47/209 in 51/2010), ki je v obvezno uporabo uvedel tehnično smernico TSG-1-004. V omenjeni tehnični smernici je razsvetljavi posvečeno 8. poglavje, ki poleg spodaj navedene tabele (tabela 4 v TSG -1-004) z največjo dovoljeno predpisano gostoto moči za razsvetljavo prinaša še sledeče:

- učinkovita raba energije za razsvetljavo se zagotavlja z naravno svetlobo. Če to ni mogoče pa je potrebno uporabiti energetsko učinkovita svetila ter ustrezno regulacijo;
- v prostorih, ki jih je mogoče osvetliti z dnevno svetlobo morajo biti nameščena ustrezna okna in strešne odprtine. Predpisana je tudi najmanjša dovoljena prepustnost stekla za dnevno svetlobo;
- projektirati in vgrajevati se smejo le svetilke z elektronskimi predstikalnimi napravami, razen kadar s posebnim predpisom ni drugače določeno. Za lokalno in

občasno razsvetljavo je dovoljeno uporabljati žarnice z žarilno nitko, vendar njihova priključna moč ne sme presegati 20% priključne moči vse razsvetljave;

- povprečna moč vgrajenih svetilk na enoto uporabne površine (W/m^2) za posamezne tipe stavb ne sme presegati vrednosti, prikazanih v spodnji preglednici. Navedene vrednosti so povprečne vrednosti, tako da lahko vrednosti v posameznem prostoru ali območju ustrezno prilagajamo, dokler skupna povprečna vrednost ostane v omejitvah.
- v nestanovanjskih objektih, kjer se zadržuje več kot 100 uporabnikov in so večji od 100 m^2 je treba preveriti ekonomsko upravičenost in po potrebi vgraditi sistem za regulacijo umetne razsvetljave v odvisnosti od naravne svetlobe in prisotnosti uporabnikov. Če je v prostoru vgrajen tak sistem, je dopustna za 50 % večja gostota moči svetilk;
- v prostorih z občasno zasedenostjo (npr. stopnišča, kleti, pomožni prostori in hodniki) morajo biti svetilke opremljene s senzorji prisotnosti, ki z nastavljivo zakasnitvijo ugašajo sijalke, ko v prostoru ni ljudi.

Opis prostora	**W/m^2**
Garažne stavbe	3
Eno in več - stanovanjske stavbe	8
Veleblagovnice, nakupovalna, trgovska središča, pokrite tržnice, sejemske dvorane, razstavišča	9
Stanovanjske stavbe za posebne namene, hoteli in gostinske stavbe za kratkotrajno nastanitev, upravne in pisarniške stavbe, postaje, terminali, gasilske postaje, zapori	11
Telovadnice, muzeji, pošte, športne dvorane, dvorane za družabne prireditve, diskoteke, glasbeni paviljoni, igralnice	12
Kongresni centri, sodišča, bolnišnice in stavbe za zdravstvo, kinodvorane, stavbe za vzgojno-izobraževalno in znanstvenoraziskovalno delo, paviljoni in stavbe za živali in rastline v živalskih in botaničnih vrtovih	13
Knjižnice, proizvodni obrati, stavbe za opravljanje verskih obredov	14
Gostilne, restavracije, točilnice	15
Samostojne prodajalne in butiki, lekarne, prodajalne očal, prodajne galerije	16
Gledališča, koncertne dvorane, operne hiše	17

Tabela 7.4: Dovoljene povprečne moči razsvetljave (na površino prostora) pri različnih vrstah zgradb po tehnični smernici TSG-1-004.

7.3.2 ZAKONODAJA NA PODROČJU ZUNANJE RAZSVETLJAVE

Pod zunanjo razsvetljavo največkrat razumemo razsvetljavo cest in ostalih javnih površin in tako razumevanje je uporabljeno tudi v nadaljevanju. Seveda pa pod zunanjo razsvetljavo spada tudi npr. razsvetljava delovnih mest na prostem. Zahteve za to vrsto razsvetljave so enake, kot zahteve za razsvetljavo notranjih delovnih mest in so že bile omenjene v prejšnjem poglavju.

Na področju Republike Slovenije obstajajo tri zakonodajne zahteve, ki vplivajo na zunanjo razsvetljavo (razsvetljavo cest in drugih zunanjih javnih površin) in sicer: Pravilnik o

projektiranju cest, Zakon o varstvu kulturne dediščine ter Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja. Poleg tega je pri večini projektov novih inštalacij zunanje razsvetljave potrebno upoštevati standarde za cestno razsvetljavo, ki jih investitor poda v projektni nalogi.

Pravilnik o projektiranju cest
Pravilnik je bil sprejet leta 2005 (objava v Ur. l. 91/2005) in v 59. členu določa naslednje:

1. cestna razsvetljava zagotavlja osvetljenost vozišča in površin ob cesti, tako da lahko udeleženci cestnega prometa zlahka opazijo tudi nepričakovane ovire v nočnem času ali neustrezni dnevni svetlobi;
2. kvaliteta cestne razsvetljave je določena s kriteriji vidljivosti, ki so odvisni od projektne hitrosti, nivoja in enakomernosti osvetlitve in osvetljenosti, omejitve bleščanja in načina optičnega vodenja;
3. razsvetljavo je treba namestiti na cestah v naseljih, v kanaliziranih križiščih, na razcepih na daljinskih cestah, na križiščih glavnih in regionalnih cest z glavnimi in regionalnimi cestam zunaj naselij, na avtobusnih postajališčih, na hodnikih za pešce v območju označenih prehodov ali podhodov, na površinah kontrolnih postaj, bencinskih servisov, počivališč in oskrbnih postajališč ter parkirišč.

Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1)
ZVKD sicer razsvetljave ne omenja neposredno, vendar na njeno izvedbo na območju kulturnih spomenikov vpliva v zahtevi, da je pri posegih v kulturni spomenik potrebno pridobiti kulturno-varstveno soglasje. To pomeni, da je to soglasje potrebno pri nameščanju katerekoli svetlobne opreme na kulturni spomenik.

Zahteve Uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja
Leta 2007 je bila v Sloveniji sprejeta Uredba o mejnih vrednosti svetlobnega onesnaževanja okolja (Ur.l. RS, št. 81/2007), ki je imela bistvene posledice na načrtovanje in izvedbo zunanje razsvetljave. V kontekstu zunanje razsvetljave lahko zahteve Uredbe delimo na:

- zahteve glede omejitve deleža svetlobnega toka, ki seva navzgor;
- zahteve glede omejitve porabe električne energije za javno razsvetljavo v občinah;
- zahteve glede omejitve jakosti razsvetljave fasad in
- zahtevo o obvezni izdelavi načrta razsvetljave.

Omejitve deleža svetlobnega toka, ki seva navzgor
Uredba določa, da mora biti delež svetlobnega toka, ki seva navzgor (ULOR) enak 0 %. Po dodatni razlagi Ministrstva za okolje Republike Slovenije dani leta 2010, se ULOR do 0,5 % smatra enak 0 %. Uredba dovoljuje nekatere izjeme in sicer:

- če je svetilka del kulturnega spomenika ni omejitve ULOR, če je električna priključna moč manjša od 20 W;
- če je svetilka na območju kulturnega spomenika je dovoljen ULOR do 5 %, če so površine, ki jih razsvetljuje, osvetljene z največ 2 lx in so namenjene počasnemu prometu ter je električna priključna moč svetilke manjša od 20 W;

- če je svetilka namenjena razsvetljavi športnih igrišč je dovoljen ULOR do 5 %, vendar je lahko svetilka prižgana največ do 22:00 ure ali pa najkasneje 1 uro po koncu športne prireditve.

Omejitve jakosti razsvetljave fasad

Uredba določa, da je največja dovoljena svetlost fasad in kulturnih spomenikov 1cd/m^2. Na tem mestu je potrebno omeniti, da je Uredba v tem trenutku (2013) nejasna v zvezi z vplivom faktorja vzdrževanja ter razsvetljave, ki ni namenjena osvetlitvi fasad, vendar ima kljub temu znaten vpliv na svetlost fasade.

Določila v zvezi z porabo električne energije za javno razsvetljavo v občinah

Uredba določa, da je največja dovoljena poraba električne energije na prebivalca v občinah 44,5 kWh/prebivalca na leto. Omejitev porabe na prebivalca na leto ima večje posledice za občine z majhno gostoto poselitve, tako da v času izdaje tega priročnika veliko občin ne izpolnjuje tega pogoja.

Izdelava načrta javne razsvetljave v občinah

Uredba določa tudi obvezno izdelavo načrta za razsvetljavo, ki mora biti posodobljen po vsaki prenovi javne razsvetljave. Načrt javne razsvetljave mora biti objavljen na javno dostopnem mestu.

Serija standardov SIST EN 13201 za cestno razsvetljavo

Poleg zgoraj omenjenih dokumentov se na zunanjo oziroma cestno razsvetljavo nanaša tudi serija standardov SIST EN 13201. Gre za prevzete evropske, torej slovenske standarde, katerih uporaba pa trenutno še ni obvezna. V seriji je pet standardov:

- SIST EN 13201-1: Cestna razsvetljava – Izbor svetlobno-tehničnih razredov
- SIST EN 13201-2: Cestna razsvetljava – zahtevane lastnosti
- SIST EN 13201-3: Cestna razsvetljava – izračun lastnosti
- SIST EN 13201-4: Cestna razsvetljava – metode za merjenje lastnosti razsvetljave
- SIST EN 13201-5: Cestna razsvetljava – Indikatorji energetske učinkovitosti

Njihova vsebina je v obliki priporočil in postopkov za projektiranje cestne razsvetljave povzeta v 9. poglavju, zato jih tu ne bomo bolj podrobno predstavili.

7.4 PROCES NAČRTOVANJA RAZSVETLJAVE

Da bi zadostili vsem splošnim smernicam projektiranja razsvetljave je ključno, da v proces projektiranja vnesemo zaporedje korakov, ki mu sledimo pri vsakem projektu. To zaporedje projektantu pomaga, da pri projektiranju ne spregleda katerega od pomembnih delov ali ciljev projekta.

7.4.1 LASTNOSTI PROJEKTA

V prvem koraku projektiranja ocenimo bistvene lastnosti projekta, ki nas čaka. Pod bistvene lastnosti lahko štejemo tip razsvetljave (notranja ali zunanja) oziroma vrsto objekta, ki mu je razsvetljava namenjena, sledi lokacija objekta in njegova velikost. V nadaljevanju je potrebno pregledati in opredeliti prostore znotraj stavbe, če gre za notranjo

razsvetljavo oziroma dele eksterierja pri projektu zunanje razsvetljave. Pomemben je tudi terminski plan izdelave projektne dokumentacije ter predviden začetek in konec gradnje. V nadaljevanju se seznanimo tudi z bodočimi uporabniki objekta in projektantskim timom s katerim bomo sodelovali pri projektu. Ne smemo pa pozabiti tudi na oceno potrebnih finančnih sredstev oziroma sredstev, ki so na voljo. Pri veliko projektih so te lastnosti skoraj samoumevne, vendar je pomembno, da se jih zavedamo.

7.4.2 CILJI PROJEKTA OZIROMA RAZSVETLJAVE

V naslednjem koraku določimo bistvene cilje projekta oziroma namen razsvetljave. Ta vključuje cilje, ki naj jih razsvetljava doseže, vidne zahteve uporabnikov, energetsko varčnost in karakteristike projekta, ki smo jih na kratko opisali v poglavju 7.1. Pri različnih projektih se pomembnost teh smernice seveda razlikuje. V reprezentativni konferenčni dvorani znotraj večje poslovne stavbe je na primer pomembnost vizualnega okolja lahko večja od potrebe po energetski učinkovitosti. Nasprotno je vizualno udobje in estetika pri razsvetljavi industrijskega obrata manj pomembna od zagotavljanja ustreznih vidnih razmer.

7.4.3 IDEJNA ZASNOVA RAZSVETLJAVE

Idejna zasnova je lahko že prva faza projekta razsvetljave in je namenjena predstavitvi osnovnih idej o razsvetljavi naročniku oziroma investitorju. Pred izdelavo idejne zasnove razsvetljave se moramo seznaniti z željami naročnika in bodočih uporabnikov, z arhitekturnimi značilnosti projekta ter s tehničnimi možnostmi za namestitev razsvetljave. Idejna zasnova je seveda odvisna od rezultata analize ciljev projekta in razsvetljave, tako da je za uspešno idejno zasnovo ključno, da so cilji razsvetljave, ki jih določimo skupaj z investitorjem in bodočimi uporabniki, dobro in kvalitetno določeni. Idejna zasnova razsvetljave podaja osnovne ideje o bodoči razsvetljavi kot so na primer: predlagani svetlobni viri in svetilke, predvideni načini regulacije, potrebni nivoji osvetljenosti, predlagan koncept in način razsvetljave in podobno. Idejno zasnovo predložimo naročniku razsvetljave in po njegovi potrditvi služi kot osnova za nadaljnje projekte.

7.4.4 PROJEKT RAZSVETLJAVE

Po potrjeni zasnovi razsvetljave lahko začnemo z izdelavo projekta razsvetljave. Tako kot pri projektu gradbenih del ali projektih ostalih inštalacij, tudi pri projektu razsvetljave ločimo več stopenj:

- idejni projekt (IP);
- projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD);
- projekt za razpis (PZR);
- projekt za izvedbo (PZI),
- projekt izvedenih del (PID).

V idejnem projektu podrobno razdelamo idejno zasnovo razsvetljave in jo opremimo z določenimi podrobnostmi, ki nam že omogočajo tudi izdelavo popisa potrebnega materiala in izračun okvirne višine investicije. Med tovrstne podrobnosti spadajo na primer vrsta in

moč izbranih svetlobnih virov, izbrane svetilke, priključitev posameznih svetilk oziroma posamezni tokokrogi razsvetljave, načini regulacije in prižiganja in podobno.

Idejni projekt je osnova projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja, ki vsebuje tudi že izračune električne moči razsvetljave in predvideno porabo električne energije in seveda tudi podrobnosti o priključitvi električne razsvetljave (v sklopu električnih inštalacije) za distribucijsko elektroenergetsko omrežje.

V kolikor je za izbor izvajalca del, povezanih z inštalacijo razsvetljave v objektu, predviden razpis, je včasih potrebno pripraviti tudi projekt za razpis. Projekt za razpis mora vsebovati vse tiste podrobnosti, ki jih zainteresirani izvajalec potrebuje, da lahko pripravi ustrezno ponudbo.

Zadnja stopnja projektne dokumentacije, ki jo je potrebno izdelati pred začetkom gradnje, je projekt za izvedbo. V kolikor projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja nima dovolj specificiranih mest postavitve svetilk ali načinov njihove pritrditve ipd. moramo to opredeliti v projektu za izvedbo. Vsebovati mora vse tiste podrobnosti, ki bodo izvajalcu omogočile inštalacijo razsvetljave na način in na mestih, ko si je to zamislil projektant. Projekt za izvedbo omogoča tudi nadzornemu inženirji, da lahko ustrezno spremlja izvedbo inštalacije razsvetljave.

7.4.5 IZVEDBA RAZSVETLJAVE

Tekom same izvedbe razsvetljave se pogosto pojavijo določene spremembe, ki izvirajo bodisi iz težav in sprememb med samo gradnjo, zamenjave določenih tipov svetilk in svetlobnih virov, dodatnih zahtev investitorja ali bodočih uporabnikov, spremembe namembnosti stavbe in podobno. Zaradi tega je priporočljivo, da je projektant razsvetljave pogosto navzoč na objektu med njegovo gradnjo bodisi kot nadzornik bodisi kot pomoč izvajalcem pri odločanju.

Ker zaradi tovrstnih sprememb razsvetljava na zgrajenem objektu ne ustreza projektu za izvedbo, je po končani gradnji potrebno izdelati še projekt izvedenih del. Ta vsebuje tako stanje razsvetljave (oz. objekta) kot je dejansko stanje po končani izgradnji. Projekt izvedenih del je osnova ta tehnični pregled objekta in za izdajo uporabnega dovoljenja zanj.

Projekt izvedenih del lahko vsebuje tudi projekt za vzdrževanje ali pa ta projekt izdelamo kot samostojen del tehnične dokumentacije. V projektu za vzdrževanje je potrebno podati vse tiste vzdrževalne posege skupaj z njihovo pogostostjo izvedbe, ki bodo zagotavljali, da bo razsvetljava ustrezno služila svojemu namenu (kar pomeni, da bodo parametri razsvetljave kot sta npr. osvetljenost in enakomernost osvetljenosti) znotraj tistih, ki so predpisani s standardom). V projektu za vzdrževanje na primer napišemo kako pogosto je potrebno menjati svetlobne vire, očistiti svetilke ali vzdrževati (prebeliti) prostor.

8 RAZSVETLJAVA NOTRANJIH PROSTOROV

8.1 RAZSVETLJAVA PISARN

Večina sodobnih delovnih mest se nahaja v pisarnah ali uradih. Pri tem so se pisarne v zadnjih 30 ali 40 letih zelo spremenile. V sredini druge polovice prejšnjega stoletja smo bili priča predvsem pisarnam odprtega tipa, kar pomeni, da so bili prostori relativno veliki z več delovnimi mesti, ograjenimi zgolj s predelnimi panoji. V takih prostorih se je večinoma uporabljala splošna razsvetljava na stropu. Osnovni svetlobni vir so bile fluorescenčne sijalke.

V zadnjih letih pa smo priča trendu večje razdelitve delovnih mest. Znotraj (večjega) prostora se poskuša ustvariti več različnih ambientov: delovni prostor oziroma delovna mesta, prostor za počitek in pomenek, manjša čajna kuhinja in podobno. Vsi ti ambienti so lahko ločeni s fizičnimi predelnimi stenami, lahko pa tudi samo z drugo vrsto razsvetljave. Glede na to, da za različne vrste dela potrebujemo različne parametre razsvetljave, je ta za različne ambiente (dele prostora) različna oziroma drugačna.

Slika 8.1: Razsvetljava večje skupinske pisarne. Uporabljene so spuščene direktno indirektne svetilke ki poleg delovnih mest osvetljujejo tudi razmeroma visok strop.

Poleg novih trendov pri notranjem oblikovanju, pa smo v zadnjih 20 letih priča tudi velikemu razvoju računalniške tehnologije. V povezavi z razsvetljavo moramo omeniti predvsem razvoj slikovnih zaslonov. V prejšnjem stoletju je bila večina slikovnih zaslonov izdelanih s katodno cevjo (CRT), ki ima na sprednji strani zelo odsevno stekleno površino. Poleg tega pa so računalniški programi pogosto imeli temno ozadje s svetlimi črkami (t.i. pozitivni kontrast). Pri takem slikovnem zaslonu zelo rado pride do odsevanja svetilk in

posledično do motečega bleščanja. Zato so (bile) za delovna mesta s slikovnimi zasloni priporočene svetilke z na primer ozkim zrcalnim rastrom oziroma svetilke z manjšo svetlostjo vidnih površin. Danes je velika večina računalniških zaslonov izdelana v t.i. LCD tehnologiji z difuzno in ravno sprednjo površino, ki predstavlja veliko manjši problem glede bleščanja. Kljub temu se tudi danes v takih prostorih priporoča uporaba svetilk z manjšo svetlostjo vidne površine in ustrezna namestitev svetilk na stropu, ki preprečuje zrcaljenje svetilk v slikovnem zaslonu.

8.1.1 PREMISLEKI PRI NAČRTOVANJU RAZSVETLJAVE

Razsvetljava pisarn ima tri ključne naloge: omogočiti udobno in natančno opravljanje delovnih (vidnih) nalog, zagotoviti varno gibanje v celotnem prostoru in ustvariti udobno in prijetno vizualno okolje.

Na izbor ustreznega načina razsvetljave pisarn poleg splošnih smernic vpliva tudi več dejavnikov kot so na primer: prisotnost dnevne svetlobe, postavitev pohištva in opreme v prostoru, vrste delovnih nalog, vrsta in postavitev računalniških zaslonov, višina in barva stropa ter barve sten ter drugih površin v prostoru.

Prisotnost dnevne svetlobe

Prisotnost dnevne svetlobe je v pisarnah tako kot v večini notranjih prostorov zelo zaželena, saj predstavlja vidno povezavo med delavcem in zunanjostjo. Delavci lahko preko dnevne svetlobe (ali pogleda skozi okno) ocenijo čas v dnevu, vreme in ohranjajo stik z zunanjim svetom, to pa vpliva na njihovo psihično in fizično počutje. Vendar je pri uporabi dnevne svetlobe potrebno paziti, da ne prihaja do motečih vpliv. Zelo hitro namreč lahko na delovnem mestu pride do premočne osvetlitve in motečih previsokih kontrastov med, s sončno svetlobo direktno osvetljenimi površinami in tistimi, ki so v senci. Direktna sončna svetloba je lahko vzrok tudi neugodnemu neposrednemu ali odsevnemu bleščanju. Teh motečih vplivov se običajno poskušamo rešiti z uporabo ustreznih senčil ter ustrezne orientacije delovnih mest.

Slika 8.2: Sodobne pisarne imajo pogosto velik delež steklenih površin in s tem veliko dnevne svetlobe.

Pri načrtovanju električne razsvetljave moramo prisotnost dnevne svetlobe v prostoru upoštevati predvsem pri določevanju postavitve svetilk v prostoru ter pri njihovi električni povezavi. V pisarnah dnevna svetloba v veliki večini prihaja s strani skozi okna. To pomeni, da so nekateri deli pisarn (ob oknih) osvetljeni veliko bolj kot drugi (v globini prostora). Od globine prostora je tudi odvisno, koliko delovnih mest bo vsaj del dneva lahko osvetljenih samo z dnevno svetlobo in pri koliko delovnih mestih bo vedno potrebno dodatno osvetljevanje z umetno razsvetljavo. Da lahko v primeru potrebe določena delovna mesta energetsko učinkovito dodatno osvetlimo, je priporočljivo, da se svetilke blizu oken prižigajo ločeno od svetilk globlje v prostoru. Priporočljiva je tudi uporaba avtomatskega regulacijskega sistema, ki uporablja senzorje prisotnosti dnevne svetlobe s katerimi samodejno prižiga in ugaša posamezne svetilke ali skupine svetilk oziroma regulira njihov svetlobni tok. Na tak način lahko zagotovimo, da so vsa delovna mesta v prostoru ustrezno osvetljena bodisi z dnevno ali umetno razsvetljavo oziroma s kombinacijo obeh.

Višina stropa v prostoru

Višina stropa v prostoru ima bistven vpliv na izbiro vrste razsvetljave: direktna ali indirektna razsvetljava oziroma kombinacija obeh. Pri visokih stropih (več od 3,5 m) je uporaba čisto indirektnih svetilk manj smiselna, saj se več svetlobe izgubi v odbojih od stropa in sten, zaradi česar postane razsvetljave manj učinkovita. V takih primerih torej uporabljamo direktno ali pretežno direktno razsvetljavo. Če je strop zelo visok, je smiselna uporaba spuščenih (visečih) svetilk, saj tako z enako močjo dosežemo večjo osvetljenost na delovnih mestih. Vendar pa lahko v takih primerih pride do t.i. temnega stropa, kjer neosvetljen strop lahko s svojim izgledom povzroča nelagodne občutke uporabnikov prostora. Zato je v takih primeri zaželen vsaj manjši delež indirektne svetlobe, ki poskrbi za ustrezno svetlost stropa.

Postavitev pohištva in drugih elementov v prostoru

Postavitev pohištva in na primer predelnih sten ima velik vpliv na porazdelitev svetilk v prostoru. V veliko pisarnah se namreč uporablja predelne stene, ki lahko omejujejo svetlobni tok in povzročajo moteče sence. To je lahko še posebej izrazito v prostorih z nizkim stropom. Hkrati so predelne stene pogosto temnejših barv, kar lahko še dodatno zmanjša osvetljenost na delovnem mestu.

Predelne stene (ali samostoječe omare) zmanjšajo tudi osvetljenost delovnega mesta z naravno svetlobo. Pri uporabi senzorjev naravne svetlobe in avtomatskega regulacijskega sistema moramo zato biti pazljivi, da je celoten regulacijskih sistem pravilno nastavljen. Senzorji so večinoma nameščeni na stropu prostora, kar pomeni, da v primeru predelnih sten do njih pride več svetlobe kot do posameznega delovnega mesta. V tem primeru se lahko zgodi, da sistem ne zagotavlja ustrezne osvetljenosti posameznih delovnih mest.

Možen vpliv pohištva na osvetljenost delovnih mest vpliva tudi na porazdelitev posameznih delovnih mest (delovnih oz. vidnih nalog) v prostoru. Na primer delovno mesto, kjer se nahaja velika knjižna omara s gradivom, do katerega se pogosto dostopa, predstavlja delovno mesto, kjer se išče in bere. Seveda je tudi za to delovno mesto potrebno zagotoviti

ustrezno osvetljenost, ki je primerljiva z osvetljenostjo na primer delovnega mesta za pisalno mizo. Vendar takega delovnega mesta ne moremo postaviti ob okno, saj bo velika omara zelo zmanjšala količino naravne svetlobe v prostoru. Zato jo bomo običajno namestili ob zadnjo steno prostora in poskrbeli za ustrezno umetno osvetlitev. Podoben primer predstavljajo manjši prostori za počitek in sproščene sestanke/pogovore (kjer se nahajajo na primer manjše mize in kavči). Ti prostori zahtevajo manjše osvetljenosti, zato jih pogosto pomaknemo globlje v prostor, kjer je naravne svetlobe manj.

Slika 8.3: Pri razporeditvi svetil je potrebno upoštevati postavitev pohištva. Na sliki lahko vidimo delovna mesta za načrtovanje s pomočjo računalnika (CAD), ki so opremljena z več velikimi slikovnimi zasloni. Ker bi svetilke lahko na slikovnih zaslonih povzročale moteče bleščanje, jih namestimo ob strani delovnega mesta in ne neposredno nad njim oziroma za njim.

Barva in odsevnost površin

Pri načrtovanju razsvetljave moramo vedno upoštevati barvo površin sten, stropa in pohištva ter njihovo odsevnost. To je seveda še posebej pomembno pri indirektni razsvetljavi, vendar ima zelo velik vpliv tudi pri direktni. Pri svetlobnih izračunih moramo upoštevati čim bolj točne odsevnost notranjih arhitekturnih površin, pri čemer je v fazi načrtovanja pogosto težko izvedeti kakšne bodo končne karakteristike posameznih površin. V takem primeru si pomagamo s splošnimi podatki o svetlosti ter odsevnosti površin, kot na primer svetla/temna, difuzna ali zrcalna in podobno.

Če ni kakšnega posebnega razloga, ki bi govoril proti, se v prostorih uporablja svetle in difuzne površine. S tem dosežemo, da se več svetlobe odbije od sten in ostalih površin v prostoru, kar poveča osvetljenost na delovnih mestih. Z difuznimi površinami pa odpravimo morebitno odsevno bleščanje, ki je lahko moteče (na primer na površini delovne mize). Odsevnosti nekaterih materialov in opleskov sten podajata naslednji tabeli.

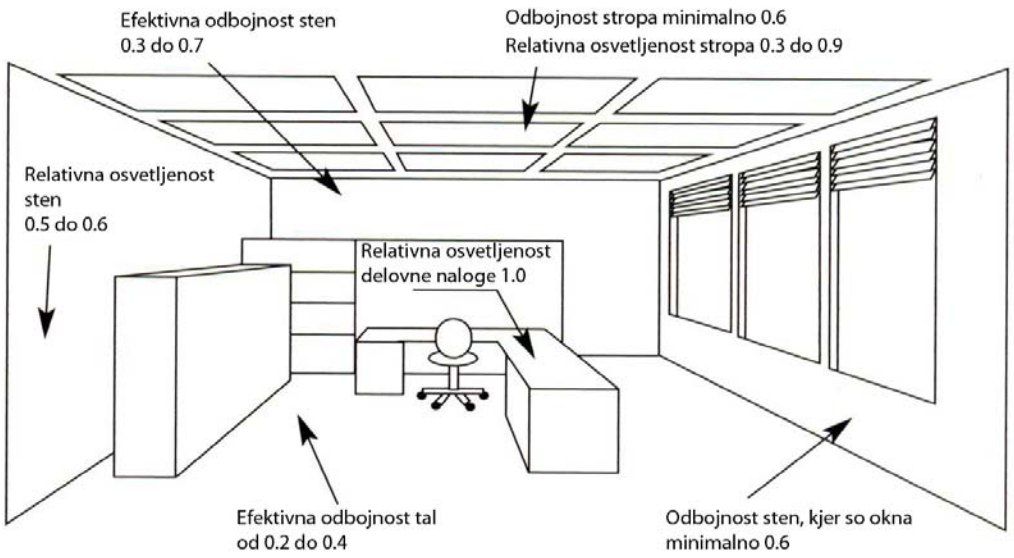
Material	Odsevnosti
Bel papir	0,8
Nerjaveče jeklo	0,4
Beton	0,3
Svetla preproga	0,3
Opeka	0,2
Temna preproga	0,1
Okensko steklo	0,1

Tabela 8.1: Odsevnosti nekaterih materialov, ki jih srečamo v notranjih prostorih oz. na delovnih mestih.

Barva opleska z RAL kodo	Odsevnosti
Bela 9010	0,86
Svetlo slonokoščena (Light Ivory) 1015	0,82
Krem 9001	0,77
Svetlo siva 7035	0,59
Oranžna 2011	0,30
Rumeno zelena 6018	0,28
Antracit siva	0,08

Tabela 8.2: Odsevnosti nekaterih barv opleskov z RAL oznakami, ki jih pogosto srečamo v notranjih prostorih poslovnih stavb (pisarnah).

Pri načrtovanju razsvetljave pisarn je razmerje svetlosti površin v prostoru zelo pomembno, še posebej v neposredni vidni okolici delovnega mesta. Svetlosti površin v vidnem polju naj bi se namreč počasi zmanjševale (svetlost delovne naloge – svetlost neposredne okolice – svetlost ostale okolice) in sicer v razmerju približno 1:3. Poleg tega je priporočljivo, da je strop bolj svetel od sten v prostoru, te pa od tal. Spodnja slika podaja priporočljive vrednosti odsevnosti in osvetljenosti glede na osvetljenost delovnega mesta.



Slika 8.4: Priporočena razmerja svetlosti v pisarnah.

Običajno načrtovalec razsvetljave nima bistvenega vpliva na izbor barv in materialov v prostoru, saj je to pri pisarnah večinoma v pristojnosti arhitekta ali pa notranjega oblikovalca. Je pa prav, da v primeru neprimerne izbire na to opozori. Temnejše barve namreč pomenijo tudi, da bo potrebno za isto vzdrževano osvetljenost na delovnem mestu (ki je predpisana s standardom) v prostoru namestiti več svetilk. To pa ne pomeni samo večje investicije pač pa tudi večjo porabo elektrine energije skozi celotno obdobje obratovanja razsvetljave.

Priporočljive odsevnosti površin v običajnih pisarnah podaja naslednja tabela:

Površina	Odsevnost
Strop	>0,7
Stene	0,5-0,7
Predelne stene	0,4-0,7
Tla	0,1-0,3
Pohištvo	0,2-0,5
Okenske žaluzije/senčila	0,4-0,6

Tabela 8.3: Priporočene odsevnosti površin v pisarnah in podobnih prostorih, ki zagotavljajo ustrezno porazdelitev svetlosti v prostoru pa tudi ustrezno energetsko učinkovitost razsvetljave.

Delovne naloge

Danes se večina dela v pisarnah opravi s pomočjo računalnika, ki je opremljen s slikovnim zaslonom. Pri načrtovanju razsvetljave moramo zato upoštevati orientacijo delovnih mest in slikovnih zaslonov glede na pohištvo in vire dnevne svetlobe. Običajno stremimo k čim bolj enakomerni osvetljenosti na delovnem mestu brez močnih in motečih senc. To vpliva predvsem na izbor in orientacijo svetilk v prostoru.

Poleg dela z računalnikom se v pisarnah seveda opravljajo tudi dela, ki so povezana na primer z podrobnim branjem teksta (pravne in notarske pisarne, javni uradi in podobno), dobrim razpoznavanjem barv (oblikovalski oddelki v podjetjih), pregledom večjih načrtov (arhitekturne pisarne) in podobno. Razsvetljava mora seveda zagotoviti ustrezno osvetljenost delovnih mest tudi za te naloge.

Kot smo omenili v prejšnjem poglavju, sodobne pisarne ne vsebujejo zgolj delovnih mest, kjer se opravi večino dela, temveč vsebujejo tudi prostore namenjene sestankom, krajšim počitkom, malici in podobno. Razsvetljava mora seveda zagotoviti ustrezne vidne pogoje tudi za ta področja v prostoru.

8.1.2 PRIPOROČILA

Svetlobno-tehnična priporočila in standardi za razsvetljavo se večinoma osredotočajo na tri parametre: osvetljenost, indeks bleščanja in indeks barvnega videza svetlobe.

Osvetljenost

Priporočila glede osvetljenosti za delovna mesta v pisarnah razlikujejo med delovnimi mesti, kjer se večina dela opravi s pomočjo slikovnih zaslonov ter med delovnimi mesti, kjer se opravljajo druge dejavnosti.

Razsvetljava notranjih prostorov

Prostor	Priporočena vrednost osvetljenosti
Odprta pisarna – delo večinoma s slikovnim zaslonom	300 lx
Odprta pisarna – delo večinoma brez slikovnega zaslona	500 lx
Odprta pisarna – del, ki je več kot 6 m od oken	500 lx
Celična pisarna - delo večinoma s slikovnim zaslonom	300 lx
Celična pisarna - delo večinoma brez slikovnega zaslona	500 lx

Tabela 8.4: Priporočila za osvetljenost različnih delovnih mest v pisarnah.

Za ostale tipe pisarn, kot na primer individualne pisarne in podobno, se priporočila ozirajo na relativni delež dela, ki se opravi s pomočjo slikovnega zaslona. V kolikor je ta delež prevladujoč je priporočena osvetljenost 300 lx, 500 lx pa v kolikor je večina dela opravljena drugače. Med ta druga dela običajno štejemo podrobno branje tekstov, pregled načrtov in podobno.

Pomožne pisarniške prostore, kot so hodniki, sobe za sestanke, prostori za počitek in malico ter podobno, je potrebno obravnavati ločeno.

Prostor	Priporočena vzdrževana osvetljenost	Dodatna priporočila
Sejne in konferenčne sobe	300 lx (za običajne sestanke)	500 lx (če gre za bolj podrobno branje dokumentov)
Knjižnice	300 lx (splošna osvetlitev)	200 lx (vertikalna osvetlitev na knjižnih omarah) 500 lx (na bralnih mizicah in pultih)
Arhivi	300 lx (splošna osvetlitev)	200 lx (vertikalna osvetlitev na policah)
Prostori za počitek in malico	200 lx	300 lx (na površinah za pripravo hrane)
Menze in restavracije	200 lx	300 lx (na površinah za strežbo hrane) 500 lx (v kuhinji)

Tabela 8.5: Priporočena osvetljenost nekaterih pomožnih pisarniških prostorov.

V tipični poslovni zgradbi so poleg osnovnih (pisarniških) prostorov in pomožnih prostorov še skupni prostori kot so vhodna veža (avla), recepcija, stopnišča, hodniki, strojnica ter prostori za električne omarice, podatkovni centri in IT prostori, skladišča, nadzorne postaje. Tudi te prostore je potrebno ustrezno osvetliti.

Prostor	Priporočena vzdrževana osvetljenost	Dodatna priporočila
Vhodna veža, avla, recepcija	200 lx (splošna osvetlitev)	300 lx na recepcijskem pultu ali mizi
Stopnišča	150 lx (na površini stopnic)	
Hodniki	100 lx (na tleh)	
Nadzorne in varnostne sobe	200 lx (splošna osvetlitev)	300 lx v primeru, da osebje pogosto dela brez računalnika
Strojnica	200 lx (splošna osvetlitev)	200 lx vertikalne osvetlitve na kazalcih, gumbih...
Delavnice	300 lx (splošna osvetlitev)	500 lx na delovnih površinah
Soba z zasilnim generatorjem	200 lx (splošna osvetlitev)	200 lx vertikalno na generatorju, kazalcih in gumbih
Skladišča za večje predmete	200 lx (splošna osvetlitev)	
Skladišča za manjše predmete	300 lx (splošna osvetlitev)	200 lx vertikalno na policah

Tabela 8.6: Priporočene vrednosti vzdrževane osvetljenosti skupnih in servisnih prostorov v poslovnih stavbah.

Enakomernost osvetljenosti

Priporočila o osvetljenosti omenjena v prejšnjem poglavju se seveda nanašajo na povprečno vrednost osvetljenosti na določeni delovni površini ali v določenem prostoru. Enakomernost osvetljenosti mora biti, tako kot vzdrževane vrednosti osvetljenosti, prav tako v skladu s standardom SIST EN 12464. Za delovne površine je predpisana enakomernost osvetljenosti (razmerje med najmanjšo in povprečno vrednostjo osvetljenosti) 0,7; za neposredno okolico delovnih površin pa je predpisana enakomernost 0,5.

Poleg enakomernosti osvetljenosti znotraj področja dela ali njegove neposredne okolice pa moramo določeno pozornost posvetiti tudi enakomernosti osvetljenosti (oz. razmerju med osvetljenostima) med posameznimi sosednjimi prostori. Če želimo zagotoviti nemoteno prehajanje iz enega prostora v drugega, se njuni osvetljenosti ne smeta razlikovati za več kot faktor 5. Če bi imeli v pisarni npr. 750 lx, je potem osvetljenost hodnika s 100 lx prenizka, saj lahko nastopi problem z adaptacijo oči. V takem primeru jo je potrebno dvigniti vsaj na 150 lx.

Bleščanje

Na tipičnem pisarniškem delovnem mestu se srečujemo z obema vrstama bleščanja: fiziološkim in psihološkim. Prav tako pa z direktnim in refleksnim. Do neposrednega fiziološkega bleščanja pride, kadar je v neposredni vizualni bližini opazovanega predmeta

(na primer zaslona) površina z veliko večjo svetlostjo kot opazovani predmet. Fiziološko bleščanje pomeni, da se mora naš vidni sistem prilagoditi na močno svetlost okolice, kar mu preprečuje zadostno vidno zaznavanje opazovanega predmeta, torej je naš vid moten. Najbolj znan primer direktnega fiziološkega bleščanja so najbrž žarometi avtomobila, ki nam ponoči vozi nasproti. V pisarniškem okolju do te vrste bleščanja pride redkeje, glavni viri bleščanja pa so lahko nepravilno nameščene svetilke ali pa okna, še posebej, če so obrnjena na vzhod (zjutraj) ali na zahod (popoldne). Prav tako se ga razmeroma lahko odpravi že v fazi načrtovanja razsvetljave in prostora in sicer s pravilno orientacijo in odmikom delovnih mest od virov premočne svetlobe ali z njihovim zastiranjem (na primer s senčili na oknih).

Do psihološkega bleščanja pa pride, kadar razmeroma velika svetlost v perifernem vidu otežuje izvajanje vidne naloge (moti in povzroča dodatno utrujenost). Psihološko bleščanje ocenjujemo s pomočjo faktorja UGR (unified glare rating), ki se giblje v vrednostih od približno 13 do 30, pri čemer manjša vrednost pomeni manjše bleščanja. Priporočene maksimalne vrednosti faktorja UGR so za posamezna delovna mesta skupaj z vrednostjo vzdrževane osvetljenosti navedene v standardu SIST EN 12464. Za pisarniške prostore oziroma prostore v poslovnih stavbah so zbrane v spodnji tabeli.

Prostor	Najvišji dovoljen UGR
Vsa delovna mesta	19
Vsi pomožni prostori, kjer se ljudje zadržujejo daljši čas (npr. sejne in konferenčne sobe, knjižnice in podobno)	19
Vsi pomožni prostori, kjer se ljudje zadržujejo krajši čas (npr. fotokopirnice, arhivi, prostori za počitek in malice, restavracije in menze)	22
Arhivi in ostali prostori, kjer se uporabnik zadržuje zelo kratek čas	25
Vhodne veže in recepcije	22
Hodniki in stopnišča	25
Vsi servisni prostori, razen kadar se delo v njih vrši daljši čas (v tem primeru glej 'vsa delovna mesta')	25

Tabela 8.7: Dovoljene najvišje vrednosti indeksa bleščanja UGR za različne vrste prostorov v poslovnih stavbah.

Indeks barvnega videza

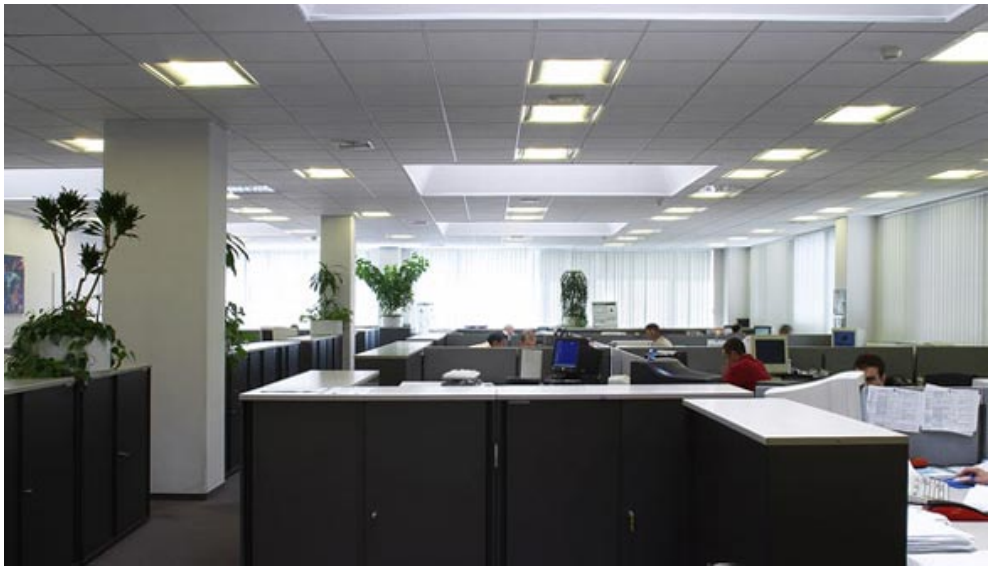
Dober barvni videz ni pomemben zgolj na delovnih mestih, kjer se dejansko dela z barvami (na primer v oblikovalskem studio in podobnih prostorih), temveč tudi tam, kjer se ljudje zadržujejo in delajo daljši čas. Tako se za vse prostore, razen servisnih prostorov, priporoča indeks barvnega videza najmanj 80. Za servisne prostore pa večinoma zadošča indeks barvnega videza v višini 60. V prostorih, kjer je pravilna ocena barv zelo pomembna, pa se priporoča indeks barvnega videza večji od 90. Vrednosti za posamezna delovna mesta so prav tako podane v standardu SIST EN 12464.

8.1.3 PRISTOPI K RAZSVETLJAVI PISARN

Obstaja več načinov osvetlitve pisarniških prostorov, ki lahko ob ustrezno izpolnjenih pogojih zadostijo priporočilom in standardom za razsvetljavo pisarn in podobnih prostorov. Tako lahko razsvetljavo delimo na direktno, indirektno, direktno-indirektno ter lokalno.

Direktna razsvetljava

Pri direktni razsvetljavi svetilke sevajo ves ali večji del (več kot 90 %) del svetlobnega toka navzdol. To je najbolj ekonomičen način zagotavljanja ustrezne osvetljenosti na delovni površini po celotnem prostoru. Direktne svetilke so lahko vgrajene v strop, nameščene na stropu (nadgradne) ali pa viseče (spuščene) iz stropa.



Slika 8.5: Primer direktne razsvetljave večje pisarne z vgradnimi svetilkami.

Slabost direktne razsvetljave je predvsem relativno temen strop in stene, kar pride še posebej do izraza, kadar so tla ali pohištvo v prostoru temnejših barv. Iz tega razloga je pri direktni razsvetljavi prostora priporočljivo, da so pohištvo in tla svetlejših barv (na zgornji meji odsevnosti, podanih v tabeli 8.3.

Pri direktni razsvetljavi je potrebno paziti tudi na možno prekomerno svetlost svetilk, ki lahko povzročajo psihološko bleščanje ali pa prav tako moteče odsevno bleščanje v slikovnih zaslonih. Te slabosti direktne razsvetljave so najbolj očitne v prostorih z nižjimi stropi (manj kot 3m), tako da je uporaba direktne razsvetljave priporočljiva predvsem v višjih prostorih.

Indirektna razsvetljava

Pri indirektni razsvetljavi svetilke ves svetlobni tok sevajo navzgor v strop, ki svetlobo difuzno odseva nazaj navzdol. Pri ustrezni namestitvi svetilk se na ta način zmanjšajo kontrasti svetlosti na stropu, kar pripomore k zmanjšanju psihološkega bleščanja ter odsevnega bleščanja v slikovnih zaslonih. Hkrati lahko prostor zgleda prijetno svetel, saj so strop in stene dobro osvetljene. Indirektna svetloba je zelo razpršena, kar pomeni, da je v

prostoru zelo malo senc. Posledično lahko prostor pri zgolj indirektni razsvetljavi zgleda nekoliko enoličen in brezizrazen.

Učinkovitost in udobnost indirektne razsvetljave je močno odvisna od odsevnosti in višine stropa v prostoru pa tudi od razdalje med svetilkami in stropom. Ta naj bi znašala vsaj 40cm ali več. Le tako lahko preprečimo previsoke svetlosti stropa direktno nad svetilko. V kolikor je ta razdalja manjša, je potrebno posebno pozornost posvetiti distribuciji svetlobnega toka, ki naj svetlobo enakomerno razprši po čim večji površini stropa.

Odsevnost stropa je seveda bistvena za učinkovitost indirektne razsvetljave. Vrednosti odsevnosti stropov naj znašajo vsaj 0,7; priporočljivo pa je vsaj 0,8 ali več. Priporočljivo je tudi, da je barva stropa spektralno nevtralna (bela), razen kadar želimo doseči poseben učinek.

Pri zelo visokih stropih (na primer več od 3,5 m) se učinkovitost indirektne razsvetljave zmanjša zaradi velikega števila svetlobnih odbojev, tako da v teh primerih le-ta ni priporočljiva. Na splošno je slaba energetska učinkovitost oziroma velika poraba električne energije glavna slabost tovrstne razsvetljave.

Direktno – indirektna razsvetljava

Direktno - indirektna razsvetljava združuje prednosti (in delno tudi slabosti) obeh zgoraj omenjenih vrst razsvetljave. Svetilke za direktno - indirektno razsvetljavo sevajo vsaj 20 % svetlobnega toka navzgor ali navzdol.

Slika 8.6: Direktno – indirektna razsvetljava pisarne. Uporabljene so stoječe svetilke, postavljene v bližini delovnih mest.

Glavna prednost direktno - indirektne razsvetljave je, da indirektna komponenta osvetljuje stene in strop, direktna pa zagotavlja zadostno osvetljenost delovnih površin ter zadostno modeliranje in vizualno pestrost prostora.

Direktno - indirektno razsvetljavo lahko izvedemo na več načinov. Obstaja več vrst svetilk tako stropnih nadgradnih kot spuščenih, ki združujejo obe komponenti. To vrsto razsvetljave pa lahko izvedemo tudi z dvema različnima vrstama svetilk in sicer eno direktno in eno indirektno. Tak primer predstavljajo na primer vgradne direktne svetilke na stropu ter dodatne stenske indirektne svetilke za osvetlitev stropa.

Lokalna razsvetljava

Včasih je v prostoru potrebno samo določena (določeno) delovno mesto osvetliti bolj, kot je osvetljen celoten prostor (ali ostala delovna mesta). Tako delovno mesto najlažje osvetlimo tako, da ga opremimo z dodatno lokalno razsvetljavo, ki osvetljuje zgolj to delovno mesto. Primer lokalne razsvetljave predstavljajo stoječe svetilke, ki so nameščene ob vsakem delovnem mestu ali pa svetilke, ki so integrirane v pohištvo, ki to delovno mesto sestavlja. Prednost tega sistema je, da se osvetljenost s splošno razsvetljavo (če sploh obstaja) lahko ustrezno zmanjša, ter da uporabniku posameznega delovnega mesta tako omogočimo individualno kontrolo nad osvetljenostjo delovnega mesta in usmeritvijo svetilke (v kolikor tip uporabljene svetilke to omogoča).

Slika 8.7: Lokalna razsvetljava delovnega mesta. V kolikor splošna razsvetljava prostora ne zadošča, je potrebno delovna mesta opremiti z lokalnimi svetilkami, ki si jih lahko uporabniki tudi ustrezno nastavijo.

Pri izbiri svetilke za to nalogo je potrebno biti pazljiv na postavitev delovnih mest v prostoru. V kolikor obstaja možnost, da se delovna mesta premikajo po prostoru, morajo biti svetilke seveda premične (ali integrirane v samo delovno mesto), prav tako pa mora biti na voljo zadostno število vtičnic. Potrebno je tudi preprečiti možnost, da bi en uporabnik ob nastavljanju in usmerjanju svoje svetilke nehote (ali hote) povzročil psihološko ali celo fiziološko bleščanje uporabniku sosednjega delovnega mesta. Zagotoviti je potrebno, da svetloba prihaja večinoma iz leve ali desne strani (z možnostjo zamenjave) ter da svetilka zagotavlja zadostno enakomernost osvetljenosti delovnega mesta (področja dela). Prav tako je potrebno paziti, da svetilka na meče premočnih in preostrih senc predmetov in rok na samem delovnem mestu.

Slabost lokalne razsvetljave je predvsem višja investicija, saj so stoječe svetilke običajno bistveno dražje, kot stropne. Prav tako je potrebno vedno zagotoviti zadostno število primernih rezervnih svetlobnih virov. Svetlobni pogoji na posameznem delovnem mestu se ob odpovedi lokalne svetilke (svetlobnega vira v njen) poslabšajo bistveno bolj, kot pri stropni direktni ali indirektni razsvetljavi.

8.2 RAZSVETLJAVA PROIZVODNIH OBRATOV

Industrijska razsvetljava oziroma razsvetljava proizvodnih obratov se mora podrejati tako splošnim smernicam za razsvetljavo kot tudi specifičnim zahtevam posameznega delovnega mesta. Delovna mesta v industriji namreč v veliko primerih vključujejo aktivnosti, ki imajo veliko višje vidne zahteve, kot veljajo na primer v pisarnah.

Slika 8.8: Primer razsvetljave industrijskega obrata. Vidimo lahko, da je delovno okolje s stališča razsvetljave zelo zahtevno: bleščeči materiali, uporaba slikovnega zaslona, visok strop ...

8.2.1 PREMISLEKI PRI NAČRTOVANJU RAZSVETLJAVE

Pri industrijski razsvetljavi je zagotavljanje ustrezne osvetljenosti za delovne naloge daleč najbolj bistvena zahteva pri načrtovanju razsvetljave. V splošnem lahko zahteve za osvetljenost ločimo na zahtevano osvetljenost komunikacijskih področij (razsvetljava komunikacijskih poti, ki omogoča varno premikanje in orientacijo v prostoru) ter na zahteve, ki se nanašajo na osvetljenosti posameznih delovnih mest.

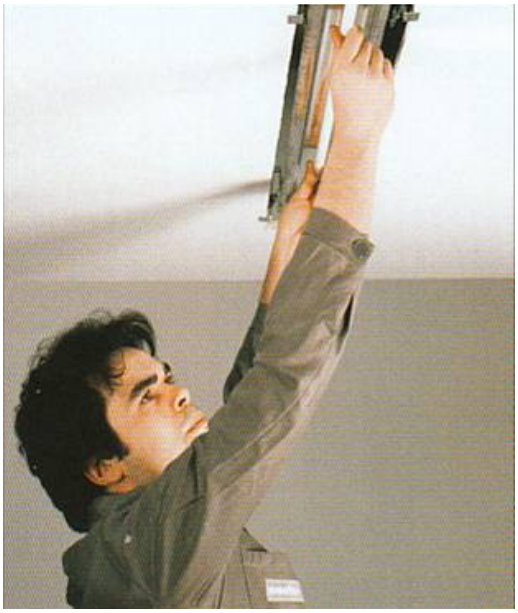
Okolje

V industrijskih obratih se pogosto srečujemo z ekstremnimi pogoji kot na primer prisotnost korozivnih snovi ali hlapov, zelo visoke ali zelo nizke temperature, prisotnost vode oziroma vlage, prisotnost prašnih delcev, prisotnost vnetljivih snovi, prisotnost močnih vibracij in podobno. Ti faktorji seveda vplivajo na izbor primernih svetilk, ki morajo biti prilagojene na specifično okolje v industrijskem obratu, ki ga želimo osvetliti. Poleg tega se svetilke običajno namešča precej visoko, kar prinese še dodatne zahteve glede usmerjenosti svetlobnega toka. Na trgu zato obstajajo posebne industrijske svetilke, ki so prilagojene različnim delovnim okoljem, ki jih srečamo v industriji.

Slika 8.9: Pri izbiri svetilk je potrebno upoštevati tudi okolje v katerem bodo delovale. V eksplozijsko ogroženih prostorih je na primer dovoljena le uporaba posebnih eksplozijsko varnih svetilk.

Vzdrževanje

Če se načrtovanja razsvetljave v industrijskem obratu ne lotimo dovolj premišljeno, lahko vzdrževalcem povzročimo precej težav. Ker je razsvetljava nameščena visoko, so za vzdrževanje potrebne posebne dvižne ploščadi. Dostop le-teh do svetilk pa lahko ovira postavitev večjih strojev, pa tudi npr. tri-izmensko delo. Pri načrtovanju razsvetljave je zato potrebno poznati način dela kot tudi lokacije fiksno nameščene opreme v prostoru.



Slika 8.10: Dobra razsvetljava potrebuje vzdrževanje. Le tako lahko v prostoru zagotavljamo potrebno osvetljenost.

Nezaželene sence

Pojav nezaželenih senc je v industrijskih okoljih pogost. Vzrok so lahko visoki stroji, regalni sistemi in podobno. Pri načrtovanju razsvetljave je zato potrebno pozicije svetilk prilagoditi predvideni razporeditvi opreme v prostoru (stroji, police, pohištvo...). V kolikor to ni mogoče, se premočnim nezaželenim sencam lahko izognemo z:

- večjim številom enakomerno porazdeljenih svetilk s široko porazdelitvijo svetlobnega toka (široka kotna porazdelitev svetilnosti);
- dodatno osvetlitvijo območij, ki so v senci (na primer ob ali pod večjimi stroji);
- uporabo površin z visoko difuzno odsevnostjo, s čemer povečamo odboje svetlobe od takih površin in s tem tudi osvetljenosti v prostoru.

Smer pogledov v delovnem okolju

Smer pogledov v industrijskem okolju ni tako predvidljiva kot na primer v pisarniškem. Na primer voznik viličarja v skladišču pogosto pogleduje navzgor, operater večjega stroja večinoma gleda naravnost naprej, pri ročnem sestavljanju delov je pogled običajno usmerjen navzdol in podobno. Zato obstaja precej velika verjetnost, da bo pri določenih delih prišlo do psihološkega ali celo fiziološkega bleščanja. Bleščanje lahko še povečujejo zrcalni materiali, ki se jih uporablja npr. v proizvodnji. Da se izognemo neželenemu bleščanje moramo možne smeri pogleda upoštevati že pri načrtovanju razsvetljave in na podlagi tega določiti mesta za svetilke. Prav tako možno bleščanje upoštevamo pri izbiri prostorske porazdelitve svetilnosti svetilk, ki jih bomo predvideli v takem prostoru.

Rotirajoči in nihajoči stroji

Pri rotirajočih in/ali nihajočih strojih se lahko pri uporabi določenih svetlobnih virov pojavi t.i. stroboskopski efekt. Stroboskopski efekt je posledica utripanja svetlobe in lahko povzroči, da vrtenja (ali nihanja) stroja ne zaznamo pravilno. Tako lahko vrteči del stroja zgleda kot da miruje ali se vrti v drugo smer oziroma z drugačno hitrostjo. Ta pojav lahko poveča možnost poškodbe, zato se mu moramo izogniti.

Slika 8.11: Na delovnih mestih z rotirajočimi stroji ne smemo uporabiti svetilk oziroma svetlobnih virov, ki povzročajo stroboskopski efekt.

Pri žarnicah utripanja svetlobe ni, nevarna pa je lahko uporaba nizkotlačnih ali visokotlačnih sijalk z elektromagnetnimi predstikalnimi napravami. Zato je priporočljiva uporaba elektronskih predstikalnih naprav, ki obratujejo v področju višjih frekvenc (nekaj

deset kHz) in ne povzročajo utripanja svetlobe sijalk. Utripajo pa lahko tudi sijalke s svetlečimi diodami, ki za regulacijo svetlobnega toka uporabljajo pulzno-širinsko modulacijo (PWM), zato se je dobro izogniti tudi teh.

Posebne zahteve za razsvetljavo

V industrijskih proizvodnih obratih srečamo veliko primerov, ko posamezna delovna mesta pred razsvetljavo postavljajo posebne zahteve glede parametrov (osvetljenost, enakomernost, smer svetlobe, indeks barvnega videza …). Posebne zahteve pogosto srečamo na primer pri preverjanju kakovosti izdelkov. Pri preverjanju oblike izdelkov je na primer bistveno zagotoviti ustrezno modeliranje (razmerje senc in svetlobe) v kolikor naj bo oblika predmeta dobro vidna. Podobno moramo na primer za opazovanje površinskih nepravilnosti predmet osvetliti tako, da je smer svetlobe skoraj vzporedna s površino predmeta (zelo majhen kot med smerjo svetlobe in površino). V tem primeru vsaka nepravilnost na površini predmeta povzroči precej močno senco in jo lahko brez večjih težav opazimo.

Pomembna je tudi barvna temperatura svetlobe, saj so pogosto nekatere napake bolj vidne pri svetlobi s specifično spektralno porazdelitvijo. Na primer za preverjanje kakovosti kromiranih površin je boljša svetloba z višjo barvno temperaturo kot tista z nižjo, torej bolj hladno bela svetloba.

S pomočjo polarizirane svetloba pa lahko odkrivamo področja notranjih napetosti v na primer steklenih izdelkih: pri montaži leč, pri steklenih balonih za svetlobne vire ali svetilke, pri radijskih ceveh (elektronkah) in podobno. Neenakomerna spektralna prepustnost predelov pod napetostjo namreč povzroči tvorbo barvnih lis, ki jih kontrolor lahko opazi.

Za preverjanje pravilne hitrosti vrtenja strojev lahko uporabimo utripajočo (stroboskopsko) svetlobo, ki ji frekvenco utripanja nastavimo tako, da je sinhronizirana s frekvenco rotirajočega stroja. S tem dosežemo, da je vrteči se del stroj videti kot da miruje. Seveda je potrebno področje, osvetljeno z utripajočo svetlobo, omejiti samo na področje opazovanega vrtečega se dela. Prav tako pa je potrebno uporabnika opozoriti na možnost poškodbe ob stiku s strojem.

8.2.2 PRIPOROČILA

V industrijski stavbi ali okolju srečamo različna področja oziroma prostore, za katera veljajo različna priporočila za razsvetljavo. Tako na primer razlikujemo med:

1. proizvodnji prostori z različnimi delovnimi mesti;
2. prostori za skladiščenje;
3. kontrolnimi prostori;
4. komunikacijskimi prostori (hodniki, veže, komunikacijski prostori v proizvodnih prostorih);
5. pomožni in skupni prostori (menze, toaletni prostori…).

Razsvetljava notranjih prostorov

Zahtevani parametri razsvetljave za različna delovna mesta so seveda odvisni od zahtevnosti vidne delovne naloge na posameznem delovnem mestu. Za običajne vidne delovne naloge zadošča osvetljenost 500 lx. Pri manj zahtevnih vidnih nalogah lahko osvetljenost znižamo na 300 lx, pri vidnih nalogah z večjimi zahtevami pa jo moramo povišati na 750 lx ali celo na 1000 lx. Pri zelo zahtevnih vidnih nalogah pa so priporočene celo osvetljenosti nad 2000 lx. Za določena industrijska delovna mesta so priporočene vrednosti najmanjše vzdrževane osvetljenosti, najmanjšega indeksa barvnega videza (Ra) in največjega indeksa bleščanja (UGR) podane v prilogi na koncu knjige.

Razsvetljava skladiščnih prostorov v industrijskih okoljih se prav tako ravna po zahtevnosti vidne naloge (velikost skladiščenih predmetov, zahteve po branju oznak in podobno) ter glede na pogostost dela v skladišču.

Tip skladišča	Najmanjša vzdrževana osvetljenost	Najmanjši indeks barvnega videza (Ra)	Največji indeks bleščanja (UGR)
Avtomatizirano skladišče	20 lx	40	30
Navadno skladišče	150 lx	60	25
Navadno skladišče s stalno prisotnostjo, kjer vidna naloga ni zelo zahtevna	200 lx	80	25
Navadno skladišče s stalno prisotnostjo, kjer je vidna naloga zelo zahtevna	300 lx	80	25

Tabela 8.8: Priporočeni parametri razsvetljave za skladiščne prostore. Pri avtomatiziranih skladiščih kjer prisotnost skladiščnika ni potrebna, zadošča osvetljenost 20 lx, ki omogoča osnovno orientacijo v prostoru. V ostalih primerih pa mora osvetljenost omogočati tudi prepoznavanje predmetov, branje … in mora zato biti ustrezno večja. Za stalno zasedena delovna mesta pa mora biti osvetljenost vsaj 200 lx ali več.

Tip kontrolnega prostora	Najmanjša vzdrževana osvetljenost	Najmanjši indeks barvnega videza (Ra)	Največji indeks bleščanja (UGR)
Kontrolna soba, kjer večina dela poteka preko slikovnih zaslonov.	300 lx	80	19
Kontrolna soba, kjer večina dela poteka brez slikovnih zaslonov.	500 lx	80	19
Kontrolna soba z nizko kontrastnimi diagrami, kazalci ali napravami (zelo zahtevna vidna naloga)	1000 lx	80	19

Tabela 8.9: Priporočene vrednosti za razsvetljavo kontrolnih prostorov. V običajnih razmerah zadošča osvetljenost 500 lx, ki pa jo v primeru uporabe slikovnih zaslonov zaradi odprave odsevnega bleščanja znižamo na 300 lx. V primeru bolj zahtevnega vidnega okolja (npr. manjši kontrasti vidnih nalog) pa je potrebna večja osvetljenost.

Za razsvetljavo kontrolnih prostorov v industrijskih okoljih so priporočila podobna kot za razsvetljavo pisarn. So pa priporočene vrednosti osvetljenosti ponekod višje, še posebej kadar osebje kontrolira kritične in nevarne procese s pomočjo nizko kontrastnih diagramov in zaslonov.

Slika 8.12: Pri razsvetljavi kontrolnih prostorov moramo pozornost posvetiti predvsem zadostnemu omejevanju bleščanja.

Pomožni in skupni prostori

Za razsvetljavo pomožnih in skupnih prostorov v industrijskih okoljih lahko uporabimo ista priporočila kot za razsvetljavo podobnih prostorov v pisarniškem okolju. V vseh teh prostorih je potrebno poleg ustrezne horizontalne osvetljenosti, indeksa barvnega videza (Ra) in indeksa bleščanja (UGR), zagotoviti tudi ustrezno vizualno okolje. Tako lahko na primer pri razsvetljavi hodnikov uporabimo indirektne svetilke s čimer dosežemo večjo osvetljenost zidov in stropa hodnika, kar naredi hodnik prijaznejši.

Prav tako je potrebno za ustrezno porazdelitev svetlosti poskrbeti tudi pri razsvetljavi menz in restavracij, kjer se zato načeloma izogibamo zgolj direktni osvetlitvi s stropa. Za to, da dosežemo prijaznejši in bolj sproščujoč vizualni ambient, lahko dodamo še indirektne svetilke, spuščene svetilk nad pultom in jedilnimi mizami ali stenske svetilke.

8.2.3 PRISTOPI K RAZSVETLJAVI INDUSTRIJSKIH PROSTOROV

V splošnem lahko razsvetljavo industrijskih stavb razdelimo na razsvetljavo proizvodnih delovnih mest ter na razsvetljavo ostalih prostorov (skladišča, kontrolne sobe, pisarne, skupni in pomožni prostori …). V tem poglavju se bomo posvetili zgolj razsvetljavi proizvodnih delovnih mest, saj se razsvetljava ostalih prostorov načrtuje podobno kot razsvetljava prostorov istega tipa v pisarniških zgradbah.

Splošna razsvetljava prostorov, kjer se izvaja industrijski proces

Ker so prostori, kjer poteka proizvodnja, običajno zelo veliki, zahteve za razsvetljavo posameznih delovnih mest pa lahko zelo različne, lahko razsvetljavo takih prostorov razdelimo na splošno razsvetljavo celotnega prostora in dodatno razsvetljavo samega

delovnega mesta. Splošna razsvetljava industrijskih prostorov se pogosto kombinira z razsvetljavo z dnevno svetlobo, saj imajo industrijske zgradbe pogosto poleg stranskih (stenskih) oken tudi strešna okna, ki tekom dneva v prostoru zagotavljajo dovolj naravne svetlobe.

Slika 8.13: Splošna razsvetljava delovnih mest s svetilkami na stropu v kombinaciji z dnevno svetlobo.

Razporeditev svetilk za splošno razsvetljavo je v industrijskih prostorih večinoma enakomerna, pri čemer se gostota svetilk in posledično povprečna osvetljenost delovnih površin pod svetilkami, prilagaja delovnih nalogam v prostoru. Priporočene svetlobno-tehnične karakteristike za posamezne delovne procese so podrobneje opisane v prilogi.

Ko izbiramo ustrezne svetlobne vire za splošno razsvetljavo industrijskega prostora se ravnamo predvsem po višini prostora. Pri nižjih prostorih uporabimo svetilke z bolj široko porazdelitvijo svetilnosti v katerih so običajno nameščene fluorescenčne sijalke. Pri višjih prostorih pa moramo uporabiti svetilke z ožjo krivuljo porazdelitve, da dosežemo boljšo energetsko učinkovitost razsvetljave. Ker so te svetilke običajno opremljene z reflektorji, so v njih nameščeni manjši svetlobni viri kot na primer visokotlačne kovinsko-halogenidne sijalke. Je pa za višje prostore na voljo tudi nekaj reflektorskih svetilk z fluorescenčnimi sijalkami, ki jih lahko uporabimo tudi v višjih prostorih.

Višina namestitve svetilk	Priporočen svetlobni vir
2,5 m do 3,0 m	Fluorescentne sijalke
3,0 m do 6,0 m	Fluorescentne sijalke ali visokotlačne sijalke z manjšimi električnimi močmi
več kot 6,0 m	Visokotlačne sijalke z večjimi električnimi močmi

Tabela 8.10: Priporočeni svetlobni viri za različno visoke industrijske prostore.

Lokalna razsvetljava

Pogosto je zaradi zelo visokih stropov ter prisotnosti industrijske opreme in strojev v prostoru, zelo težko ustrezno osvetliti delovna mesta zgolj s splošno razsvetljavo s

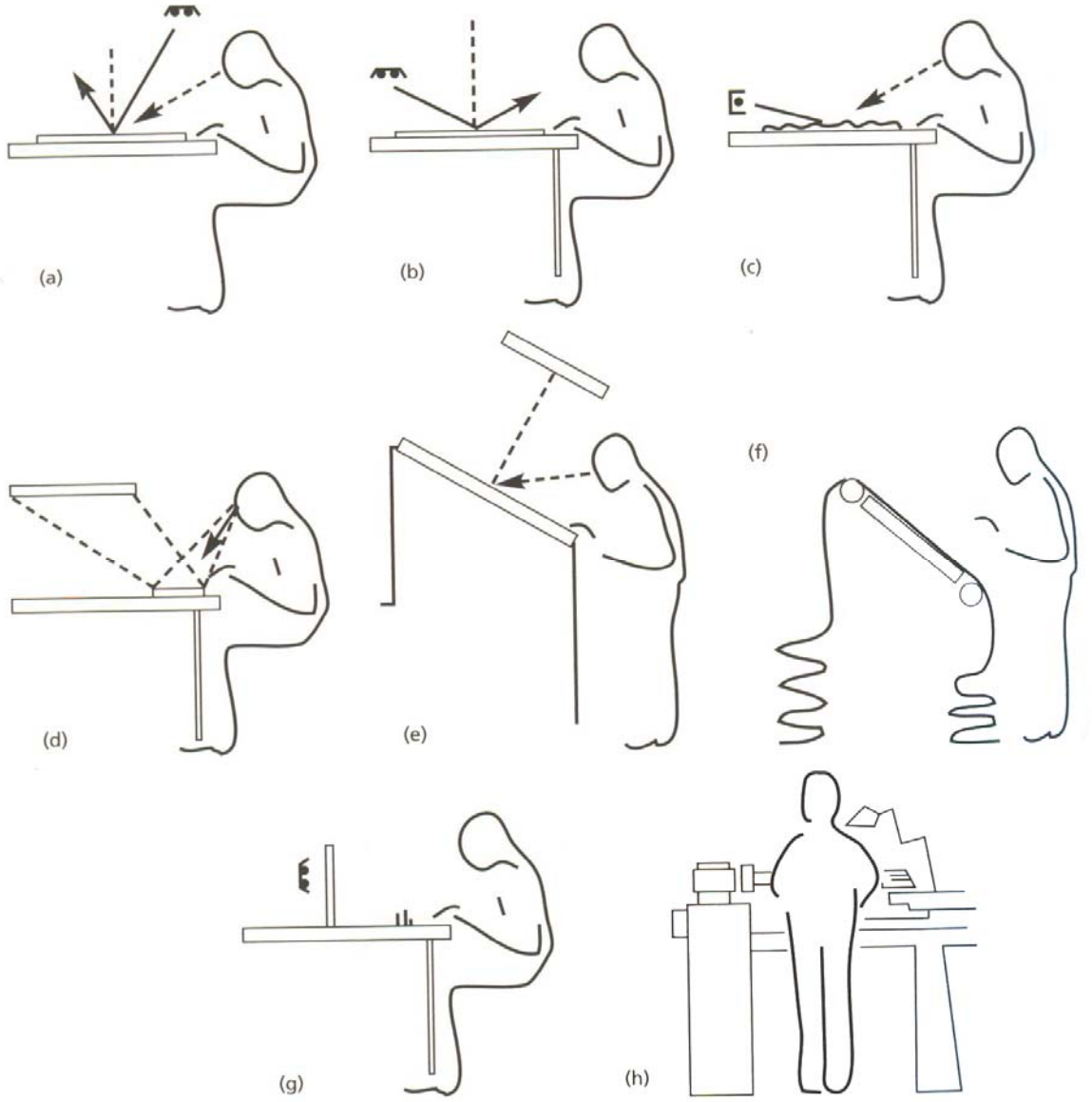
svetilkami, nameščenimi na stropu. Da dosežemo ustrezno osvetljenost delovnih mest in tudi ustrezno energetsko učinkovitost razsvetljave zato običajno uporabimo dodatno lokalno razsvetljavo za delovna mesta, ki jih s splošno razsvetljavo ne moremo ustrezno osvetliti.

Slika 8.14: Dodatna lokalna razsvetljava na delovnem mestu prispeva k večji točnosti pri delu.

Posebna razsvetljava delovnih mest

Pri lokalni razsvetljavi delovnih nalog, kjer želimo poleg ustrezne osvetljenost doseči še druge lastnosti razsvetljave, se lahko ravnamo po naslednjih priporočilih (ki so tudi slikovno predstavljena na spodnji sliki):

a) pri razsvetljavi delovne naloge (površine) moramo paziti na smer odboja svetlobe, da preprečimo moteče odsevno bleščanje;
b) pri razsvetljavi bleščečih detajlov na difuzni površini nam pogosto pomaga osvetlitev iz nasprotne smeri, ki namenoma povzroči odsevno bleščanje, saj bleščeče dele tako bolje opazimo. Pogoj za uporabo te vrste osvetlitve je majhna skupna površina bleščečih delov;
c) osvetlitev z majhnim vpadnim kotom nam pomaga razločiti nepravilnosti na ravni površini;
d) svetlobe iz vira z veliko površino in razmeroma majhno svetlostjo nam pomaga opaziti majhne napake na večji svetleči površini (npr. na površini avtomobila);
e) enakomerno razporejena svetloba iz vira z veliko površino in razmeroma majhno svetlostjo je optimalna za delo z difuznimi površinami (npr. papir pri tiskarstvu);
f) zaznavanje napak na prozornih ali prosojnih predmetih ali površinah (npr. na steklu) omogočimo s pomočjo vira z veliko površino in razmeroma majhno svetlostjo, ki sveti skozi prozoren ali prosojen predmet;
g) opazovanje kontur predmeta je najlažje s pomočjo ustvarjanje silhuet. To dosežemo tako, da predmet postavimo med opazovalca in svetlo površino (svetilko);
h) opazovanje oblike in teksture predmeta olajšamo z ustrezno usmerjeno svetlobo, ki ustvarja primerno količino senc in kontrastov.



Slika 8.15: Pri uporabi lokalne razsvetljave lahko z različnimi pristopi k osvetljevanju delovnega mesta (postavitev svetilke, smer svetlobe ...) bistveno olajšamo delavcem izvajanje dela. Seveda pa lahko napačna postavitev ali usmerjenost svetilke delo tudi dodatno otežuje, zato moramo biti pri namestitvi lokalne razsvetljave še posebej previdni. S pravilno postavitvijo svetilke (a) (e) lahko bleščanje odpravimo, medtem ko nepravilna postavitev (b) (d) bleščanje lahko močno poveča. Za kontrolo hrapavosti površine je priporočljiva smer svetlobe, ki je skoraj vzporedna z opazovano površino (c), včasih pa si pomagamo tudi s svetlobo, ki preseva skozi opazovano površino (f). Pri delu z majhnimi bleščečimi predmeti je priporočljiva difuzna svetloba, ki jo dosežemo s svetilko za ustreznim difuznim materialom (g). Na delovnih mestih, kjer potrebujemo večje osvetljenosti, pa si lahko pomagamo z dodatnimi lokalnimi svetilkami (h).

Zgoraj omenjeni princip razsvetljave industrijskega prostora s splošno razsvetljavo, ki omogoča osvetljenosti za komunikacijska področja in delovna mesta z manj zahtevnimi vidnimi nalogami (osvetljenost 300 lx) in dodatno lokalno razsvetljavo za posamezna delovna mesta, je uporaben za vse industrijske stavbe. Kljub temu pa je pred načrtovanjem razsvetljave za konkreten industrijski objekt potrebno podrobno preučiti delovne procese, ki bodo v njem potekali in izbrati primerne parametre razsvetljave za vsako delovno mesto posebej.

8.3 RAZSVETLJAVA IZOBRAŽEVALNIH OBJEKTOV

Razsvetljava objektov za vzgojo in izobraževanje je zaradi različnih dodatnih zahtev zelo specifično področje. V tovrstnih objektih uporabniki preživijo večino dneva ob bolj ali manj enakih vidnih zahtevah (zahtevnostih vidne naloge). Te so pri mlajših otrocih bolj pestre, v kasnejših razredih osnovne šole, v srednjih in visokih šolah, na gimnazijah ter na fakultetah pa vsebujejo skoraj izključno samo branje in pisanje ter delno uporabo slikovnih zaslonov (računalnikov). Izobraževalne ustanove seveda ne vsebujejo zgolj tipičnih učilnic s klopmi, temveč tudi telovadnice, prostore za glasbeno in umetniško vzgojo ter prostore za izobraževanje in delo s pomočjo računalnikov. V vrtcih in osnovnih šolah srečamo tudi igralnice in podobne prostore. Vsak od teh prostorov, ki ni namenjen zgolj branju s table in izobraževalnega gradiva ter pisanju, ima seveda posebne zahteve za razsvetljavo.

Slika 8.16: Veliko prostorov v objektih za vzgojo in izobraževanje je načrtovanih tako, da ima velik delež dnevne svetlobe, ki večino dnevnega časa zagotavlja ustrezno osvetljenost prostora.

8.3.1 PREMISLEKI PRI NAČRTOVANJU RAZSVETLJAVE

Pri prostorih za izobraževanje in vzgojo se srečamo z več posebnostmi tako prostorov kot uporabnikov, ki pomembno vplivajo na načrtovanje razsvetljave. Prva posebnost je vsekakor mladost uporabnikov, vendar pri tem ne smemo pozabiti, da mora razsvetljava ustrezati tudi starejšim uporabnikov, za katere so ti prostori delovna mesta. Druga posebnost pa je čas, ki ga uporabniki teh prostorov preživijo v njih. Vsaj pri vrtcih je ta čas lahko celo daljši, kot ga odrasli preživijo na delovnem mestu. Še posebno pozornost pa moramo posvetiti razsvetljavi prostorov, ki so namenjeni učencem oziroma otrokom s posebnimi potrebami.

Potrebe učencev

Prvi premislek, ki ga moramo opraviti pri načrtovanju razsvetljave izobraževalnih ustanov je premislek o potrebah uporabnikov prostora. V kolikor načrtujemo razsvetljavo za učence s posebnimi potrebami, se lahko zahteve za razsvetljavo bistveno spremenijo. Več raziskav je pokazalo, da so na primer avtistični učenci bistveno bolj občutljivi na moteče kontraste, bleščanje in poglede navzven, ki jim običajno motijo koncentracijo. Za učence v izobraževalnih ustanovah za gluhe in naglušne, je dobra osvetlitev obrazov pogosto zelo pomembna, saj učencem pomaga brati iz ustnic. V tem primeru moramo torej poskrbeti, da razsvetljava nudi zadostno vertikalno in polcilindrično osvetljenost v višini obrazov.

Slika 8.17: Vidne naloge v enem prostoru so lahko zelo različne, seveda mora razsvetljava v vseh primerih nuditi ustrezne razmere za vidno zaznavanje in preprečevati moteče vplive kot je na primer bleščanje.

V izobraževalnih in vzgojnih ustanovah se odvijajo zelo različne aktivnosti. Tako lahko otroci v učilnicah v kratkem obdobju berejo s table, rišejo, pišejo, poslušajo glasbo, gledajo video projekcijo, si ogledujejo zemljevide ali plakate na stenah in podobno. Gre torej za zelo različne vidne naloge pa tudi različne smeri pogleda. Razsvetljava mora seveda v vseh primerih zagotoviti ustrezne razmere za opravljanje teh vidnih nalog in ne sme imeti motečih vplivov, kot je npr. bleščanje.

Prisotnost dnevne osvetlitve

Prostori v večini izobraževalnih in vzgojnih ustanov so projektirani tako, da imajo velike steklene površine, ki zagotavljajo dober vidni stik z okolico in dobro osvetljenost z naravno svetlobo. Oboje je zelo pomembno, saj otroci oz. učenci v teh prostorih preživijo večino časa dneva.

Dnevna svetloba tako vsaj del dneva zadošča za ustrezno osvetljenost celotnega prostora. Ker pa so okna običajno nameščena na eni stranski površini prostora, osvetljenost z naravno svetlobo upada z razdaljo od oken. Tako je lahko v določenih delih dneva (zjutraj in zvečer) osvetljenost v globini prostora nezadostna, čeprav je v delu prostora ob oknu še dovolj visoka. To pomeni da je v tem času prostor potrebo dosvetljevati z umetno razsvetljavo. Če želimo doseči ustrezno energetsko učinkovitost umetne razsvetljave, je potrebno svetilke razdeliti v skupine, ki se prižigajo ločeno in so razporejene vzporedno z okni. Tako lahko prižgemo samo del svetilk, ki so globlje v prostoru in ustrezno izravnamo osvetljenost prostora. Seveda lahko tak sistem nadgradimo še z avtomatsko regulacijo

osvetljenosti v odvisnosti od količine naravne svetlobe, ki je na voljo in ki jo ugotavljamo s pomočjo senzorja osvetljenosti.

Slika 8.18: Dnevna svetloba je v učilnici zelo pomembna, tudi iz energetskega stališča. Zato mora biti razsvetljava projektirana tako, da omogoča njeno čim večjo izkoriščenost.

Omejitev bleščanja

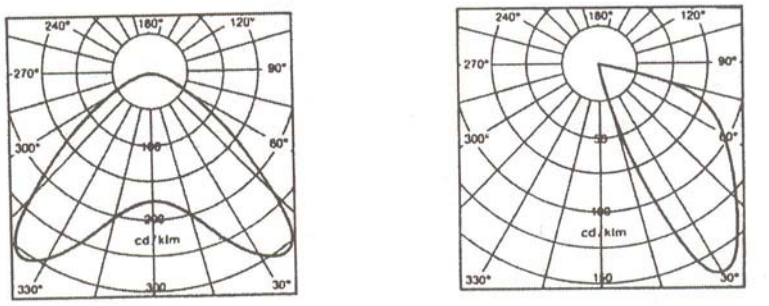
V običajni učilnici, in take so v večini, imamo dve značilni smeri pogleda. Učenci večino časa gledajo proti tabli, učitelj pa večino časa gleda proti učencem. Zaradi tega je potrebno posebno pozornost posvetiti omejitvi bleščanja, ki je lahko zaradi večinoma horizontalnih pogledov ter relativne oddaljenosti opazovanega predmeta (ponavadi table) posebej moteče. Pri tem igra veliko vlogo razporeditev svetilk na stropu in seveda njihove karakteristike (prostorska porazdelitev svetilnosti oz. svetlosti). Pri razporeditvi svetilk na stropu pazimo, da svetilke ne namestimo nad glavami učencev ampak v področju med vrstami klopi, saj je tako bleščanje manjše.

Slika 8.19: Pri razporeditvi svetilk na stropu pazimo, da ne povzročajo motečega direktnega ali odsevnega bleščanja. Slednje je še posebej pomembno npr. v računalniških učilnicah.

Moteče bleščanje pa lahko povzročajo tudi velike okenske površine. To je lahko posebno izrazito v primeru, ko so okna obrnjena na vzhod ali zahod. Takrat lahko v delu dneva (zjutraj oz. zvečer) sonce direktno sveti v prostor, in tako povzroča zelo visoke svetlosti okenskih površin. Zato je potrebno okna vedno opremiti z ustreznimi zastori oz. žaluzijami.

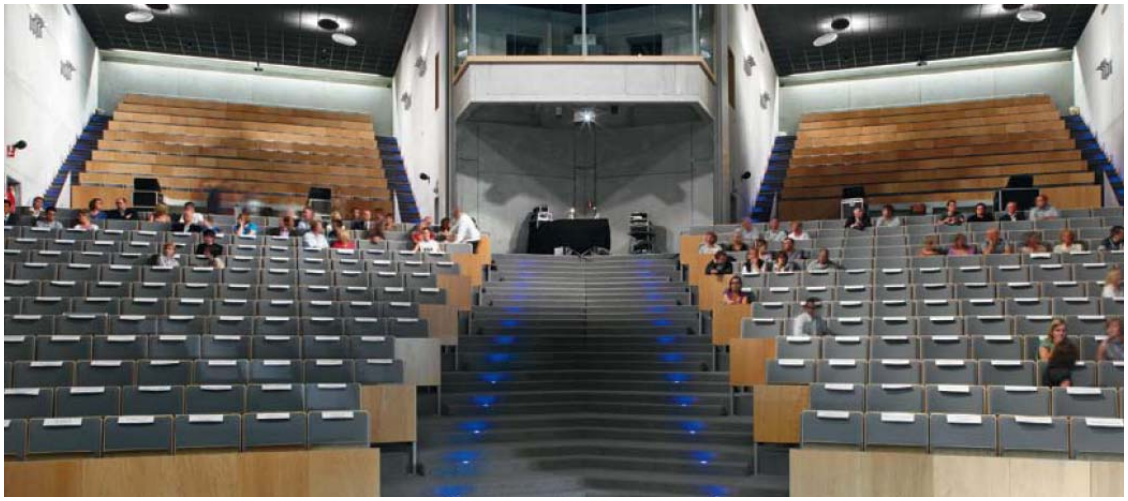
Izbor svetilk glede na prostorsko porazdelitev svetilnosti

Ko izbiramo svetilke za prostore v izobraževalnih ustanovah običajno izberemo takšne, ki imajo nekoliko širšo porazdelitev svetilnosti v prečni smeri in ožjo vzdolžni smeri. Druga možnost so svetilke z asimetrično porazdelitvijo svetilnosti. Obe porazdelitvi sta prikazani na spodnjih slikah.



Slika 8.20: Dve karakteristični prostorski porazdelitvi svetilnosti svetilk za prostore za vzgojo in izobraževanje. Levo je široka simetrična porazdelitev, ki omogoča ustrezno enakomerno porazdelitev osvetljenosti v prostoru. Desno pa je značilna asimetrična porazdelitev. Svetilke s tako porazdelitvijo uporabljamo za osvetljevanje table in sten, v določenih primerih pa tudi za razsvetljavo celotnega prostora.

Svetilke s široko porazdelitvijo namestimo vzporedno z linijo pogleda. Široka porazdelitev svetilnosti v prečni smeri omogoča enakomerno osvetljenost prostora medtem ko ožja vzdolžna porazdelitev zmanjšuje bleščanje v glavnih smereh pogleda: proti tabli in nazaj proti učencem. Svetilke z asimetrično porazdelitvijo svetilnosti običajno uporabimo za dodatno osvetlitev table in sten, na katerih se nahajajo učni pripomočki (zemljevidi, plakati…). Svetilke z asimetrično porazdelitvijo svetilnosti lahko uporabimo tudi za splošno razsvetljavo prostora, obrnemo pa jih tako, da je področje z večjo svetilnostjo obrnjeno proti tabli. Taka razporeditev zagotavlja minimalno bleščanje za učence, vendar lahko povzroča bleščanje učitelju, ki zato slabo vidi obraze učencev. Zato je ta rešitev priporočljiva samo za večje učilnice (predavalnice, avditoriji), kjer so tla nagnjena proti tabli in je strop nad predavateljem višji, kar zmanjšuje bleščanje takih svetilk.



Slika 8.21: Predavalnice s strmo nagnjenimi tlemi in ravnim stropom potrebujejo posebno obravnavo, saj enakomerna razporeditev svetilk na stropu lahko povzroči, da je osvetljenost v zadnjih vrstah bistveno večja kot v prvih. Poleg tega je v zadnjih vrstah lahko problem tudi bleščanje.

Pri predavalnicah z izrazito nagnjenimi tlemi in torej veliko razliko v višini stropa nad zadnjim in sprednjim delom predavalnice je potrebo paziti tudi na ustrezno razporeditev svetilk. Zaradi manjše višine stropa v zadnjem delu predavalnice lahko namreč zadostno osvetljenost dosežemo že z manjšim številom svetilk, kot je to potrebno v sprednjem delu predavalnice ob tabli. Zato so lahko svetilke na zadnjem nižjem delu predavalnice razporejene redkeje kot tiste na spredem višjem delu.

Prisotnost drugih učnih pripomočkov

V sodobnem izobraževalnem procesu se pogosto uporabljajo tudi drugi vizualni pripomočki, kot so na primer veliki zemljevidi ali plakati na stenah, video projekcije in računalniki s slikovnimi zasloni. Razsvetljava mora seveda zagotavljati ustrezne razmere za njihovo uporab, še posebej če se jih uporablja več kot zgolj občasno. V času projekcije je tako pogosto potrebno zmanjšati nivo osvetljenosti. V primeru razsvetljave z dnevno svetlobo to dosežemo z uporabo senčil na oknih. Pri uporabi umetne razsvetljave pa z izklopom svetilk ali znižanjem njihovega svetlobnega toka. V kolikor naravna svetloba ni prisotna, je regulacija svetlobnega toka bolj primerna rešitev, saj mora razsvetljava tudi v času projekcije zagotavljati minimalno osvetljenost za orientacijo v prostoru.

Slika 8.22: V sodobnih učilnicah so pogosto prisotni tudi drugi učni pripomočki, kot so na primer plakati, razstavne stene ali računalniki s slikovnimi zasloni. V takem primeru je potrebno svetilke izbrati in razporediti tako, da ne povzročajo bleščanja učencem tako med delom z računalnikom kot tudi pri gledanju na primer na tablo ali razstavno steno. Preprečiti pa moramo tudi bleščanje, ki ga lahko povzroča naravna svetloba (okna).

Barve in odsevnosti površin

V izobraževalnih ustanovah je uporaba živahnih barv pogosto priporočljiva zaradi poživljajočih učinkov na izgled prostora. Vendar je priporočljivo, da so močne barve omejene na manjše površine v prostoru, medtem ko naj bo večina ostalih površin svetlih z nizko nasičenimi barvnimi odtenki. S tem bomo povečali odsevanje svetlobe od površin v prostoru in tako dvignili splošno osvetljenost v prostoru in zmanjšali kontraste.

8.3.2 PRIPOROČILA

Svetlobno-tehnična priporočila v poglavju za izobraževalne ustanove navajajo zahteve samo za prostore, kjer se odvija izobraževalni proces, torej za učilnice, predavalnice in podobne prostore. Za ostale prostore, kot so na primer hodniki, avle, toaletni prostori,

servisni prostori in podobno, upoštevamo priporočila za podobne prostore v drugih objektih. Za telovadnice in druge prostore namenjene športni vzgoji pa priporočila za razsvetljavo športnih objektov. Najmanjše priporočene vrednosti osvetljenosti in indeksa barvnega videza ter največje priporočene vrednosti indeksa bleščanja za nekatere prostore v izobraževalnih ustanovah so zbrane v spodnji tabeli. Več podatkov pa je na voljo v prilogi na koncu knjige.

Prostor	Najmanjša vzdrževana osvetljenost	Najmanjši indeks barvnega videza (Ra)	Največji indeks bleščanja (UGR)
Učilnice, predavalnice	300 lx	80	19
Učilnice za starejše osebe	500 lx	80	19
Računalniške učilnice	300 lx	80	19
Učilnice za učenje risanja in slikanja	500 lx	90	19
Učilnice za praktična dela in laboratoriji	500 lx	80	22
Glasbene učilnice in učilnice za uprizarjajoče umetnosti	300 lx	80	19
Učilnice za tehnično risanje	750 lx	80	16
Knjižnice	300 lx	80	19

Tabela 8.11: Priporočene vrednosti vzdrževane osvetljenosti, indeksa bleščanja in indeksa barvnega videza za izbrane prostore v izobraževalnih ustanovah.

Enakomernost osvetljenosti

V odprtih prostorih, kot so na primer učilnice, ni težko zagotoviti ustrezne minimalne enakomernosti osvetljenosti ne samo na delovnih mestih uporabnikov (npr. šolske klopi) ampak po celotnem prostoru. Splošna enakomernost osvetljenosti, ki je definirana kot razmerje med minimalno in povprečno vrednostjo osvetljenosti po standardu SIST EN 12464-1 znaša 0,7. V prostorih, kjer pa imamo nameščene tudi višje objekte, kot na primer omare, pa je ustrezno minimalno enakomernost težko doseči po celem prostoru. Zato pa jo moramo doseči vsaj na posameznih delovnih mestih in v njihovi neposredni okolici.

V večini prostorov za izobraževanje moramo zagotoviti tudi dodatne svetlobne poudarke, kot na primer ustrezno osvetlitev table in sten s plakati, zemljevidi in podobnim. Včasih se tovrstne potrebe pojavijo zgolj občasno, vendar pa je vedno potrebno poskrbeti vsaj za ustrezno osvetlitev šolske table.

Bleščanje

Ker je vidna naloga v izobraževalnih prostorih (učilnicah) zelo dobro definirana in stalna, je potrebno posebno pozornost nameniti tudi bleščanju. Učenci namreč ne morejo prestaviti table ali spremeniti svojega zornega kota gledanja nanjo na isti način, kot si delavec v pisarni lahko spremeni naklon računalniškega slikovnega zaslona ali njegovo usmerjenost. Podobno predavatelj ne more gledati drugam kot proti tabli ali učencem. Zato je priporočljivo, da so svetilke ustrezno nameščene. Predvsem moramo biti pazljivi, kam

namestimo svetilke za osvetljevanje table, ki morajo biti nameščene vsaj 60° stopinj nad horizontalnim pogledom učitelja.

Prav tako je pomembno, da imajo vsa okna v učilnicah nameščena senčila. Le tako lahko zmanjšamo bleščanje in dosežemo ustrezno zatemnitev prostora v primeru npr. projekcije. Ustrezna možnost za zmanjšanje bleščanja, ki ga povzroča dnevna svetloba, je še posebej pomembno v računalniških učilnicah.

Barva svetlobe in indeks barvnega videza

V večini prostorov, kjer se zadržuje osebje in učenci, so priporočljivi svetlobni viri z indeksom barvnega videza vsaj 80. V nekaterih pomožnih prostorih, kot na primer v skladiščih, je lahko indeks barvnega videza nižji. Vendar zgolj, če se v prostoru ljudje zadržujejo le krajši čas. V učilnicah za umetnost pa je seveda priporočljivo uporabiti svetlobne vire z indeksom barvnega videza vsaj 90.

V izobraževalnih ustanovah srečamo svetlobne vire z različnimi barvnimi temperaturami svetlobe. Viri z barvno temperaturo okoli 3000 K naredijo prostor vizualno toplejši in prijaznejši. Vendar je ta barvna temperatura zelo drugačna od barvne temperature naravne svetlobe sredi dneva (od 4000 K navzgor), zato lahko njena uporaba v prostorih z veliko dnevne svetlobe povzroči neželene pojave povezane z dvojno svetlobo. Zato se za večino prostorom v izobraževalnih in vzgojnih ustanovah priporoča uporaba svetlobnih virov z barvno temperaturo 4000 K. V kolikor pa so določeni prostori namenjeni izključno druženju in sprostitvi, se v teh prostorih lahko uporablja svetlobne vire z nižjo barvno temperaturo svetlobe.

Slika 8.23: Sodobna dinamična razsvetljava omogoča zvezno spreminjanje barvne temperature umetne svetlobe, zato le-to lahko prilagajamo času dneva in barvni temperaturi naravne svetlobe.

Zelo pomembno je, da ustanova izdela jasna navodila vzdrževalcem razsvetljave, kateri svetlobni viri se uporabljajo v različnih prostorih. Vse prepogosto se namreč dogaja, da se ob zamenjavi svetlobnih virov ne upošteva trenutnega stanja v prostoru in se zato namestijo svetlobni viri z drugačno (neprimerno) barvno temperaturo in indeksom barvnega videza. Tako pogosto v istem prostoru srečamo svetlobne vire različnih barvnih temperatur, kar lahko povzroča težave tako učencem kot učiteljem.

Kontrolni sistemi

Uporaba kontrolnih sistemov (za prižiganje in ugašanje razsvetljave kot tudi za regulacijo svetlobnega toka) ima v prostorih, kjer se zadržuje več uporabnikov, dokazane prednosti. S takim sistemom izboljšamo tako kakovost razsvetljave kot tudi njeno energetsko

učinkovitost (zmanjšamo porabo električne energije). Zato je pri načrtovanju, v kolikor finančna sredstva to dopuščajo, priporočljivo predvideti svetilke, ki omogočajo regulacijo svetlobnega toka in ustrezen regulacijski sistem s senzorji prisotnosti in senzorji dnevne svetlobe. Seveda pa je po vgradnji takega sistema potrebno poskrbeti tudi za njegovo pravilno nastavitev, ki upošteva, da količina dnevne svetlobe z oddaljenostjo od oken pada.

Slika 8.24: Večjo energetsko učinkovitost razsvetljave lahko dosežemo tako, da v komunikacijskih prostorih (npr. hodnikih) uporabimo prižiganje razsvetljave s senzorji prisotnosti.

Kontrolne sisteme lahko uporabimo tudi pri osvetlitvi hodnikov in prehodnih prostorov. Uporabimo lahko regulacijo glede na prisotnost uporabnikov (razsvetljava se samodejno prižge in ugasne), ki je predvidena tudi v naši zakonodaji o energetski učinkovitosti stavb. Nekoliko starejši pa je pristop z regulacijo svetlobnega toka glede na čas. V tem primeru je osvetljenost komunikacijskih prostorov (hodniki, avle …) v času odmorov večja, v času učnih ur, ko ti prostori praktično niso v uporabi, pa jo zmanjšamo.

8.3.3 PRISTOPI K RAZSVETLJAVI IZOBRAŽEVALNIH USTANOV

Učilnice in predavalnice

Ustrezno osvetlitev učilnic in predavalnic običajno najlažje dosežemo z enakomerno razporeditvijo stropnih ali visečih svetilk splošne razsvetljave s široko prostorsko porazdelitvijo svetilnosti. Šolsko tablo in stene, ki se uporabljajo za obešanje učnega materiala (zemljevidi, plakati …) pa še dodatno osvetlimo z ustreznimi svetilkami z asimetrično porazdelitvijo svetilnosti. Le-te morajo biti nameščene na ustreznem mestu, tako da dosežemo ustrezno enakomernost osvetljenosti. Priporočljiva je uporaba avtomatskega kontrolnega sistema za regulacijo svetlobnega toka svetilk glede na količino naravne svetlobe, ki je na voljo in glede na zasedenost prostora.

Predavalnice imajo, za razliko od učilnic, pogosto nagnjena tla ter majhno prisotnost naravne svetlobe. Zato je potrebno razporeditev stropnih svetilk za osvetlitev sedežev (delovnih mest slušateljev) prilagoditi spreminjajoči se višini stropa. Tudi tu je priporočljiva uporaba kontrolnega sistema, ki omogoča uporabo različnih svetlobnih scen ali vsaj ustrezno zmanjšanje svetlobnega toka svetilk med uporabo projektorja.

Slika 8.25: Z enakomerno razporeditvijo svetilk splošne razsvetljave na stropu v učilnici najlažje dosežemo priporočene vrednosti osvetljenosti in enakomernosti osvetljenosti po celotnem prostoru.

Zaradi višjega stropa neposredno nad predavateljem in tablo, se v predavalnicah za osvetlitev le-te večinoma uporabljajo reflektorji. Pri njihovi montaži je potrebno poskrbeti tudi za pravilno usmerjenost, tako da dosežemo ustrezno osvetljenost in enakomernost osvetljenosti v skladu s standardi. Priporočljivo je, da se prižigajo ločeno od ostale razsvetljave.

Računalniške učilnice

Za računalniške učilnice je značilna uporaba večjega števila slikovnih zaslonom. Zato je v takih prostorih potrebno večjo pozornost nameniti odpravi bleščanja. K razsvetljavi takih prostorov lahko pristopimo na enak način kot k razsvetljavi pisarn. Je pa priporočljivo, da tudi v teh prostorih predvidimo možnost regulacije svetlobnega toka ali uporabo svetlobnih scen, kar omogoča lažje prilagajanje svetlobnih razmer različnim metodam poučevanja (uporaba klasične ali interaktivne table, projekcije …).

Učilnice za likovni pouk (umetnost)

Pri likovnem pouku je dobro razpoznavanje barv ter modeliranje bistvenega pomena za uspešno izvajanje pouka in delo učencev. Zato se v teh prostorih priporoča uporaba svetlobnih virov z visokim indeksom barvnega videza ter svetilk, ki zagotavljajo relativno visoko vertikalno osvetljenost, ki izboljša modeliranje predmetov.

Slika 8.26: V učilnicah za likovni pouk pazimo na ustrezen indeks barvnega videza in vertikalno osvetljenost.

Laboratoriji

V laboratorijih so pogosto prisotne kemične in korozivne snovi ter občasna visoka vsebnost vlage v zraku (npr. zaradi vrenja). Zato moramo predvideti svetilke, ki so ustrezno zaščitene proti tovrstnim vplivom okolice (IP oznaka vsaj 44). Ker so za določene laboratorije predpisane večje osvetljenosti, je lahko zagotavljanje ustrezne osvetljenosti delovnih mest zgolj z stropnimi svetilkami energetsko neučinkovito. V takem primeru je priporočljivo zagotoviti dodatno lokalno osvetlitev delovnih mest (svetilke nameščene v samem pohištvu ali posebne namizne svetilke).

Slika 8.27: V laboratorijih morajo biti svetilke ustrezno zaščitene pred škodljivimi vlivi okolja (ustrezna IP oznaka).

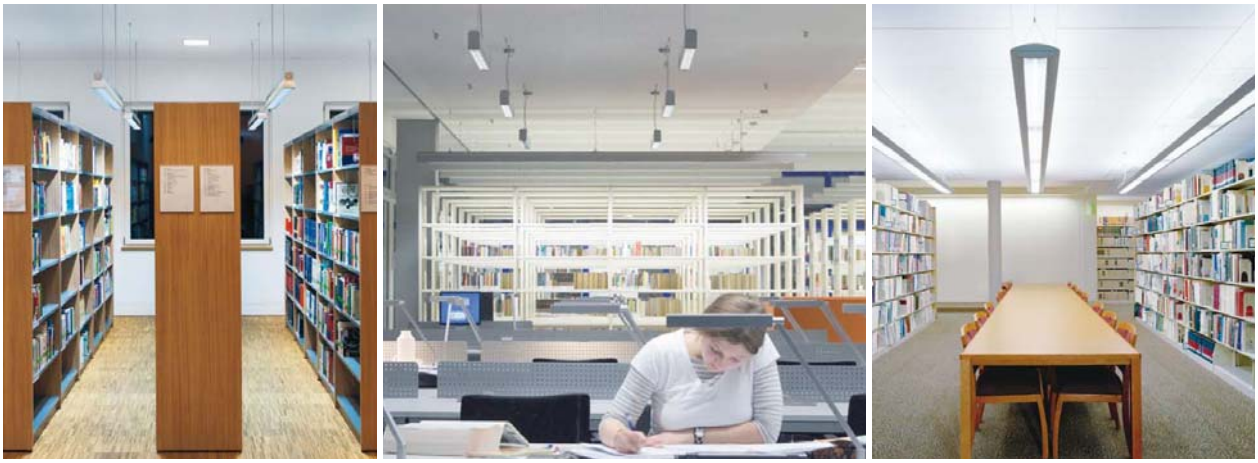
Prostori za prireditve

V prostorih za prireditve potekajo šolske proslave in gledališke predstave, zato so taki prostori običajno opremljeni z odrom. Pri načrtovanju razsvetljave takega prostora moramo zato zagotoviti, da se razsvetljava lahko prilagaja različnim dejavnostim v prostoru. Za izvedbo predavanj ali sestankov (na primer s starši) je potrebna ustrezna splošna razsvetljava. Kadar pa se v prostoru izvaja na primer dramska igra, pa je potrebno prostor ustrezno zatemniti in povečati osvetlitev odra. Tega lahko osvetlimo s pomočjo stropnih reflektorjev, nameščenih na tračnem napajalnem sistemu. Uporabimo pa lahko tudi posebne odrske svetilke, ki zahtevajo tudi svetlobno mešalno mizo. Kaj izberemo je seveda odvisno od vrste izobraževalne ustanove in pogostosti uporabe prostora za dramsko igro.

Slika 8.28: V prostorih za prireditve poskrbimo za ustrezno dodatno razsvetljavo odrskega dela prostora.

Knjižnica

Razsvetljava knjižnice mora zagotavljati ustrezno osvetlitev za različne aktivnosti, ki se odvijajo v knjižnicah: orientacija v prostoru, prepoznavanje oseb, iskanje knjig po knjižnih policah, hitro branje med policami, podrobno branje za mizo, uporaba računalnikov in podobno. Ustrezno osvetljenost prostora lahko dosežemo s svetilkami splošne razsvetljave, ki imajo širšo porazdelitev svetilnosti, s čimer zagotovimo višjo vertikalno osvetljenost. Taka razsvetljava zadošča za hitro branje in iskanje knjig po knjižnih policah ter za prepoznavanje obrazov ostalih uporabnikov knjižnice. Če ima prostor zelo visok strop, lahko zadostno vertikalno osvetljenost knjižnih polic dosežemo s spuščenimi svetilkami ali pa z dodatnimi svetilkami nad knjižnimi policami.



Slika 8.29: V knjižnicah je potrebna zadostna vertikalna osvetljenost knjižnih polic, v čitalnici pa zadostna horizontalna osvetljenost na bralni površini (priporočljiva je uporaba lokalnih bralnih svetilk). Če je prostor kombinacija knjižnice in čitalnice, se moramo pri izbiri ustreznih svetilk še posebej potruditi.

Za osvetlitev bralnih miz je priporočljivo uporabiti dodatne namizne ali stropne svetilke, saj je na teh »delovnih mestih« potrebno zagotavljati vsaj 500 lx.

Telovadnice

Razsvetljava telovadnic in drugih prostorov, namenjenih športni vzgoji, je podrobno predstavljena v posebnem poglavju, namenjenem športnim objektom.

Slika 8.30: V šolskih telovadnicah se učenci ukvarjajo z različnimi vrstami športov, zato je priporočljivo, da je razsvetljava ustrezno prilagodljiva (možnost regulacije svetlobnega toka). Poleg tega moramo pri izbiri svetilk paziti na ustrezno prostorsko porazdelitev svetilnosti, ki poleg ustrezne horizontalne osvetljenosti zagotavlja tudi zadostno vertikalno osvetljenost.

8.4 RAZSVETLJAVA TRGOVSKIH PROSTOROV

Za trgovske prostore je značilno, da imajo razmeroma malo dnevne svetlobe. Tudi če prostor ima okna, so ta večinoma uporabljena kot izložbe, razstavljeni predmeti pa ovirajo prehod svetlobe globlje v prostor. Zato je dobro načrtovana umetna razsvetljava bistvenega pomena za ustvarjanje ustreznega ambienta, ki obiskovalce spodbuja k nakupu.

Glavne naloge razsvetljave trgovskih prostorov so:

- ustvarjanje ustreznega ambienta, ki sovpada s celostno podobo trgovine (blagovne znamke);
- usmerjanje pozornosti obiskovalcev na določene artikle ali skupine artiklov;
- omogočanje orientacije in vodenje nakupovalcev po trgovini;
- omogočanje ogledovanja izdelkov, branja etiket …;
- prikazovanje izdelkov na ustrezen in atraktiven način.

Slika 8.31: Primer razsvetljave oddelka z živili v veleblagovnici. Zaradi visokega stropa so uporabljene spuščene stropne svetilke, ki so nameščene med vrstami polic. Tako dosežemo ustrezno vertikalno osvetljenost polic in dobro razpoznavanje predmetov na njih.

8.4.1 PREMISLEKI PRI NAČRTOVANJU RAZSVETLJAVE

Vrsta trgovine

Razsvetljava trgovskih prostorov je zelo odvisna od vrste trgovine in blaga, ki ga v njej prodajajo. Trgovine lahko ločimo glede na cenovni nivo, pogostost obiska in razširjenost blagovne znamke. V splošnem lahko trgovine razdelimo na štiri vrste, ki so podane v tabeli 8.12.

Razsvetljava lahko da kupcu že »na daleč« videti v katero zgornjo vrsto spada posamezna trgovina. Na podlagi tega vtisa se kupec tudi odloči ali bo v posamezno trgovino sploh vstopil. Zato je razsvetljavo potrebno ustrezno prilagoditi vrsti trgovine. Za diskontne

trgovine, tako živilske (kot na primer Hofer ali Lidl) kot tudi za neživilske (npr. Bauhaus) običajno uporabimo splošno enakomerno razsvetljavo po celotni trgovini. Razsvetljava mora kupcu omogočiti dober pregled nad blagom in cenami na policah. Ker so trgovine tega tipa običajno projektirane kot velik odprt prostor s policami, uporabimo linijske svetilke, ki potekajo vzporedno z vrstami polic. Paziti moramo predvsem na to, da nudijo tako ustrezno horizontalno osvetljenost na tleh kot tudi vertikalno osvetljenost polic.

Vrsta trgovine	Cenovni nivo	Pogostost obiska	Ponudba blaga	Način kupovanja
Diskontna trgovina	Znižan, nizek	Tedenska	Široka	Samopostrežni
Vsakodnevna trgovina	Nizek	Vsakodnevna	Široka	Samopostrežni
Kvalitetna	Srednji	Ob potrebi ali želji	Omejena	S pomočjo prodajalca/ke
Ekskluzivna	Visok	Po premisleku	Ekskluzivna	Poglobljeni osebni pristop prodajalca

Tabela 8.12: Razvrstitev trgovin v posamezne vrste, ki ga moramo upoštevati pri načrtovanju razsvetljave.

Pri naslednji vrsti trgovin gre za trgovine, ki jih obiščemo dnevno za nakup vsakodnevnih predvsem živilskih trgovin (npr. Mercator, trafike oz. trgovine s časopisi in revijami, trgovine na bencinskih črpalkah), je osnova za razsvetljavo še vedno dobra splošna osvetljenost prostora. Ker pa imamo v taki trgovini poleg polic z izdelki tudi posamezne »otoke« s posebno ponudbo ali ponudbo določene vrste blaga (meso, delikatesa, kruh, ribe …) te ustrezno poudarimo s povečamo osvetljenostjo in (ali) drugačno barvo svetlobe. Poleg svetilk splošne razsvetljave, ki so tudi tu običajno linijske in nameščene med vrstami polic, v taki trgovini predvidimo tudi svetilke za akcentno razsvetljavo kot so različne vrste bolj usmerjenih svetilk ali reflektorjev.

Slika 8.32: V trgovinah srednjega cenovnega razreda poleg splošne razsvetljave prostora predvidimo še posamezne usmerjene svetilke (reflektorje) s katerimi lahko poudarimo določeno vrsto blaga ali blago »v akciji«. Zaželeni so tudi določeni svetlobni poudarki, ki jih dosežemo z uporabo akcentnih in dekorativnih svetilk.

Razsvetljava notranjih prostorov

Bolj kot je trgovina »ekskluzivna«, nižja je splošna osvetljenost in bolj je razsvetljava »akcentna«, kar pomeni da so razlike v splošni osvetljenosti in osvetljenosti predelov, ki jih želimo poudariti, večje. Pri kvalitetnih trgovinah (trgovine z oblačili in obutvijo, manjše živilske trgovine z izbrano ponudbo, drogerije, »lifestyle« trgovine …) je prostor običajno manjši, tako da splošno osvetljenost lahko zagotovimo npr. z vgradnimi sevalniki (»downlighter-rji«). Posamezne dele trgovine (pult z blagajnami, razstavne otoke z lutkami, police s posebno ponudbo …) pa dodatno osvetlimo z reflektorji in akcentnimi svetilkami. Predvsem pazimo, da so področja, kjer kupec ocenjuje kakovost blaga (npr. kabine za pomerjanje) in ga plačuje (pult z blagajno) dovolj osvetljeni.

Slika 8.33: Trgovine višjega cenovnega razreda se običajno nahajajo v manjših prostorih, tako da uporaba svetilk za splošno razsvetljavo ni potrebna, saj ustrezno osvetljenost komunikacijskih površin dosežemo tudi samo z uporabo stropnih sevalnikov in reflektorjev, ki jih uporabimo tudi za akcentno razsvetljavo razstavljenih predmetov .

V ekskluzivnih trgovinah (trgovine z nakitom, urami, luksuznimi avtomobili, parfumerije …) mora biti razlika med splošno razsvetljavo prostora in akcentno razsvetljavo še ustrezno večja. Pri izbiri svetlobnih virov pazimo, da imajo ustrezno visok indeks barvnega videza in pravilno barvno temperaturo svetlobe. Za trgovine z nakitom in draguljarne tako namenoma izberemo višjo barvno temperaturo svetlobe, ki poudari lesketanje dragih kamnov. Prav tako mora biti svetloba bolj usmerjena kar poudari sence in povzroča odsevno bleščanje na gladkih površinah. To sicer ne sme biti premočno, ker bi ovirali izbiro blaga, mora pa povzročati lesketanje luksuznih predmetov.

Slika 8.34: Če želimo poudariti ekskluzivnost trgovine, jo lahko osvetlimo samo z diskretno splošno razsvetljavo in močnimi svetlobnimi dekorativnimi elementi, ki poudarijo blagovno znamko in razstavljeno blago.

Vrsta prodajnega blaga

Tako kot moramo razsvetljavo prilagoditi vrsti trgovine, jo moramo prilagoditi tudi vrsti blaga, ki se v posamezni trgovini prodaja. Pri tem je potrebno upoštevati obliko, barve in teksturo prodajanega blaga, pa tudi namen blaga. Tako se na primer čevlje osvetljuje drugače kot nakit in hrano drugače kot artikle za čiščenje ali osebno higieno. Pri izbiri svetlobnih virov in svetilk tako upoštevamo sledeče:

- pri osvetljevanju lesketajočih se predmetov (nakit, ure, avtomobili) si naročnik oziroma lastnik trgovine pogosto želi, da se lesk predmeta dodatno poudari. To se najlažje doseže s pomočjo več svetlobnih virov, ki imajo točkovni svetlobni vir (včasih nizkonapetostne halogenske žarnice, danes VT HM sijalke in predvsem LED);
- pri predmetih, kjer je razpoznavanje barv zelo pomembno (kot na primer obleke, čevlji …) je potrebno izbrati svetlobne vire z visokim indeksom barvnega videza. Pri tem moramo paziti, da usmerjenost svetlobe ne ustvarja preveč ali premalo senc. Za trgovine z oblekami je pogosto najbolj primerna kombinacija razpršene splošne in usmerjene razsvetljave;
- pri osvetljevanju živilskih artiklov v trgovinah srednjega in višjega cenovnega razreda pazimo, da se barva svetlobe ujema z barvo artiklov. Tako je mogoče s svetlobnimi viri z ustrezno izbranim spektrom svetlobe poudariti na primer rdečo barvo in s tem svežino mesa in na drugi strani zeleno barvo zelenjave ali zlato-rumeno barvo pekovskih izdelkov;
- pri razsvetljavi izdelkov za čiščenje ali izdelkov za osebno higieno izberemo svetlobne vire z nekoliko višjo barvno temperaturo in bolj usmerjeno svetlobo. S tem naredimo videz prostora nekoliko bolj hladen (modrikast) in dosežemo nekaj odsevnega bleščanja, saj ljudje tak prostor dojemamo bolj čist;
- v nekaterih trgovinah je ambient včasih celo pomembnejši od same osvetlitve blaga. To je pogosto primer v trgovinah z močno in zelo specifično blagovno znamko, ki se zelo osredotoča na življenjski slog kupcev. V takih trgovinah je sprejemljivo, da se mora včasih kupec z izbranim izdelkom celo nekoliko premakniti, da bi lahko dobro videl predmet.

Slika 8.35: Pri razsvetljavi prehrambnih izdelkov moramo posebno pozornost nameniti spektralni sestavi in barvi svetlobe. Ta se mora ujemati z barvo izdelkov, tako da so izdelki videti bolj sveži in privlačni.

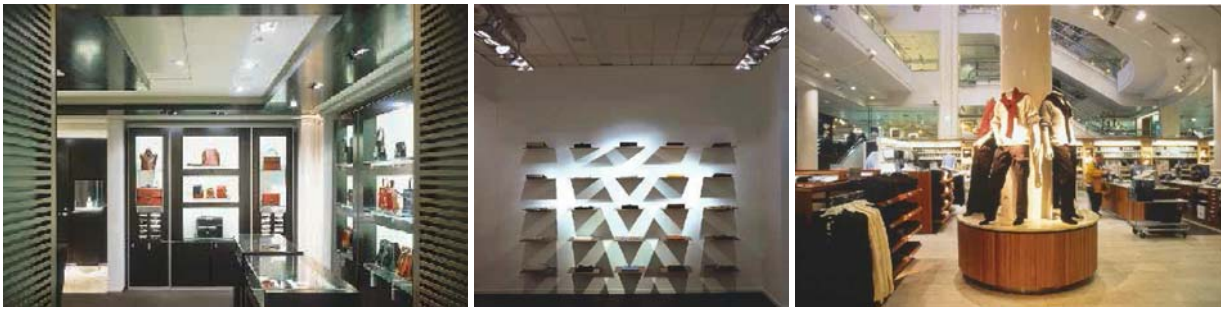
8.4.2 PRIPOROČILA

Nivoji osvetljenosti

Povprečne vzdrževane osvetljenosti trgovskih prostorov se razlikujejo predvsem glede na vrsto trgovine ter na okolje, kjer se trgovina nahaja. Za diskontne in vsakodnevne trgovine je priporočena povprečna osvetljenost od 400 lx do 1000 lx. Pri tem višje vrednosti osvetljenosti uporabimo predvsem v trgovinah, ki se nahajajo v zelo svetlih okoljih, kot so na primer sodobna nakupovalna središča.

Za trgovine višjega cenovnega razreda je ustrezna povprečna osvetljenost manjša in sega od okoli 250 lx do 500 lx. Manjša povprečna osvetljenost je nujna, v kolikor želimo z dodatno osvetlitvijo blaga doseči ustrezne kontraste. V nasprotnem primeru bi morali z akcentno razsvetljavo doseči zelo visoke osvetljenosti, kar pa je tako tehnično težko izvedljivo kot tudi energetsko neučinkovito.

Pri splošni razsvetljavi ekskluzivne trgovine lahko predvidimo še nižjo splošno osvetljenost prostora (od 100 lx do 200 lx), ki jo nato dopolnjujemo z močno dodatno razsvetljavo blaga. Pri tem pazimo na ustrezno barvo svetlobe in indeks barvnega videza pa tudi na usmerjenost in modeliranje svetlobe.



Slika 8.36: V trgovinah z dražjimi izdelki naredimo le-te privlačnejše, če je splošna osvetljenost prostora nižja, izdelke pa predstavimo s svetlobnimi poudarki in močnimi kontrasti.

Kontrasti

Razlike med splošno osvetljenostjo prostora (trgovine) in osvetljenostjo blaga na policah ali razstavljenih predmetov, bistveno prispeva k izgledu oziroma ambientu trgovine, kar seveda vpliva na to, kako bo kupec posamezno trgovino dojemal.

Razlika v svetlosti med akcentno in splošno osvetljenostjo	Učinek na izgled prostora (ambient)
2	Opazen
5	Nekoliko dramatičen
15	Dramatičen
30	Zelo opazen in dramatičen
>50	Izjemno dramatičen in ekskluziven.

Tabela 8.13: Svetlobni poudarki in njihov učinek na ambient. Z večjimi razlikami med splošno osvetljenostjo in osvetljenostjo posameznih delov trgovine oziroma izdelkov dosežemo bolj dramatičen in s tem bolj ekskluziven izgled trgovine.

Večje kot so razlike med splošno osvetljenostjo prostora in osvetljenostjo prodajnih izdelkov, bolj ekskluzivna (in draga) se bo trgovina zdela kupcu.. Spodnja tabela prikazuje okvirne vrednosti kontrastov in njihov učinek na izgled prostora.

Barvna temperatura svetlobnih virov

Barvna temperatura svetlobe svetlobnih virov igra opazno vlogo pri ustvarjanju ambienta. V kolikor je trgovski prostor osvetljen z višjo barvno temperaturo, tak prostor zgleda bolj hladen pa tudi bolj 'posloven' in 'sterilen' oziroma čist. Topla barvna temperatura (3000 K ali manj) pa ustvari bolj topel in bolj 'domač' ambient. Izbira barvne temperature je seveda odvisna od blaga, ki ga trgovina prodaja ter od vtisa, ki ga skuša njena znamka vzbujati.

V trgovinah, ki privabljajo predvsem mlajše kupce, se včasih uporablja tudi barvna svetloba. Gre za trgovine, kjer je primarni cilj oblikovanja interierja ustvariti »imidž«, ki sovpada s stremljenji, vrednotami in cilji glavnih, v tem primeru torej mladih kupcev. Kakovost razsvetljave v smislu ocenjevanja kakovosti prodajanega blaga je v takih trgovinah manj pomembna ali pa je omejena na manjša področja v trgovini.

Slika 8.37: Z barvno svetlobo lahko naredimo trgovino bolj privlačno za ciljno skupino kupcev (na primer za mlajše kupce).

8.4.3 PRISTOPI K RAZSVETLJAVI TRGOVIN

Pri razsvetljavi trgovin gre vedno za kombinacijo splošne in akcentne razsvetljave. V splošnem velja, da se v trgovinah nižjega cenovnega razreda uporablja bolj splošna razsvetljava in le delno akcentna. V trgovinah višjega cenovnega razreda pa ravno obratno predvidimo manj splošne in več akcentne razsvetljave. V določenih primerih lahko seveda trgovino osvetlimo tudi zgolj z eno ali drugo vrsto razsvetljave.

Splošna razsvetljava

Splošna razsvetljava je prevladujoča (včasih celo edina) oblika razsvetljave v nizkocenovnih in diskontnih trgovinah. Običajno je izvedena s linijskimi svetilkami s fluorescenčnimi sijalkami, ki so nameščene na strop ali spuščene. Pri višjih stropih (nad 6 m) lahko uporabimo tudi kovinsko halogenidne sijalke v spuščenih svetilkah z reflektorjem.

Pri arhitekturno bolj prefinjenih ambientih je svetilke splošne razsvetljave pogosto potrebno integrirati v arhitekturo in jih nekoliko skriti pred pogledom kupcev. To lahko dosežemo na več načinov. Ena od možnosti je uporaba indirektne razsvetljave oziroma svetilk, ki jih usmerimo v strop ali stene in skrijemo za pohištvo.

Akcentna razsvetljava

Namen akcentne razsvetljave je predvsem poudarjanje blaga ter pogosto tudi boljše modeliranje le-tega. Hkrati lahko z akcentno razsvetljavo vodimo obiskovalce skozi prostor in poudarjamo blago, ki se prodaja v okviru posebnih promocij in popustov.

Izvedba akcentne razsvetljave je najbolj odvisna od blaga, ki se prodaja. Tako je večje vertikalne površine, kot so na primer revije ali knjige na policah, najlažje ustrezno osvetliti z linearnimi asimetričnimi svetilkami z fluorescenčnimi sijalkami ali drugimi asimetričnimi svetilkami za osvetlitev sten. Pri tem poskušamo doseči čim bolj enakomerno osvetlitev vsega blaga pri čim manjšem direktnem in odsevnem bleščanju. Odsevi svetilk so še posebej moteče pri zelo odsevnih površinah (kot na primer na straneh dražjih revij, razglednicah in podobno). Zato moramo pri načrtovanju razsvetljave paziti tudi na kot vpada svetlobe in z njim povezan kot odsevane svetlobe.

Pri osvetlitvi samostoječih nosilcev blaga (vitrine, razstavne police, vozički …), ki so na primer pogosti v trgovinah s kozmetičnimi izdelki (drogerije, parfumerije …), je razsvetljava lahko integrirana kar v sam nosilec blaga. V takem primeru je potrebno pri načrtovanju razsvetljave in električne inštalacije v prostoru zagotoviti zadostno število talnih in stenskih vtičnic s katerimi lahko kasneje v prostoru omogočimo ustrezno fleksibilnost postavitve nosilcev. Pri načrtovanju razsvetljave na teh nosilcih pa moramo paziti, da svetilke (svetlobne vire) ustrezno zaščitimo pred dotiki kupcev, ki bi lahko povzročili tako poškodbe kupca (opekline) kot tudi svetlobnega vira.

Pri osvetlitvi oblačil in obutve je pogosto najboljši način uporaba sistemov tokovnih tračnic z različnimi vrstami žarometov (spotlight-ov). Tak sistem omogoča prilagajanje razsvetljave različnim kolekcijam in promocijam.

Slika 8.38: Svetilke, nameščene na tokovnih tračnicah, omogočajo preprosto prilagajanje razsvetljave različnim postavitvah prodajnega blaga.

V kolikor je v trgovini prisotna naravna svetloba je potrebno predvideti možnost prilagajanja jakosti akcentne razsvetljave (regulacije svetlobnega toka). S povečanim svetlobnim tokom virov dosežemo, da so akcenti v prostoru opazni tudi ob močni naravni svetlobi, ki je v trgovini prisotna del dneva. Ponoči pa lahko s takim sistemom jakost akcentne razsvetljave ustrezno zmanjšamo. S tem še vedno ohranimo zadostno razmerje med splošno in akcentno osvetljenostjo pri nižji porabi električne energije in torej večji energetski učinkovitosti razsvetljave.

Razsvetljava izložb in lutk

Pri projektiranju razsvetljave za izložbe ali za otoke, kjer so oblačila razstavljena na primer na lutkah, so zelo uporabna znanja iz odrske razsvetljave. Za to je značilno, da uporablja predvsem usmerjeno svetlobo in da z določenimi učinki svetlobe in sence poskuša ustvariti ustrezno vzdušje na odru (v izložbi, na prostoru za razstavljene lutke …). Pri tem se uporablja različne vrste »luči«, kot jih v žargonu imenujejo scenski osvetljevalci:

1. **Glavna luč (Key light):** glavna luč je tista, ki najbolj osvetljuje predmet. Predmetu doda teksturo in lesk (v kolikor je predmet bleščeč). Je tudi glavni izvor senc
2. **Dodatna luč (Fill light):** dodatna luč je običajno postavljena tako, da je smer svetlobe premaknjena za kot 60° glede na smer svetlobe glavne luči (proti predmetu) in služi predvsem mehčanju senc. Manjša kot je svetilnost dodatne luči v primerjavi s svetilnostjo glavne luči, močnejše so sence in večji je kontrast.
3. **Luč od zadaj (Backlight):** Luč od zadaj (in ponavadi od zgoraj) ustvari svetlečo konturo na robovih osvetljenega predmeta in ga s tem vizualno loči od ozadja. To povzroči, da je predmet bolj opazen.
4. **Luč od spodaj (Uplight):** Luč od spodaj ustvarja zelo dramatičen videz predmeta in velike sence na ozadju. Ker gre za nenaravno smer svetlobe (naravna sončna svetloba vedno prihaja od zgoraj) je tudi videz predmeta nenaraven, zato se luč od spodaj zelo redko uporablja v trgovinah.

Slika 8.39: Primer razsvetljave izložbe. Če želimo, da se v izložbenem steklu ne bodo videli odsevi opazovalcev (ki lahko zelo motijo pogled na razstavljene predmeta) moramo zagotoviti da je osvetljenost z umetno razsvetljavo višja kot tista z naravno svetlobo, ki prihaja od zunaj. Zato mora biti osvetljenost razstavljenih predmetov podnevi oziroma pri lepem vremenu precej večja kot ponoči ali v primeru oblačnega (deževnega) vremena.

8.5 RAZSVETLJAVA MUZEJEV IN GALERIJ

Glavna naloga razsvetljave muzejev in galerij je seveda osvetlitev razstavnih eksponatov. Pri tem je pomembno poudariti tako značilnosti in lepoto le-teh, kot tudi zmanjšati škodo, ki jo svetloba (predvsem UV svetloba in delno tudi IR svetloba) povzroča na razstavnih eksponatih. Poleg tega ima razsvetljava tudi nalogo poudariti arhitekturne značilnosti prostora, ustvariti prijeten in varen ambient za zadrževanje obiskovalcev muzeja ali galerije ter omogočiti varen umik iz prostorov v primeru nevarnosti.

Slika 8.40: Primer osvetlitve muzeja. Če gre za muzeje, ki niso namenjeni stalni postavitvi razstavnih eksponatov pač pa se razstave spreminjajo, je potrebno poskrbeti, da je razsvetljava dovolj fleksibilna, da jo lahko prilagodimo vsakokratni razstavi.

8.5.1 PREMISLEKI PRI NAČRTOVANJU RAZSVETLJAVE

Ko se lotimo načrtovanja razsvetljave muzejev in galerij moramo premisliti predvsem dvoje: kako bomo zagotovili, da bodo poškodbe razstavljenih eksponatov zaradi svetlobnega sevanja čim manjše in kako bomo zagotovili ustrezne in udobne vidne razmere. Poleg tega pa moramo paziti tudi na to, da bo v prostorih, kjer se razstave menjajo, uporabljena tehnika omogočala spreminjanje razsvetljave.

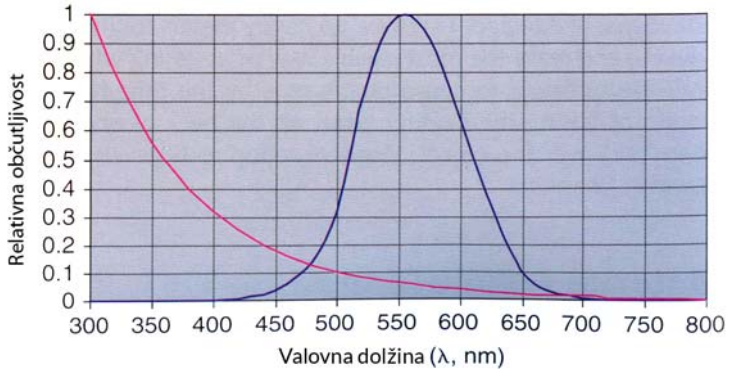
Poškodbe predmetov zaradi optičnega sevanja

Svetloba je elektromagnetno sevanje, ki preko toka fotonov na osvetljeni predmet prenaša energijo. Če prejeta svetlobna energija povzroča fizične spremembe materiala (na primer bledenje ali spreminjanje barve) iz katerega je izdelan predmet, govorimo o poškodbah s svetlobnim sevanjem. Običajno največ sprememb in poškodb na predmetih povzroča svetloba z višjo energije, torej svetloba z manjšimi valovnimi dolžinami (UV svetloba). Zato je bistven korak pri zaščiti večine eksponatov zmanjševanje ali odpravljanje UV sevanja uporabljenih svetlobnih virov. Pri določevanju nevarnosti, ki jo za predmet predstavlja osvetlitev, sta ključna parametra največja dovoljena osvetljenost kot tudi kumulativna letna izpostavljenost svetlobi (lux ure/leto). Seveda vsi materiali niso enako občutljivi na svetlobo. Le-ta nima praktično nobenega vpliva na anorganske materiale (kamen, steklo …) zato pa je vpliv precej večji pri organskih materialih. Med najbolj občutljive prištevamo:

vodne barve (tempere in pasteli), papir, svilo in druge tekstilne materiale ter barve za tekstil. Vedno, ko projektiramo razsvetljavo za muzeje in galerije, se je torej potrebno najprej podrobno poučiti o svetlobni občutljivosti razstavljenih predmetov.

Slika 8.41: Svetloba, predvsem dnevna in UV svetloba, lahko močno poškoduje razstavljene izdelke. Na levi sliki je vzorec blaga, ki je bil shranjen v temnem prostoru, na desni pa vzorec istega blaga, ki je bil razstavljen v prostoru, osvetljenem z dnevno svetlobo.

Za zmanjševanje škodljivih vplivov sevanja je poleg omejitve maksimalne osvetljenosti in kumulativne izpostavljenosti svetlobi ključna tudi omejitev najbolj škodljivega dela elektromagnetnega sevanja, v kolikor to seveda ne vpliva preveč na pravilno osvetljenost predmetov. Največje poškodbe povzroča UV del svetlobnega sevanja, ki pa je za naše oči neviden, torej ni nobene potrebe, da bi predmete osvetljevali z njim. Iz svetlobe ga lahko izločimo s pomočjo stekel in filtrov. Pri tem je najbolj pomembno, da UV sevanje izločimo iz naravne svetlobe, v kolikor je ta v prostoru prisotna. Prav tako je potrebno UV filtre uporabiti pri večini sijalk, saj njihov spekter vsebuje razmeroma veliko UV sevanja. Priporočljivo je dodatna stekla uporabiti tudi pred halogenskimi žarnicami če se osvetljuje zelo občutljive materiale.



Slika 8.42: Relativen vpliv posamezne valovne dolžine svetlobe na poškodbe materiala (predstavljen z rdečo črto) ter relativna občutljivost človeškega očesa (predstavljena z modro črto). Vidimo, da se pri osvetljevanju predmetov (brez večjih posledic za izgled predmeta) lahko odrečemo vsem valovnim dolžinam pod 380 nm ali celo 400 nm.

Na zgornjem grafu lahko vidimo, da svetloba v ultravijoličnem področju povzroča veliko močnejše poškodbe materialov, kar je seveda razumljivo, saj ima večjo energijo od svetlobe v vidnem in infrardečem območju. Spodnja tabela prikazuje čase do znatnih/vidnih poškodb različno klasificiranih materialov.

Občutljivost materialov	ISO klasifikacija	Število let do vidne degradacije	
		Veliko UV	Nič UV
R3. Zelo občutljivi	1	1,5	2
	2	4	7
	3	10	20
R2. Srednje občutljivi	4	23	67
	5	53	200
	6	130	670
R1. Manj občutljivi	7	330	2000
	8	800	7300

Tabela 8.14: Število let izpostavljenosti svetlobi, da pride do vidne degradacije/poškodb materialov pri različno občutljivih materialih. Podatki temeljijo na predpostavljenih 3000 urah izpostavljenosti na leto pri osvetljenosti 50 lx. 'Veliko UV' predstavlja podobno vsebnost UV kot jo ima dnevna svetloba, 'nič UV' pa ničelno vsebnost valovnih dolžin manjših od 400 nm.

Iz zgornje tabele lahko vidimo, da je filtriranje UV svetlobe pri manj občutljivi materialih precej bolj učinkovito, saj se jim »življenjska doba« relativno podaljša precej bolj, kot pri občutljivih materialih. Razlog je v tem, da manj občutljivi materiali potrebujejo večjo energijo, da se spremembe sploh začnejo dogajati. To pa pomeni, da pri občutljivih materialih samo filtriranje UV svetlobe ni dovolj in da moramo poleg tega tudi močno omejiti osvetljenost in čas izpostavljenosti svetlobi.

Zmanjševanje bleščanja

Bleščanje se pri osvetljevanju razstavnih eksponatov pojavlja predvsem v primerih, ko so eksponati pokriti oziroma zaščiteni z varnostnim steklom. V takih primerih moramo dobro premisliti pod kakšnim kotom bodo obiskovalci opazovali predmeta in temu kotu prilagoditi kot vpada svetlobe ter mesto postavitve svetilk. V takem primeru je priporočljiva tudi uporaba ravnih stekel v vitrinah, saj je pri polkrožnih ali cilindričnih steklih odseve težje nadzorovati.

Slika 8.43: Pri predmetih, ki so zaradi varnosti razstavljeni v vitrinah oziroma pod steklom, moramo posebno pozornost nameniti bleščanju. Pomagamo si lahko tako, da je smer vpadle svetlobe taka, da svetloba odseva v stran in ne proti obiskovalcu. Lahko pa svetlobne vire namestimo tudi pod steklo, za kar so posebej primerne svetleče diode (LED) ali razsvetljava s svetlobnimi vodniki (zaradi majhnih dimenzij) in odsotnosti UV svetlobe, ki bi lahko poškodovala razstavljene eksponate.

Pri nepokritih eksponatih je prav tako potrebno paziti na odseve, saj ti lahko nastanejo na sami površini osvetljenega predmeta. Ti so v določenih primerih celo zaželeni (na primer pri osvetljevanju nakita) v kolikor seveda ne motijo opazovanja predmeta.

8.5.2 PRIPOROČILA

Priporočila za razsvetljavo muzejev in galerij gredo v več smeri. V standardih za notranjo razsvetljavo so podana priporočila o potrebni minimalni osvetljenosti prostorov, ki mora zagotoviti varno uporabo prostorov (premikanje po prostorih) ter razpoznavanja obrazov. Navedene vrednosti so bolj ali manj podobne vrednostim za podobne prostore v zgradbah drugih tipov. Poleg tega pa se je v muzejih in galerijah potrebno posvetiti predvsem priporočilom v zvezi s poškodbami materialov. Pri tem sta ključna nivo osvetljenosti ter valovne dolžine svetlobe, ki jo uporabljamo za osvetljevanje razstavljenih predmetov.

Občutljivost na svetlobo	**Največja dovoljena osvetljenost [lx]**	**Največja kumulativna izpostavljenost svetlobi na leto [lx h/leto]**
Zelo občutljivi materiali kot npr.: svila, časopisi, nekatere barve	50	15,000
Srednje občutljivi materiali kot npr.: tekstil, krzna, čipke, nekatera barvila, pasteli, peresa in podobno	50	150,000
Manj občutljivi materiali kot npr.: oljne slike, les, usnje, nekatere plastike	150	600,000
Neobčutljivi materiali kot npr.: kovine, keramika, kamen, steklo, večina mineralov	Neomejeno	Neomejeno

Tabela 8.15: Največje dovoljene osvetljenosti in kumulativna izpostavljenost svetlobi na leto za različno občutljive materiale.

8.5.3 PRISTOPI K RAZSVETLJAVI MUZEJEV IN GALERIJ

Predmeti, razstavljeni na stenah

Pri osvetljevanju slik in drugih predmetov, ki so razstavljeni na stenah, si večinoma prizadevamo za enakomerno in ustrezno osvetlitev same površine razstavljenega predmeta ter ustrezna osvetlitev njegove okolice, da preprečimo premočne (ali prešibke kontraste). Večinoma se uporablja enega od dveh spodaj opisanih pristopov k tovrstni razsvetljavi, možna pa je tudi kombinacija obojih.

Slika 8.44: Muzejski prostor osvetljen s splošno razsvetljavo (levo) in usmerjeno svetlobo (desno).

Prvi pristop temelji na razmeroma visoki osvetljenosti predmetov z zelo difuzno (razpršeno) svetlobo nevtralno bele ali hladno bele barve (višja barvna temperatura). Zaradi visokih osvetljenosti ga lahko uporabimo predvsem za osvetljevanje eksponatov, ki niso zelo občutljivi na svetlobo (na primer v galerijah s sodobno umetnostjo). Za osvetlitev z dnevno svetlobo lahko uporabimo stropne svetlobnike ali svetlobne jaške, ki svetlobo ustrezno razpršijo po prostoru. Pri osvetlitvi z umetno svetlobo pa so primerni svetleči stropi, indirektne svetilke ali svetilke z veliko svetlo površino.

Slika 8.45: Galerijski prostor osvetljen z difuzno dnevno svetlobo, ki prihaja iz svetlobnika na stropu (levo) in galerijski prostor, kjer so razstavljeni predmeti osvetljeni z usmerjeno svetlobo reflektorjev (desno).

Drug pristop uporabimo za srednje in zelo občutljive eksponate (ki so večinoma tudi starejši). Da zmanjšamo kumulativno izpostavljenost svetlobi, le-to usmerimo zgolj na eksponate. Okolje je v tem primeru veliko temnejše. torej je že z manjšo osvetljenostjo eksponatov mogoče doseči ustrezne kontraste. Razsvetljava je v tem primeru sestavljena iz usmerjenih svetilk, ki so montirane na stropni ali spuščeni tračni sistem. Uporabimo lahko tudi svetilke, ki so nameščene na steno nad razstavljenimi eksponati (slikami). Ker je splošna osvetljenost veliko nižja, je priporočljiva nižja (toplejša) barvna temperatura svetlobe svetlobnih virov (3000 K ali manj).

Vitrine

Vitrine so v muzejskem okolju pogosto uporabljajo predvsem za manjše predmete kot so kovanci, nakit, manjše orodje ali orožje in podobno. Prednost vitrin je seveda zaščita razstavljenih predmetov pred krajo, vandalizmom, poškodbami zaradi dotikov ali okoljskih parametrov (npr. vlage). Ker pa obiskovalec muzeja ali galerije objekt v vitrini vedno vidi skozi steklo, je potrebno preprečiti odseve svetlobe, ki bi lahko motili opazovanje. Torej je potrebno osvetljevanju vitrin nameniti posebno pozornost. Najlažje odsevanje svetlobe od stekla vitrine preprečimo tako, da svetlobne vire namestimo pod steklo, torej znotraj vitrine. Uporabimo torej svetilke, ki so integrirane v samo vitrino. Pri tem na žalost obstaja večja možnost poškodb razstavljenih predmetov zaradi relativne bližine svetlobnega vira. Zato je potrebno preveriti količino UV in IR deleža v svetlobi uporabljenih svetlobnih virov. Paziti moramo tudi na toploto, ki jo lahko oddajajo morebitne predstikalne naprave,

nameščene znotraj vitrine. Najprimernejši svetlobni viri za uporabo znotraj vitrin so danes svetila s svetlečimi diodami (LED) ali optičnimi vlakni, pri katerih pa moramo paziti, da imajo ustrezen indeks barvnega videza. Priporočljivo je, da uporabimo svetila, pri katerih je možno spreminjati sevalni kot ter usmerjenost svetlobe.

Slika 8.46: Uporaba svetilk, ki so nameščena pod steklom vitrine (v vitrino integrirana svetila) preprečujejo moteče odseve svetlobe od stekla vitrine. Vendar pa je zaradi majhne razdalje med svetlobnimi viri in razstavljenimi eksponati potrebno preveriti, da osvetljenost in kumulativna letna izpostavljenost svetlobi nista preveliki.

Osvetljevanje vitrin od zunaj je priporočljivo predvsem pri večjih vitrinah ali objektih, ki so pokritih s steklom. Zaradi zelo majhne razdalje med steklom in razstavljenim predmetom jev takem primeru nepraktično ali celo nemogoče predmet osvetliti s svetili, nameščenimi znotraj stekla. Pri nameščanju zunanjih svetil je poleg ustrezne osvetljenosti objekta potrebno upoštevati smer svetlobe, da se izognemo odbojem svetlobe od stekla v smeri oči obiskovalcev, ki bi povzročali bleščanje in moteče odseve.

Tridimenzionalni objekti

Pri tridimenzionalnih objektih je modeliranje oblik in tekstur ključnega pomena. Pri tem so nam pomoč pristopi, ki se jih uporablja v gledališču in ki smo jih omenili v poglavju o razsvetljavi trgovskih objektov pri razsvetljavi izložb. Gre torej za kombinacijo svetlobe iz različnih smeri, s katerimi lahko nadzorujemo smer, jakost in ostrino senc ter kontrastov na razstavljenih predmetih.

Slika 8.47: Različne osvetlitve tridimenzionalnega objekta. Od leve: osvetlitev od spredaj in zgoraj; osvetlitev od leve zgoraj spredaj; osvetlitev od leve spodaj spredaj; osvetlitev z desne.

8.6 RAZSVETLJAVA ZDRAVSTVENIH USTANOV

V tipičnih zdravstvenih ustanovah, kot so na primer bolnišnice ali zdravstveni domovi, se zahteve za razsvetljavo zelo razlikujejo od prostora do prostora kot tudi v prostoru samem. Pri tem je seveda ključno, da razsvetljava omogoča in olajša delo zdravstvenega osebja ter ustvarja udoben ambient za paciente.

Slika 8.48: Razsvetljava je v zdravstvenih ustanovah zelo pomembna in mora omogočati tako ustrezne vidne sposobnosti osebje, kot tudi dobro počutje bolnikov in obiskovalcev.

8.6.1 PREMISLEKI PRI NAČRTOVANJU RAZSVETLJAVE

Pri načrtovanju razsvetljave za zdravstvene ustanove je potrebno pozornost posvetiti tako potrebam pacientov kot potrebam osebja. Pri tem so si te potrebe pogosto v nasprotju, tako da lahko optimalno razsvetljavo dosežemo zgolj ob pazljivem načrtovanju.

Prisotnost dnevne svetlobe

Prisotnost dnevne svetlobe in možnost pogleda ven v okolico oziroma naravo je v prostorih, kjer se zadržujejo pacienti, zelo dobrodošla. Dnevni stik z zunanjim okoljem bistveno prispeva k dobremu počutju pacientov in njihovemu hitrejšemu okrevanju. Vendar moramo pri tem paziti, da predvidimo tudi možnost senčenja (zelo pomembno v sobah, ki so obrnjene na vzhod ali zahod) in ustrezno termično zaščito v primeru močnega direktnega sonca (predvsem v sobah obrnjenih na jug). V sobah, kjer je sončne svetlobe dovolj, da je lahko večino dneva umetna razsvetljava izklopljena, je priporočljiva tudi uporaba avtomatske regulacije razsvetljave.

Slika 8.49: Prisotnost dnevne svetlobe v prostorih za medicinsko uporabo dokazano izboljša rezultate zdravljenja in skrajša čas hospitalizacije bolnikov.

Običajna smer pogledov

Smeri pogledov pacientov se razlikujejo od običajnih, saj so večinoma v ležečem položaju. To pomeni, da se jim pogled ustavi bodisi na stropu bodisi na zgornji polovici nasprotne stene. Razsvetljavo je potrebno zato načrtovati tako, da v teh smereh ne povzroča bleščanja. Seveda pa mora razsvetljava zadostiti tudi potrebam osebja, ki mora dobro videti pacienta, da lahko oceni njegovo zdravstveno stanje.

Tako je še posebej v prostorih za počitek pacientov (bolniških sobah) potrebno predvideti razsvetljavo, ki pacientu omogoča branje in udoben počitek in pri tem ne povzroča motečega bleščanja ali odsevov. Zagotavljati pa mora tudi zadostno osvetlitev pacientovega obraza za vizualno oceno njegovega zdravja.

Slika 8.50: Razsvetljava bolniških sob mora biti ustrezno prilagodljiva saj mora omogočati zadostno osvetljenost za opravljanje dela osebja in pa tudi primeren vizualni ambient za bolnike.

Indeks barvnega videza in osvetljenost

Osebju zdravstvene ustanove mora razsvetljava omogočati rutinsko oceno zdravstvenega stanja pacientov. Pri tem so posebej pomembne barve oči, kože, telesnih tekočin... Zaradi tega mora biti indeks barvnega videza svetlobnih virov v zdravstvenih ustanovah vedno vsaj 80. V določenih prostorih kot je na primer operacijska soba, pa moramo zagotoviti indeks barvnega videza 90 ali več.

Prav tako je ključnega pomena tudi osvetljenost. V bolniških sobah je priporočljivo, da z splošno razsvetljavo dosežemo osvetljenosti okoli 100 lx. Za branje pa moramo bolnikom zagotoviti okoli 300 lx osvetljenosti, vendar to lahko omejimo na bralno področje pacienta. Zaželeno je, da ima pacient tudi možnost regulacije osvetljenosti vsaj na bralnem področju. V splošnih ambulantah je priporočena osvetljenost med 300 lx in 500 lx. V operacijskih sobah so priporočene osvetljenosti precej višje, na mestu operacije kar med 10.000 lx in 160.000 lx. Zaradi tega moramo zagotoviti tudi ustrezno višjo osvetljenost neposredne okolice operacijske mize, ki naj znaša vsaj 1000 lx.

Čiščenje in vzdrževanje

Svetilke v zdravstvenih ustanovah morajo ustrezati posebnim zahtevam glede vzdrževanja in čiščenja. Razlog je seveda v večji prisotnosti možnih povzročiteljev infekcije, ki jih je potrebno čimbolj omejiti. Zato se priporoča, da svetilke omogočajo lahko čiščenje, tako da so večinoma sestavljene iz ravnih in gladkih površin. To še posebej velja za svetilke v bližini pacienta, ki tudi ne smejo biti vroče na dotik ali pa imeti odprtin, ki bi lahko pomenile nevarnost dotika delov pod napetostjo.

Nočna razsvetljava

Za razliko od stanovanj in na primer hotelov, kjer je običajno, da so speči v popolni temi, je v večini prostorov v zdravstvenih ustanovah potrebno zagotoviti določeno osvetljenost prostorov tudi v nočnem času. S tem omogočimo nočnemu osebje, da lahko hitro oceni stanje pacientov in ugotovi ali kateri od pacientov potrebuje nujno oskrbo.

Slika 8.51: Nočna razsvetljava bolniške sobe mora omogočati osebju pregled nad stanjem bolnika, vendar pa ne sme motiti nočnega počitka slednjega.

Ustvarjanje ustreznega ambienta

Pri načrtovanju razsvetljave v zdravstvenih ustanovah je potrebno vedno imeti v mislih dobro počutje pacientov in ustrezno delovno okolje za zdravstveno osebje. Pacienti v zdravstvenih ustanovah pogosto občutijo strah, negotovost in tesnobo. Zato mora razsvetljava nuditi pomirjujoče, toplo in prijetno okolje, ki pacientom pomaga vsaj nekoliko zmanjšati tesnobo in negotovost. Seveda taka razsvetljava ni primerna za vse prostore, vendar pa jo je povsem mogoče doseči v bolniških sobah, v čakalnicah in prostorih za počitek, čajnih kuhinjah in menzah.

8.6.2 PRIPOROČILA

Priporočila za prostore v zdravstvenih ustanovah se razlikujejo predvsem glede na dejavnosti, ki se dogajajo v posameznih prostorih. Tako se priporočila za prehodne in pomožne prostore, kot so na primer hodniki, stopnišča, veže ali shrambe, ne razlikujejo od priporočil za podobne prostore v drugih stavbah. Edina razlika je, da moramo v nekaterih od teh prostorov v zdravstvenih ustanovah zagotavljati tudi nočno razsvetljavo.

Priporočila za oddelke z bolniškimi sobami in priporočila za prostore za zdravstveno oskrbo kot so ambulante in operacijske sobe, pa so seveda precej drugačna od priporočil za prostore v drugih stavbah. V bolniških sobah se priporoča predvsem velika prilagodljivost razsvetljave, ki mora omogočati splošno horizontalno osvetljenost vsaj 100 lx in osvetljenost v bolnikovem področju za branje vsej 300 lx. Razsvetljava za branje lahko služi tudi kot razsvetljava pri oskrbi pacienta, pri kateri je prav tako priporočena osvetljenost vsaj 300 lx. Poleg tega je v oddelkih z bolniškimi sobami potrebna tudi nočna razsvetljava. Osvetljenosti, ki jih mora zagotavljati, so odvisne od zdravstvenega stanja pacientov. Bolj kot je stanje pacienta kritično, večja je lahko osvetljenost v nočnem času. Vendar pa

moramo vseeno paziti, da s preveliko osvetljenostjo predvsem pa z bleščanjem, pacientu ne motimo počitka. Pri pacientih, katerih stanje je stabilno, je lahko osvetljenost v nočnem času precej manjša, vendar mora vseeno omogočati varno gibanje zdravstvenega osebja.

Razsvetljava splošnih ambulant mora zagotoviti povprečno osvetljenost v prostoru vsaj 500 lx. Na področjih, kjer se izvajajo zdravstveni pregledi ter v določenih specialističnih ambulantah pa je pogosto potrebno zagotoviti še višjo osvetljenost. To običajno dosežemo z dodatnimi lokalnimi svetilkami, ki so včasih že del medicinskih naprav.

Slika 8.52: V ambulantah splošno razsvetljavo projektiramo tako, da zagotovimo v prostoru 500 lx. Svetilke namestimo na strop ob mizi za preglede, vendar ne neposredno nad njo, da zmanjšamo bleščanje bolniku med pregledom. Če so v prostoru aparature s slikovnimi zasloni, naj bo razsvetljava opremljena z regulacijo svetlobnega toka, da lahko med uporabo slikovnih zaslonom osvetljenost zmanjšamo. Če so na mestu pregleda potrebne večje osvetljenosti, za to poskrbimo z dodano lokalno razsvetljavo, ki je običajno že del medicinske opreme.

Podobno velja za operacijske sobe, kjer zadostno osvetljenost na področju operacije zagotovimo s posebnimi lokalnimi svetilkami, ki omogočajo dobro nastavljivost smeri svetlobe in področja osvetljevanja. Da pa osebje nima težav z adaptacijo oči med operacijo, mora biti tudi osvetljenost v okolici področja operacije zadosti velika (vsaj 2000 lx), prav tako pa tudi splošna osvetljenost celotnega prostora (1000 lx).

Prostor	**Minimalna vzdrževana osvetljenost**
Čakalnice	200 lx (na tleh)
Hodniki podnevi	200 lx (na tleh)
Hodniki ponoči	50 lx (na tleh)
Oddelki: splošna razsvetljava	100 lx
Oddelki: bralna razsvetljava	300 lx
Oddelki: razsvetljava za oskrbo	300 lx
Specialistični pregledi (odvisno od vrste pregleda)	1000 lx
Nočna osnovna osvetlitev	5 lx
Operacijska dvorana (splošna razsvetljava)	1000 lx
Operacijska dvorana (osvetlitev neposredne okolice operacijske mize)	2000 lx

Tabela 8.16: Priporočene vrednosti vzdrževane osvetljenosti nekaterih prostorov v zdravstvenih ustanovah.

8.6.3 PRISTOPI K RAZSVETLJAVI ZDRAVSTVENIH USTANOV

Ker so dejavnosti, ki se opravljajo v prostorih zdravstvenih ustanov zelo različne, so različne tudi zahteve za razsvetljavo s tem pa tudi pristopi k načrtovanju le-te. V nadaljevanju je navedenih nekaj primerov za izbrane prostore

Oddelki (bolniške sobe)

Na oddelkih oziroma v bolniških sobah običajno predvidimo dva ločena sistema razsvetljave. Prvi je sistem za splošno razsvetljavo, ki je običajno izveden s stenskimi svetilkami, v večjih prostorih pa s stropnimi vgradnimi ali nadgradnimi svetilkami. Če je prostor višji, pa lahko uporabimo tudi spuščene svetilke. Drugi je bralno/nočni sistem, ki je lahko sestavljen iz navadnih namiznih nočnih svetilk, stenskih svetilk ali svetilk, ki so integrirane v opremo prostora. V bolniških sobah pogosto srečamo razsvetljavo, integrirano v t.i. bolniške kanale, kjer se nahajajo tudi električne vtičnice, vtičnice za medicinske pline, priključek za internet, telefon in podobno. V ta element je lahko integrirana tudi indirektna svetilka za splošno razsvetljavo. Indirektna splošna razsvetljava bolniške sobe, v kolikor je seveda ekonomsko opravičljiva, zagotavlja prijetnejšo atmosfero za pacienta in hkrati bistveno zmanjšuje bleščanje. Seveda je pri načrtovanju indirektne razsvetljave potrebno upoštevati nekatere omejitve, kot so višina stropa ali možna višina namestitve indirektne svetilke, ki naj ne bi bila nižja od 1,8 m. Pomembna je seveda kombinacija obeh višin, saj so pri svetilkah, ki so nameščene prenizko glede na višino stropa, izgube svetlobe prevelike, da bi bila taka razsvetljava ekonomsko opravičena. Pri višini namestitve svetilk na višino 1,8 m je tako priporočljivo, da strop ni višji od 3 m.

Slika 8.53: Razsvetljava bolniške sobe. Ustrezno splošno osvetljenost prostora dosežemo z indirektno stensko svetilko, ki je nameščena na steni za bolnikovo glavo. Dodatno osvetljenost področja za branje pa omogoča nastavljiva lokalna svetilka (levo), ki je sestavni del opreme prostora (bolniške postelje) ali pa direktna svetilka prav tako za bolnikovo glavo (desno).

Med oskrbo bolnika s strani osebja se pogosto okoli postelje zagrne zaveso, ki zagotavlja vsaj minimalno diskretnost. V kolikor je bolniška soba opremljena s takimi zavesami moramo paziti, da se ob zagrnjenih zavesah osvetljenost pacienta ne spusti pod priporočeno vrednost, saj zavesa poleg pogledov zastre tudi svetlobo.

Ambulante

V splošnih ambulantah moramo večinoma zagotoviti (samo) ustrezen nivo (500 lx) povprečne osvetljenosti celotnega prostora. To najlažje dosežemo s splošno razsvetljavo,

sestavljeno iz ustreznega števila difuznih stropnih svetilk, ki so enakomerno razporejene po prostoru. Ker se pregledi dostikrat izvajajo tako, da bolniki ležijo na postelji, moramo za splošno razsvetljavo izbrati svetilke, pri katerih je pogled na svetlobni vir ustrezno zastrt, saj je drugače moteče bleščanje preveliko.

Specialistične ambulante

V specialističnih ambulantah so zahteve za splošno razsvetljavo pogosto nižje kot pri splošnih ambulantah, saj se pri specialističnih pregledih pogosto uporabljajo lokalne svetilke, ki večinoma niso predmet projekta razsvetljave. Vseeno se priporoča, da splošna razsvetljava zagotavlja vsaj 300 lx, ki jih najlažje zagotovimo z ustrezno razporejenimi stropnimi svetilkami. V določenih specialističnih ambulantah je priporočljiva razsvetljava, ki omogoča regulacijo svetlobnega toka. Tako lahko v času pregleda prostor ustrezno zatemnimo, kar omogoča lažjo uporabo naprav, ki jih medicinsko osebje pri pregledu uporablja (npr. naprave za pregled oči ali ušes in naprave s slikovnim zaslonom).

Slika 8.54: V specialističnih ambulantah, kjer zdravstveno osebje pri pregledu uporablja naprave s slikovnimi zasloni je lahko splošna osvetljenost nekoliko nižja. Ustrezno osvetljenost na mestu pregleda pa dosežemo z dodatno lokalno svetilko, ki je lahko tudi del medicinske opreme. Pri uporabi slikovnih zaslonov v prostoru moramo paziti tudi na to, da preprečimo bleščanje in odseve na zaslonu, tako s strani umetne kot tudi naravne svetlobe.

Operacijske sobe

Razsvetljava operacijskih sob mora izpolnjevati posebne zahteve. Razsvetljava samega mesta operacije je predmet posebnega standarda. Prav tako projektant razsvetljave običajno ne načrtuje posebnih svetilk, ki se uporabljajo v operacijskih sobah in so integralni del opreme. Predmet projekta razsvetljave operacijske sobe je tako samo splošna razsvetljava, ki jo lahko razdelimo v dva dela:

- splošna razsvetljava celotnega prostora, ki mora zagotoviti povprečno vrednost vzdrževane osvetljenosti v višini 1000 lx in
- razsvetljava neposredne okolice mesta operacije, ki mora zagotoviti vsaj 2000 lx, da oči osebja med operacijo niso izpostavljene prevelikih razlikam v svetlosti, kar bi povzročajo težave z adaptacijo.

Za oba sistema splošne razsvetljave je priporočljivo, da sta izvedena s pomočjo stropnih svetilk z zelo široko porazdelitvijo svetilnosti, ki v prostoru zagotavlja velik delež razpršene

svetlobe in tako zmanjšuje moteče sence. Svetilke morajo biti ustrezno zaščitene pred vdorom prahu in vode (IP oznaka zaščite vsaj 65).

Slika 8.55: Razsvetljava v operacijski sobi je običajno sestavljena iz splošne razsvetljave, ki je nameščena na stropu sobe in razporejena okoli operacijske mize ter dodatne lokalne razsvetljave mesta operacije s posebno svetilko.

8.7 RAZSVETLJAVA BIVALNIH PROSTOROV

Bivalni prostori so prostori v objektih, kjer ljudje prebivajo krajši ali daljši čas. Sem sodijo tako stanovanja v eno ali več stanovanjskih stavbah kot tudi hoteli, moteli, dijaški in študentski domovi, domovi za ostarele, oskrbovana stanovanja in podobno.

Slika 8.56: Kljub temu, da bivalni prostori niso namenjeni delu, pa se v njih vseeno odvijajo dejavnosti, ki zahtevajo enake svetlobne pogoje kot na primerljivih delovnih mestih.

Čeprav bivalni prostori ne vsebujejo izrecno določenih delovnih mest, pa v njih vseeno opravljamo različne dejavnosti, ki za naš vidni sistem predstavljajo lažje ali težje vidne naloge. Razsvetljava bivalnih prostorov mora seveda omogočati njihovo opravljanje brez večjega napora, poleg tega pa ustvariti tudi prijetno 'bivalno' okolje.

8.7.1 PREMISLEKI PRI NAČRTOVANJU RAZSVETLJAVE

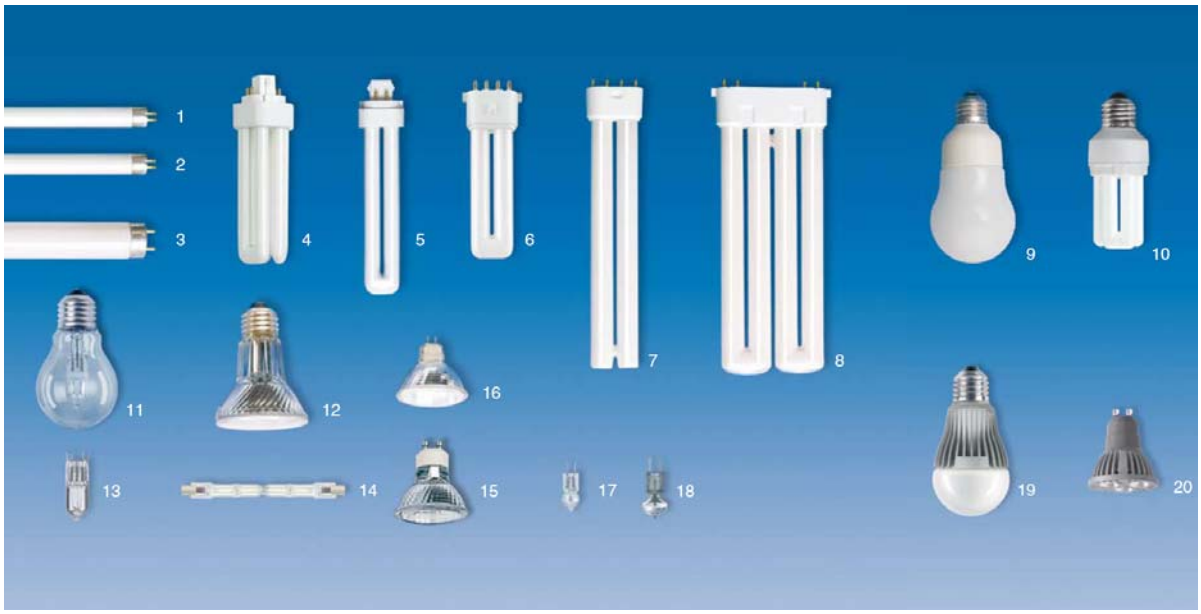
Potrebe uporabnikov

Potrebe uporabnikov bivalnih prostorov glede razsvetljave se zelo razlikujejo, zato so tudi svetlobno-tehnične zahteve lahko zelo različne. Tako na primer starejši ljudje potrebujejo višje osvetljenosti okolja z manj bleščanja in manj motečih kontrastov. Pri mlajših

uporabnikih pa je pogosto zaželeno bolj razgibano svetlobno okolje z večjimi kontrasti in (lahko tudi barvnimi) poudarki. Tako kot pri načrtovanju razsvetljave v delovnih prostorih je tudi pri načrtovanju razsvetljave bivalnih prostorov na začetku potrebno premisliti kdo so uporabniki prostorov, kakšne dejavnosti bodo potekale v posameznih prostorih in kakšne so njihove vidne potrebe pri teh dejavnostih.

Energetska učinkovitost in vzdrževanje

V večjih bivalnih objektih, kot so na primer hoteli, domovi za ostarele in podobno, srečamo veliko prostorov, kjer lahko prihaja do zelo neučinkovite porabe energije v povezavi z razsvetljavo. Predvsem so problem lahko hodniki, avle, stopnišča, veže za dvigala, menze in restavracije. Ko načrtujemo razsvetljavo za tovrstne prostore, je potrebno premisliti o uporabi krmilnega sistema za razsvetljavo.



Slika 8.57: Tudi v bivalnih prostorih lahko porabo električne energije zmanjšamo z uporabo energetsko učinkovitih svetlobnih virov. Fluorescenčne sijalke (1, 2, 3) so danes zaradi dobrega indeksa barvnega videza primerne tudi za razsvetljavo v stanovanjih. Manjše svetilke pa so običajno opremljene s kompaktnimi fluorescenčnimi sijalkami s pin (4, 5, 6, 7, 8) ali E27 vznožki (9, 10). V prostorih, kjer razsvetljava ni v uporabi dolgo časa, se pa velikokrat prižge in ugasne, je priporočljiva uporaba halogenskih žarnic na 230 V napetost (11, 12, 13, 14, 15). V manjših lokalnih svetilkah pa se običajno uporabljajo NN halogenske žarnice (17, 18). Vse bolj pa se uveljavljajo tudi LED sijalke (19, 20).

Razmislek o energetski učinkovitosti in vzdrževanju vpliva tudi na izbor svetlobnih virov. Na težko dostopnih mestih lahko na primer menjava svetlobnih virov predstavlja določen problem. Zato je v takem primeru priporočljivo predvideti svetlobne vire z dolgo življenjsko dobo. Danes so to lahko svetleče diode.

Naravna osvetlitev

Bivalni prostori morajo imeti okna, ki zagotavljajo osvetlitev z naravno svetlobo in vidni stik z okolico. V nekaterih državah imajo tudi predpise, po katerih morajo okna zagotavljati tudi direktno sončno sevanje v prostoru vsaj določen del dneva. Predvsem je to pomembno za prostore, kjer se ljudje zadržujejo daljši čas. V prostorih, kjer se zadržujemo samo krajši

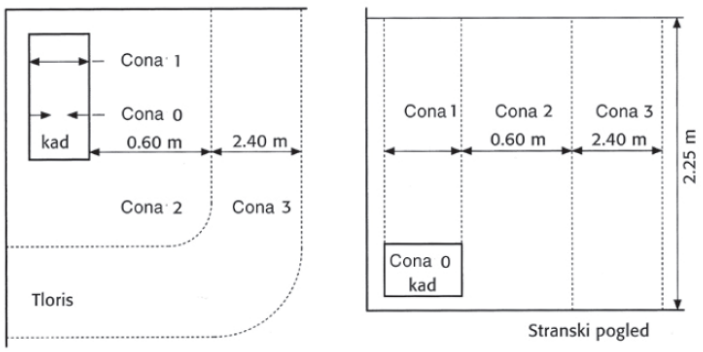
čas (veže, avle, stopnišča, hodniki, sanitarni prostori) pa so lahko opremljeni samo z umetno razsvetljavo.

Slika 8.58: Osvetlitev oziroma prisotnost dnevne svetlobe je v bivalnih prostorih zelo pomembna, zato gradbeni predpisi določajo minimalno velikost okenskih odprtin, v nekaterih državah pa celo minimalno trajanje direktne sončne obsevanosti bivalnih prostorov.

Varnost

V določenih bivalnih prostorih je potrebno posebno pozornost nameniti varnosti. Predvsem je ta pomembna v prostorih, kjer je nevarnost električnega udara večja, kot so na primer prostori, kjer je prisotna tudi voda (kopalnice, kuhinje, bazeni, savne in podobno). Ko projektiramo razsvetljavo v takih prostorih, moramo vedeti, da svetilke ne smemo namestiti poljubno, ampak je pri tem potrebno upoštevati varnostne predpise. Ti prostore s prisotno vodo delijo na 4 cone. Za uporabo električnih naprav (torej tudi svetilk) v teh conah veljajo posebne zahteve:

- cona 0 predstavlja notranjost kopalne ali tuš kadi oziroma bazena. V tej coni so dovoljene samo svetilke z IP oznako zaščite vsaj X7;
- cona 1 predstavlja zračni prostor nad cono 0 do stropa. V njej so dovoljene samo svetilke z IP stopnjo zaščite X5 ali več;
- cona 2 predstavlja prostor oddaljen do 0,6 m od kopalne ali tuš kadi. V to cono lahko namestimo svetilke, ki imajo IP oznako najmanj X4. V javnih kopališčih so zahteve še nekoliko strožje, saj dovoljujejo v tej coni svetilke z oznako IP X5 ali več.
- cona 3 je področje, ki je od cone 2 oddaljeno največ 2,4 m. Tu so dovoljene svetilke z IP oznako X1 ali več, v javnih kopališčih pa z oznako IP X5 ali več.



Slika 8.59: Prikaz razdelitve prostora s kopalno kadjo v varnostne cone (levo v tlorisu in desno v prerezu).

8.7.2 PRIPOROČILA

Razsvetljava bivalnih prostorov v stanovanjih je v domeni uporabnika prostora, zato za tovrstno razsvetljavo ne obstajajo predpisi ali priporočila. Pri načrtovanju tovrstne razsvetljave se zato opiramo na priporočila za delovne prostore in pri tem upoštevamo podobnost del. Delo na kuhinjskem pultu pri pripravi hrane lahko štejemo za delo z večjimi vidnimi zahtevami, prav tako na primer branje knjige ali časopisa v dnevni sobi. Po drugi strani se v spalnici srečujemo z manjšimi vidnimi zahtevami, v kopalnici in garderobi pa je na primer potrebno dobro razločevanje barv. Ker pa je večina zahtevnejših vidnih nalog v stanovanjih omejena na razmeroma majhen del prostora (na primer pult kuhinji ali pisalna miza v dnevni sobi oziroma kabinetu) lahko potrebne osvetljenosti za bolj zahtevne vidne naloge zagotavljamo z lokalnimi svetilkami in ne s splošno razsvetljavo. Nekoliko drugače je v prostorih, kjer poleg stanovalcev srečamo tudi zaposlene: hoteli, domovi za ostarele in podobno. V tem primeru gre za prostore, ki so za določene uporabnike bivalni prostori, za druge pa delovni. Zato tovrstne prostore srečamo tudi v predpisih in priporočilih, saj je potrebno zaposlenim v teh prostorih zagotoviti ustrezno delovno okolje, da lahko brez večjega napora opravljajo svoje delo.

Slika 8.60: V Razsvetljava bivalnih prostorom mora zagotoviti predvsem prijeten vizualni ambient in vidno udobje. Vsaj v prostorih, kjer ne opravljamo dejavnosti podobnih delu, je zagotavljanje vidnih sposobnosti manj pomembno. Kjer pa vseeno potrebujemo višje osvetljenosti, pa lahko predvidimo lokalne svetilke.

Bivalne prostore lahko razdelimo tudi na prostore, kjer se zadržujemo dalj časa in opravljamo določena dela, ki zahtevajo ustrezno vidno okolje (dnevna soba, kuhinja, jedilnica, otroška soba, kabinet ali utility, hobi soba, kopalnica…) in na prehodne prostore, ki predstavljajo komunikacijske poti (hodnik, veža, avla, stopnišče…). Za razsvetljavo slednjih je ključno, da mora ustvarjati ustrezen ambient in voditi uporabnike (in obiskovalce) po prostoru. Tako razsvetljava teh prostorov ni namenjena toliko učinkovitemu opravljanju vidnih nalog ampak je bolj pomembno, da je dobro usklajena z arhitekturo in notranjim oblikovanjem prostora.

V spodnji tabeli so navedene vrednosti priporočene vzdrževane osvetljenosti za nekatere prostore v bivalnih stavbah, kjer poleg stanovalcev srečamo tudi zaposlene. Seveda pa te vrednosti osvetljenosti lahko uporabimo tudi v stanovanjskih prostorih.

Prostor	Ravnina merjenja	Priporočena vzdrževana osvetljenost
Vhod	Tla	200 lx
Recepcijska miza	Delovna površina	300 lx
Hodniki	Tla	100 lx
Stopnišča	Horizontalna površina stopnic	100 lx
Delovna miza	Miza	150 lx
Mala kuhinja	Kuhinjski pult	150 lx
Utility	Delovni pult in zgornja površina strojev	150 lx
Veža ali avla	Tla	150 lx
TV prostor	Tla	50 lx
Restavracija	Mize	150 lx

Tabela 8.17: Priporočene vrednosti horizontalne vzdrževane osvetljenosti v nekaterih bivalnih prostorih, kjer poleg stanovalcev srečamo tudi zaposlene.

8.7.3 PRISTOPI K RAZSVETLJAVI BIVALNIH PROSTOROV

Pri večini bivalnih prostorov je integracija razsvetljave z arhitekturo prav tako pomembna kot zagotavljanje ustrezne osvetljenosti okolja. Integracija z arhitekturo lahko pomeni dejansko integracijo svetilk v elemente pohištva in opremo prostora ali pa zgolj izbiro svetilk, ki estetsko sodijo v prostor. Seveda moramo ob tem zadostiti tudi vsem vidnim potrebam in zahtevam, kar pomeni da razsvetljava ne sme bleščati in mora omogočati opravljanje dejavnosti, ki se v prostoru dogajajo, pa tudi dobro vidno vodenje po prostoru, razpoznavanje obrazov itd.

Vhod in veže

Vhodi in/ali veže so ponavadi prvi stik obiskovalca s stavbo. Zato je pomembno, da prostor naredi pravi vtis ter obiskovalcu že ob prvem stiku sporoča o namenu in ponudbi stavbe oziroma ustanove, ki v njej domuje ter mu daje informacije o lokaciji recepcije, stopnišča, dvigal in podobno.

Slika 8.61: Razsvetljava vhodnega dela stanovanja mora izražati dobrodošlico in na obiskovalca narediti dober vtis.

Pristopi, ki jih lahko uporabimo za razsvetljavo vhodov in vež so splošna razsvetljava izvedena s pomočjo stropnih svetilk s široko prostorsko porazdelitvijo svetilnosti (kot so na primer stropni sevalniki (t.i. downlighter-ji) ali svetilke z fluorescenčnimi sijalkami), ki jo kombiniramo z razsvetljavo za vidno vodenje. Slednja je lahko izvedena v obliki markirnih vgradnih svetilk v stenah pri tleh, skritih linij svetil na stropu in podobno.

K osvetlitvi vhoda in veže spadajo tudi osvetlitev recepcije in drugih funkcionalnih 'otokov', ki jih lahko najdemo v sodobnih bivalnih objektih, namenjenih več uporabnikom (kot na primer sedežna garnitura, informacijski pult itd.). Te 'otoke' običajno opremimo s svojo razsvetljavo in jih tako poudarimo in 'pokažemo' njihovo lokacijo in namen obiskovalcu takoj, ko vstopi skozi vhod. V takih primerih lahko dostikrat jakost splošne razsvetljave znižamo in s tem še dodatno poudarimo funkcionalne otoke otoka v veži.

Stopnišča in hodniki

Razsvetljava stopnišč in hodnikov mora predvsem zagotavljati varno uporabo in premikanje po prostoru. V ta namen se je potrebno izogniti bleščanju, kar še posebej velja za stopnišča. Pri stopniščih je priporočljivo, da so osvetljene predvsem horizontalne površine stopnic, ker tako lahko preprečimo spotikanje in padce. To običajno dosežemo tako, da predvidimo razsvetljavo, kjer je smer svetlobe od zgornjega dela stopnišča proti spodnjemu, kar zagotavlja, za zgornja stopnica povzroča vidno senco na spodnji stopnici in tako dobro prepoznavanje robu stopnice. Sprejemljiva je tudi uporaba stenskih svetilk, ki so nameščena vzdolž stopnišča.

Slika 8.62: Razsvetljava hodnikov in stopnišč mora predvsem zagotoviti varnost uporabnikom. Kljub temu pa mora biti tudi ustrezno dekorativna, zato dostikrat izbiramo manjše svetilke s halogenskimi žarnicami oziroma danes s svetlečimi diodami.

V hodnikih je podnevi priporočljivo zagotoviti vsaj 100 lx osvetljenosti, v kolikor ni bistvenega prispevka naravne svetlobe. Zvečer, ko se stemni in je število uporabnikov prostora manjše, se osvetljenost lahko zmanjša na 50 lx. Pozno ponoči lahko razsvetljavo ugasnemo oziroma zagotovimo le minimalno orientacijsko osvetljenost (npr. 5 lx). Vendar pa moramo omogočiti, da uporabnik prižge celotno razsvetljavo, v kolikor to želi.

Sobe za goste in sobe v stanovanjih

Razsvetljava sob za goste in sob v stanovanjih se prilagaja dejavnostim, ki v njih potekajo. Tako je osvetlitev hotelske sobe, ki je primarno namenjena spanju, drugačna kot osvetlitev

otroške sobe ali sobe za najstnika, ki v njej opravljata veliko število različnih aktivnosti. Za hotelske sobe (in spalnice v ožjem pomenu besede) je priporočljiva uporaba mehke razpršene svetlobe. To lahko dosežemo z uporabo ustreznih stropnih svetilk, še lažje pa z uporabo indirektnih stenskih ali stoječih svetilk.

Slika 8.63: Sobe za goste in hotelske sobe so namenjene predvsem spanju, zato je primerna indirektna razsvetljava ter dodatne svetilke ob postelji, ki omogočajo tudi nočno branje.

Sobe za otroke in najstnike morajo zagotavljati zadostno osvetljenost za igro in učenje in sicer tako na tleh ter na mizi oziroma delovni površini. Običajno predvidimo ustrezne stropne ali stenske svetilkami, ki po celotnem prostoru zagotavljajo ustrezno osvetljenost, ki jih dopolnimo z dodatnimi namiznimi svetilkami na pisalni mizi.

Slika 8.64: Dejavnosti v otroških sobah so zelo različne, zato samo ena svetilka na stropu ne zadošča. Poskrbeti moramo tako za dodatno lokalno razsvetljavo za šolsko delo kot tudi za ustrezno ambientalno razsvetljavo, ki omogoča sproščeno igranje.

Seveda pa moramo, predvsem pri načrtovanju razsvetljave prostorov v privatnih stanovanjih in stanovanjskih hišah, predvsem upoštevati želje in navade bodočih uporabnikov prostorov in jim ustrezno prilagoditi razsvetljavo.

Kuhinje in jedilnice

V sodobnih (bivalnih) kuhinjah se pogosto odvija večina družabnega življenja družine. Vedno pogosteje srečamo v stanovanjih kuhinje združene z dnevnim prostorom v enoten večji prostor. S stališča aktivnosti, ki se dogajajo v kuhinji, je priporočljiva kombinacija splošne razsvetljave z ustrezno razpršeno svetlobo in delovne razsvetljave, ki je usmerjena na kuhinjski pult. Slednja mora zagotavljati ustrezne osvetljenosti, da lahko varno

opravljamo delo. Svetilke splošne razsvetljave namestimo na strop, delovne pulte pa običajno osvetlimo s svetilkami, ki so nameščene pod kuhinjske elemente nad pultom.

Slika 8.65: Kuhinja je tako bivalni kot delovni prostor. Razsvetljava mora prostor narediti prijeten ter omogočiti ustrezne vidne sposobnosti na delovnih površinah. Slednje najlažje dosežemo z dodatnimi lokalnimi svetilkami nad delovnimi površinami.

Pogosto je del kuhinje tudi jedilni miza in/ali jedilni pult, ki ga je priporočljivo dodatno osvetliti. To lahko naredimo bodisi z usmerjenimi žarometi na stropu ali pa s spuščenimi svetilkami. Priporočljivo je, da je ta razsvetljava na drugem tokokrogu kot kuhinjska, saj si ob obedovanju pogosto zaželimo nekoliko temnejše in intimnejše atmosfere, ki jo lahko dosežemo tako, da kuhinjsko razsvetljavo ugasnemo.

Slika 8.66: Razsvetljava jedilne mize oziroma jedilnice mora omogočati, da je hrana na mizi dobro vidna in ustreznega izgleda (dober indeks barvnega videza). Vendar pa morajo biti svetilke nameščene tako, da ne bleščijo sedečim za mizo, ter da ne motijo (zastirajo) pogleda na nasproti sedeče .

8.8 RAZSVETLJAVA ŠPORTNIH OBJEKTOV

Naloga razsvetljave športnih objektov je omogočiti zadostno vidno razpoznavanje dogajanja tako za igralce kot tudi za gledalce. Pri tem se športi med seboj zelo razlikujejo tako glede na vidne zahteve kot tudi na stopnjo profesionalnosti (oziroma rekreativnosti). Profesionalni športni dogodki priljubljenih športov, kot na primer nogomet, košarka, tenis in drugi, so predmet dodatnih zahtev televizijskih hiš v zvezi z osvetlitvijo za televizijske prenose. Pogosto so te zahteve opisane v standardih krovnih organizacij tega športa (kot na primer FIFA, FIBA, WTF in podobno). Te zahteve so večinoma strožje kot splošne zahteve za razsvetljavo, ki so podrobneje opisane v Tehničnem poročilu organizacije CIE 'Practical

Design Guidelines for the lighting of sport events for colour television and filming' CIE 169:2005.

Slika 8.67: Osvetlitev hokejske dvorane. Razsvetljava športne dvorane mora omogočiti ustrezno vidno razpoznavanje dogajanja na športni površini tako športnikom kot tudi gledalcem. Poleg tega je potrebno poskrbeti za ustrezno omejevanje bleščanja, tako direktnega kot odsevnega, ki je pri igriščih na ledeni ploskvi lahko še posebej moteče.

8.8.1 PREMISLEKI PRI NAČRTOVANJU RAZSVETLJAVE

Stopnja tekmovanja in razdalja gledanja

Vsak šport se lahko igra ali izvaja na različnih nivojih: od profesionalnih mednarodnih tekmovanj do rekreativnih izvajanj. Priporočila oziroma zahteve za razsvetljavo so odvisne od nivoja tekmovanja (amatersko, lokalno, nacionalno, mednarodno). Zato se razsvetljava rekreativnih objektov razlikuje od razsvetljave objektov, ki so namenjeni tudi mednarodnim tekmovanjem.

Slika 8.68:Razsvetljava šolskih telovadnic in objektov za rekreacijo mora zagotavljati precej nižje osvetljenosti kot razsvetljava dvoran za velike mednarodne prireditve in televizijske prenose.

Zahteve za razsvetljavo pa so odvisne tudi od razdalje med gledalcem in igralcem na igrišču oziroma športnikom, torej od velikosti športnega objekta. Bolj kot je gledalec oddaljen od prizorišča in bolj kot šport zahteva prepoznavanje majhnih detajlov, višje so zahteve za razsvetljavo.

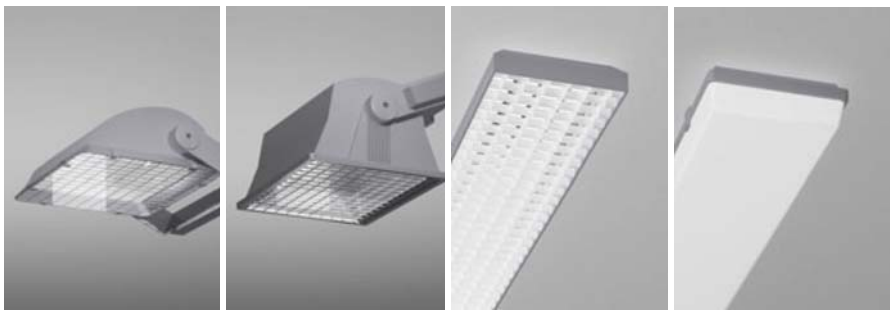
Standard EN 12193 športna prizorišča razvršča v tri razrede in sicer:

- razred razsvetljave I:
  - državna in mednarodna tekmovanja;
  - veliko število gledalcev, ki so zelo oddaljeni od prizorišča;
  - zahtevni treningi;
- razred razsvetljave II:
  - tekmovanja srednje pomembnosti (npr. manjša državna ali območna tekmovanja);
  - srednje veliko število gledalcev in razmeroma majhna razdalja do športne površine;
  - srednje zahtevni treningi;
- razred razsvetljave III:
  - majhna lokalna ali klubska tekmovanja;
  - zelo majhno število gledalcev;
  - manj zahtevni treningi ali vaje (šolske in otroške vaje).

Glede na te razrede standard določa priporočljivo osvetljenost igrišča oziroma športne površine za večino športov.

Svetilke

V različnih športnih objektih so zahteve za svetilke lahko zelo različne. Ker so razdalje med svetilkami in osvetljeno površino odvisne od dimenzije objekta, so včasih bolj primerne svetilke z širšo prostorsko porazdelitvijo svetilnosti (na primer pri manjših športnih dvoranah), drugič pa zelo usmerjeni reflektorji (razsvetljava nogometnega igrišča ali atletskega štadiona). Poleg tega so svetilke v športnih objektih izpostavljene nevarnosti poškodb z žogo ali drugimi predmeti, ki se uporabljajo pri različnih športih. Zato morajo biti ustrezno mehansko zaščitene s kovinskimi mrežami ali kakšno drugo vrsto zaščite. Svetilke, ki so namenjene razsvetljavi športnih objektov na prostem pa morajo imeti ustrezno zaščito pred vdorom vode ali vlage, ki jih ščiti pred vplivi vremena.



Slika 8.69:Za razsvetljavo zunanjih športnih objektov in za razsvetljavo večjih dvoran z visokim stropom so primerni predvsem reflektorji. Pri manjših dvoranah z nižjim stropom pa uporabimo svetilke s širšo porazdelitvijo svetilnosti. Pri vseh pa moramo paziti, da so ustrezno zaščitene pred mehanski poškodbami (npr. z žogo).

Razsvetljava za televizijo

Za ustrezno delovanje televizijskih kamer je potrebno na športnem prizorišču zagotoviti zadostno osvetljenost. Zahteve se razlikujejo glede na vrsto športa in nivo tekmovanja.

Mednarodne krovne športne organizacije tako pogosto določajo dodatne zahteve za velika mednarodna športna tekmovanja, pa tudi za tekmovanja na nižjem nivoju. V kolikor za določen šport take dodatne zahteve ne obstajajo, lahko kot osnovo za projektiranje razsvetljave športnega objekta za potrebe televizijskih prenosov vzamemo CIE publikacija 169:2005. Ta zahteve določa na podlagi razdalje med televizijskimi kamerami in športnim prizoriščem, pri čemer se kot merodajno seveda vzame najbolj oddaljeno kamero.

Slika 8.70: Za potrebe televizijskih prenosov je poleg ustrezne horizontalne in vertikalne osvetljenosti potrebno zagotoviti tudi ustrezno osvetljenost iz smeri kamere. Paziti moramo tudi na barvno temperaturo svetlobnih virov, še posebej če se prenos začne že v dnevnem času in traja v noč. V tem primeru moramo izbrati svetlobne vire z višjo barvno temperaturo (5200 K do 6000 K), da se barvni videz predmetov ne spremeni pri prehodu iz naravne svetlobe na umetno razsvetljavo.

Za športnike je pri večini športov pomembna tako horizontalna osvetljenost, ki omogoča prepoznavanje ovir na športni površini in npr. žoge, kot tudi vertikalna osvetljenost, ki omogoča prepoznavanje igralcev lastne in nasprotne ekipe. Za televizijske prenose pa je bistvenega pomena predvsem vertikalna osvetljenost oziroma osvetljenost v smeri kamere.

Priprava na morebitni izpad napajanja z električno energijo

V športnih objektih je potrebno predvideti in omogočiti ustrezno razsvetljavo tudi v primeru morebitnega izpada električne energije. V večini primerov je razsvetljava ob izpadu električne energije omejena zgolj na varnostno razsvetljavo, ki omogoča gledalcem in igralcem varen umik iz prostora.

Slika 8.71: Pri veliko športih oziroma športnih objektih je varnostna razsvetljava obvezna, saj lahko le-tako zagotovimo varnost športnikov in gledalcev v primeru izpada električne energije.

Varnostna razsvetljava mora v tem primeru zagotavljati osvetljenosti v področju 1 lx, ki omogočajo prepoznavanje poti rešitve in morebitnih ovir. Kadar pa se v objektu odvija šport, ki vsebuje hitro premikanje (kot na primer gimnastika, skoki v vodo, dirkanje s konji in podobno), pa je priporočljivo (in včasih tudi zahtevano s strani krovnih organizacij), da se v primeru izpada elektrike omogoči znatno višjo osvetljenost, kot je predpisana v priporočilih o varnostni razsvetljavi.

Nekatere krovne organizacije (na primer FIFA) pa v svojih zahtevah za razsvetljavo športnih objektov določajo, da mora od določenega nivoja športnega dogodka dalje sistem rezervnega napajanja zadoščati za nemoteno nadaljevanje prireditve.

Svetlobno onesnaževanje

Osvetljevanje nepokritih športnih objektov predstavlja poseben izziv tudi glede omejevanja svetlobnega onesnaževanja okolja. Pri tem je potrebno še posebej paziti, da z razsvetljavo športnega objekta prekomerno ne osvetlimo fasad sosednjih bivalnih stavb. Temu se lahko izognemo s primerno izbiro svetilk in njihovo namestitvijo, kjer smo pozorni predvsem na nagib svetilk. V Sloveniji je pri razsvetljavi nepokritih športnih objektov potrebno upoštevati Uredbo o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja.

Slika 8.72: Razsvetljava zunanjih športnih objektov lahko predstavlja tudi precejšnjo obremenitev za nočno okolje. Pri izbiri svetilk pazimo, da je količina svetlobnega toka, ki seva mimo osvetljene površine in v nebo čim manjša. Slovenska uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja za športne objekte dopušča 5 % svetlobnega toka v zgornjem polprostoru.

8.8.2 PRIPOROČILA

Svetlobno-tehnične zahteve za športne objekte, ki so navedene v evropskem standardu EN 12193, podajajo minimalne vrednosti vzdrževane horizontalne osvetljenosti, enakomernosti osvetljenosti in indeksa barvnega videza ter maksimalne vrednosti indeksa bleščanja. Poleg omenjenega standarda pa moramo pri projektiranju razsvetljave športnega objekta upoštevati tudi svetlobno-tehnične zahteve za televizijske prenose, ki so predvsem za mednarodna tekmovanja lahko veliko višje in vsebujejo tudi minimalne vrednosti vertikalne osvetljenosti. Pri načrtovanju razsvetljave za igrišča, kjer se bodo dogajala večja mednarodna tekmovanja je tako vedno potrebno preveriti tudi priporočila ustreznih krovnih organizacij.

Razsvetljava notranjih prostorov

V nadaljevanju so navedene svetlobno-tehnična zahteve, povzete po standardu EN 12193 za razsvetljavo športnih objektov za nekaj najbolj priljubljenih športov. Zahteve vsebujejo vodoravno (horizontalno) osvetljenost, enakomernost osvetljenosti (razmerje med minimalno in povprečno osvetljenostjo), indeks bleščanja in indeks barvnega videza. Zahteve so odvisne od vrste športa in od zahtevnosti oziroma nivoja tekmovanja, ki so razdeljeni glede na prej naštete razrede tekmovanj.

Nogomet

Nogomet je šport z žogo, ki vključuje hitro gibanje igralcev in žoge. Igralci morajo hitro in pravilno oceniti gibanje žoge, soigralcev in nasprotnikov. Nogomet spada v skupino športov z zmerno zahtevnimi vidnimi nalogami.

Razred tekmovanja	Vodoravna osvetljenost	Enakomernost osvetljenosti	Indeks bleščanja	Indeks barvnega videza
I	500 lx	0,7	50	60
II	200 lx	0,6	50	60
III	75 lx	0,5	55	20

Tabela 8.18: Svetlobno-tehnične zahteve za razsvetljavo nogometnih stadionov po standardu EN 12193.

Zaradi velikosti športnega objekta (nogometnega stadiona) se za razsvetljavo uporablja žaromete višjih moči. Pri njihovi postavitvi je potrebno paziti, da ne povzročajo bleščanja za najbolj običajne in kritične smeri pogleda – to je predvsem pogled vzdolž igrišča (še posebej za vratarja).

Slika 8.73: Pri zunanjih nogometnih igriščih namestimo svetilke na stebre na vogalih ali vzdolž daljše stranice igrišča. Svetilke na stebrih ob krajši stranici bi povzročale preveliko bleščanje igralcem, katerih smer pogleda je največkrat vzdolž igrišča.

Kot primerjavo v spodnji tabeli navajajo še priporočila organizacije FIFA za razsvetljavo na nogometnih tekmah, ki jih lahko neposredno spremljamo na televiziji. Kot vidimo so zahteve v tem primeru bistveno višje.

		Navpična osvetljenost			**Vodoravna osvetljenost**			**Druge karakteristike**	
		$E_{v,\,cam}$	**Enakomernost**		**E_h**	**Enakomernost**		**Barvna temperatura**	**Indeks barvnega videza**
Razred	**Pozicija**	**Lux**	**U1**	**U2**	**Lux**	**U1**	**U2**	**Tk**	**Ra**
Razred V mednarodne tekme	Statična kamera	2400	0,5	0,7	3500	0,6	0,8	>4000	≥65
	Statična kamera na nivoju igrišča	1800	0,4	0,65					
Razred IV državne tekme	Statična kamera	2000	0,5	0,65	2500	0,6	0,8	>4000	≥65
	Statična kamera na nivoju igrišča	1400	0,35	0,6					

Tabela 8.19: Zahteve organizacije FIFA za razsvetljavo nogometnih stadionov v primeru neposrednih televizijskih prenosov tekem. Vidimo lahko, da so zahteve za vodoravno osvetljenost pet do sedemkrat večje kot v evropskem standardu EN 12193, dodane pa so tudi zahteve za vertikalno osvetljenost. Višje so tudi zahteve za enakomernost osvetljenosti ter za indeks barvnega videza, specificirana pa je tudi potrebna barvna temperatura svetlobe. Ev,cam pomeni osvetljenost merjena iz smeri televizijske kamere.

Dvoranski športi (košarka, rokomet, odbojka…)

Za dvoranske skupinske športe kot so košarka, rokomet ali odbojka so svetlobno-tehnične zahteve v smislu povprečnih osvetljenosti enake, se pa priporočljive pozicije svetilk nekoliko razlikujejo.

Slika 8.74: Zahteve za razsvetljavo se za različne športne panoge nekoliko razlikujejo. Pri vseh pa moramo paziti, da svetilke ne povzročajo bleščanja in da sence niso premočne, kar je še posebej lahko moteče pri hitrih športnih panogah.

Košarka je dvoranski šport, ki ga označuje predvsem pogostost pogledov navzgor. Zaradi tega svetlobno-tehnične zahteve poleg zadostne osvetljenosti vsebujejo tudi napotke, ki bi naj preprečili bleščanje. Tako je priporočljivo, da svetilke niso nameščene direktno nad igriščem, temveč ga osvetljujejo iz strani. Poleg tega moramo paziti, da v radiju 4 metrov okoli košev ni nameščene nobene svetilke.

Tudi v primeru odbojke velja, da ni priporočljivo svetilk nameščati direktno nad igrišče.

Razred tekmovanja	Vodoravna osvetljenost	Enakomernost osvetljenosti	Indeks barvnega videza
I	750 lx	0,7	60
II	500 lx	0,7	60
III	200 lx	0,5	20

Tabela 8.20: Priporočene svetlobno-tehnične karakteristike razsvetljave za skupinske dvoranske športe kot so košarka, rokomet ali odbojka.

Podobno kot pri nogometu, so tudi pri dvoranskih športih zahteve v primeru televizijskega prenosa bistveno višje. Tako se za dogodke I. razreda zahteva osvetljenost vsaj 2000 lx, za dogodke II. razreda vsaj 1400 lx in za dogodke III. razreda vsaj 1000 lx.

Tenis

Svetlobno-tehnična priporočila za teniška igrišča se ločijo na priporočila za notranja in priporočila za zunanja igrišča. Podobno kot pri vseh športih, kjer igralci pogosto pogledujejo navzgor, je tudi pri tenisu priporočljivo, da svetilke niso nameščene direktno nad igriščem. Spodnji tabeli prikazujeta priporočila za zunanja in za notranja igrišča.

Razred tekmovanja	Vodoravna osvetljenost	Enakomernost osvetljenosti	Indeks bleščanja
I	500 lx	0,7	50
II	300 lx	0,7	50
III	200 lx	0,6	55

Tabela 8.21: Svetlobno-tehnična priporočila za razsvetljavo zunanjih teniških igrišč.

Razred tekmovanja	Vodoravna osvetljenost	Enakomernost osvetljenosti
I	750 lx	0,7
II	500 lx	0,7
III	300 lx	0,5

Tabela 8.22: Svetlobno-tehnična priporočila za razsvetljavo notranjih teniških igrišč.

8.8.3 PRISTOPI K RAZSVETLJAVI ŠPORTNIH OBJEKTOV

Pristopi k načrtovanju razsvetljave športnih objektov se razlikujejo glede na vrsto športa, ki mu je objekt namenjen, glede na velikost oziroma nivo profesionalnosti tekmovanj, ki se bodo v objektu odvijala ter glede na morebitne televizijske prenose. V kolikor gre za objekte, kjer se izvajajo večja mednarodna tekmovanja z neposrednimi televizijskimi prenosi ter obstajajo posebna priporočila za razsvetljavo s strani krovnih panožnih organizacij, moramo seveda slediti tem priporočilom. Pri manjših objektih pa se lahko ravnamo po evropskem standardu EN 12193 in priporočilih CIE. Pri tem moramo premisliti kateri športi in kako pogosto se bodo prakticirali v objektu, katerega razsvetljavo načrtujemo.

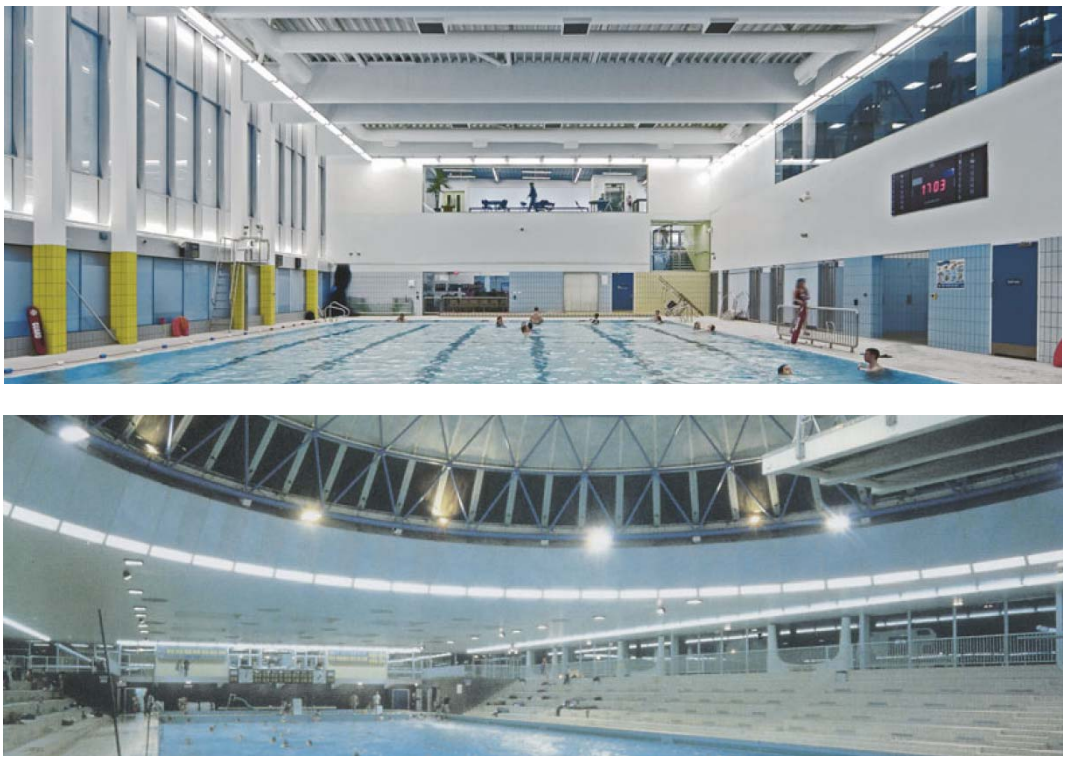
Splošne športne dvorane

V splošnih športnih dvoranah se izvaja več vrst športov. Pri načrtovanju oziroma izbiri ustreznih svetlobno-tehničnih parametrov, ki jih moramo z razsvetljavo doseči, si pomagamo z oceno, kako pogosto se bo določeni šport v objektu izvajal. V kolikor je to nemogoče določiti, se pri izbiri zahtev za razsvetljavo odločimo za šport, ki ima najstrožje zahteve in potem sledimo tem zahtevam.

V večjih športnih dvoranah običajno predvidimo splošno razsvetljavo z ustreznim številom svetilk, ki jih enakomerno razporedimo po stropu. Ker je višina stropa razmeroma velika, so primerne svetilke z visokotlačnimi sijalkami, danes predvsem z visokotlačnimi kovinsko halogenidnimi sijalkami z ustreznim indeksom barvnega videza. V kolikor je športna dvorana manjša (ali pa je prisotna želja po bolj kvalitetni razsvetljavi), pa lahko uporabimo tudi svetilke z asimetrično porazdelitvijo svetilnosti, ki so nameščene na rob dvorane. S tem zmanjšamo bleščanje pri športih, kot so badminton, košarka in podobno. Tudi v tem primeru uporabimo VT kovinsko halogenidne sijalke.

Bazeni

Pri načrtovanju razsvetljave bazenov je običajno glavni izziv zagotoviti možnost vzdrževanja svetilk, ne da bi ob tem morali izprazniti bazen za postavitev ustreznega servisnega odra. Zato je zaželeno, da so svetilke nameščene ob rob bazena in osvetljujejo bazen bodisi na indirekten način z odsevi od stenskih in stropnih površin (kjer lahko namestimo tudi posebne odsevne površine) bodisi od strani. V tem primeru uporabimo stenske (ali stropne) svetilke z asimetrično porazdelitvijo svetilnosti.



Slika 8.75: Pri razsvetljavi pokritih bazenov je problem lahko vzdrževanje svetilk, zato uporabimo svetilke z asimetrično porazdelitvijo svetilnosti, ki jih namestimo ob robu bazena.

Z uporabo indirektne razsvetljave bazena tudi zmanjšamo bleščanje ter odsevno bleščanje svetlobe od površine vode. Voda ima namreč zelo visoko odsevnost,še posebej če svetloba pada na površino vode pod nizkim kotom. Taki odboji lahko plavalcem motijo pogled vzdolž vodne površine, kar poveča možnost nesreč.

Manjši stadioni

Manjši stadioni običajno nimajo tribun oziroma so te manjše in zato neprimerne, da bi nanje namestili svetilke za razsvetljavo stadiona. Zaradi tega jih osvetlimo s pomočjo reflektorskih svetilk, ki jih namestimo na stolpe ob robu športne površine. Običajno predvidimo postavitev stolpov za razsvetljavo na vse štiri vogale igrišča, saj tako najlažje dosežemo ustrezno enakomernost osvetljenosti na celotnem igrišču in zmanjšamo bleščanje.

Slika 8.76: Projektiranje razsvetljave nogometnih igrišč in štadionov je zahtevno predvsem zaradi velikosti površine, ki jo je potrebno osvetliti. Pri štadionih s pokritimi tribunami svetilke običajno namestimo na rob strehe oziroma na nosilce pod streho tribune. Pri manjših štadionih brez pokritih tribun pa moramo predvideti ustrezne stebre, ki jih postavimo ob robu športne površine.

V primeru večjih štadionov (tako nogometnih kot atletskih), kjer imamo okoli celotnega oboda stadiona nameščene pokrite tribune, se svetilke običajno namešča na strehe tribun. Tudi v tem primeru uporabimo žaromete z ustrezno porazdelitvijo svetilnosti.

9 ZUNANJA RAZSVETLJAVA

9.1 RAZSVETLJAVA ZUNANJIH DELOVNIH MEST

Tako kot delovna mesta v stavbah, morajo biti tudi zunanja delovna mesta pravilno osvetljena. S tem dosežemo ustrezne vidne razmere, ki so potrebne za opravljanje posameznih del pa tudi ustrezno varnosti pri delu. Tako kot pri notranji razsvetljavi delovnih mest se tudi pri zunanji priporočljive oz. predpisane svetlobno-tehnične karakteristike razsvetljave razlikujejo glede na naravo in zahteve dela.

Slika 9.1: Zunanja razsvetljava letališč sodi pod razsvetljavo zunanjih delovnih mest, saj je potrebno delavcem, ki oskrbujejo letala med postanki zagotoviti ustrezne vidne razmere in ustrezno varnost pri delu.

9.1.1 PREMISLEKI PRI NAČRTOVANJU RAZSVETLJAVE

Narava dela

Prvi premislek pri načrtovanju razsvetljave zunanjega delovnega mesta mora biti namenjen naravi dela, ki se bo izvajalo na prostoru, ki ga žalimo osvetliti. Nekatera dela vključujejo zgolj hojo in/ali vožnjo vozil po razsvetljenem prostoru (na primer avtobusna postaja), druga pa tudi detajlno opazovanje materiala in/ali oznak ter delo z majhnimi deli (na primer delo na naftni ploščadi).

Slika 9.2: Razsvetljava avtobusnih in železniških postaj mora zagotoviti predvsem zadostno horizontalno osvetljenost pohodnih površin s čimer zagotovimo ustrezno varnost uporabnikov.

Velikost delovnega mesta

Nekatera delovna mesta, kot na primer večji industrijski kompleksi, zaradi svoje velikosti zahtevajo drugačno obravnavo kot manjša delovna mesta. Pri večjih zunanjih prostorih, ki jih stalno uporabljamo za določene dejavnosti (na primer letališče, pristanišče…) je razsvetljava lahko nameščena na ustrezne stebre ali okoliške stavbe. Pri manjših in začasnih delovnih mestih (na primer pri vzdrževalnih delih na cesti ali cestnih objektih) pa razsvetljavo pogosto zagotavljamo z začasnimi ali celo premičnimi svetilkami.

Slika 9.3: Pri začasnih delovnih mestih na prostem (npr. v gradbeništvu) običajno uporabljamo premične svetilke. Ker so običajno nameščene nizko, moramo paziti, da ne povzročajo bleščanja, ki bi motilo delo.

Svetlobno onesnaževanje

Stalna razsvetljava zunanjih delovnih mest mora upoštevati ista načela varovanja okolja pred svetlobnim onesnaževanjem kot ostala zunanja razsvetljava. Pri začasni razsvetljavi ali razsvetljavi s premičnimi svetilkami pa predvsem paziti, da razsvetljava ne ovira oziroma moti uporabnikov sosednjih območij. Predvsem je nevarno direktno bleščanje. Tako moramo biti na primer pazljivi pri postavitvi razsvetljave cestnega gradbišča, da ta ne blešči voznikom, ki vozijo mimo ali na primer strojevodjem na bližnji železnici. Ker so svetlosti svetilk za tovrstno uporabo razmeroma visoke, lahko povzročijo fiziološko bleščanje, kar seveda predstavlja veliko tveganje za nastanek prometnih nesreč.

Sence in pretirani kontrasti

Delovna mesta na prostem so zaradi težav, povezanih z nameščanjem svetilk (nimamo stropa, kamor bi lahko ustrezno razporedili svetilke) običajno osvetljena z manjšim številom svetilk z ustrezno večjim svetlobnim tokom. Zato svetloba na delovno mesto pada iz veliko manj smeri/kotov kot pri naravni svetlobi ali notranji razsvetljavi. To pa povzroča veliko bolj močne sence in kontraste na mestu dela. Zato moramo pri nameščanju razsvetljave paziti tudi na morebitne ovire, ki bi lahko povzročile sence na delovnem mestu. Najlaže se sencam in premočnim kontrastom izognemo tako, da predvidimo razsvetljavo delovnega mesta z več smeri. Druga možnost je nameščanje svetilk na visoka mesta (na primer na stolpe), kar tudi zmanjša velikost in jakost senc.

Prilagojenost okolju

Nekatera delovna mesta na prostem so izpostavljena različnim bolj ali manj (za svetilke) škodljivim vplivom okolja, kot je na primer visoka prisotnost vlage ali soli v zraku,

prisotnost korozivnih snovi, tresenje, nizke ali visoke temperature in podobno. Te vplive je potrebno tekom načrtovanja ovrednotiti in jih seveda upoštevati pri izbiri svetilk.

9.1.2 PRIPOROČILA

Natančna priporočila za različna delovna mesta na prostem so zbrana v privzetem evropskem standardu SIST EN 12464-2. Zato tukaj ne bomo navajali priporočenih vrednosti za vsa različna delovna mesta, temveč se bomo omejili na zgolj nekaj osnovnih oziroma najbolj pogostih.

Dejavnost	Vzdrževana osvetljenost	Enakomernost osvetljenosti	Indeks bleščanja	Indeks barvnega videza	Tipična aplikacija
Varna hoja pešcev brez vozil	5 lx	0,25	50	20	Skladišča na prostem brez vozil
Počasna vozila	10 lx	0,40	50	20	Skladišča za viličarje
Površine z rednim prometom (do 40km/h)	20 lx	0,40	45	20	Prometne površine v okolici kontejnerskih skladišč
Nakladalna in razkladalna področja	50 lx	0,40	50	20	Nakladalne rampe, kjer se nahajajo tako vozila kot pešci
Groba dela	20 lx	0,25	55	20	Izkopavanja in zemeljska dela
Branje oznak	100 lx	0,40	45	40	Branje oznak na materialih in blagu
Zelo zahtevna in natančna dela	300 lx	0,50	45	40	Obdelava lesa s pomočjo strojev (struženje, rezanje ipd)

Tabela 9.1: Priporočene vrednosti svetlobno-tehničnih veličin.

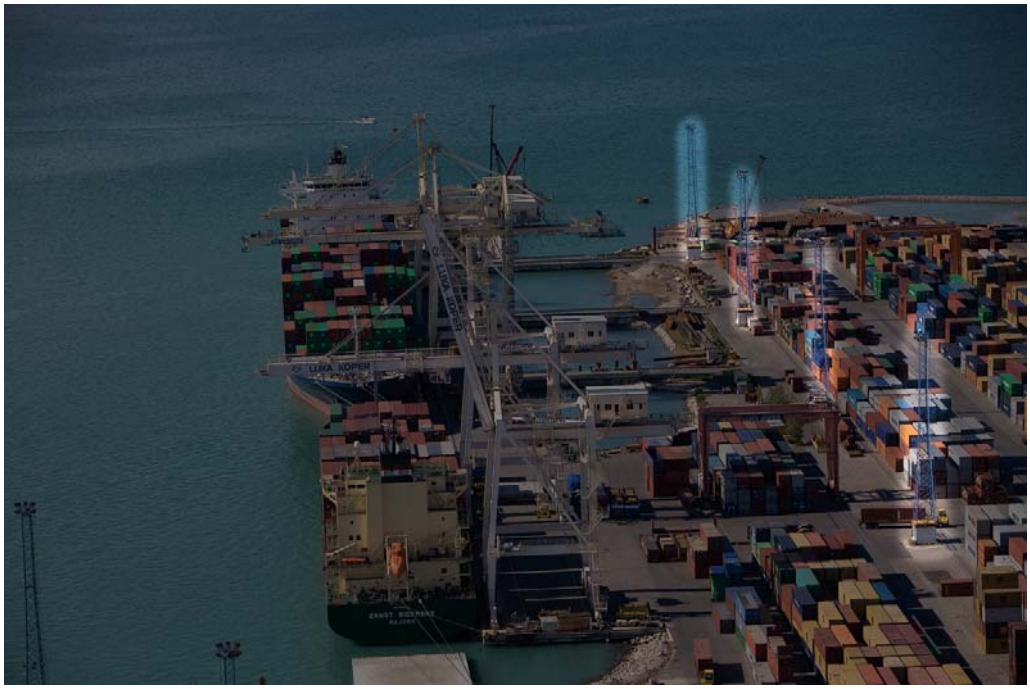
Pomembna karakteristika razsvetljave delovnih mest na prostem je tudi indeks barvnega videza. Razen za najbolj groba in nenatančna dela, kjer barvni videz ni pomemben, se tudi za zunanja delovna mesta priporoča uporaba svetlobnih virov z relativno visokim indeksom barvnega videza. Primerne so predvsem kovinsko halogenidne sijalke ali LED sijalke. Pri obeh je indeks barvnega videza večji od 60.

9.1.3 PRISTOPI K RAZSVETLJAVI ZUNANJIH DELOVNIH MEST

Uporaba stolpov ali stebrov

Pri stalni razsvetljavi večjih delovnih površin na prostem, svetilke običajno namestimo na stebre ali posebne stolpe, ki so namenjeni samo svetilkam. S tem dosežemo ustrezno osvetljenost in sprejemljivo bleščanje tudi na večjih površinah. Pri tem se večinoma uporablja višina stolpov med 15 m in 30 m. Pri uporabi nižjih stolpov jih je potrebno namestiti več, kar pomeni tudi njihovo večje število in torej tudi večjo investicijo. Cena stolpov, višjih od 30 m pa je prav tako običajno previsoka. Seveda pa višina stolpa pogojuje tudi potreben svetlobni tok svetilk in posledično porabo električne energije. Pri višjih

stolpih je za isto osvetljenost delovne površine potreben večji svetlobni tok, to pa prinese večje stroške obratovanja.



Slika 9.4: Pristanišče z označenimi stolpi za razsvetljavo. V kontejnerskih pristaniščih je potrebno mesta postavitve stolpov še posebno pazljivo izbrati, saj visoke skladovnice kontejnerjev povzročajo močne sence na delovni površini.

Integrirana razsvetljava

Pri razsvetljavi večjih objektov, kot so na primer naftne rafinerije, kemične tovarn, tovarne gradbenih materialov in podobno, je pogosto najbolj ekonomična rešitev namestitev svetilk za razsvetljavo zunanjih delovnih mest kar na sam objekt. Pri tem je potrebno biti pazljiv na zaščito svetilk pred vplivi okolja (tresenje, prah, korozivna atmosfera...) ter na ustrezno usmerjenost in porazdelitev svetlobe. Vse prepogosto se v takih primerih na objekte namreč namešča zelo preproste svetilke, ki svetlobo sevajo v širokem kotu in torej ne samo na delovno mesto, pač pa pogosto tudi navzgor v nebo. Ker je število svetilk na takih objektih lahko zelo veliko, take svetilke poslabšajo ekonomično poraba električne energije ter povečajo svetlobno onesnaževanje okolja.

Slika 9.5: V rafinerijah in podobnih velikih objektih z različnimi delovnimi mesti na prostem svetilke običajno namestimo kar na same stavbe oziroma konstrukcije.

Lokalna razsvetljava

Na področju velikih zunanjih proizvodnih obratov imamo večje število različnih zunanjih delovnih mest. Ker so za vsako vrsto dela zahteve za razsvetljavo drugačne, je take površine zelo težko enotno osvetliti. Poleg tega se v večini primerov vidno zahtevnejše delovne naloge dogajajo zgolj na omejenem področju. Zato bi bila enakomerna osvetljenost celotnega področja, kjer bi bila velikost osvetljenosti izbrana glede na zahteve najbolj zahtevnega delovnega mesta, ekonomsko neupravičena. V tem primeru je priporočljivo na celotni zunanji površini zagotoviti zgolj minimalno razsvetljavo za varno hojo ali vožnjo, razsvetljavo delovnih mest, kjer je zahtevana večja osvetljenost, pa izvedemo s pomočjo dodatne lokalne razsvetljave.

9.2 CESTNA RAZSVETLJAVA

V pričujočem poglavju bomo podali nekatere bistvene smernice, ki jih je potrebno upoštevati pri projektiranju javne razsvetljave. Podane so ločeno glede na vrsto javne razsvetljave in sicer: razsvetljava cest in površin za pešce, razsvetljava predorov, razsvetljava pokritih površin ter osvetlitev fasad in kulturnih spomenikov.

Pri projektiranju razsvetljave površin za motorni promet in pešce, ki vključujejo ceste, ulice, trge, parke in podobno, so nam v veliko pomoč standardi in priporočila organizacij, ki se ukvarjajo s tem področjem. Na svetovni ravni je za to vrsto razsvetljave merodajna predvsem Mednarodna komisija za razsvetljavo (CIE – Commision Internationale de l'Eclaraige), ki redno izdaja posodobljena priporočila za vse vrste razsvetljave. V Sloveniji pa priporočila za razsvetljavo izdaja Slovensko društvo za razsvetljavo (SDR). Priporočila slednjega v večini primerov temeljijo na priporočilih organizacije CIE. Priporočila in standardi za cestno razsvetljavo so v prvi vrsti namenjeni zagotavljanju varnosti v prometu oziroma osebni varnosti uporabnikov javnih površin ponoči.

Slika 9.6: Glavni namen cestne razsvetljave oziroma razsvetljave zunanjih prometnih površin je zagotavljanje varnosti uporabnikov teh površin.

CIE je leta 2010 izdala prenovljeno tehnično poročilo o razsvetljavi površin za motorni promet in pešce (Lighting of roads for motor and pedestrian traffic). Poročilo prometne površine deli na tri razrede in sicer:

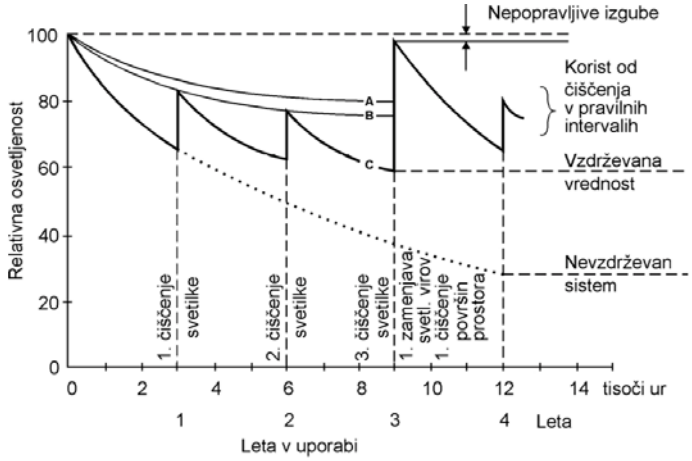
- M – površine primarno namenjene motornemu prometu;
- C – površine, kjer se srečujejo različne vrste uporabnikov ali pa se srečujejo različni prometni tokovi;
- P – površine namenjene predvsem pešcem in počasnemu prometu.

Poleg standardov in priporočil, ki podajajo svetlobno-tehnične zahteve za razsvetljavo javnih površin, imajo nekatere države, med njimi tudi Slovenija, tudi posebno zakonodajo s področja omejevanja svetlobnega onesnaževanja. V Sloveniji je to Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja.

9.2.1 TERMINOLOGIJA IN IZRAZI

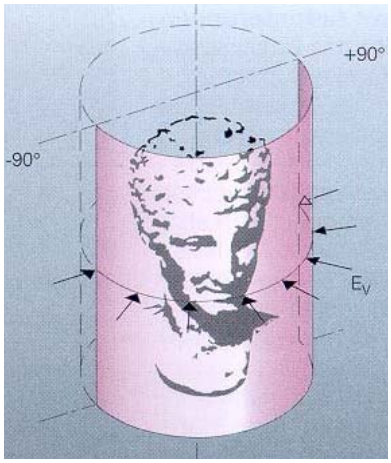
V svetlobno-tehničnih priporočilih in zakonodaji se uporablja več pojmov za opisovanje potrebnih svetlobno-tehničnih karakteristik, od katerih je za razumevanje potrebno poznati vsaj naslednje:

- **povprečna svetlost površine L_{av}:** povprečna svetlost površine podaja minimalno vzdrževano povprečno svetlost vrednotene površine. To pomeni, da je pri projektiranju in meritvah javne razsvetljave potrebno upoštevati faktorje vzdrževanja svetlobnih virov in svetilk;
- **faktor vzdrževanja:** svetlobni tok svetilke se s časom počasi zmanjšuje. Glavni razlog je staranje svetlobnega vira ter nalaganje prašnih in drugih delcev (ostanki žuželk) na optične površine svetilke (reflektor in steklo). Faktor vzdrževanja predstavlja razmerje med vzdrževanim svetlobnim tokom svetilke ter nazivnim svetlobnim tokom. Pri tem vzdrževani svetlobni tok pomeni minimalni svetlobni tok svetilke v pričakovanem režimu vzdrževanja (čiščenje svetilke in zamenjava svetlobnega vira), ki še zagotavlja potrebno povprečno svetlost (osvetljenost) površine. V javni razsvetljavi se faktorji vzdrževanja gibljejo od okoli 0,6 (talne vgradne svetilke) do okoli 0,8 (cestne svetilke nameščene na drogu);



Slika 9.7: Časovni potek svetlobnega toka svetilke oziroma svetlosti (osvetljenosti) površine, ki jo osvetljuje. Svetlobni tok se s časom zmanjšuje zaradi staranja svetlobnega vira in nabiranja nečistoč na površinah svetilke. Ko vrednost svetlosti (osvetljenosti) pade pod zahtevano vrednost je potrebno čiščenje svetilke in zamenjava svetlobnega vira. Po vsakem čiščenju svetilke se svetlobni tok nekoliko popravi. Največje izboljšanje svetlobnega toka pa predstavlja zamenjava svetlobnega vira ob hkratnem čiščenju svetilke.

- **splošna enakomernost svetlosti U_0:** enakomernost svetlosti cestne površine je razmerje med najmanjšo svetlostjo v poljubni točki na merjeni površini ter povprečno svetlostjo te površine. Primerno visoka enakomernost svetlosti preprečuje previsoke razlike med najslabše in najbolje osvetljenimi deli ceste, kar bi vozniku preprečilo dobro zaznavanje ovir v slabše osvetljenih delih ceste;
- **vzdolžna enakomernost svetlosti U_l:** vzdolžna enakomernost svetlosti je razmerje med najmanjšo in največjo svetlostjo na premici, ki je vzporedna s smerjo prometa. Bistvena je za določevanja ustreznega razmaka in višine namestitve cestnih svetilk;
- **relativni porast praga zaznavanja TI:** relativni porast praga zaznavanja označuje merilo za zmanjšanje vidne sposobnosti zaradi motečega bleščanja cestnih svetilk, ki poslabšuje vidno sposobnost očesa. Podan je v odstotkih in predstavlja minimalno vrednost, za katero je potrebno povečati srednjo svetlost vozišča, da je zagotovljena enaka vidnost predmeta kot v primeru, ko bleščanja ni. TI računamo za najslabši možni primer, torej za primer čistih svetilk in začetni svetlobni tok sijalk;
- **količnik svetlosti okolice Ko:** pri cestni razsvetljavi ovire večinoma vidimo v negativnem kontrastu - silhueti (temna ovira na osvetljenem ozadju - cesti). Če se ovira nahaja ob robu ceste, potem njeno vizualno ozadje pogosto predstavlja okolica ceste in ne sama cestna površina. Zaradi tega je pomembno zagotoviti tudi zadostno svetlost okolice. Le-ta omogoča vozniku, da hitreje zazna oviro, tudi tisto, ki se cesti približuje (na primer kolesarja, ki se vključuje v promet).
  Količnik svetlosti okolice predstavlja razmerje med osvetljenostjo površine 5 m od roba ceste in osvetljenostjo 5 m širokega pasa ceste od roba ceste proti sredini (oziroma širino enega voznega pasu, če je ta manjša);
- **povprečna osvetljenost površine E:** podobno kot povprečna svetlost površine, označuje povprečna osvetljenost površine povprečno vrednost vodoravne osvetljenosti vrednotene površine;
- **splošna enakomernost osvetljenosti $U_0(E)$:** splošna enakomernost osvetljenosti označuje razmerje med minimalno osvetljenost vrednotene površine in povprečno osvetljenostjo te površine. Podobno kot povprečna svetlost površine, se uporablja pri vrednotenju razsvetljave konfliktnih con in površin za pešce;
- **navpična osvetljenost E_v:** navpična osvetljenost predstavlja osvetljenost navpične ravnine v prostoru;
- **polcilindrična osvetljenost E_{sc}:** podobno kot osvetljenost ravne površine pomeni razmerje med vpadlim svetlobnim tokom na infinitezimalno majhen del te površine in površino tega dela, pomeni polcilindrična osvetljenost razmerje med vpadlim svetlobnim tokom na površino neskončno majhnega polcilindra ter površino tega polcilindra.
  Polcilindrična osvetljenost predstavlja orodje s katerim lahko ocenimo zmožnost prepoznavanja obrazov oseb, ki se nam približujejo. Dobra vidljivost oseb je poleg ambientalno in estetsko usklajene razsvetljave peščevih površin, namreč eden faktorjev, ki vplivajo na občutek varnosti uporabnikov;



Slika 9.8: Prikaz definicije polcilindrične osvetljenosti, ki je definirana kot razmerje med svetlobnim tokov, ki pade na površino polcilindra ter velikostjo te površine. Pri tem v vsaki točki prostora predpostavimo neskončno majhen polcilinder.

- **konfliktne cone:** konfliktne cone v prometu označujejo področja, kjer prihaja do srečevanja različnih prometnih tokov in/ali različnih vrst udeležencev v prometu. Primeri vključujejo: križišča, krožišča, zožitve, prehode iz dveh voznih pasov v enega, prehode za pešce, izvoze, priključke in podobno;

Slika 9.9: Krožišča in križišča smatramo za konfliktne cone, zato moramo v tem primeru razsvetljavi nameniti še posebno pozornost.

- **delež svetlobnega toka, ki seva navzgor (ULOR):** delež svetlobnega toka, ki seva navzgor, predstavlja razmerje med svetlobnim tokom, ki seva v zgornjo polovico prostora (nad vodoravno ravnino skozi svetilko) in celotnim svetlobnim tokom svetilke. Podajamo ga v odstotkih.

9.2.2 PROMETNE POVRŠINE ZA MOTORNI PROMET – SKUPINA RAZREDOV M

Priporočila za javno razsvetljavo podajajo potrebne vrednosti svetlobno-tehničnih parametrov za različne razrede prometnih površin. Če torej želimo določiti zahtevane vrednosti za izbrano površino, jo moramo najprej razvrstiti v ustrezen razred. Prometne površine za motorni promet razvrstimo v skupino razredov M. Zanje je značilno, da motorna vozila predstavljajo večino udeležencev v prometu, da je hitrost prometa relativno

visoka, ter da ne vključujejo večjih konfliktnih področij. Znotraj skupine razredov M poznamo 6 različnih razredov, ki jih označujemo z zaporedno številko za črko M. Kot pomoč pri izbiri primernega razreda je organizacija CIE pripravila spodnjo tabelo, ki omogoča izbiro na podlagi prometnih lastnosti prometne površine. Primeren razred znotraj skupine razredov M nato določimo po izrazu

$$\text{številka razreda M} = 6\text{-}V_{ws},$$

kjer V_{ws} pomeni vsota vseh izbranih V_w, ki jih izberemo s pomočjo spodnje tabele.

Lastnost ceste	**Vrednost**	**Parameter V_w**	**Izbrani V_w**
Hitrost prometa	Zelo visoka	1	
	Visoka	0,5	
	Srednja	0	
Gostota prometa	Zelo visoka	1	
	Visoka	0,5	
	Srednja	0	
	Nizka	-0,5	
	Zelo nizka	-1	
Sestava prometa	Mešana z visokim deležem kolesarjev in pešcev	2	
	Mešana	1	
	Samo motorna vozila	0	
Vozni pasovi ločeni	Ne	1	
	Da	0	
Gostota križišč	Visoka	1	
	Srednja	0	
Parkirana vozila	Prisotna	0,5	
	Niso prisotna	0	
Osvetljenost okolice	Visoka	1	
	Srednja	0	
	Nizka	-1	
Vidno vodenje / kontrola prometa	Slabo	0,5	
	Srednje ali dobro	0	
		Vsota izbranih V_w	

Tabela 9.2: Tabela s pomočjo katere določimo razred obravnavane cestne površine znotraj skupine razredov M. Za obravnavano cestno površino določimo posamezne lastnosti na podlagi katerih dobimo izbrane vrednosti V_w. Na primer, če je hitrost prometa visoka, je za lastnost »hitrost prometa« izbrana vrednost V_w enaka 0,5. Nato vse izbrane vrednosti V_w seštejemo.

Ko na podlagi poznavanja prometnih in ostalih lastnosti prometne površine določimo vsoto izbranih V_w, dobimo po zgornji enačbi enega od razredov med M1 in M6 v katerega uvrstimo obravnavano površino. V kolikor vsota izbranih V_w ni celo število, vzamemo najbližje manjše število (na primer namesto 2,5 vzamemo 2).

Svetlobno-tehnične karakteristike, ki jih moramo doseči z razsvetljavo obravnavane cestne površine, določimo s pomočjo spodnje tabele.

Svetlobno-tehnični razred	Cestna površina				Relativni porast praga zaznavanja	Količnik svetlosti okolice
	Večinoma suha			Večinoma mokra		
	L_{av} [cd/m²]	U_o	U_l	U_0	TI [%]	Ko
M1	2,0	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M3	1,0	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,5
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,5

Tabela 9.3: Svetlobno-tehnične zahteve za posamezne razrede znotraj skupine razredov M.

Zahteve za splošno enakomernost svetlosti se razlikujejo za površine, ki so večino leta suhe od tistih, ki veljajo za površine, ki so večino leta mokre (kot na primer na področju z veliko količino padavin).

9.2.3 PROMETNE POVRŠINE KONFLIKTNIH PODROČIJ – SKUPINA RAZREDOV C

Svetlobno-tehnične karakteristike za konfliktna področja se razlikujejo od karakteristik prometnih površin za motorni promet iz skupine razredov M. Na konfliktnih področjih obstaja večja nevarnost nesreč med udeleženci prometa. Zato mora razsvetljava omogočiti zadostno osvetlitev, da lahko voznik v času, ki mu je na voljo, oceni razdaljo in smer ostalih udeležencev v prometu. V kolikor razporeditev prometnih površin to dovoljuje, je priporočljivo uporabiti kriterije, ki temeljijo na svetlosti cestne površine. Pri tem je potrebno upoštevati, da mora razsvetljava konfliktnega področja zagotavljati najmanj enake ali boljše svetlobno-tehnične pogoje kot so na najbolje osvetljeni sosednji prometni površini. Priporočljivo pa je, da je konfliktno področje osvetljeno v skladu z zahtevami za naslednji višji razred razsvetljave, kot najbolje osvetljena sosednja prometna površina.

Slika 9.10: Večje število različnih udeležencev v prometu pomeni tudi večjo nevarnost nesreče. Zato je potrebno zagotoviti svetlobne razmere, ki omogočajo, da udeleženci v prometu opazijo drug drugega.

V primeru, da razdalje znotraj konfliktnega področja ne omogočajo uporabe koncepta svetlosti, je mogoče uporabiti faktor q_0, s pomočjo katerega lahko določimo kakšna je potrebna osvetljenost prometne površine. Faktor q_0 je odvisen od vrste podlage na prometni površini (odsevnost površine in njena struktura) in ga moramo določiti za vsako obravnavano prometno površino posebej.

Razred M			**M1**	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**
Povprečna svetlost L [cd/m²]			2,0	1,5	1,0	0,75	0,50	0,30
Razred C, če je q_0=0,05 cd/m²/lx			C0	C1	C2	C3	C4	C5
Povprečna osvetljenost E [lx]			50	30	20	15	10	7,5
Razred C, če je q_0=0,07 cd/m²/lx		C0	C1	C2	C3	C4	C5	
Povprečna osvetljenost E [lx]		50	30	20	15	10	7,5	
Razred C, če je q_0=0,09 cd/m²/lx	C0	C1	C2	C3	C4	C5		
Povprečna osvetljenost E [lx]	50	30	20	15	10	7,5		

Tabela 9.4: Tabela, s pomočjo katere določimo ekvivalentni razred C za konfliktne površine na podlagi svetlobno-tehničnih karakteristik sosednjih prometnih površin.

Priporočljivo je, da se pri določevanju potrebnih kriterijev razsvetljave uporabi tisti C razred, ki je za eno stopnjo višji kot ekvivalentni, ki smo ga določili s pomočjo zgornje tabele. Na primer, če je najvišji razred ceste, ki se steka v križišče M2 in je faktor q_0 za konfliktno cono 0,07, je ekvivalenten C razred po zgornji tabeli C2. Vendar je priporočljivo uporabiti faktor C1, ki je za eno stopnjo višji od C2. S tem dobimo iz tabele svetlobno-tehničnih zahtev za posamezne C razrede zahtevano povprečno osvetljenost konfliktnega področja 30 lx.

Konfliktno področje pa lahko v ustrezen C razred razvrstimo tudi na podlagi lastnosti prometa na obravnavanem področju, podobno kot pri razvrščanju cestnih površin v M razrede. V skupini razredov C ločimo 5 razredov. Ustrezen razred za obravnavano konfliktno področje pa določimo po naslednjem izrazu:

$$\text{Številka razreda C} = 6\text{-}V_{ws},$$

pri čemer V_{ws} , podobno kot pri razredih M, predstavlja vsoto izbranih V_w, ki jih izberemo s pomočjo tabele 9.5. Izbran C razred predstavlja svetlobno-tehnične zahteve, ki jim mora zadostiti razsvetljava konfliktnega področja.

Ko določimo ustrezen razred C za obravnavano konfliktno področje, lahko s pomočjo tabele 9.6 ugotovimo, kakšne so svetlobno-tehnične karakteristike, ki jim mora razsvetljava letega zadostiti.

Na tem mestu naj poudarimo, da je za obravnavano konfliktno področje najprej potrebno določiti v kateri razred C spada. To storimo na podlagi prometnih karakteristik (Tabela 9.5), s čimer določimo vse svetlobno-tehnične karakteristike, ki jim mora razsvetljava obravnavanega konfliktnega področja zadostiti (Tabela 9.6). Nato po potrebi prilagodimo povprečno osvetljenost/svetlost obravnavanega konfliktnega področja na podlagi svetlobno-tehničnih parametrov sosednjih cest (Tabela 9.4).

Lastnost ceste	Vrednost	Parameter V_w	Izbrani V_w
Hitrost	Zelo visoka	3	
	Visoka	2	
	Srednja	1	
	Nizka	0	
Gostota prometa	Zelo visoka	1	
	Visoka	0,5	
	Srednja	0	
	Nizka	-0,5	
	Zelo nizka	-1	
Sestava prometa	Mešana z visokim deležem kolesarjev in pešcev	2	
	Mešana	1	
	Samo motorna vozila	0	
Vozni pasovi ločeni	Ne	1	
	Da	0	
Osvetljenost okolice	Visoka	1	
	Srednja	0	
	Nizka	-1	
Vidno vodenje / kontrola prometa	Slabo	0,5	
	Srednje ali dobro	0	
		Vsota izbranih V_w	

Tabela 9.5: Tabela, s pomočjo katere določimo ustrezen razred znotraj skupine razredov C.

Svetlobno-tehnični razred	Povprečna osvetljenost na celotnem konfliktnem področju E [lx]	Splošna enakomernost osvetljenosti U_0 (E)	Relativni porast praga zaznavanja TI	
			Visoke in srednje hitrosti prometa	Nizke in zelo nizke hitrosti prometa
C0	50	0,40	10	15
C1	30	0,40	10	15
C2	20	0,40	10	15
C3	15	0,40	15	20
C4	10	0,40	15	20
C5	7,5	0,40	15	25

Tabela 9.6: Svetlobno-tehnične zahteve za razsvetljavo konfliktnih področij po posameznih razredih znotraj skupine razredov C.

9.2.4 RAZSVETLJAVA POVRŠIN ZA PEŠCE – SKUPINA RAZREDOV P

Razsvetljava površin za pešce mora zagotoviti ustrezno osvetljenost površine, tako da je omogočeno varno gibanje oziroma uporaba površine. Poleg tega mora uporabnikom površine nuditi tudi ustrezen občutek varnosti. Pešci se namreč, zaradi svoje razmeroma majhne hitrosti in večje izpostavljenosti okolju ter drugim osebam v okolici, počutijo

ogrožene prej, kot vozniki v avtomobilih. Zato mora razsvetljava zagotoviti ustrezno vizualno okolje, ki omogoča občutek varnosti v prostoru.

Slika 9.11: Na področjih, kjer imamo mešan promet, morajo svetilke osvetliti celotno prometno površino, poleg ceste torej tudi pločnik in kolesarsko stezo.

Poleg horizontalne osvetljenosti pohodne površine, ki omogoča zaznavanje ovir, je torej pomembna tudi vertikalna osvetljenost na ustrezni višini, ki omogoča razpoznavanje obrazov ter neposredne okolice. Ne smemo pa pozabiti tudi na zmanjševanje bleščanja ter ustrezno izbiro svetlobnega vira. K lažjemu prepoznavanju obrazov in značilnosti prostora pripomore tudi dober indeks barvnega videza svetlobnega vira. Pri razsvetljavi površin za pešce je namreč bistveno, da uporabniku omogočimo razumevanje prostora. To pomeni, da je potrebno s pomočjo razsvetljave pešca voditi po prostoru, mu omogočiti razpoznavanje arhitekturnih značilnosti okolja, mogoče tudi osvetliti znane objekte in podobno.

Slika 9.12: Na površinah, ki so namenjene samo pešcem, so lahko osvetljenosti zelo nizke, razsvetljava pa bolj dekorativna. Pazimo pa, da zagotovimo zadostno vertikalno osvetljenost za razpoznavanje obrazov.

Pri določevanju potrebnih svetlobno-tehničnih lastnosti razsvetljave površine za pešce nam je v pomoč 6 razredov v skupini P, ki jih določimo s pomočjo naslednjega izraza:

$$\text{Številka razreda P} = 6\text{-}V_{ws},$$

pri čemer je V_{ws} vsota vrednosti izbranih parametrov V_w, ki jih določimo na podlagi lastnosti površine iz naslednje tabele:

Lastnost ceste	Vrednost	Parameter V_w	Izbrani V_w
Hitrost	Nizka	1	
	Zelo nizka	0	
Gostota prometa	Zelo visoka	1	
	Visoka	0,5	
	Srednja	0	
	Nizka	-0,5	
	Zelo nizka	-1	
Sestava prometa	Pešci, kolesarji in motorna vozila	2	
	Pešci in motorna vozila	1	
	Pešci in kolesarji	1	
	Samo pešci	0	
	Samo kolesarji	0	
Parkirana vozila	Prisotna	0,5	
	Niso prisotna	0	
Svetlost okolice	Visoka	1	
	Srednja	0	
	Nizka	-1	
Razpoznavanje obrazov	Potrebno	Dodatne zahteve	
	Ni potrebno	Ni dodatnih zahtev	
		Vsota izbranih V_w	

Tabela 9.7: Tabela, s katero si pomagamo pri izbiri ustreznega razreda P za obravnavano površino za pešce.

Ko za obravnavano površino določimo ustrezen P razred, lahko s pomočjo spodnje tabele določimo potrebne svetlobno-tehnične karakteristike, ki jih mora zagotoviti razsvetljava.

Razred P	Splošna povprečna vodoravna osvetljenost $E_{h,av}$ [lx]	Najmanjša vodoravna osvetljenost $E_{h,min}$ [lx]	Dodatne zahteve v primeru, ko je potrebno dobro razpoznavanje obrazov	
			Najmanjša vertikalna osvetljenost $E_{v,min}$ [lx]	Najmanjša polcilindrična osvetljenost $E_{sc,min}$ [lx]
P1	15	3,0	5,0	3,0
P2	10	2,0	3,0	2,0
P3	7,5	1,5	2,5	1,5
P4	5,0	1,0	1,5	1,0
P5	3,0	0,6	1,0	0,6
P6	2,0	0,4	0,6	0,4

Tabela 9.8: Svetlobno-tehnične zahteve za razsvetljavo površin za pešce glede na izbrani P razred.

9.2.5 NAČRTOVANJE IN IZVEDBA CESTNE RAZSVETLJAVE

Pri načrtovanju cestne razsvetljave je potrebno paziti, da bo razsvetljava zagotavljala ustrezne svetlobno-tehnične pogoje skozi svojo celotno življenjsko dobo. Zato je potrebno pravilnost izbire svetilk in svetlobnih virov ter njihove postavitve preveriti z ustreznimi izračuni. Z njihovo pomočjo lahko ugotovimo, ali bo svetlost (osvetljenost) zadostna ter kakšne bodo vrednosti drugih parametrov (enakomernosti, relativno porast praga zaznavanja, količnik svetlosti okolice, polcilindrične osvetljenosti …). Danes izračune parametrov cestne razsvetljave praviloma izvajamo s pomočjo specializiranih računalniških programov, kot so DIALux in Relux ter AGI 32, ki pa je v Evropi manj razširjen.

Ne glede na izbran računalniški program pa so pravilni vhodni podatki ključni za verodostojne rezultate izračunov. Pri tem so posebej pomembni:

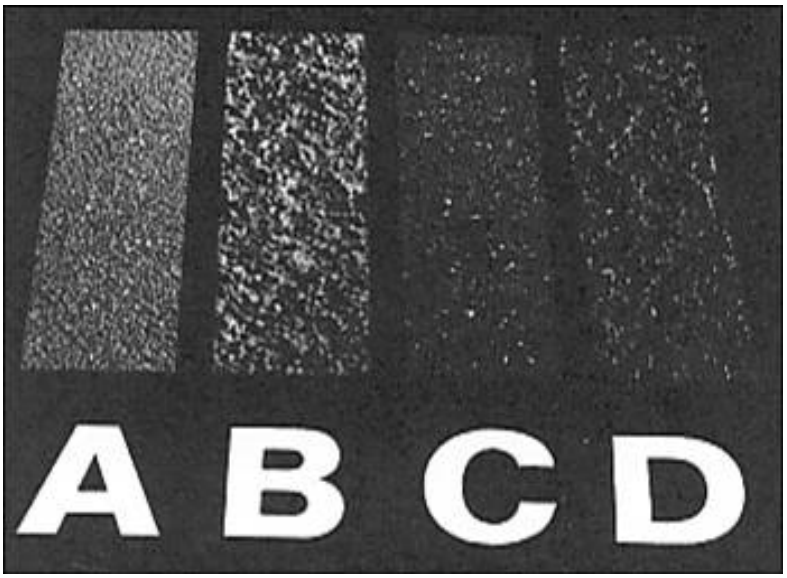
- **pravilni fotometrični podatki uporabljenih svetilk**: za ročno izvedbo izračunov uporabljamo tabele prostorske porazdelitve svetilnosti, kot je prikazana spodaj. Za uporabo računalniških programov pa potrebujemo podatke o prostorski porazdelitvi svetilnosti v obliki IES ali EULUMDAT fotometrične datoteke. Poleg teh obstajajo tudi oblike datotek, ki so lastne specifičnim programom (npr. ULD datoteka, ki deluje zgolj s programom Dialux);

Gama	C90°	C120°	C150°	C180°	C210°	C240°	C270°
0,0°	202,00	202,00	202,00	202,00	202,00	202,00	202,00
5,0°	230,00	227,00	221,00	208,00	195,00	183,00	176,00
10,0°	258,00	255,00	256,00	229,00	196,00	165,00	156,00
15,0°	274,00	289,00	275,00	223,00	182,00	156,00	140,00
20,0°	284,00	311,00	289,00	218,00	167,00	147,00	130,00
25,0°	278,00	300,00	297,00	213,00	152,00	136,00	123,00
30,0°	256,00	280,00	307,00	205,00	141,00	126,00	116,00
35,0°	227,00	263,00	297,00	192,00	133,00	119,00	115,00
40,0°	200,00	254,00	311,00	193,00	131,00	130,00	109,00
45,0°	161,00	219,00	309,00	201,00	132,00	147,00	97,00
50,0°	114,00	166,00	349,00	252,00	134,00	137,00	88,00
55,0°	73,00	134,00	317,00	296,00	133,00	123,00	73,00
60,0°	47,00	101,00	312,00	345,00	121,00	107,00	60,00
65,0°	29,00	65,00	202,00	404,00	105,00	84,00	48,00
70,0°	18,00	47,00	104,00	406,00	86,00	58,00	38,00
75,0°	7,54	31,00	45,00	198,00	14,00	24,00	21,00
80,0°	1,86	2,32	3,60	18,00	4,51	3,34	3,78
85,0°	0,85	1,03	1,56	2,95	1,94	1,32	0,92
90,0°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 9.9: Primer tabele prostorske porazdelitve svetilnosti za cestno svetilko. Podatki so podani za vsako peto stopinjo kota γ ter za 30 stopinjski obrat C ravnin med kotoma 90°in 270° v cd/klm.

- **pravilno ocenjen faktor vzdrževanja**: izračun razsvetljave mora zagotoviti, da bo razsvetljava v svoji celotni življenjski dobi, zagotavljala ustrezne svetlobno-tehnične razmere. Zaradi tega je potrebno v izračunu upoštevati ustrezen faktor vzdrževanja, ki je odvisen od pogostosti čiščenja svetilk in zamenjave svetlobnih virov, pa tudi od vrste in mesta namestitve svetilke;
- **pravilna namestitev svetilk**: pri izračunu razsvetljave moramo paziti, da so svetilke v računalniškem programu nameščene na mesta, ki ustrezajo kasnejši namestitvi v naravi. Pri tem je priporočljivo v programu upoštevati tudi morebitne ovire, kot na primer drevesa, stojala za plakate, okoliške zgradbe in podobno;
- **pravilno ocenjene lastnosti cestne površine**: pri izračunih za razsvetljavo cest v razredu M, kjer je glavni kriterij svetlost, je potrebno pravilno oceniti odsevnost cestne površine. Če dejanskih odsevnih lastnosti površine ne poznamo, si lahko pomagamo s standardiziranimi razredi odsevnosti. Priporočila organizacije CIE delijo cestne površine v standardizirane razrede od R1 do R4. Večina računalniških programov že vsebuje podatke za posamezne razrede, tako da je dovolj, če izberemo ustrezen razred po metodi, ki je podrobneje razložena v priporočilih.

Pri izračunavanju parametrov razsvetljave za prometne površine s konfliktnimi področji (razredi C) in razsvetljave površin za pešce (razredi P) poznavanje odsevnosti prometne površine ni potrebno. V teh primerih izračunavamo osvetljenosti in ne svetlosti, le-te pa niso odvisne od odsevnosti osvetljene površine.



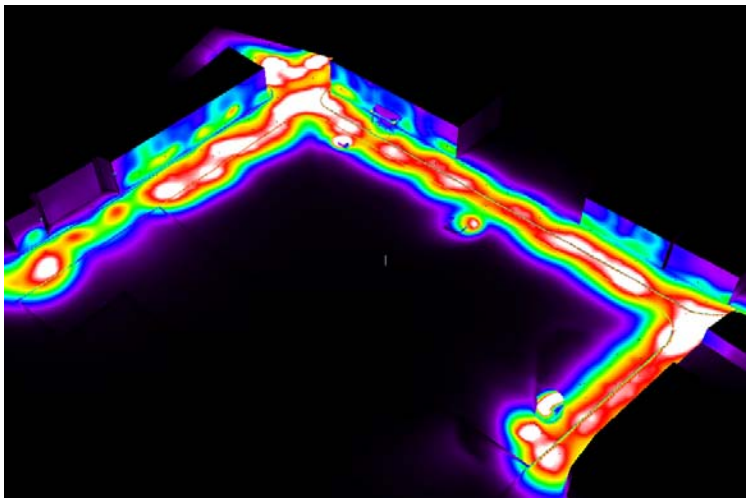
Slika 9.13: Pri načrtovanju cestne razsvetljave, kjer uporabljamo koncept svetlosti, je potrebno upoštevati lastnosti cestne obloge. V splošnem ločimo štiri možnosti: A..svetla in gladka površina, B..svetla in hrapava površina, C..temna in gladka površina in D.. temna in hrapava površina.

Izračuni parametrov cestne razsvetljave s pomočjo računalniških orodij

Postopek za izračun parametrov cestne razsvetljave se pri večini računalniških programov loči na izračun razsvetljave za razrede M, kjer je glavni kriterij svetlost površine, in izračun razsvetljave za razrede C in P. Vendar pa je postopek v obeh primerih podoben in poteka v naslednjih korakih:

Zunanja razsvetljava

1. **modeliranje prostora**: v računalniškem programu izdelamo model ceste ali prostora. Pri tem upoštevamo vse relevantne podatke kot so dimenzije prometne površine, število prometnih pasov, morebitne krivine oziroma ovinki ter R razred odsevnosti površine (v kolikor gre za M razred prometne površine). Pri prometnih površinah iz P in C razreda je priporočljivo v model prostora vključiti tudi sosednje zgradbe, drevesa, morebitno urbano pohištvo in podobno;
2. **postavitev svetilk**: v večini računalniških programov lahko svetlobno-tehnične podatke svetilk uvozimo s pomočjo fotometrične datoteke v IES ali EULUMDAT formatu. Svetilke nato v modeliranem prostoru razporedimo na ustrezna mesta in jih pravilno orientiramo. Vsem svetilkam moramo tudi nastaviti pravilen faktor vzdrževanja;
3. **izračun rezultatov**: ko smo vnesli in preverili vse potrebne podatke, lahko izvedemo izračun. Program rezultate izračuna (bodisi svetlost bodisi osvetljenost) običajno lahko prikaže na več načinov (izoluksnimi ali izokandelnimi diagrami, prikazi s kodiranimi barvami in podobno).



Slika 9.14: Primer prikaza rezultatov izračuna osvetljenosti s kodiranimi (psevdo) barvami.

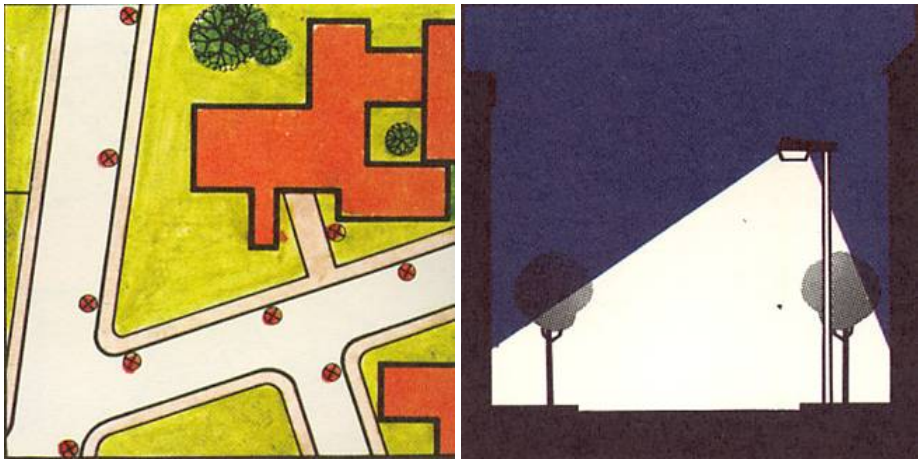
Postopek izvedbe izračuna parametrov cestne razsvetljave s pomočjo programa Dialux je podrobneje prikazan v poglavju o uporabi slednjega.

Razporeditev svetilk

Na dosežene vrednosti svetlosti oziroma osvetljenosti prometne površine pomembno vpliva razporeditev svetilk. Pri razsvetljavi prometnih površin za motorna vozila (cestna razsvetljava) poznamo več »standardiziranih« vrst razporeditve svetilk. Izbor posamezne razporeditve je odvisen predvsem od geometrijskih parametrov (širina, krivine) ceste, ki jo osvetljujemo in od sestave cestnega telesa (število voznih pasov, prisotnost hodnikov za pešce in kolesarske steze ter vmesnega pasu). Za ožje ceste s samo dvema voznima pasovoma običajno uporabimo enostransko razporeditev, pri cestah z več voznimi pasovi pa lahko uporabimo sredinsko ali dvostransko nasprotno ter dvostransko zamaknjeno razporeditev. Pri postavitvi svetilk v križiščih, krožiščih in podobnih konfliktnih področjih pa razporeditev prilagodimo obliki prometne površine.

Enostranska razporeditev

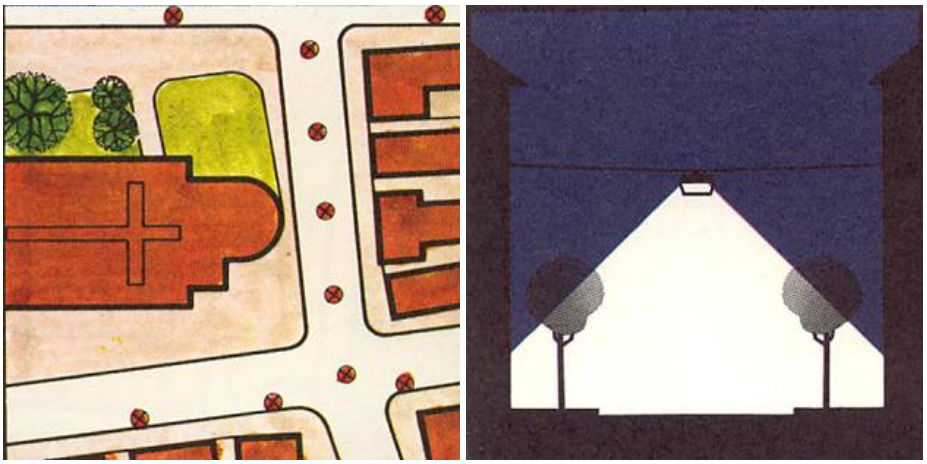
Enostranska razporeditev svetilk je primerna za ceste z majhno širino vozišča (do 10 m). Pri tej razporeditvi so svetilke nameščene na eni strani ceste in razsvetljujejo oba prometna pasova. Da dosežemo ustrezne razmere tudi na voznem pasu, ki ni ob svetilkah, mora biti višina montaže svetilk najmanj enaka širini ceste. Svetilke so običajno nameščene na drogove. Za to razporeditev je značilno tudi, da je svetlost vozišča na polovici ob svetilkah večja, kot na nasprotni strani. Zato svetilke ob enosmernih cestah razporedimo na desni strani v smeri vožnje, pri dvosmernih cestah pa na tisto stran ceste, kjer je promet gostejši. Na krivinah svetilke namestimo na zunanjo stran ovinka s čimer dosežemo boljše optično vodenje.



Slika 9.15: Prikaz enostranske razporeditve svetilk. Leva slika prikazuje tloris, desna pa pogled. Svetlost je na prometnem pasu ob svetilkah večja, kot na nasprotnem prometnem pasu, zato svetilke namestimo na tisti strani, kjer je promet gostejši.

Osna razporeditev

Pri osni razporeditvi svetilke namestimo nad sredino ceste. To namestitev običajno uporabimo, če se na obeh straneh ceste nahajajo ustrezno visoke stavbe, saj so svetilke obešene na jeklenicah, napetih nad cesto.

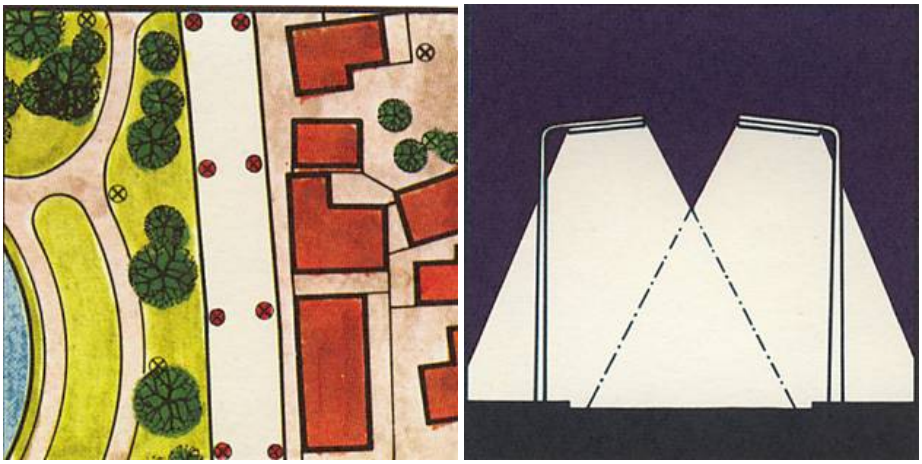


Slika 9.16: Prikaz sredinske razporeditve svetilk. Leva slika prikazuje tloris, desna pa pogled. Ker so svetilke nameščene nad sredino ceste, je enakomernost osvetljenosti obeh voznih pasov boljša. Problem lahko predstavlja veter, ki povzroča nihanje svetilk in pa vzdrževanje, saj je servisno vozilo z dvižno košaro potrebno namestiti na sredino ceste.

V določenih primerih lahko jeklenice pritrdimo tudi na ustrezno dimenzionirane drogove. Tako kot v primeru enostranske razporeditve, mora biti tudi v tem primeru višina montaže svetilke enaka ali večja kot je širini ceste. S tako razporeditvijo dosežemo bolj enakomerno osvetljenost obeh voznih pasov kot pri enostranski razporeditvi. Slaba stran te razporeditve pa je, da ob močnejšem vetru svetilke nihajo, kar lahko povzroča hitre dinamične spremembe svetlosti cestišča. Poleg tega vzdrževanje svetilk običajno močno ovira promet, saj je potrebno servisno vozilo postaviti na sredino ceste.

Dvostranska nasprotna razporeditev

Dvostransko razporeditev svetilk uporabljamo pri razsvetljavi širših cestišč (nad 10 m) npr. štiri-pasovnic, kjer ni vmesnega pasu ali pa je le-ta ožji od 2 m. Pri tej razporeditvi je lahko razmerje med višino montaže svetilk ter širino ceste manjše kot ena, vendar pa je priporočljivo, da je nekje med 2/3 in 2/5. Pri dvostranski nasprotni razporeditvi si svetilki na obeh straneh ceste stojita nasproti. Prednost dvostranske razporeditve je, da je desni vozni pas bolje osvetljen kot levi, kar je ugodno iz prometnih razlogov, saj je promet na desnem pasu običajno gostejši. Vzdrževanje in namestitev svetilk je, podobno kot pri enostranski namestitvi, lažje saj se dela opravljajo zunaj vozišča.



Slika 9.17: Prikaz dvostranske nasprotne razporeditve. Pri tej razporeditvi, ki se uporablja pri cestah z več kot dvema voznima pasovoma, je desni vozni pas bolje osvetljen kot levi, kar je iz prometnih razlogov ugodno, saj je promet na desnem voznem pasu običajno gostejši, večja pa je tudi nevarnost vstopa pešca na vozni pas.

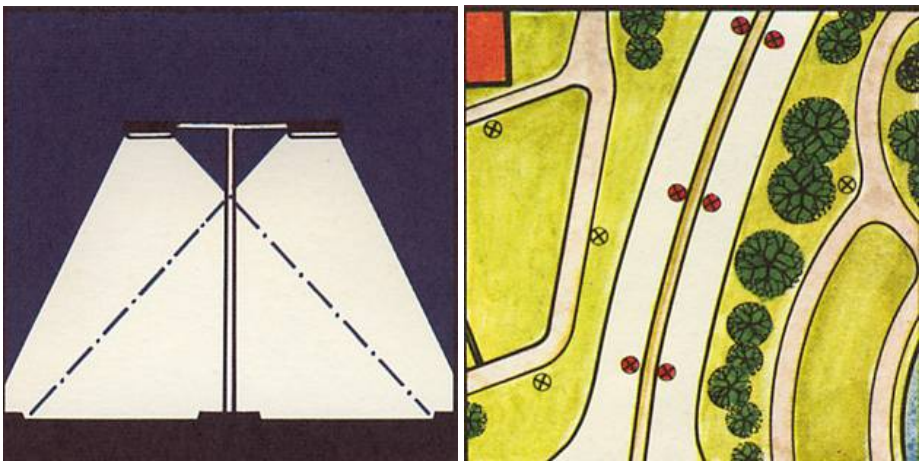
Dvostranska zamaknjena razporeditev

Kadar je razmerje med višino montaže svetilk ter širino ceste med 1 in 2,5 se lahko uporabi dvostranska zamaknjena razporeditev svetilk. Pri tej razporeditvi so svetilke nameščene na obeh straneh ceste, vendar tako da si niso nasproti. Slaba stran te razporeditve je, da se zaradi razmeroma velike razdalje med posameznimi svetilkami na isti strani ceste zmanjša vzdolžna enakomernost svetlosti. Zaradi tega se večinoma priporoča bodisi dvostranska nasprotna porazdelitev, ki sicer potrebuje večje število drogov in svetilk, ali pa enostranska razporeditev z višjimi drogovi za svetilke.

Slika 9.18: Primer dvostranske zamaknjene razporeditve svetilke na razmeroma široki cesti brez vmesnega pasu.

Dvostranska sredinska razporeditev

Pri razmeroma širokih cestah z dvema ločenima vozišča, pri katerih pa širina enega ni večja od 10 m, širina nevoznega pasu (med vozišča) pa je med 2 m in 6 m, se pogosto uporablja dvostranska sredinska razporeditev. Svetilke so v tem primeru nameščene na dvokrakih drogovih, postavljenih na sredini nevoznega pasu. Svetlost vozišča, ki jo dosežemo s tako razporeditvijo, je podobna kot pri enostranski razporeditvi. Upoštevati pa je potrebno, da svetilke osvetljujejo oba vozna pasova, tako da je lahko v določenih primerih vzdolžna enakomernost nekoliko slabša. Prednost te namestitve pa je preprostejša izvedba elektroinštalacij, saj so svetilke nameščene v eni vrsti. Če je širina enega voznega pasu večja od 10 m, širina nevoznega pasu pa manjša od 6 m, lahko dodatno k dvostranski sredinski razporeditvi uporabimo še dva niza svetilk na zunanji strani ceste. Te so lahko razporejene zamaknjeno (če je širina ceste med 1 in 1,5 višine namestitve svetilk) ali nasprotno (če je širina ceste večja od 1,5 višine montaže svetilk).



Slika 9.19: Prikaz dvostranske sredinske razporeditve. Leva slika prikazuje tloris, desna pa pogled. Sredinsko razporeditev lahko uporabimo, če je širina vmesnega pasu med 2 m in 6 m

Razporeditev svetilk v zavojih

Pri zavojih, katerih radij je večji od 500 m, uporabimo enako razporeditev svetilk, kot na ravnem delu ceste. Če pa je radij zavoja manjši od 500 m, pa lahko s posebno razporeditvijo svetilk dosežemo boljše optično vodenje. Z vidika optičnega vodenja je priporočljivo svetilke namestiti na zunanjo stran ovinka in sicer nekoliko gosteje kot v ravnem delu ceste

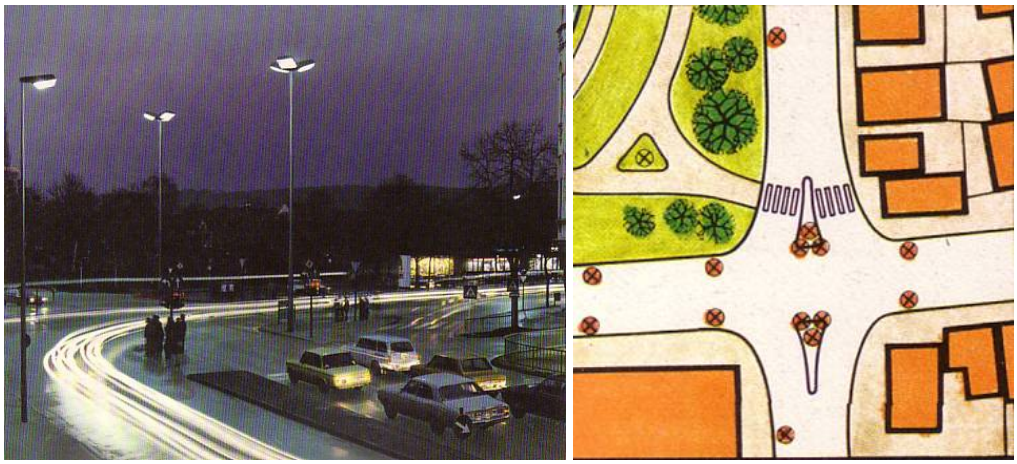
(razmak med svetilkami zmanjšamo na 0,7 običajnega razmaka na ravnem delu ceste). Vendar pa je s stališča prometne varnosti ta pristop nevarnejši, saj vozilo pri preveliki hitrosti lahko trči v drog od svetilke. Zato svetilke običajno zavarujejo z odbojno ograjo.

Za osvetlitev nevarnih zavojev je zaradi prometne varnosti svetilke bolje namestiti na notranjo stran ovinka. Ker je v tem primeru zunanja stran ceste, ki je daljša od notranje, bolj oddaljena o0d svetilk, je potrebno svetilke namestiti še bolj na gosto, kot če so nameščene na zunanji strani zavoja. Priporočljiva razdalja med svetilkami je v tem primeru samo 0,55 razdalje med svetilkami na ravnem delu ceste.

Slika 9.20: Razporeditev svetilk na zunanji strani zavoja. Razmak med posameznimi svetilkami je za faktor 0,7 manjši od razmaka med svetilkami na ravnem delu ceste, kjer se svetilke v primeru desnega zavoja lahko nahajajo tudi na drugi strani ceste kot v samem zavoju.

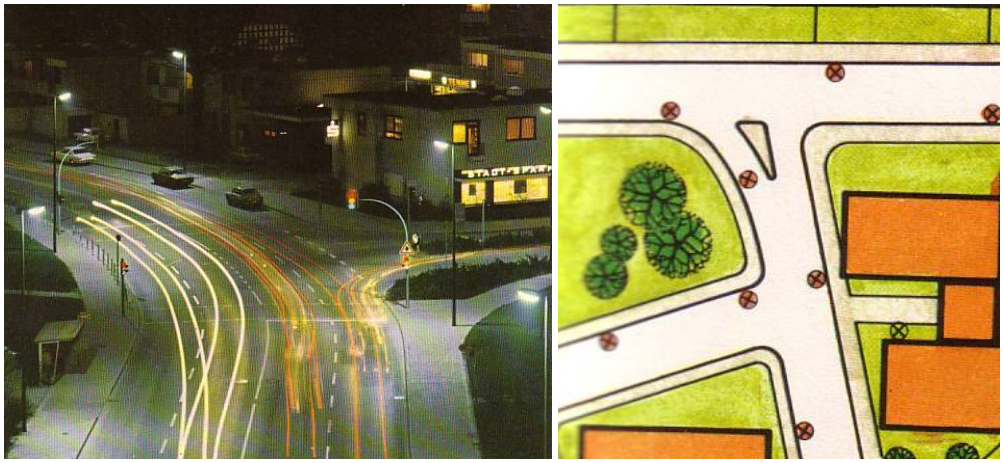
Razporeditev svetilk zaradi vidnega označevanja

V primerih konfliktnih con kot so križišča, nenadne spremembe smeri, prisotnost ovir na cesti (npr. vmesni zeleni pas), je priporočljivo namestiti dodatne svetilke. Čeprav le-te niso potrebne zaradi zagotavljanja ustreznih svetlobno-tehničnih parametrov, pa pomagajo pri vidnem označevanju nevarnih področij.



Slika 9.21:V križišču postavimo dodatne svetilke na otoke sredi križišča. S tem dosežemo večjo svetlost vozišča v križišču, kar voznika opozori na konfliktno področje, poleg tega pa tako tudi vidno označimo tudi nevarne otoke.

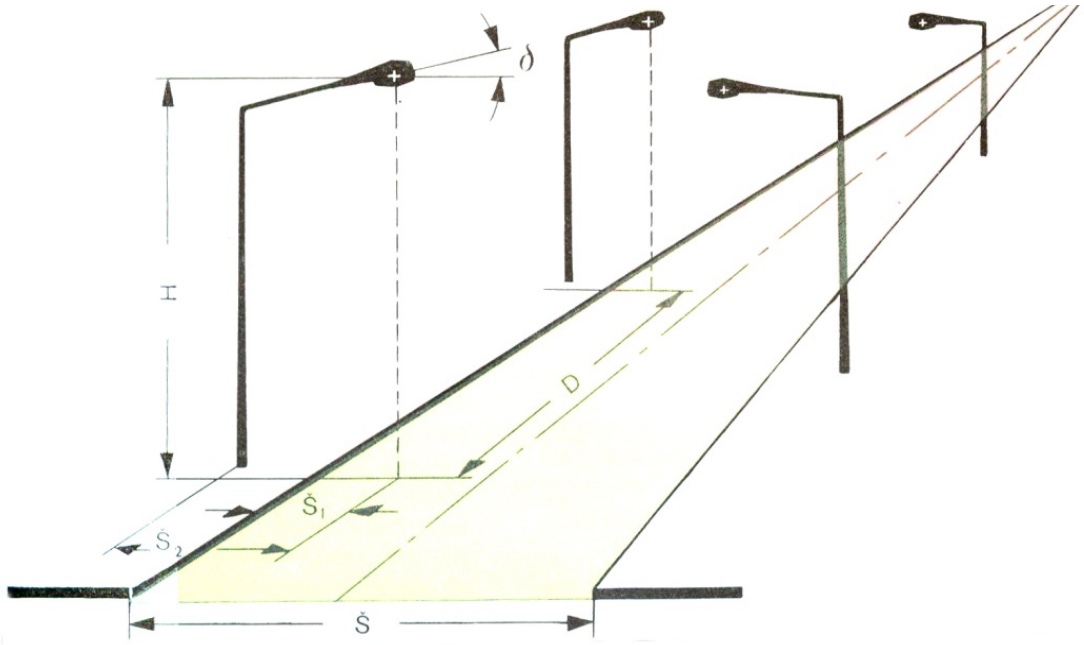
Z večjo svetlostjo (osvetljenostjo) ter s postavitvijo svetilk tako voznike opozorimo na morebitne nevarne situacije. Tako lahko na primer konec ceste (uvoz na prednostno cesto) označimo s svetilko, ki jo postavimo nasproti uvozu in tako tudi optično »zapremo pot«.



Slika 9.22: Postavitev svetilke na konec ceste (nasprotna stran uvoza na prednostno cesto) z drogom tudi optično pove vozniku, da se mora ustaviti.

Namestitev svetilk

Svetilke cestne razsvetljave se običajno nameščа na ustrezne drogove. Obstaja več možnosti, ki so odvisne od vrste oziroma tipa droga in prisotnosti (ali odsotnosti) ročice. V predelih, kjer so ob cesti (prometni površini) stavbe, lahko svetilke namestimo tudi na ročice, ki so pritrjene na fasado stavbe. In kot smo videli pri sredinski namestitvi, lahko svetilke namestimo tudi na jeklenice, ki so napete med dve stavbi ali stavbo in drogom, oziroma med dva droga. Položaj nameščene svetilke glede na prometno površino, ki jo osvetljuje, lahko opišemo s parametri, ki so prikazani na spodnji sliki.



Slika 9.23: Prikaz geometrije namestitve cestnih svetilk. H predstavlja višino svetilke, δ predstavlja kot namestitve, $Š_1$ označuje previs svetilke, $Š_2$ označuje izteg svetilke in D razdaljo med svetilkami.

Zunanja razsvetljava

Osnovna parametra sta:

- **H**: višina svetilke nad cestno površino, pri čemer se višina meri do optičnega središča svetilke in
- **D**: razdalja med svetilkama. Pri izbiri višine namestitve svetilke moramo upoštevati predvsem širino (Š) osvetljene prometne površine. Na podlagi izbrane višine namestitve pa potem izberemo še primerno razdaljo med svetilkami, tako da dosežemo ustrezno vzdolžno enakomernost svetlosti (osvetljenosti).

Starejše vrste svetilk so se zaradi doseganja boljše prečne enakomernosti svetlosti oziroma osvetljenosti pri širših prometnih površinah nameščale na ustrezno dolge ročice, pritrjene na vrhu droga (ali na fasado stavbe ob osvetljeni površini). Pri dimenzijah ročice ločimo:

- **Š1**: ki označuje previs svetilke oziroma razdaljo od roba osvetljene površine do optičnega središča svetilke in je običajno krajša kot
- **Š2**: ki označuje izteg svetilke oziroma dolžino ročice.

Poleg dimenzij ročice pa na prečno enakomernost svetlosti (osvetljenosti) prometne površine vpliva tudi:

- δ: ki predstavlja kot namestitve: kot med vodoravnico in optično ravnino svetilke. Običajno so svetilke izdelane tako, da omogočajo nekaj različnih kotov namestitve. Vendar je v Sloveniji pri izbiri kota namestitve potrebno upoštevati določila Uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja, ki ne dovoljuje svetlobe v zgornjem polprostoru (ULOR=0 oziroma ULOR<0,5 %) kar pomeni da je praktično dovoljen samo kot 0°.

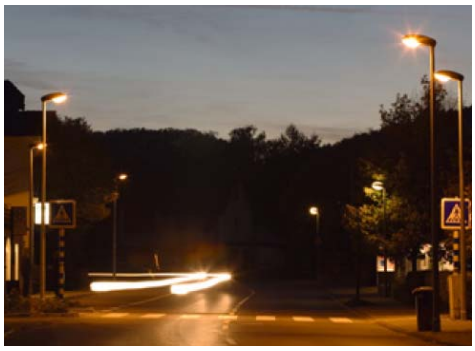
Pri modernih svetilkah ustrezno prečno enakomernost svetlosti (osvetljenosti) dosežemo z ustrezno obliko reflektorja oziroma njegovim položajem, tako da se svetilke lahko namestijo neposredno na drog in uporaba ročice ni več potrebna. To vpliva tudi na stabilnost svetilke, saj lahko svetilke na dolgih ročicah ob močnem vetru zelo nihajo.

Z ustrezno izbiro parametrov namestitve svetilke H, D, δ, $Š_1$ in $Š_2$ dosežemo ustrezne svetlobno-tehnične parametre osvetlitve prometne površine.

9.2.6 RAZSVETLJAVA PREHODOV ZA PEŠCE

Prehodi za pešce predstavljajo v prometu konfliktno oziroma nevarno točko, zaradi česar jih je potrebno v nočnem času obravnavati drugače kot sosednje odseke ceste na kateri ležijo. Zahteve za razsvetljavo prehodov za pešce so odvisne tako od okolja, v katerem se prehod nahaja (urbano ali podeželsko), kot tudi od hitrosti in gostote prometa ter od cestne razsvetljave v neposredni okolici.

Razsvetljava prehodov za pešce ima več namenov in sicer ustrezno osvetlitev (vidnost) oseb, ki prehod prečkajo, opozarjanje voznika na prisotnost prehoda ter zagotavljanje razmer, ki pešcem omogočajo, da vidijo morebitne ovire na cesti, ki jo prečkajo. Za razliko od razsvetljave cest v razredu M, kjer je cilj razsvetljave zagotoviti zadosten negativni kontrast (temna ovira na svetli cestni površini), je pri razsvetljavi prehodov za pešce priporočljivo ustvariti pozitiven kontrast (svetel pešec na temni cestni površini).



Slika 9.24: Dodatna razsvetljava prehoda za pešce omogoča, da so osebe na cestni površini dobro vidne. Predvidimo jo tudi v primeru, ko je prehod za pešce opremljen s semaforjem.

Prehodi za pešce v urbanih področjih

Za prehode za pešce v urbanih področjih, ki se nahajajo na manj nevarnih cestnih odsekih (manjša hitrost in gostota prometa) so svetlobno-tehnične zahteve nekoliko manjše kot za prehode na prometno bolj obremenjenih cestah. Spodnja tabela prikazuje vrednosti osvetljenosti, ki temeljijo na publikaciji organizacije CIE 136-2000 *Guide for the lighting of urban areas*.

	Povprečna horizontalna osvetljenost E_h	**Najmanjša horizontalna osvetljenost E_h**	**Najmanjša polcilindrična osvetljenost E_{pc}**
Trgovska in industrijska področja	30 lx	15 lx	10 lx
Stanovanjska področja	20 lx	6 lx	5 lx

Tabela 9.10: Vrednosti priporočljivih svetlobno-tehničnih parametrov (osvetljenosti) za prehode za pešce v urbanem okolju.

Ne glede na določila zgornje tabele, je priporočljivo, da je povprečna horizontalna osvetljenost prehoda za pešce za 50 % višja od povprečne horizontalne osvetljenosti vozišča pred in za prehodom. V določenim primerih, kjer imamo opraviti z mešanim prometom, so zato včasih potrebne tudi osvetljenosti do 50 lx.

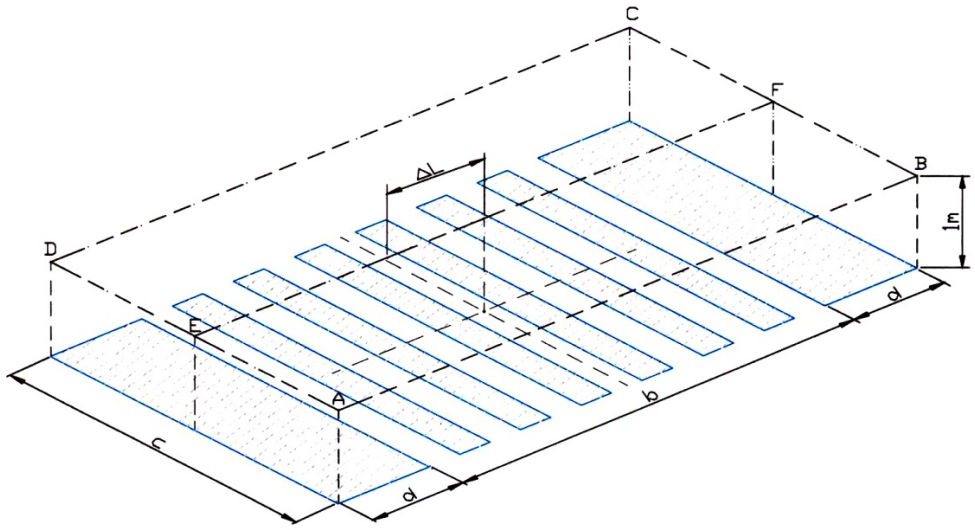
Zgornje vrednosti za polcilindrično osvetljenost veljajo za višine med 0,5 m in 1,5 m nad nivojem vozišča.

Prehodi za pešce na cestah z višjo gostoto in hitrostjo prometa

Glavno merilo pri razsvetljavi prehodov za pešce na cestah z višjo gostoto in hitrostjo prometa je vertikalna osvetljenost gledano v smeri vožnje. Ustrezno vertikalno osvetljenost je potrebno doseči na višini 1 m nad voziščem in sicer v točkah, ki se nahajajo na simetrali prehoda od sredine prehoda proti robu cestne površine. Da bi dosegli zadovoljiv pozitiven kontrast mora biti povprečna vrednost vertikalne osvetljenosti najmanj 40 lx, minimalna pa ne sme biti manjša od 5 lx.

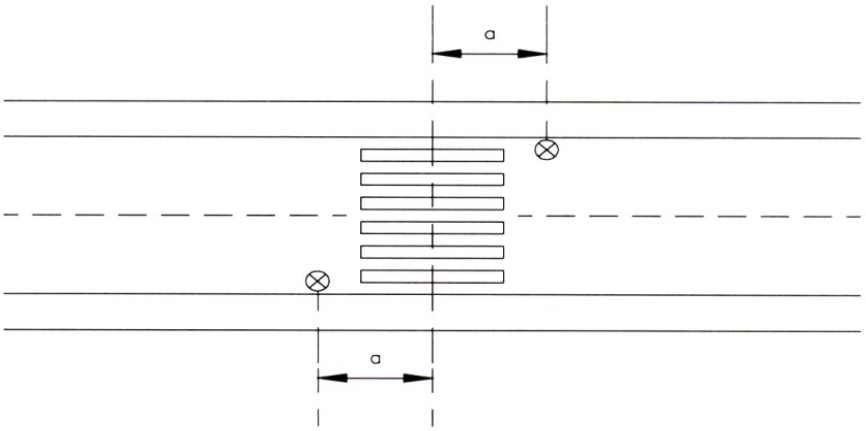
Vertikalno osvetljenost prehoda za pešce se meri v področju vrednotenja, ki ga prikazuje spodnja slika, pri čemer širine parkirnih prostorov, kolesarskih stez ali pločnikov (d) ni potrebno upoštevati.

Zunanja razsvetljava



Slika 9.25: Področje vrednotenja vertikalne osvetljenosti na prehodu za pešce. Omejujeta ga dve vzporednici (na sliki ju povezujeta točki AB in DC), ki označujeta začetek in konec prehoda. Točke vrednotenja ležijo na pravokotnici glede na smer vožnje. Začetna točka je na sredini vozišča (prehoda), naslednje pa se nahajajo na simetrali prehoda na razdalji 1 m.

Ustrezno vertikalno osvetljenost oziroma pozitiven kontrast pešca na cestni površini najlažje dosežemo s svetilko, ki je postavljena nekoliko pred prehod za pešce (v smeri vožnje) Pri prehodih za pešce na cestah z dvosmernim prometom je zaradi tega potrebno namestiti dve svetilki, ki se nahajata na obeh straneh prehoda in sta nameščeni nekoliko pred prehodom gledano iz smeri vožnje, kot prikazuje spodnja slika.



Slika 9.26: Skica tipične namestitve svetilk za razsvetljavo prehoda za pešce na dvosmerni cesti. Svetilki sta nameščeni nekoliko pred prehodom gledano v smeri vožnje saj tako lažje dosežemo pozitiven kontrast, ki je potreben, da voznik brez težav opazi pešca na prehodu.

Dodatne razsvetljave prehoda za pešce ni potrebno namestiti, če razsvetljava ceste najmanj 50 m pred in 50 m po prehodu zagotovi naslednje vrednosti:

- vzdrževana povprečna svetlost vozišča najmanj 2 cd/m^2;
- vzdolžna enakomernost svetlosti $U_l = 0,7$;
- splošna enakomernost svetlosti $U_0 = 0,4$;
- porast praga zaznavanja (TI) največ 10%.

V kolikor je srednja svetlost vozišča pred in za prehodom manjša od 0,3 cd/m^2, je potrebno 100 m pred in za prehodom postaviti razsvetljavo, ki zagotavlja najmanjšo povprečno svetlost vozišča 0,3 cd/m^2 s splošno enakomernostjo svetlosti, ki je najmanj enaka 0,3.

Režim vklopa in izklopa razsvetljave prehodov za pešce je drugačen od običajne cestne razsvetljave. Vključiti jo je namreč potrebno takoj, ko povprečna vertikalna osvetljenost prehoda z dnevno svetlobo pade pod vrednost 40 lx. Iz tega razloga je priporočljivo, da se razsvetljava prehoda za pešce prižiga ločeno od ostale cestne razsvetljave in sicer preko ustrezno natančnih senzorjev osvetljenosti.

9.2.7 RAZSVETLJAVA PREDOROV

Ali je v predor potrebno namestiti razsvetljavo, je odvisno predvsem od njegove dolžine, ukrivljenosti ter gostota prometa. Po priporočilih organizacije CIE (dokument 88:2004) v predorih, ki so krajši od 25 m, razsvetljava ni potrebna; pri predorih med 25 m in 75 m dolžine je potreba po razsvetljavi odvisna od zgoraj omenjenih karakteristik predora in prometa; v predore daljše od 75 m pa je vedno potrebno namestiti razsvetljavo.

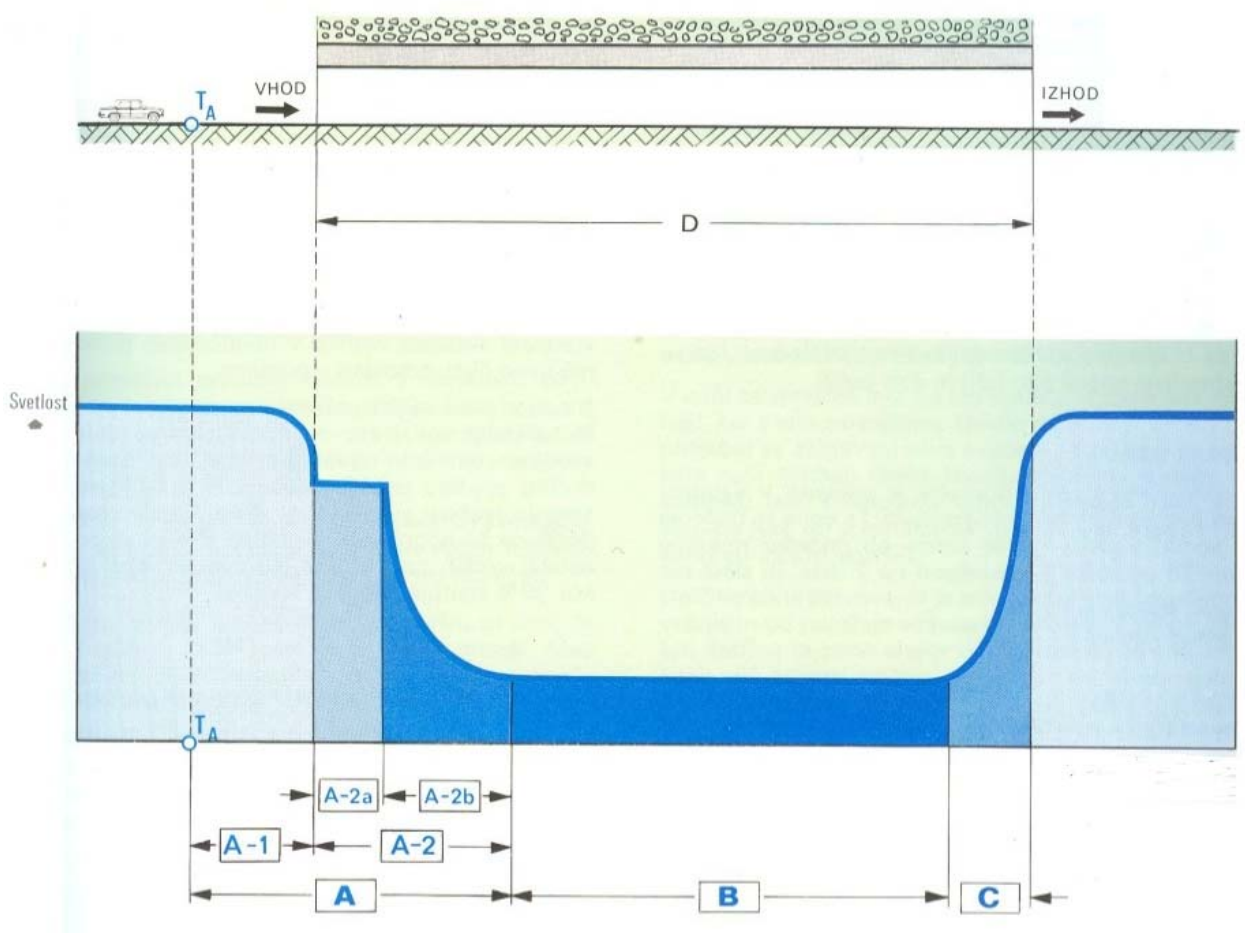
Potrebne svetlobno-tehnične razmere v predoru so odvisne od hitrosti prilagajanja človeškega očesa spremenljivim svetlobnim razmeram ter sposobnosti zaznavanja kontrastov. Ko se voznik približuje predoru v dnevnem času lahko, v primeru nezadostne osvetlitve, pride do t.i. 'efekta črne luknje'. To pomeni da, zaradi majhne svetlosti znotraj vhodnega dela predora v primerjavi z visoko svetlostjo zunanjosti, ne bo sposoben zaznati ovire na cesti, ki se nahaja v začetnem delu predora. Prilagajanje vida na povečane svetlosti je veliko hitrejše, tako da, razen v posebnih primerih, prilagajanje razsvetljave pri izhodu iz predora ni potrebno.

Slika 9.27: Predor tako v dnevnem kot v nočnem času ne sme učinkovati kot črna luknja. Zato je pomembno, da je svetlost v področju zaznavanja dovolj visoka. V nočnem času je priporočljivo, da je svetlost v predoru večja kot svetlost zunaj predora, saj tako zmanjšamo občutek utesnjenosti, ki lahko moti voznika.

Zunanja razsvetljava

Iz teh razlogov priporočila za razsvetljavo predor razdelijo na 5 področij in sicer:

- **področje približevanja** – to področje se nahaja pred samim vhodom v predor. Svetlosti površin v tem področju so podlaga za določanje potrebne svetlosti v vhodnem delu predora;
- **področje zaznavanja** – področje zaznavanja se začne pri vhodu v predor, njegova dolžina pa je enaka zavorni poti pri hitrosti in tipu prometa, ki je prisoten v predoru. V področju zaznavanja je priporočljivo, da je svetlost cestišča enaka svetlosti na koncu področja približevanja;
- **prehodno področje** – v prehodnem področju svetlost upada iz nivoja v področju zaznavanja do nivoja v notranjem področju;
- **notranje področje** – notranje področje predora je področje, kjer je svetlost konstantna in prilagojena hitrosti in tipu prometa v predoru. V tem področju je vid voznikov že prilagojen zmanjšani svetlosti znotraj predora;
- **izvozno področje** – svetlost cestišča v izvoznem področju predora so lahko enake kot svetlosti v notranjem področju. V zelo dolgih predorih, pa je priporočljivo, da se svetlosti v izvoznem področju v dnevnem času zlagoma povečujejo do petkratne vrednosti svetlosti v notranjem področju.



Slika 9.28: Razdelitev predora na posamezna področja. Ločimo adaptacijsko področje (A), notranje področje (B) in izvozno področje (C). Adaptacijsko področje pa dalje delimo na področje približevanja (A-1) in uvozno področje (A-2), ki je sestavljeno iz področja zaznavanja (A-2a) in prehodnega področja (A-2b).

Če je predor dolg, se v nočnem času lahko 'efekt črne luknje' pojavi tudi pri izhodu iz predora. Zato v takem primeru z nekaj svetilkami osvetlimo tudi področje za predorom. Pri tem je priporočljivo, da se svetlost cestišča za predorom počasi zmanjšuje, kar omogoči lažjo adaptacijo oči na nočne razmere na neosvetljeni cesti.

Razsvetljava v predorih v večini primerov temelji na negativnem kontrastu, kar pomeni da oviro na cesti prikaže kot temno telo na svetlem ozadju. Zaradi tega so prostorske porazdelitve svetilnosti pri predorskih svetilkah take, da večino svetlobe oddajajo v smeri proti smeri vožnje.

9.2.8 RAZSVETLJAVA POKRITIH POVRŠIN

Pod pokrite javne površine uvrščamo podhode, pokrita stebrišča (arkade), vstope v javne garaže in podobno. V teh prostorih projektiramo razsvetljavo glede na aktivnosti, ki se dogajajo v prostoru, in temu primerno uporabimo ustrezna svetlobno-tehnična priporočila. Na primer, pri podhodih, ki jih uporabnik zgolj prečka, se uporabi ustrezna priporočila za razsvetljavo zunanjih peščevih površin. Pri vhodih v garaže, kjer mora uporabnik iz avtomata pridobiti parkirni listek, je potrebno zagotoviti ustrezno osvetlitev za branje teksta. Nekatere pokrite površine lahko štejemo tudi kot delovna mesta na prostem, zato je v takih primerih potrebno razsvetljavo prilagoditi delu, ki se na teh površinah opravlja.

Slika 9.29: Razsvetljava pokritih površin za pešce mora tako v dnevnem kot nočnem času nuditi ustrezno horizontalno in vertikalno osvetljenost.

9.2.9 PORABA ENERGIJE ZA CESTNO RAZSVETLJAVO

V Sloveniji je, kljub pospešeni modernizaciji cestne razsvetljave v zadnjih letih, še veliko odsekov, kjer je v uporabi še vedno razmeroma zastarela tehnologija. Zato je tudi poraba energije za cestno razsvetljavo razmeroma velika. Naslednja tabela prikazuje primerjavo porabe energije za cestno razsvetljavo v več evropskih državah. Podatki za Slovenijo so pridobljeni iz podatkov o plačani električni energiji s strani občin, podatkov distribucijskih podjetij o prodani električni energiji ter podatkov DARS-a o predvideni porabi za državne ceste in predore. Podatki so bili zbrani leta 2007.

V javnosti in medijih se uporablja več različnih meril za porabo električne energije od katerih ima vsak svoje prednosti in slabosti. Poraba na prebivalca favorizira relativno gosto

naseljene države, poraba na površino favorizira relativno redko poseljene države (kot na primer Švedska), poraba na kilometer ceste pa je verjetno še najbolj merodajen podatek.

	Poraba na prebivalca [kWh/preb]	Poraba na površino [kWh/km²]	Poraba na km ceste [kWh/km]
Švedska	106	2.222	7.094,4
Belgija	91	32.626	6.583,9
Poljska	63	7.675	6.246,1
Nizozemska	46	18.167	5.946,7
UK	40	10.164	5.926,1
Francija	79	9.063	4.830,6
Slovenija	83	8.147	4.229,4
Irska	28	2.037	1.783,5
Nemčija	42	9.682	1.508,8

Tabela 9.11: Primerjava porabe energije za cestno razsvetljavo v nekaterih evropskih državah. Podatki so razvrščeni glede na porabo na kilometer ceste.

Možnosti prihrankov električne energije pri prenovah cestne razsvetljave

Možnosti prihrankov električne energije pri prenovah so seveda odvisne od stanja cestne razsvetljave pred prenovo. Če je razsvetljava starejša (30 let ali več) lahko s prenovo zmanjšamo porabo električne energije tudi za 50 % in več in pri tem celo izboljšamo svetlobno-tehnične pogoje na osvetljenih prometnih površinah. Kot primer so spodaj navedeni podatki o stanju pred in po prenovi za srednje veliko slovensko mestno občino, kjer je bila razsvetljava v celoti prenovljena leta 2008. Tako kot v večini slovenskih občin, so bile tudi v tej pred prenovo v uporabi predvsem visokotlačne natrijeve (VT Na) sijalke, na manj obremenjenih cestnih odsekih pa tudi še starejše visokotlačne živosrebrove (VT Hg) sijalke.

Svetlobni vir	Električna moč [W]	Število
VT Na ali VT Hg	400	850
VT Na ali VT Hg	250	620
VT Hg	125	2610
SKUPNO		4080

Tabela 9.12: Svetlobni viri (in njihova električna moč), ki so bili v uporabi pred prenovo.

Skupna poraba na letni ravni z upoštevanjem 4300 obratovalnih ur je v celotni občini znašala preko 3.700 MWh, oziroma 77 kWh na leto na prebivalca.

Pri prenovi so visokotlačne živosrebrove sijalke zamenjali z visokotlačnimi natrijevimi sijalkami. Na področjih za pešce pa so bile uporabljene kompaktne fluorescenčne (CF) sijalke in kovinsko halogenidne (VT MH) sijalkami. Zaradi novih svetilk z boljšimi svetlobnimi izkoristki so bile lahko ustrezno zmanjšane tudi električne moči sijalk, tako da sijalke z močjo 400 W niso več v uporabi. Skupna nazivna moč sijalk po prenovi znaša 389 kW oziroma z upoštevanjem izgub v predstikalnih napravah dobrih 419 kW. Poraba

električne energije v enem letu je tako samo še 1.802 MWh oziroma dobrih 37 kWh letno na prebivalca. Prihranek električne energije znaša okoli 51%.

Svetlobni vir	Električna moč [W]	Število
VT Na	250	850
VT Na	150	620
CF	36	1840
VT MH	32	770
SKUPNO		4080

Tabela 9.13: Tip, število in električna moč svetlobnih virov po prenovi.

Prikazan primer predstavlja možne prihranke energije pri prenovi razsvetljave, katere stanje pred prenovo je bilo zelo zastarelo. V uporabi so bile predvsem energetsko neučinkovite visokotlačne živosrebrove sijalke. V kolikor je tehnologija obstoječe razsvetljave sodobnejša, bodo prihranki seveda manjši.

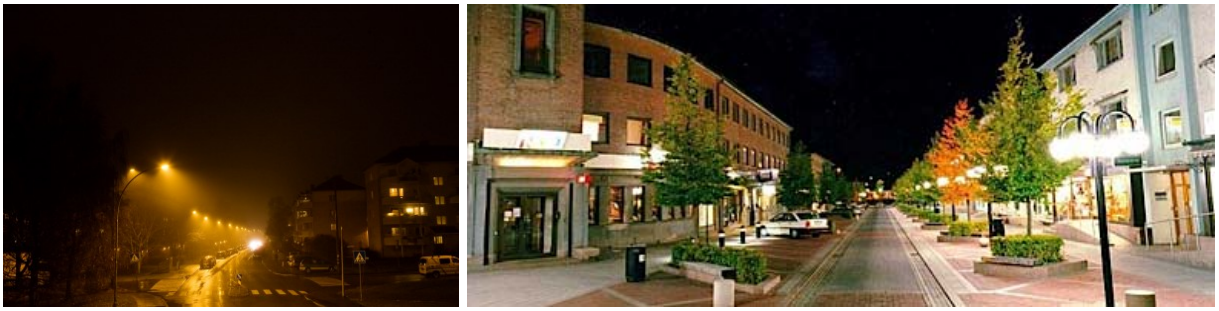
9.2.10 PRIMERI DOBRIH IN SLABIH PRAKS V JAVNI RAZSVETLJAVI

V tem poglavju je opisanih nekaj primerov energetsko učinkovitih prenov javne razsvetljave. Poleg energetske učinkovitosti prenovljenih inštalacij smo pri izboru upoštevali tudi nepristranskost virov podatkov, vendar je kljub temu potrebno omeniti, da večina podatkov o teh inštalacijah izvira s strani investitorja prenove in ne od neodvisnih organizacij.

Primeri dobrih praks

Prenova javne razsvetljave v Oslu, Norveška

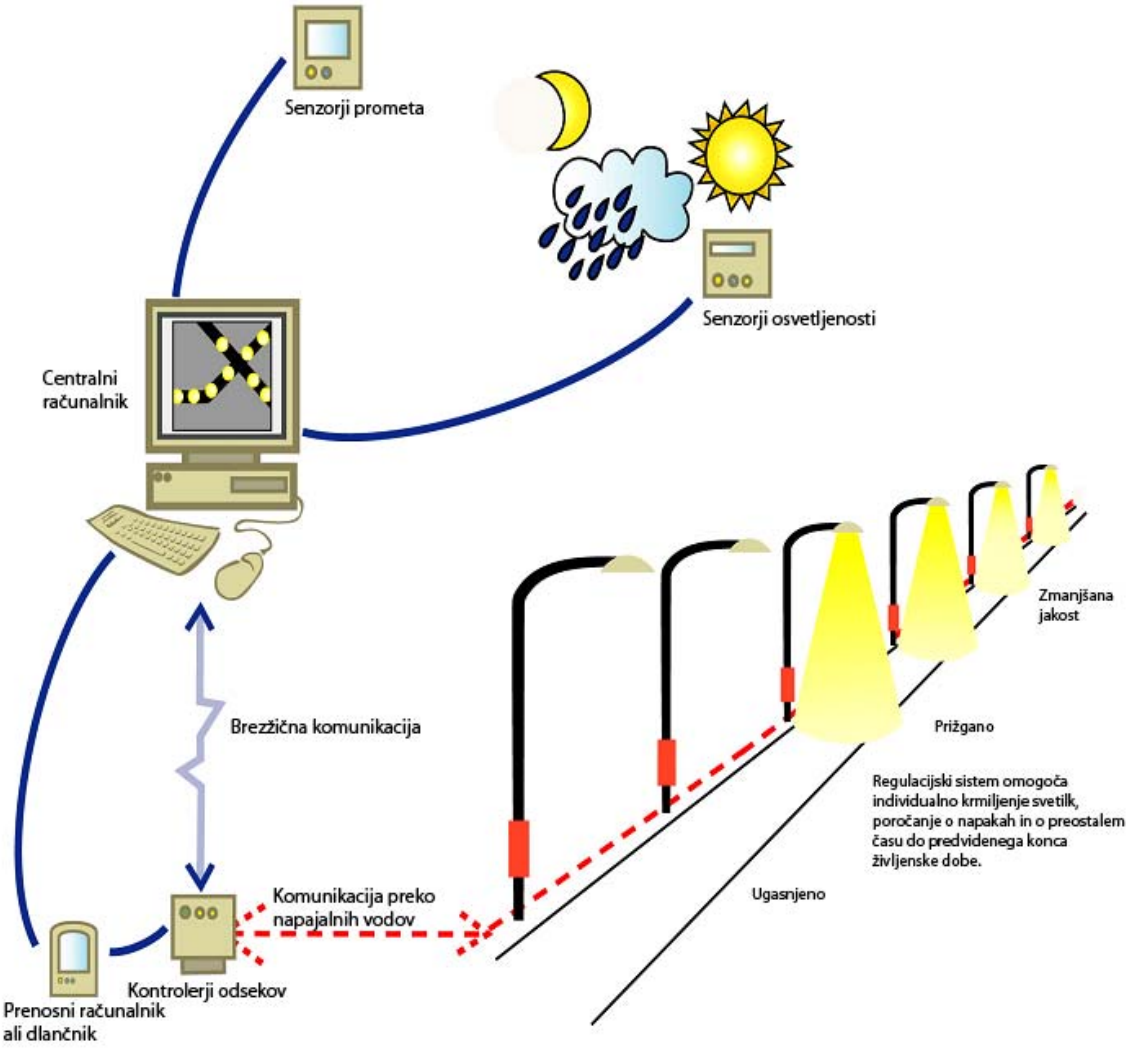
Mesto Oslo na Norveškem je leta 2005 začelo s prenovo sistema javne razsvetljave. Prenova vključuje zamenjavo svetilk in svetlobnih virov z novejšimi ter uvedbo regulacijskega sistema za vse prenovljene svetilke. Oslo ima okoli 62.000 svetilk javne razsvetljave, ki letno porabijo med 35 in 38 GWh električne energije. Do danes jih je bilo zamenjanih 9.000, vse nove svetilke pa so opremljene z inteligentno regulacijo svetlobnega toka sijalk. Zamenjava teh 9000 svetilk je znižala porabo električne energije za razsvetljavo za približno 5 GWh. Mesto ocenjuje, da bi se investicija v prenovo celotnega sistema javne razsvetljave, ki je ocenjena na 135 milijonov norveških kron (17.2 milijona evrov) povrnila v 6 do 10 letih.



Slika 9.30: Inteligentna cestna razsvetljava v Norveškem glavnem mestu Oslo je pripomogla k znižanju porabe električne energije. Razsvetljava se prilagaja prometnim in vremenskim pogojem.

Zunanja razsvetljava

Svetlobni tok posameznih svetilk se krmili v odvisnosti od časa, vremena in prometnih razmer na cestah. Ob dežju zaradi manjše svetlosti mokrega vozišča povečajo jakost razsvetljave, v sneženih razmerah pa jo zmanjšajo, saj sneg zelo dobro odbija svetlobo. Sistem omogoča tudi prilagajanje razsvetljave posamičnim dogodkom, ko se na primer poveča število peščev po končani prireditvi (nogometni tekmi) in podobno. Regulacijski sistem razsvetljave omogoča tudi obračunavanje dejanske porabljene električne energije in ne glede na oceno porabe na podlagi priključne moči razsvetljave, kot je to še marsikje v uporabi. Sistem deluje s pomočjo kontrolnih modulov, ki so nameščeni v vsaki svetilki in ki omogočajo individualno nastavitev jakosti posamezne svetilke.



Slika 9.31: Diagram regulacijskega sistema (primer iz mesta Oslo, Norveška). V vsaki svetilki je kontrolni modul, ki komunicira s kontrolerjem odseka, ta pa s centralnim računalnikom.

Cena celotne investicije za zamenjavo 9.000 svetilk ter vgradnjo ustreznega regulacijskega sistema je znašala 12 milijonov evrov od česar je bilo:

- 6 milijonov porabljenih za nadgraditev svetilk,
- 3 milijonov za regulacijski sistem,
- 3 milijonov za inštalacijo.

Prenova razsvetljave Titovega mostu v Mariboru, Slovenija
Titov most v Mariboru je bil pred prenovo razsvetljave osvetljen s 14 svetilkami v katerih sta bili nameščeni dve 150 W visokotlačni natrijevi sijalki. Vseh 14 svetilk so zamenjali z novimi, v katerih sta nameščena po dva modula s svetlečimi diodami (LED) in močjo z 32W. Poleg manjše moči in porabe električne energije nova razsvetljava zagotavlja tudi boljše svetlobno-tehnične pogoje.

Slika 9.32: Slika Titovega mostu pred prenovo(levo) in po prenovi (desno).

Inštalacija svetilk s svetlečimi diodami (LED) v mestu Los Angeles, ZDA
Mesto Los Angeles ima okoli 140.000 svetilk javne razsvetljave, ki porabijo približno 197 TWh električne energije na leto. Leta 2009 so v mestu začeli s programom, ki naj bi v roku petih let zamenjal vse svetilke javne razsvetljave z ustreznimi svetilkami, ki uporabljajo LED tehnologijo. Do februarja 2011 so jih zamenjali okoli 36.500. Električna priključna moč novih svetilk znaša 2648 kW, kar je več kot 50 % manj kot je znašala priključna moč že zamenjanih svetilk (6244 kW). Nove svetilke tako privarčujejo okoli 14.668 MWh električne energije na letni ravni.

Prenova javne razsvetljave v mestu Kaunas, Litva
Mesto Kaunas je v letih od 2002 do 2006 zamenjalo 16.000 svetilk javne razsvetljave (od 23.000 inštaliranih). Nove svetilke uporabljajo visokotlačne natrijeve sijalke z električno močjo 70 W, 100 W, 150 W in 250 W. Po podatkih mesta se je po prenovi inštalirana moč javne razsvetljave zmanjšala z 5.601 kW na 3.014 kW, letna poraba električne energije za razsvetljavo pa je upadla z 20.969 kWh na 11.788 kWh. Sistem javne razsvetljave ne vključuje inteligentne regulacije podobne primeru iz mesta Oslo.

Primeri slabih praks
Pogosto se zaradi prevelike želje zmanjšati porabo električne energije ali svetlobno onesnaževanje pri prenovah cestne razsvetljave svetlobno-tehnične razmere po zamenjavi svetilk zelo poslabšajo. V Sloveniji se je to začelo dogajati predvsem v zadnjem času kot posledica uveljavitve Uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja. Ta namreč zahteva, da svetilke ne smejo sevati svetlobnega toka navzgor (Upper Light Output Ratio ULOR=0). Ker pa se nove svetilke namešča na drogove starih svetilk, se zaradi bolj zaprte

prostorske porazdelitve svetilnosti novih svetilk močno poslabša enakomernost svetlosti oz. osvetljenosti na prometni površini.

Slika 9.33: Primer neustrezno osvetljene ceste. Nove svetilke z bolj zaprto prostorsko porazdelitvijo svetilnosti so bile nameščene na stare drogove. Vendar pa je razdalja med drogovi za to karakteristiko svetilk prevelika oziroma je njihova višina premajhna. Zato je enakomernost svetlosti slaba, zaradi česar so med posameznimi svetilkami temna področja, ki predstavljajo potencialno nevarnost za udeležence prometa . Ta razsvetljava seveda ne ustreza svetlobno-tehničnim priporočilom. Ena od možnosti izboljšave bi bila ustrezno podaljšati drogove s čimer bi dosegli boljšo enakomernost svetlosti, vendar pa bi se njena povprečna vrednost zmanjšala.

V Sloveniji smo s sprejetjem Uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja postavili visoke okoljske standarde na področju zunanje razsvetljave, ki pa močno omejuje uporabo določenih vrst svetilk. Ker uredba zahteva, da je svetilke ne svetijo navzgor (delež svetlobnega toka v zgornjem polprostoru mora biti enak nič oz. največ 0,5 %), uporaba določenih vrst svetilk ni možna oziroma dovoljena.

Slika 9.34: Primer svetilk s sekundarnim reflektorjem, s katerimi je osvetljen most. Opazno je uhajanje svetlobe mimo sekundarnega sistema reflektorjev v nebo.

Med take svetilke spadajo tudi svetilke s sekundarno optiko, ki za doseganje ustrezne porazdelitve svetilnosti uporabljajo odsevne površine (ogledala), ki so osvetljena od spodaj. Kot lahko vidimo na zgornji sliki, pri taki svetilki veliko svetlobnega toka uide mimo zrcalnega sistema v nebo, kar seveda povečuje svetlobno onesnaženost.

Podoben problem se pojavi pri osvetljevanju fasad in kulturnih spomenikov. Uredba namreč zahteva, da se svetloba omeji izključno na osvetljeno fasado in da mimo fasade ne sme »uiti« več kot 10 % celotnega svetlobnega toka uporabljenih svetilk. V kolikor svetilke ne namestimo ustrezno, je tega svetlobnega toka lahko precej več. Ena od neželenih posledic je lahko neprimerna in neželena osvetljenost fasad stanovanjskih stavb za npr. osvetljenim kulturnim spomenikom.

Slika 9.35: Primer neželene osvetljenosti fasade stanovanjske stavbe, ki je posledica neprimernega osvetljevanja kulturnega spomenika pred stanovanjsko stavbo.

Slika 9.36: Primer močno osvetljene fasade stanovanjske stavbe, ki je posledica cestne razsvetljave.

Zunanja razsvetljava

Do neželene osvetljenosti fasade in oken stanovanjske stavbe lahko pride tudi v primeru, ko je pred stavbo nameščena cestna razsvetljava z neprimerno izbranimi karakteristikami svetilk. Če je prostorska porazdelitev svetilnosti preširoka, lahko pripelje do razmer, kot so prikazane na zgornji sliki. Po vsej verjetnosti je močna osvetljenost fasade posledica preosvetljenega križišča ob stavbi. Kot smo omenili v prejšnjih poglavjih, je potrebna svetlost prometnih površin odvisna tudi od gostote primeta. Ker je v stanovanjskih soseskah gostota prometa v nočnem času razmeroma majhna, je v takih primerih tudi z uporabo regulacije svetlobnega toka na podlagi vnaprej določenega urnika možno odpraviti neželene preosvetljenosti fasad. V prvi vrsti pa je seveda potrebno izbrati svetilke z ustrezno porazdelitvijo svetilnosti.

9.3 RAZSVETLJAVA FASAD IN KULTURNIH SPOMENIKOV

Razsvetljava fasad in kulturnih spomenikov se je v zadnji polovici 20. stoletja zelo razmahnila. Temu botruje predvsem podaljševanje delovnega časa in s tem tudi »družabnega življenja« v mestih v večerne ure. Pod »družabno življenje« v večernih urah razumemo dejstvo, da se tudi po zahodu sonca na ulicah zaradi poti domov in drugih opravkov še vedno nahaja večje število ljudi. Ker več študij in raziskav potrjuje, da razsvetljava fasad in kulturnih spomenikov pozitivno vpliva na počutje uporabnika v nočnem prostoru, se tovrstna razsvetljava vse bolj uveljavlja. Poleg tega razsvetljava fasad mestnih stavb botruje tudi povečani ekonomski aktivnosti v večernih urah, saj uporabniki raje zahajajo v mesto, kjer nato tudi nakupujejo, obedujejo, se srečujejo in podobno. Osvetlitve nekaterih kulturnih spomenikov po svetu so s časom postale znamenitosti oziroma sestavni del kulturnega spomenika, s čimer se ustrezno povečuje tudi turistična aktivnost oziroma zanimanje obiskovalcev za tovrstni kulturni spomenik tudi v večernih urah in nočnem času.

Pri osvetlitvi stavb in kulturnih spomenikov je bistveno zagotoviti ustrezno vizualno hierarhijo in ustrezno poudarjanje reliefov in tekstur fasad ter kulturnih spomenikov. Z vizualno hierarhijo arhitekturnih elementov mislimo tako na hierarhijo stavb v določenem prostoru, kot tudi na hierarhijo arhitekturnih elementov na eni fasadi ali spomeniku. S teksturo pa razumemo strukturo same fasade oziroma njen relief. Na primer srednjeveška obzidja imajo razmeroma grobo teksturo (zaradi zidakov ali opek), moderne betonske fasade pa razmeroma gladko.

Osvetljevanje od spodaj

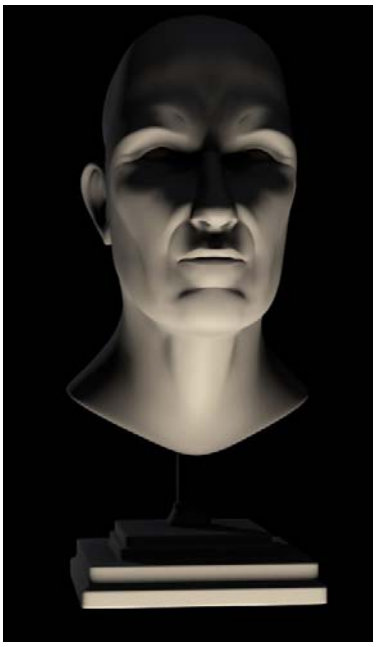
Osvetljevanja fasad in kulturnih spomenikov od spodaj se je pojavilo z razvojem vgradnih pohodnih svetilk z dobro kontrolo porazdelitve svetilnosti. Pri tem načinu osvetljevanja so svetilke nameščene razmeroma blizu fasade ali kulturnega spomenika (ponavadi manj kot 2 m) ter svetijo vzdolž in navzgor po fasadi. Zaradi bližine namestitve svetilk je smer svetlobe skoraj vzporedna s fasado, kar že pri zelo malo razgibani fasadi povzroči vidne sence in tako poudari strukturo fasade. Vendar pa, v kolikor ima stavba modularno zgradbo ali pa večje izbokline (kot so na primer balkoni), take svetilke, nameščene na nivoju tal, ustvarjajo na fasadi premočne sence. Temu nezaželenemu efektu se lahko izognemo z namestitvijo svetilk tudi na samo fasado, kot prikazujejo spodnje slike.

Slika 9.37: Osvetlitev mestne hiše v San Franciscu v ZDA. Celotna zgradba je osvetljena od spodaj, svetilke pa so nameščene pred štirimi stebri v ospredju centralnega dela, znotraj celotnega stebrišča, med stebri na kupoli, nad napuščem kupole ter na vrhu kupole.

Slika 9.38: Osvetlitev Dunajske opere. Svetilke so nameščene nad venci na fasadi in svetijo navzgor.

Z razvojem vedno manjših svetil z vedno večjo svetilnostjo, dobrih ustvarjalnih možnosti, ki jih ponuja osvetljevanje od spodaj ter dejstva, da se svetil nameščenih na fasadi večinoma ne vidi, je ta vrsta razsvetljave v zadnjem času najbolj uporabljana pri kulturnih spomenikih velike kulturnozgodovinske vrednosti. Vendar je pri nameščanju svetil potrebno biti zelo pazljiv, da nam svetloba mimo fasade ne uhaja v nebo. Slabost tega načina osvetljevanja je namreč predvsem to, da razmeroma velik delež svetlobe lahko uide v nebo. Temu se lahko izognemo z uporabo ustreznih svetilk, in njihovo pravilno namestitvijo. Pri fasadah, ki se nahajajo ob pohodni površini, kot je na primer pločnik, pa svetilke za osvetljevanje fasade od spodaj lahko tudi bleščijo pešcem. Pri osvetljevanju od spodaj je potrebno tudi razmeroma veliko število svetilk, kar posledično vpliva tudi na ceno inštalacije.

Pri osvetljevanju spomenikov s človeškimi figurami od spodaj se je potrebno zavedati močnega dramatičnega učinka, ki ga taka smer svetlobe daje obrazom. Osvetlitev od spodaj se namreč v naravi le redko pojavi, tako da lahko taka osvetlitev človeškim figuram daje nenaraven videz. V kolikor se temu ne da izogniti na primer z nameščanjem svetilk na objekte, ki so višji od spomenika in osvetljevanjem navzdol, je potrebno pazljivo izbrati mesta namestitve svetilke. Pomaga, če jih nekoliko odmaknemo od spomenika (pri tem je potrebno biti pozoren na bleščanje) ali pa spomenik raje osvetlimo od strani.



Slika 9.39: Osvetlitev doprsnega kipa od spodaj, svetilka je nameščena zelo blizu kipa. Opazne so močne sence v predelu oči ter zelo nenaraven videz obraza, saj smer svetlobe od spodaj v naravi ni običajna. Naravna svetloba vedno prihaja od zgoraj in delno od strani. Poleg tega tudi ni samo usmerjena ampak ima izrazito difuzno komponento.

Frontalno osvetljevanje

Frontalno osvetljevanje oziroma osvetljevanje od spredaj pomeni, da so svetilke nameščene razmeroma daleč od fasade, ki jo osvetljujejo. Da se pri tem izognemo sencam, ki bi jih na fasado metali objekti in ljudje med svetilko in fasado, svetilke namestimo na privzdignjenem mestu, kot na primer na stebre ali sosednje stavbe. Prednost tega načina osvetljevanja je predvsem manjša cena instalacije, saj je potrebno veliko manjše število svetilk kot pri osvetljevanju od spodaj. Vendar pa frontalno osvetljevanje povzroči slabše razločevanje detajlov na sami fasadi, ki se zaradi homogene osvetlitve vizualno zelo poenoti.

Slika 9.40: Narodna galerija v Ljubljani je osvetljena frontalno. Na sliki se vidi pomanjkanje senc in slaba vidljivost reliefa na fasadi, kar je posledica tovrstnega načina osvetljevanja.

Pri frontalnem osvetljevanju je posebno pozornost potrebno nameniti svetlobnemu toku, ki uhaja mimo fasade in povzroča svetlobno onesnaževanje. Svetloba svetilk, s katerimi osvetljujemo fasado, je praktično vzporedna s tlemi. Zato svetloba, ki uide mimo fasade, osvetljuje stavbe za osvetljeno stavbo, uhaja pa lahko tudi v nebo. Zaradi tega je za razsvetljavo fasade priporočljivo uporabiti večje število žarometov, s katerimi je možno skupni svetlobni snop bolje nadzorovati.

Osvetljevanje od zgoraj

Osvetljevanje od zgoraj se je ponekod pojavilo kot način zmanjševana svetlobnega onesnaževanja. Pri tem so svetila običajno nameščena na samo fasado in svetijo navzdol. Ta način osvetljevanja je primeren za objekte brez kulturnozgodovinske vrednosti, saj so svetila zelo opazna tako v nočnem kot v dnevnem času. Zaradi tega nameščanje svetilk na tak način na kulturne spomenike ni priporočljivo.

Integracija svetlobnih teles z urbano opremo

Razvoj sodobnih svetlobnih virov in svetilk, ki so razmeroma majhnih dimenzij, je omogočil tudi integracijo svetlobnih teles v urbano opremo (stopnišča, klopi, avtobusne postaje …).

Slika 9.41: Svetilke, nameščene pod klopmi, ustvarjajo v nočnem času prijetno vzdušje na površinah namenjenih pešcem.

Tako je možno svetlobna telesa vgraditi v ročaje na stopnicah, pod klopi v parkih ter tudi v ostale elemente v prostoru, ki tako v nočnem času postanejo svetlobni elementi. Ta način osvetlitve večinoma predstavlja zgolj dodatek k ostali zunanji razsvetljavi (na primer razsvetljavi peščevih površin), vendar lahko z ustvarjanjem svetlobnih poudarkov v prostoru ustvarja zelo prijetno in bolj intimno atmosfero v prostoru. Ker gre samo za določene svetlobne poudarke, so električne moči tovrstnih svetilk zelo majhne, tako da ne moremo govoriti o svetlobnem onesnaževanju nočnega neba.

Pri takem načinu osvetljevanja je potrebno posebno pozornost nameniti predvsem ustrezni zaščiti svetilk pred vandalizmu, saj so svetilke uporabnikom prostora lahko dostopne in zato pogosto tarča tovrstnih dejanj.

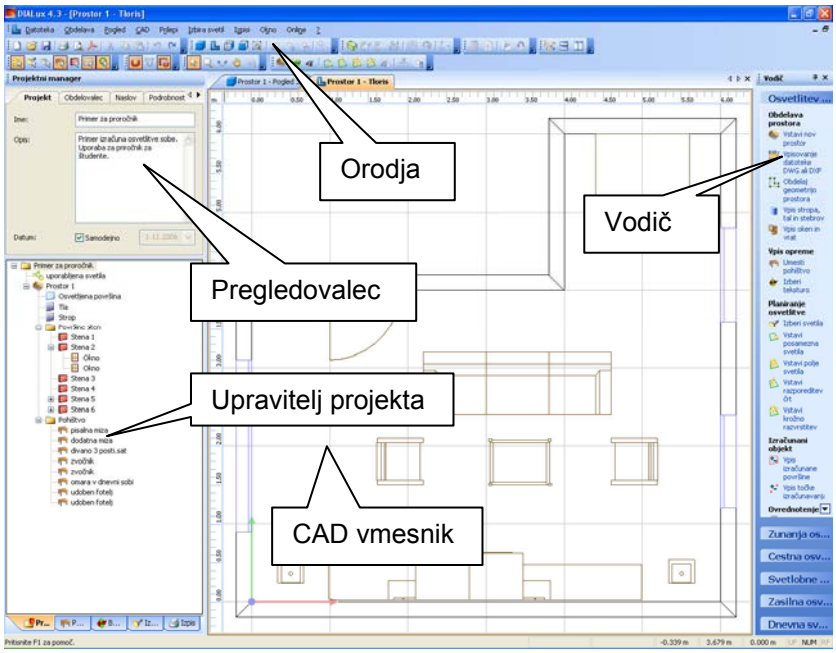
10 IZRAČUNI S PROGRAMSKIM PAKETOM DIALUX

DIALux je programsko orodje za načrtovanje razsvetljave v notranjih prostorih (tovarne, hoteli, bolnišnice, pisarne, šole, stanovanja, itd.) in na zunanjih površinah oziroma prostorov (vrtovi restavracij, atriji, ploščadi pred gledališčem, šolo, trgovino, parkirišča, športni objekti...) ter tudi za načrtovanje cestne razsvetljave. Kratka navodila v nadaljevanju se nanašajo na verzijo programa 4.11.

10.1 UPORABNIŠKI VMESNIK

Uporabniški vmesnik programa je razdeljen na štiri glavna delovna področja:

- CAD vmesnik (CAD Window)
- Upravitelj projekta s Pregledovalcem (Project manager with Inspector)
- Vodič (The Guide)
- Orodja (Toolbar)

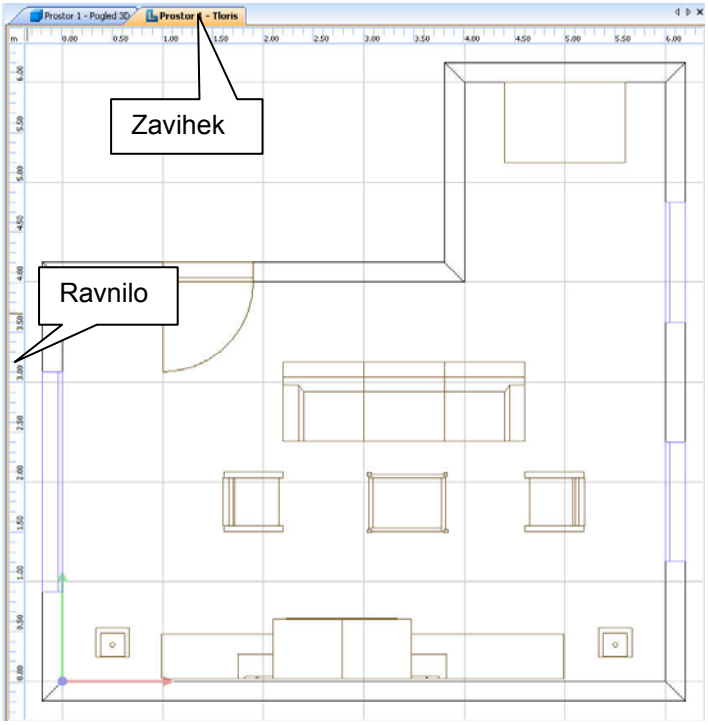


Slika 10.1: Uporabniški vmesnik programa DIALux z označenimi glavnimi delovnimi področji.

Delovna področja omogočajo učinkovito in preprosto načrtovanja razsvetljave z DIALux-om. V vsakem od teh področij lahko dostopamo do določenih programskih funkcij ali urejamo predmete.

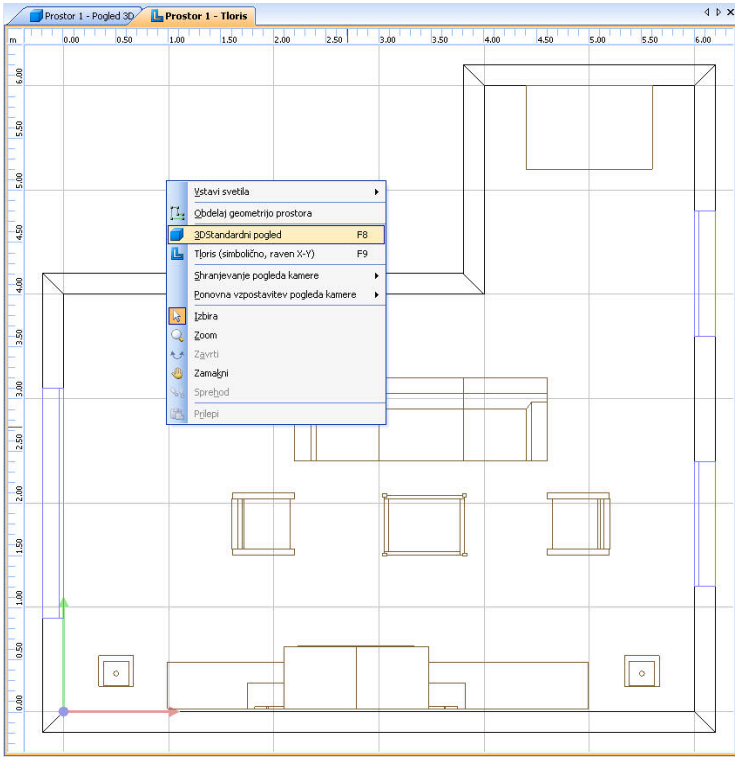
10.1.1 CAD VMESNIK

CAD vmesnik se uporablja za interaktivno načrtovanje prostora in razsvetljave v njem. Z miško lahko grafično rotiramo, spreminjamo merilo (zoom-iramo), premikamo prostor in se sprehajamo po prostoru (sobi, ulici ali zunanjem prostoru). Opcija ***PAN*** ali premikanje je vedno dosegljiva preko srednjega gumba na miški. Funkcija ***ZOOM*** je dosegljiva preko koleščka (če uporabljamo miško s koleščkom).



Slika 10.2: Okno CAD vmesnika, kjer vnesemo dimenzije prostora in ga opremimo s pohištvom ter s svetilkami. Zavihki na vrhu okna omogočajo različne poglede na obravnavani prostor (tloris, stranski pogled, 3D pogled ...)

Tudi desni miškin gumb je zelo pomemben pri delu z DIALux-om. Odvisno od izbranega predmeta, programskega načina in delovnega področja so preko desnega gumba dostopne različne pomembne možnosti (t.i. kontekstni meni).



Slika 10.3: Z desnim miškinim gumbom dostopamo do kontekstnega menija.

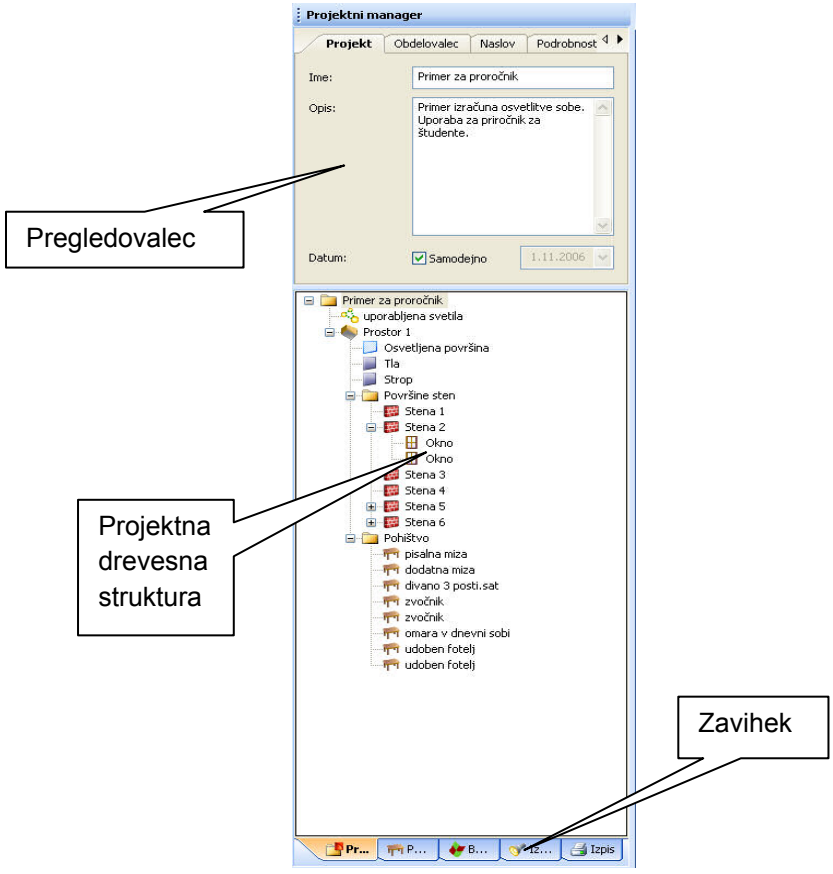
V CAD vmesniku z desnim klikom znotraj prostora izberemo vrsto pogleda (3D pogled, tlorisni pogled, stranski pogled, pogled od spredaj). Če je v CAD vmesniku odprtih več zavihkov (z različnimi pogledi), jih lahko uredimo preko ***Window*** opcije v glavnem meniju. CAD vmesnik je možno prikazati tudi v celozaslonskem načinu. V tem primeru lahko med različnimi pogledi prehajamo preko zavihkov na dnu zaslona.

Z desnim klikom lahko dostopamo do kontekstnega menija s katerim lahko CAD okno preklopimo v želeni način (tloris, 3D pogled ...). Možno je tudi premikati, skalirati (spreminjati merilo) in rotirati prostor ali izbirati predmete v ali zunaj prostora.

Kontekstni meni se razlikuje glede na to ali se pod miškinim kazalcem nahaja prostor ali predmet v prostoru Do kontekstnega menija posameznega predmeta prav tako dostopamo z desnim klikom na ta predmet. Če je aktivirana opcija obračanja (***Rotate***), lahko predmet obračamo s klikom in obračanjem točke na mreži. Rdeča točka omogoča obračanje okrog X osi, modra okrog Z in zelena okrog Y osi.

10.1.2 UPRAVITELJ PROJEKTA

Upravitelj projekta (***Projektni manager***) omogoča hitro in tekoče delo z vsemi elementi, ki so uporabljeni v načrtu razsvetljave. Vsak posamezen element lahko izberemo in pregledamo oziroma spremenimo njegove lastnosti. ***Upravitelj projekta*** vsebuje ***Pregledovalca***, pripadajočo drevesno strukturo in tematske zavihke (projekt, pohištvo, teksture, izbira svetil, izpis).



Slika 10.4: Okno upravitelja projekta (projektni manager) s posameznimi deli .

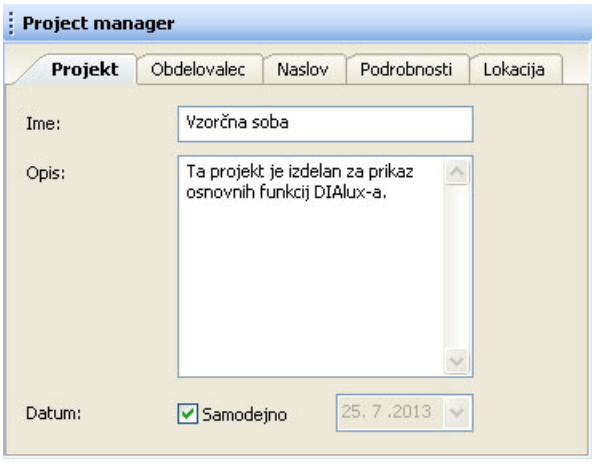
V zgornjem delu ***Upravitelja projekta*** se nahaja ***Pregledovalec***, ki podaja osnovne informacije o projektu ali o izbranem delu projekta (prostoru, predmetu v prostoru, uporabljenih barvah, svetilki …). Spodnji del je namenjen drevesni strukturi projekta, kjer je možno dostopati do posameznih delov. Ti so razporejeni v več skupin:

- pri notranjem prostoru imamo na voljo površine, ki definirajo sam prostor (strop, tla, stene), delovne površine, pohištvo, barve in strukture, svetilke in izpise oziroma rezultate izračunov;.
- projekt razsvetljave zunanjega prostora vsebuje talne elemente, zunanje pohištvo, svetilke in izpise;
- projekt cestne razsvetljave pa poleg cestnih elementov (cesta, pot, parkirišče, pločnik, travnati pas, kolesarska steza, urgentna pot) vsebuje še svetilke ter izpise rezultatov izračunov.

Pri izbiri posameznega elementa v drevesni strukturi objekta (z levim klikom na element) se prikažejo njegove lastnosti v ***Pregledovalcu***. Desni klik na element pa odpre kontekstni meni za ta element, prav tako kot pri CAD pogledu.

Pregledovalec

Pregledovalec je sestavni del upravitelja projekta, kjer lahko vidimo in spreminjamo lastnosti posameznega elementa izbranega bodisi v CAD pogledu ali v ***Upravitelju projekta***. Nekatere vrednosti imajo sivo ozadje. Teh ni možno spreminjati. Izgled oziroma vsebina ***Pregledovalca*** (tudi zavihki) so odvisni od trenutno izbranega predmeta.



Slika 10.5: Izgled Pregledovalca z osnovnimi podatki o projektu.

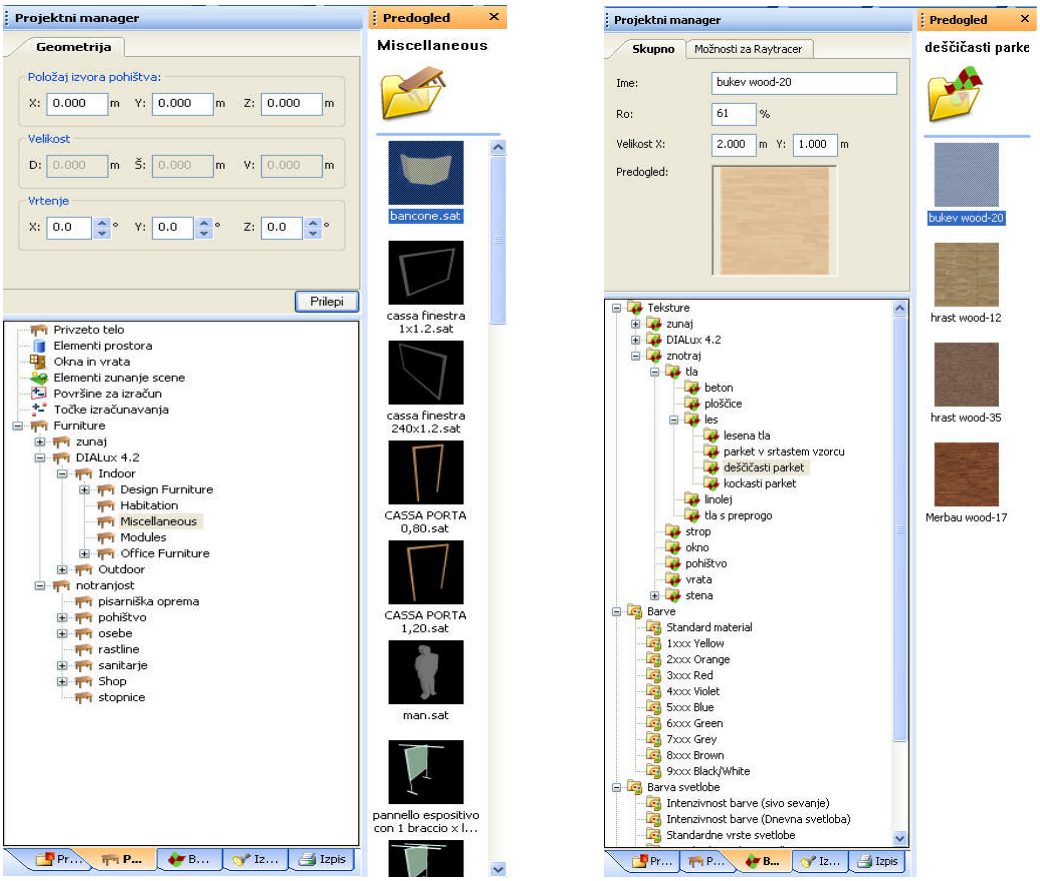
Zavihek Projekt

Zavihek ***Projekt*** je namenjen osnovnim informacijam o projektu ter lastnostim o prostoru, v katerem projektiramo razsvetljavo. V drevesni strukturi se nahajajo uporabljena svetilka, definirane površine za izračun, deli zunanjega ovoja prostora (strop, tla, stene) ter objekti v prostoru. Lastnosti vsakega od teh sestavnih delov projekta lahko, ko ga izberemo, pregledamo in popravimo v ***Pregledovalcu***. Ko predmet izberemo v drevesni strukturi, se hkrati izbere tudi v CAD vmesniku, tako da lažje ugotovimo, za kateri predmet gre.

Zavihek Predmeti

V zavihku ***Predmeti*** se nahajajo predmeti, ki jih lahko vnašamo v prostor. Poleg osnovnih gradbenih elementov in pohištva se v tem zavihku nahajajo tudi okna in vrata ter različne točke in površine za izračun. Vse elemente lahko vstavljamo v obravnavani prostor direktno iz seznama v CAD vmesnik s pomočjo miške po sistemu »povleci in spusti«. Funkcija deluje, ne glede na to kateri pogled je izbran v CAD vmesniku (3 D pogled, tlorisni pogled ...). Običajno je predmete najlažje vstaviti v tlorisnem pogledu, kjer običajno najlažje določimo njihov položaj. Je pa priporočljivo po vnosu preveriti še njihovo višino v stranske pogledu ali pogledu od spredaj.

Ko izberemo zavihek ***Predmeti***, se desno ob ***Upravitelju projekta*** pojavi dodatno okno (***Predogled***), na katerem lahko vidimo izgled posameznih predmetov.



Slika 10.6: Izgled Upravitelja projekta, ko je izbran zavihek Predmeti (leva slika) ali zavihek Barve (desna slika). V obeh primerih se desno ob upravitelju projekta pojavi dodatno okno (Predogled), ki prikazuje izgled posameznih predmetov oziroma barve in strukture, ki jo lahko izberemo za posamezno površino v prostoru.

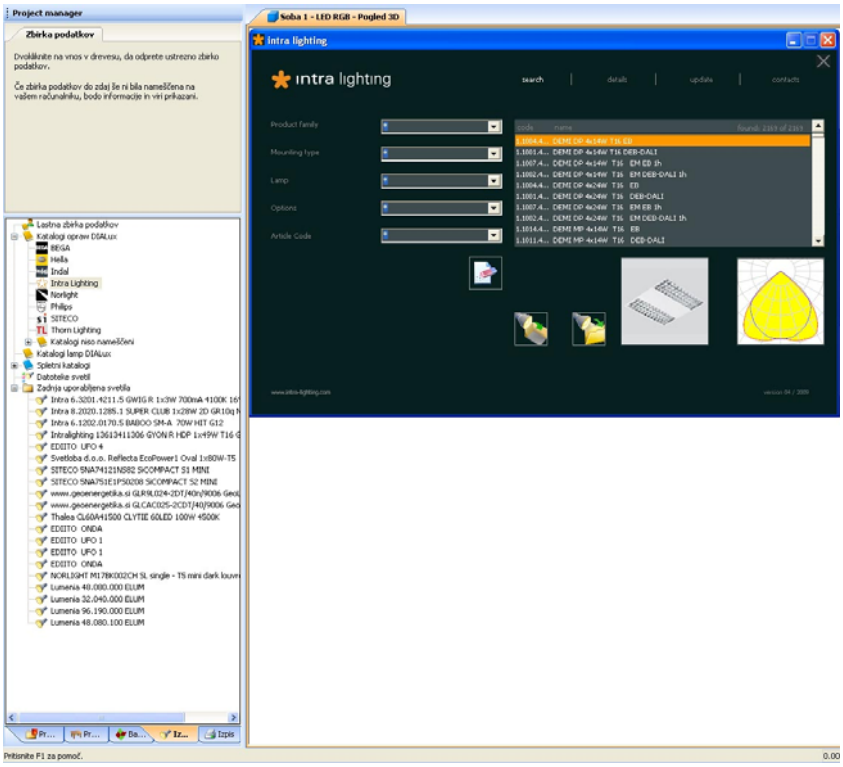
Zavihek *Barve*

Seznam barv in tekstur na zavihku ***Barve*** uporabimo za spreminjanje lastnosti površin (s pomočjo funkcije »povleci in spusti«). S tem zavihkom lahko spreminjamo površine sten in površine pohištva. V seznamu se nahajajo predhodno definirane teksture (površinske slike), RAL barve, možno pa je tudi urejati lastne teksture. V drugi polovici seznama so barve svetlobe in barvni filtri. Te barve lahko uporabljamo za spreminjanje lastnosti svetlobnih virov.

Po izbiri teksture ***Pregledovalec*** prikaže predogled te teksture in njene lastnosti. Izbira barve in teksture površine vpliva na rezultate izračuna, saj se upošteva pri izračunu odboja (odseva) svetlobe od te površine v prostoru. Refleksivne lastnosti površine je možno spreminjati tudi še kasneje. Pri vnašanju teksture ali barve je potrebno paziti tudi na pravo velikost teksture. Privzeta vrednost velikosti posamezne teksture je vidna v ***Pregledovalcu***. Pri uvažanju fotografije (npr. fasade) kot teksture je na primer potrebno vnesti pravo velikost stavbe (dolžina in višina). Teksturo lahko po vstavitvi na izbrano površino še ustrezno spremenimo (skaliramo, rotiramo, ...). Če je velikost teksture manjša od površine, program samodejno nadaljuje teksturo.

Zavihek Izbira svetil

V seznamu ***Izbira svetil*** se nahajajo lokalni katalogi svetilk (shranjeni na računalniku) in povezave do spletnih katalogov. Na dnu seznama pa najdemo zadnje uporabljene svetilke, kar olajša delo, če v prostoru uporabimo več enakih svetilk ali če enake svetilke uporabljamo v več prostorih. Dvojni klik na ime proizvajalca odpre lokalni ali spletni katalog (bazo) svetilk le-tega. Ta možnost je dosegljiva tudi preko menija za izbiro svetil.

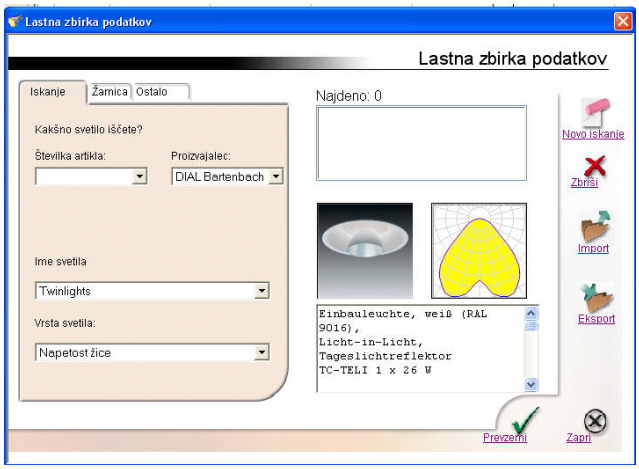


Slika 10.7: Preko zavihka Izbira svetil dostopamo do lokalnih ali spletnih katalogov svetilk. Z dvojnim klikom na proizvajalca odpremo njegov katalog v katerem potem lahko poiščemo ustrezno svetilko in jo vnesemo v projekt.

Katalogi svetilk, ki še niso bile naložene oz. so dostopne preko spleta, so prikazane nekoliko nižje v drevesni strukturi. Dvoklik na ime proizvajalca (baze) odpre ali lokalni katalog (na računalniku) ali domačo stran tega proizvajalca (spletni katalog) od koder si lahko katalog (ali posamezne svetilke) shranimo tudi na računalnik. Katalogi določenih proizvajalcev so dostopni tudi na spletni strani laboratorija (http://lrf.fe.uni-lj.si).

Lastna zbirka podatkov

Uporabnik ima tudi možnost shranjevanja podatkov o posameznih svetilkah različnih proizvajalcev, ki jih večkrat uporablja v svojih DIALux projektih. Te svetilke lahko shranimo v lastni zbirki podatkov. V tej zbirki je tudi možno iskanje in brisanje svetil.



Slika 10.8: Okno lastne zbirke podatkov o svetilkah, kamor lahko shranimo svetilke, ki jih pogosto uporabljamo v različnih projektih

Za prenos svetil v lastno zbirko (katalog) uporabljamo gumb ***Uvozi*** (***Import***). Uvozimo lahko podatke ene ali več svetilk v obliki podatkovne datoteke (*.uld, *.ldt, *.ies ali *.cib) iz katere koli mape na računalniku. Svetilke, ki so uporabljena v odprtem projektu in svetilke, ki so med zadnjimi uporabljenimi svetilkami, lahko prenesemo v lastno zbirko podatkov z desnim klikom na svetilko in ustrezno izbiro v kontekstnem meniju.

10.1.3 VODIČ

S pomočjo ***Vodiča*** dostopamo do vseh korakov potrebnih za načrtovanje razsvetljave. Pri izbiri ikone v ***Vodiču*** je pripadajoča možnost direktno dostopna. S klikom na posamezno področje dela npr. ***Dnevna svetloba*** bodo dostopne vse možnosti pri načrtovanju oz. izračunavanju dnevne svetlobe..

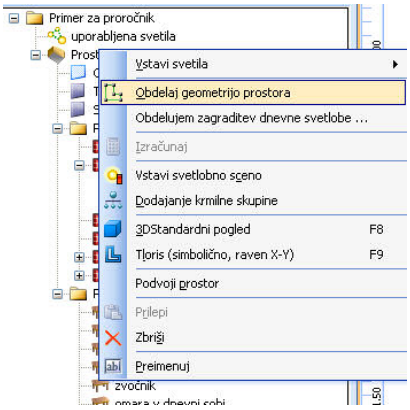
Slika 10.9: Vodič se nahaja na desni strani zaslona in omogoča direktni dostop do posameznih faz projekta oziroma do področij dela (zaradi lažjega prikaza razdeljen na več delov).

10.1.4 UREJEVALNI NAČIN

Pri uporabi določenih možnosti DIALux preklopi v t.i. urejevalni način. To se zgodi v katerem od naslednjih primerov:

- prost vnos novega prostora;
- kasnejše spreminjanje dimenzij prostora;
- urejanje talnih elementov pri zunanji sceni;
- urejanje površine za izračun svetlosti oz. osvetljenosti;

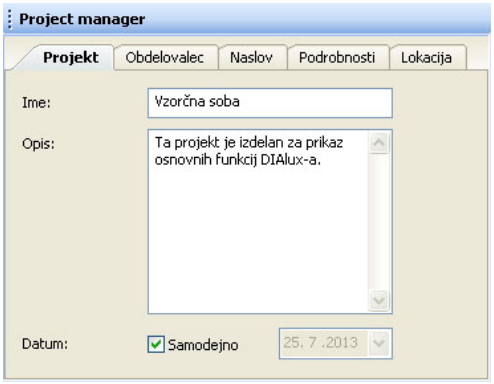
Za preklop v urejevalni način v ***Upravitelju projekta*** z desnim klikom izberemo predmet, ki ga želimo urejati. V kontekstnem meniju, ki se nam pri tem odpre, izberemo opcijo ***Obdelaj geometrijo prostora*** (***Edit Room Geometry***), ***Obdelaj talni element*** (***Edit Ground Element***) ali ***Obdelaj računano površino*** (***Edit Calculation Surface***). Druga možnost je izbira urejanja v meniju ***Uredi*** (***Edit***), tretja pa izbira urejanja v ***Vodiču***.



Slika 10.10: Preklop v urejevalni način je možen z izbiro opcije Obdelaj geometrijo prostora v kontekstnem meniju znotraj Upravitelja projekta

10.2 NOV PROJEKT

S klikom na gumb ***Nova*** (***New***) ustvarimo nov projekt. DIALux lahko naenkrat obdeluje le en projekt. Zato je treba projekt, ki je že odprt, pred odpiranjem novega projekta shraniti in zapreti. V prvem zavihku ***Pregledovalca*** vpišemo ime projekta in njegov opis. DIALux samodejno doda datum kreiranja novega projekta. Po želji lahko datum tudi spremenimo, če predhodno umaknemo potrditev izbira ***Samodejno*** (***Automatic***).



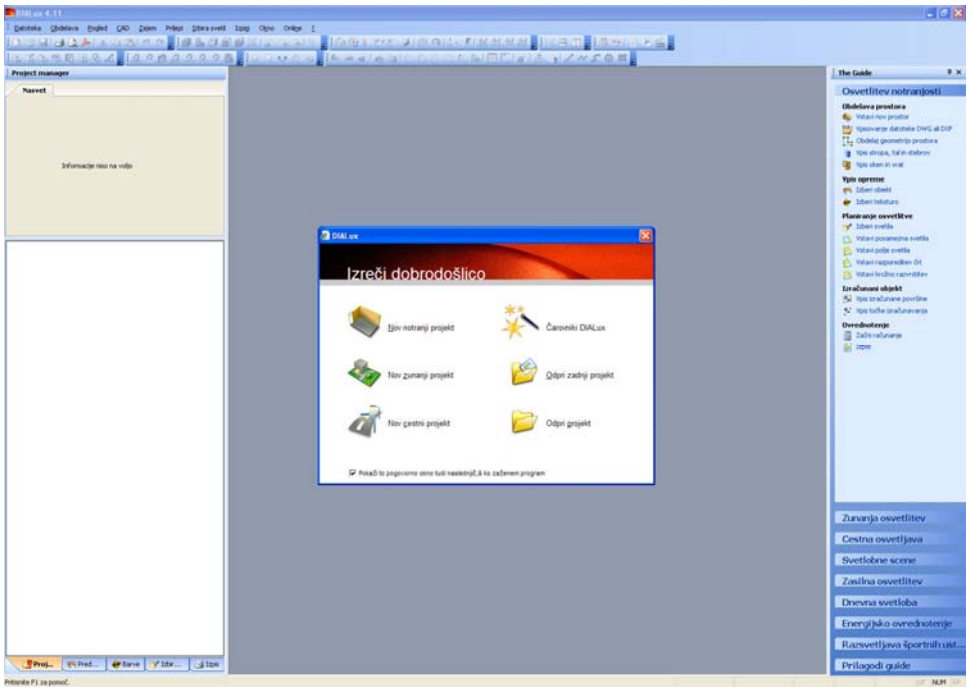
Slika 10.11: Ko odpremo nov projekt najprej v Pregledovalcu vpišemo ime in opis projekta.

V drugem zavihku ***Pregledovalca*** (***Obdelovalec***) uredimo svoje kontaktne podatke (podatki obdelovalca oziroma projektanta). Le-ti se prepišejo iz nastavitev (če so jih tam podali) in jih lahko po potrebi tudi popravimo. Podatki se uporabijo pri izpisu projekta na tiskalniku. V tretjem zavihku (***Naslov***) se nahaja naslov izdelovalca projekta (projektivnega podjetja). V četrtem zavihku (***Podrobnosti***) vnesemo podatke o naročniku projekta, ki jih lahko tudi sami definiramo, tako da ustrezajo označevanju projektov, ki jih uporablja projektantsko podjetje. V petem zavihku (***Lokacija***) vnesemo lokacijo objekta v katerem projektiramo razsvetljavo. Lokacija je pomembna pri izračunih dnevne svetlobe. Če želene lokacije ni v seznamu, lahko dodamo svojo (z zemljepisno širino in dolžino). Določimo lahko tudi zimski/poletni čas in časovni pas lokacije. Vsi podatki, ki jih za posamezen projekt vnesemo v ***Pregledovalec***, so prikazani tudi pri izpisu na naslovni strani projekta.

Slika 10.12: Posamezni zavihki Pregledovalca z osnovnimi podatki o projektu

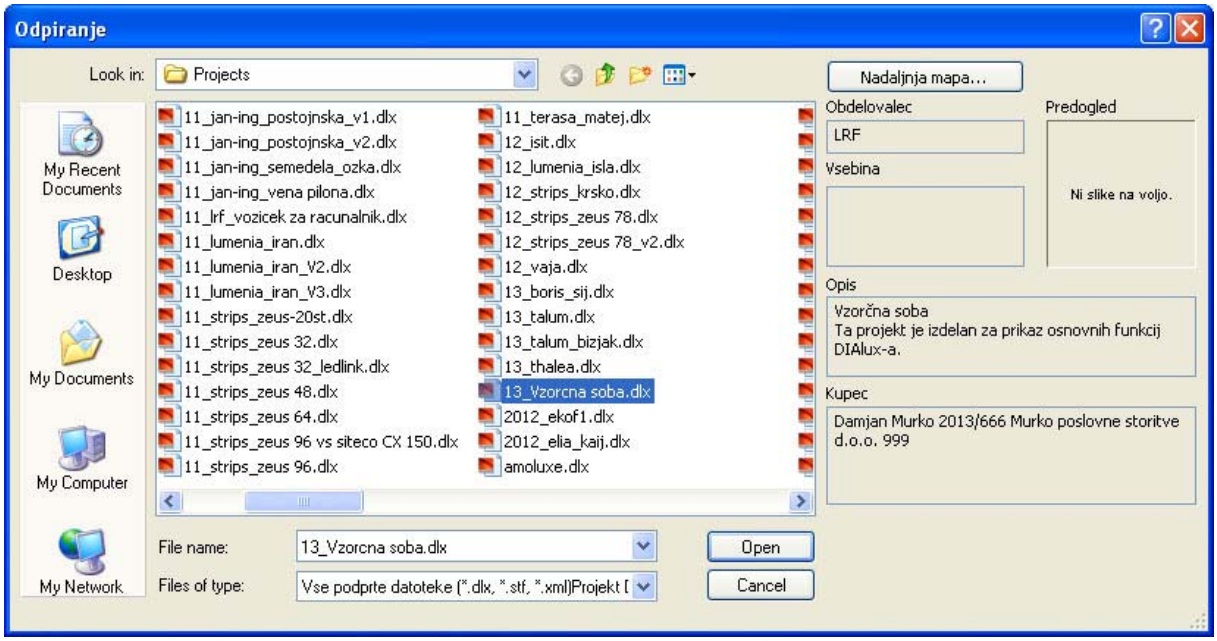
10.3 ODPIRANJE OBSTOJEČEGA PROJEKTA

Obstoječ projekt, pri katerem želimo nadaljevati z delom, lahko odpremo takoj po zagonu programa DIALux z ustrezno izbiro v prvem »pozdravnem« oknu programa. Seveda lahko obstoječ projekt izberemo tudi kasneje v glavnem meniju z izbiro ***Datoteka*** -> ***Odpri*** (***File*** -> ***Open***).



Slika 10.13: Pozdravno okno programa DIALux, kjer lahko izberemo ali bomo obdelovali nov projekt ali pa odprli katerega od že obstoječih projektov razsvetljave.

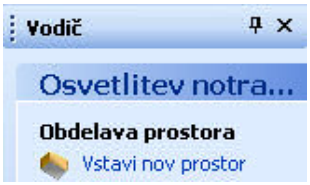
V pogovornem oknu, ki se odpre pri odpiranju projekta lahko vidimo glavne informacije o projektu, kot so 3D predogled prvega prostora ali zunanje scene, podatek o projektantu (***Obdelovalec***), vsebino projekta in njegov opis ter podatke o naročniku (***Kupec***), ki smo jih vnesli v ***Pregledovalca***.



Slika 10.14: Okno, ki se odpre ob odpiranju projekta, prikaže glavne podatke o izbranem projektu ter predogled prvega prostora (ali zunanje scene), kar nam olajša izbiro pravega projekta.

10.4 OBDELAVA GEOMETRIJE PROSTORA

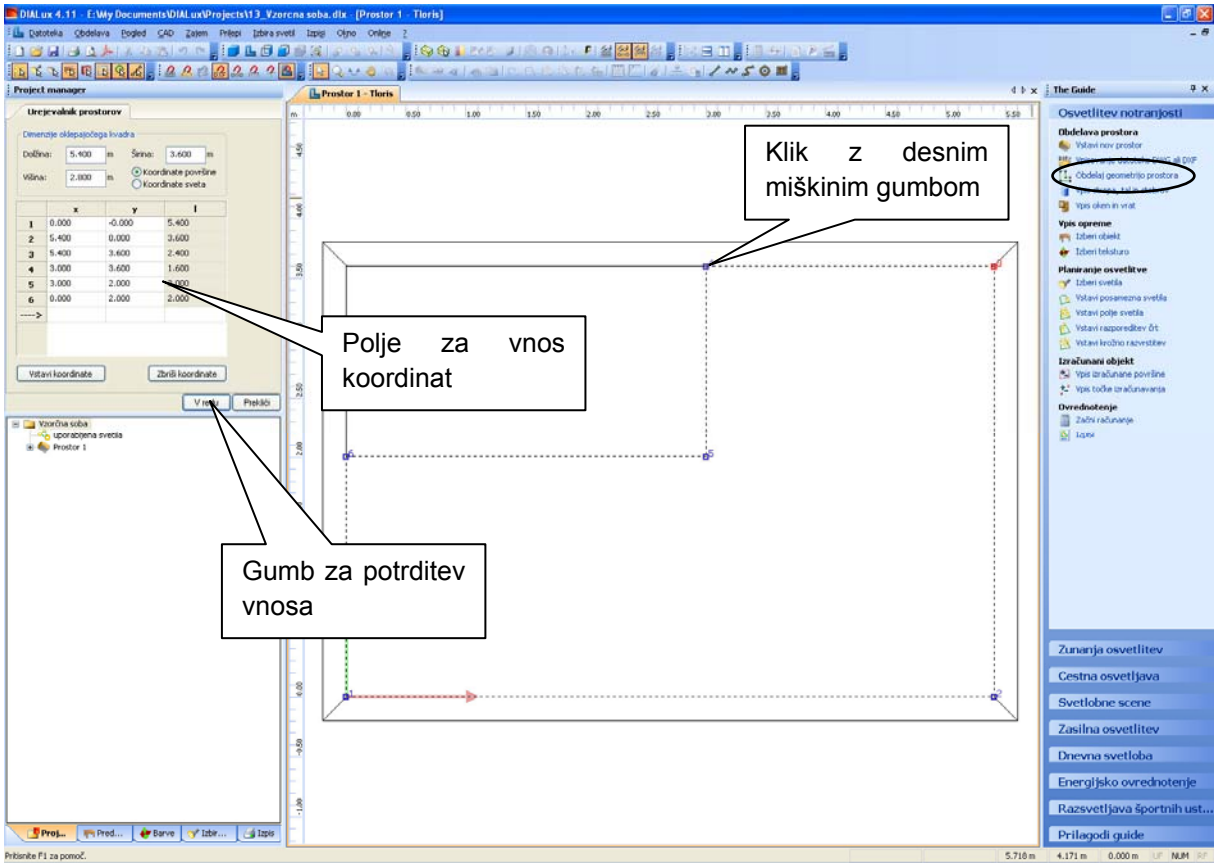
Nov prostor ustvarimo s klikom na izbiro ***Vstavi nov prostor*** (***Create new room***) v ***Vodiču*** ob desnem robu programa. Že obstoječ prostor pa lahko ustrezno spremenimo (obdelamo geometrijo prostora) z izbiro ***Obdelaj geometrijo prostora*** v ***Vodiču*** ali z desnim miškinim gumbom in ustrezno izbiro v kontekstnem menijem.



Slika 10.15: Nov prostor dodamo v projekt z izbiro »Vstavi nov prostor«, ki se nahaja na vrhu okna Vodič. Že obstoječemu prostoru pa lahko spremenimo geometrijo (podatke o velikosti prostora) z izbiro »Obdelaj geometrijo prostora«, ki je tretja možnost, ki jo ponuja Vodič.

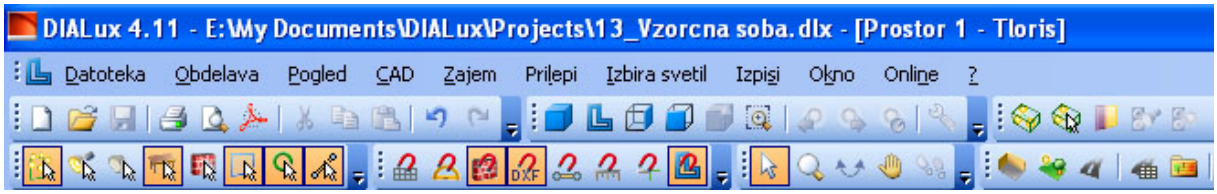
Po izbiri se v CAD oknu odpre tloris prostora, ki je pri novem prostoru vedno pravokoten. V ***Pregledovalcu*** so navedene koordinate posameznih točk, ki definirajo velikost prostora. Koordinatni sistem prostora je privzeto nastavljen tako, da je njegovo izhodišče (x=0, y=0) v levem spodnjem kotu prostora. Tako so koordinate vseh točk znotraj prostora vedno pozitivne. Geometrijo prostora lahko spremenimo s premikom posameznih obstoječih točk prostora, lahko pa dodamo tudi nove točke s pomočjo desnega miškinega gumba. Točke lahko premaknemo na nove koordinate s pomočjo miške, lahko pa točne koordinate točk

vpišemo oz. uredimo v ***Pregledovalcu.*** Spremenjene vrednosti koordinat se prenesejo na načrt po kliku na drugo polje oz. pritisku na tipko Enter. Končno obliko in višino prostora potrdimo s klikom na gumb ***V redu*** (***OK***) v ***Pregledovalcu***.



Slika 10.16: Izgled okna programa med urejanjem geometrije prostora. Urejanje začnemo z ustrezno izbiro v Vodiču. Koordinate posameznih točk lahko spremenimo s premikanjem točk s pomočjo miške ali pa jih vnesemo (popravimo) v polju za vnos koordinat v Pregledovalcu.

Če prostora, ki ga obdelujemo, ne vidimo v celoti v CAD vmesniku, ga lahko povečamo ali pomanjšamo (oddaljimo ali približamo) s pomočjo spremembe merila (Zoom funkcija) z uporabo miškinega koleščka.

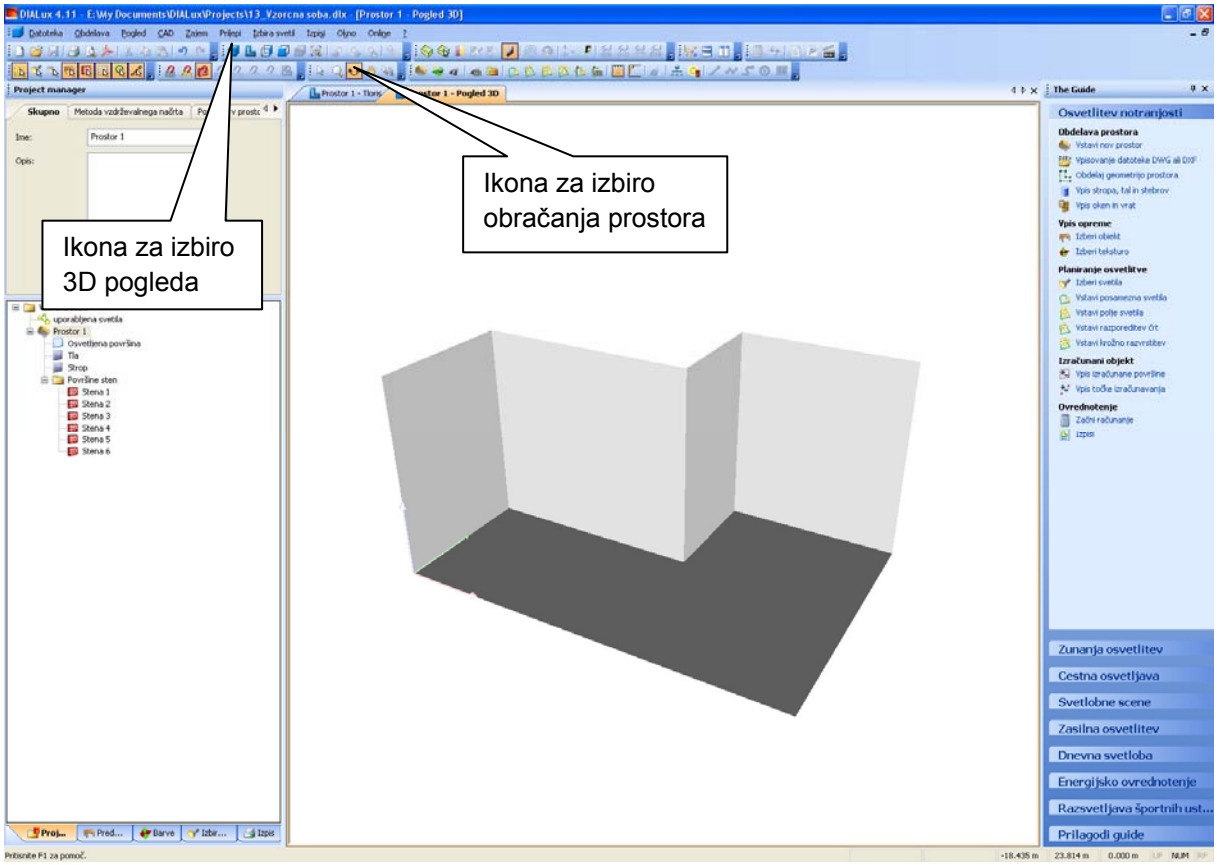


Slika 10.17: Glavni meni in vrstice z ikonami v programu DIALux.

S pomočjo ikon v zgornji vrstici lahko prehajamo med različnimi pogledi. Na voljo so na nam 3D pogled , tloris , stranski ris in pogled od spredaj . V 3D pogled lahko preklopimo s pomočjo desnega miškinega gumba, s klikom na ikono v orodni vrstici ali s tipko F8. V tlorisni pogled lahko preklopimo prav tako preko ustrezne ikone, desne miškine tipke ali tipke F9. Za vstavljanje novih elementov prostora (pohištvo, okna, vrata…) se priporoča uporabo tlorisnega pogleda, ker tako najlažje izberemo pravo mesto predmeta.

Po vnosu vedno preverimo še, če je tudi višina predmeta prava, še posebej če predmet ne stoji na tleh (na primer pri okrasnih elementih kot so rože, slike, LCD zasloni…). To najlažje storimo z uporabo pogleda od spredaj in stranskega risa.

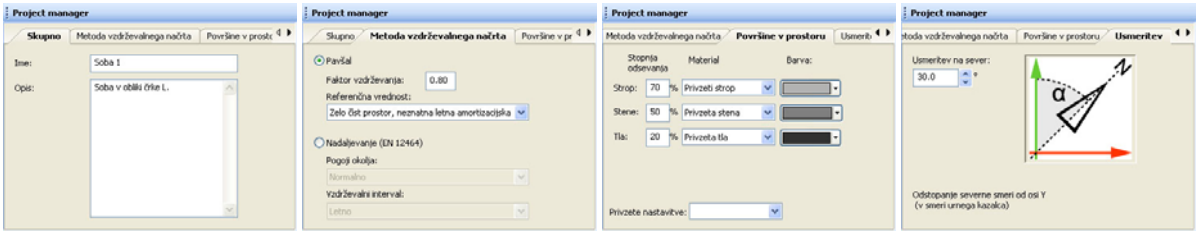
Za vrtenje prostora v 3D pogledu kliknemo na gumb z dvojno puščico in uporabimo miško. Za premikanje prostora znotraj okna CAD vmesnika kliknemo na gumb z roko ali uporabimo kolešček miške. Za sprehod po prostoru uporabimo gumb z dvema stopaloma, nato pa se lahko premikamo s pomočjo miške.



Slika 10.18: 3D pogled prostora v CAD vmesniku nam omogoča, da prostor obrnemo v želeno smer in izberemo ustrezno točko pogleda. Stene, ki bi ovirale pogled v prostor, DIALux ne nariše.

10.4.1 UREJANJE PODATKOV O PROSTORU

Ko v ***Upravitelju projekta*** označimo prostor, mu lahko s pomočjo ***Pregledovalca*** določimo različne lastnosti. V zavihku ***Skupno (General)*** prostor poimenujemo in mu dodamo opis.

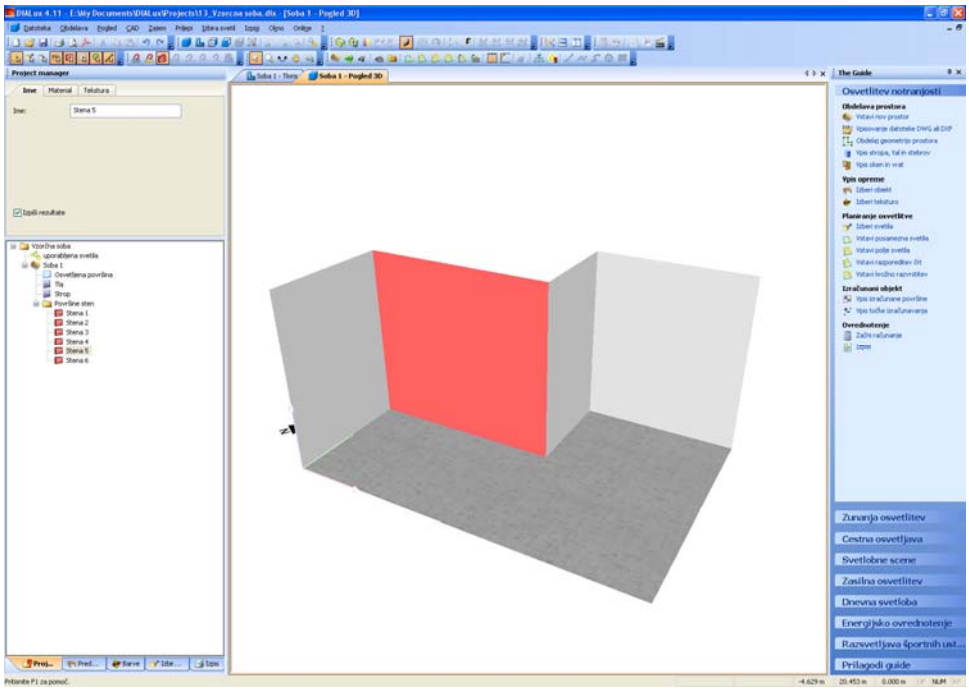


Slika 10.19: Posamezni zavihki Pregledovalca, kjer lahko določimo (popravimo) lastnosti izbranega prostora.

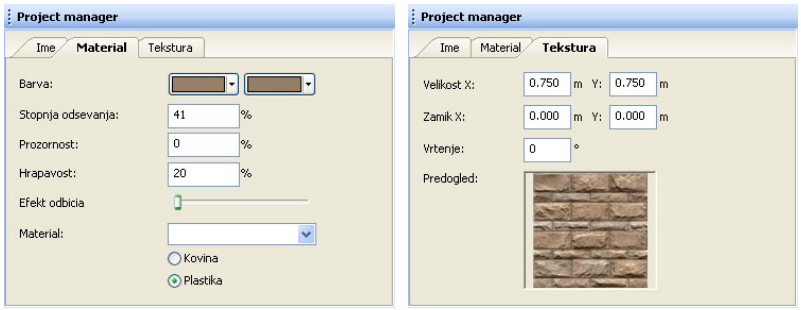
V zavihku ***Metoda vzdrževalnega načrta*** lahko podamo faktor vzdrževanja oz. izberemo način uporabe prostora ali pa skladno s standardom SIST EN 12464 izberemo pogoje okolja in vzdrževalni interval. Zavihek ***Površine v prostoru*** uporabimo za določitev odsevnih lastnosti stropa, sten in tal. Pri spremembi odsevnih lastnosti sten je potrebno imeti v mislih, da se bo sprememba vedno nanašala na vse stene v prostoru. Zavihek ***Usmeritev*** služi za določitev usmeritve prostora glede na geografski sever. Usmeritev prostora je pomembna pri izračunih dnevne svetlobe saj vpliva na smer vpada svetlobe v prostor.

10.4.2 SPREMINJANJE LASTNOSTI POSAMEZNIH STEN

V 3D pogledu najprej izberemo steno, ki ji želimo spremeniti lastnosti (klik na ikono in nato klik na steno). Izbrana stena se obarva rdeče (steno lahko izberemo tudi v ***Upravitelju projekta***), lastnosti stene pa se prikažejo v ***Pregledovalcu***. Pod posameznimi zavihki lahko spremenimo ime stene ter material in teksturo za prikaz. Skupaj s spremembo materiala se spremeni tudi odsevnost stene.



Slika 10.20: Posamezni Steno, katere lastnosti želimo spremeniti, lahko izberemo s klikom z levo miškino tipko, lahko pa steno izberemo tudi v Pregledovalcu. Izbrana stena se obarva rdeče.



Slika 10.21: Posamezni zavihki Pregledovalca, kjer lahko določimo (popravimo) lastnosti izbrane stene. Poleg barve in teksture stene lahko določimo odsevnost, ki vpliva na rezultate izračuna osvetljenosti v prostoru. Zato moramo pri spremembi barve vedno preveriti tudi, če je odsevnost ustrezna.

10.5 VSTAVLJANJE ELEMENTOV V PROSTOR

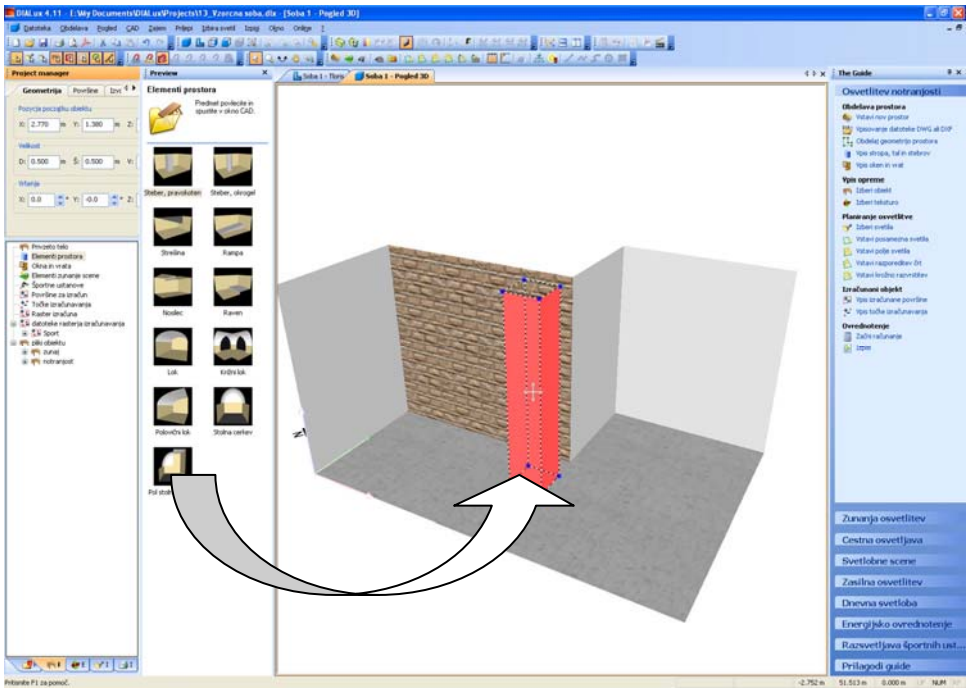
S spreminjanjem geometrije prostora lahko spremenimo samo geometrijo (položaj) zunanjih površin prostora. V kolikor je prostor arhitekturno bolj razgiban (vsebuje npr. stebre, klančine, predelne stene …) moramo te arhitekturne (prostorske) elemente vstaviti v prostor naknadno. Prav tako pa lahko v prostor vstavimo tudi opremo (pohištvo, naprave, dekorativne predmete ….)

10.5.1 SPREMINJANJE PROSTORA S PROSTORSKIMI ELEMENTI

V DIALux-u je mogoče prostor dopolniti z dodajanjem določenih prostorskih elementov, kot so npr. poševni strop, pravokotni ali okrogel steber, rampa, obok, ipd.

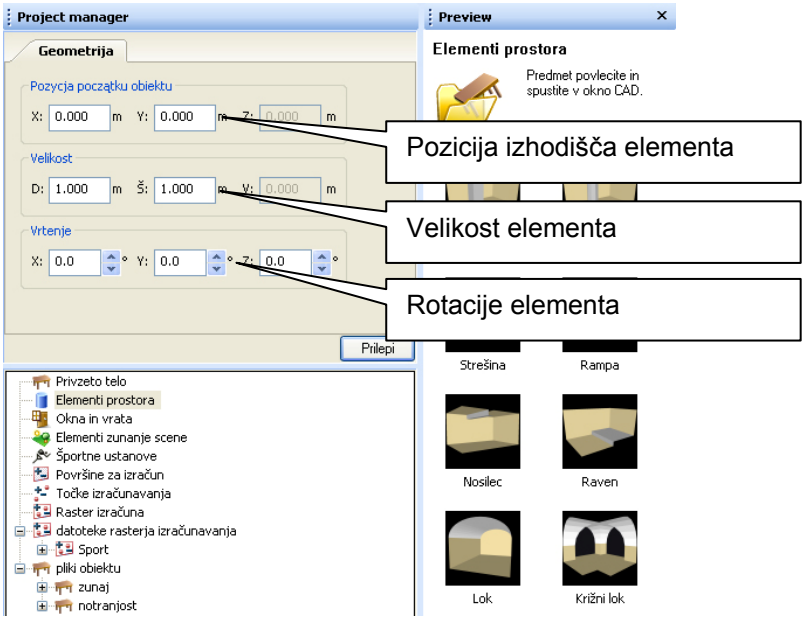
Slika 10.22: Različni prostorski elementi, ki jih lahko uporabimo za oblikovanje prostora.

Za vstavljanje elementa v prostor najprej odpremo zavihek ***Predmeti*** in v seznamu izberemo ***Elementi prostora***. V vmesnem oknu se nam pojavijo elementi, ki jih lahko po principu povleci in spusti (Drag & Drop) vstavimo v prostor. Pri vstavljanju lahko uporabljamo katerikoli pogled.



Slika 10.23: Prostorski element preprosto prenesemo iz seznama (po principu »povleci in spusti«) v npr. 3D pogled v CAD vmesniku. Enako lahko predmet prenesemo tudi v tlorisni ali kateri drug pogled.

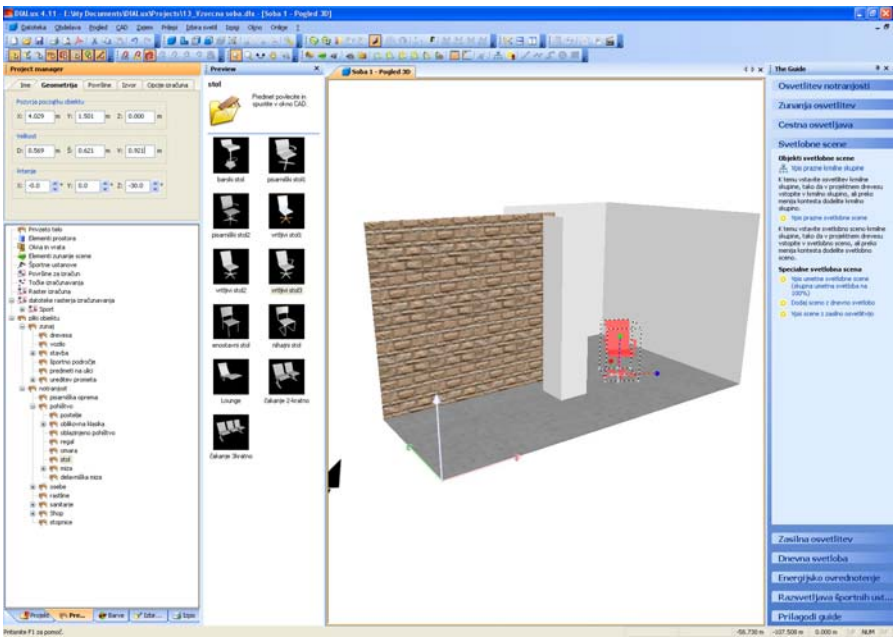
Element lahko vstavimo oziroma popravimo njegov položaj tudi preko vnosa koordinat v ***Pregledovalcu***. Predmet najprej izberemo, v zgornji del ***Pregledovalca*** vnesemo želene koordinate, kjer ta predmet želimo, v sredinski del vpišemo dimenzije elementa in v spodnji del vnesemo morebitno rotacijo ter kliknemo gumb ***Prilepi*** (***Paste***). Vse te parametre lahko v ***Pregledovalcu*** spreminjamo tudi kasneje, ko je element že vstavljen v prostor.



Slika 10.24: V Pregledovalcu lahko izbranemu prostorskemu elementu spremenimo položaj v prostoru (preko koordinat), velikost in rotacijo okoli vseh treh prostorskih osi.

10.5.2 VNOS POHIŠTVA

Pohištvo lahko vnesemo v prostor enako kot prostorske elemente: po sistemu povleci in spusti ali preko ***Pregledovalca***.



Slika 10.25: Pohištvo postavimo v prostor s pomočjo miške in načina »povleci in spusti« iz seznama pohištva levo od CAD vmesnika.

Če objekte vnašamo predvsem zaradi foto-realističnega prikaza prostora ne pa zaradi njihovega vpliva na svetlobno-tehnične razmere (manjši kosi pohištva, dekorativni predmeti …), je priporočljivo da jih označimo kot dekorativne objekte. To naredimo tako, da izberemo objekt, uporabimo desni gumb na miški in izberemo ***Uporaba kot dekoracijski objekt***. V nasprotnem primeru se površine objektov (odsevnosti) upoštevajo pri izračunu osvetljenosti v prostoru, to pa lahko precej podaljša potreben čas za izračun. Seveda pa tega ne smemo narediti pri večjih predmetih v prostoru (na primer pri omari iz temnega lesa, ki v celoti pokriva sicer belo steno), ker bodo v tem primeru rezultati izračuna precej odstopali od dejanskih razmer.

Kreiranje lastnega pohištva

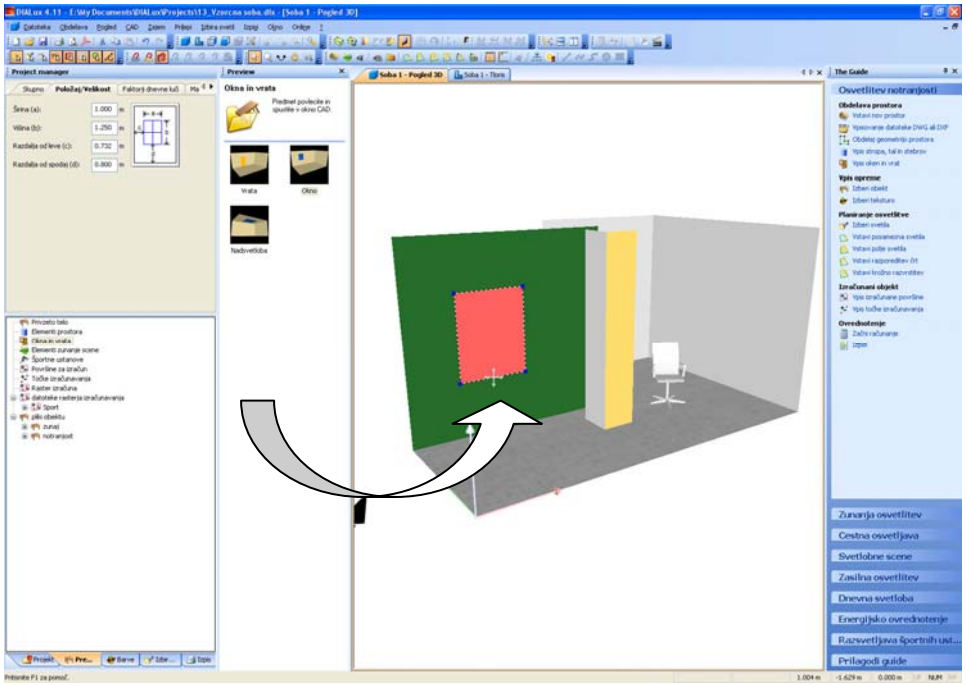
V DIALux-u je možno kreirati tudi lastno pohištvo s kombiniranjem standardnih elementov. Pri tem pa je potrebno paziti, da elemente sestavimo tako, da DIALux pri izračunu ne bo mogel upoštevati skritih površin. Lastno pohištvo lahko nato shranimo (***Datoteka*** -> ***Izvozi*** -> ***Shrani pohištvo***) in ga kasneje uporabimo še v drugih projektih. Pohištvo je vidno tudi v pohištveni drevesni strukturi (po osvežitvi pogleda).

Uvoz datotek s pohištvom

Pohištvo je možno tudi uvoziti iz drugih programov, kot je npr. AUTOCAD preko menija ***Datoteka*** -> ***Uvozi*** -> ***Datoteke s pohištvom***. DIALux uvaža datoteke s pohištvom, ki imajo končnico *.sat.

10.5.3 OKNA IN VRATA

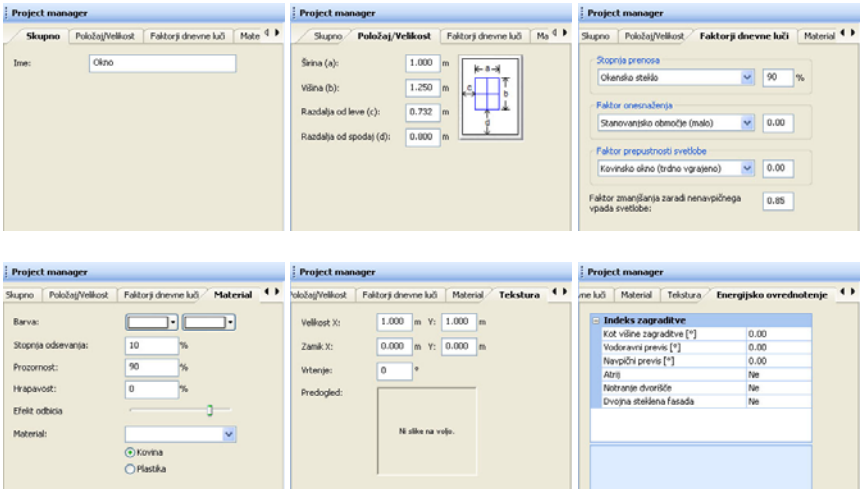
Tudi okna in vrata lahko vnesemo v prostor po sistemu »povleci in spusti«. Pozicija teh elementov je lahko samo na zunanjih zidovih obravnavanega prostora.



Slika 10.26: Okna (ali vrata) vstavimo v prostor enako kot ostale prostorske elemente iz seznama ob CAD vmesniku.

V ***Pregledovalcu*** lahko za okno pod posameznimi zavihki nastavimo:

- ime okna,
- velikost okna, oddaljenost okna od tal (višina parapeta) in oddaljenost od leve stene,
- podatke, ki so pomembni za izračun dnevne svetlobe (presevnost, onesnaženost območja in faktor okvirja),
- podatke o materialu zasteklitve,
- velikost, zamik in vrtenje teksture,
- podatke, ki so pomembni pri energijskem vrednotenju zgradbe.



Slika 10.27: Zavihki v Pregledovalcu, kjer lahko nastavimo različne lastnosti okna.

Pri vratih je nastavitev nekoliko manj, a vseeno lahko nastavimo:

- ime vrat, kam se vrata odpirajo in na kateri strani vrat so tečaji,
- velikost vrat, oddaljenost vrat od tal in oddaljenost od leve stene,
- podatke o materialu vrat,
- velikost, zamik in vrtenje teksture.

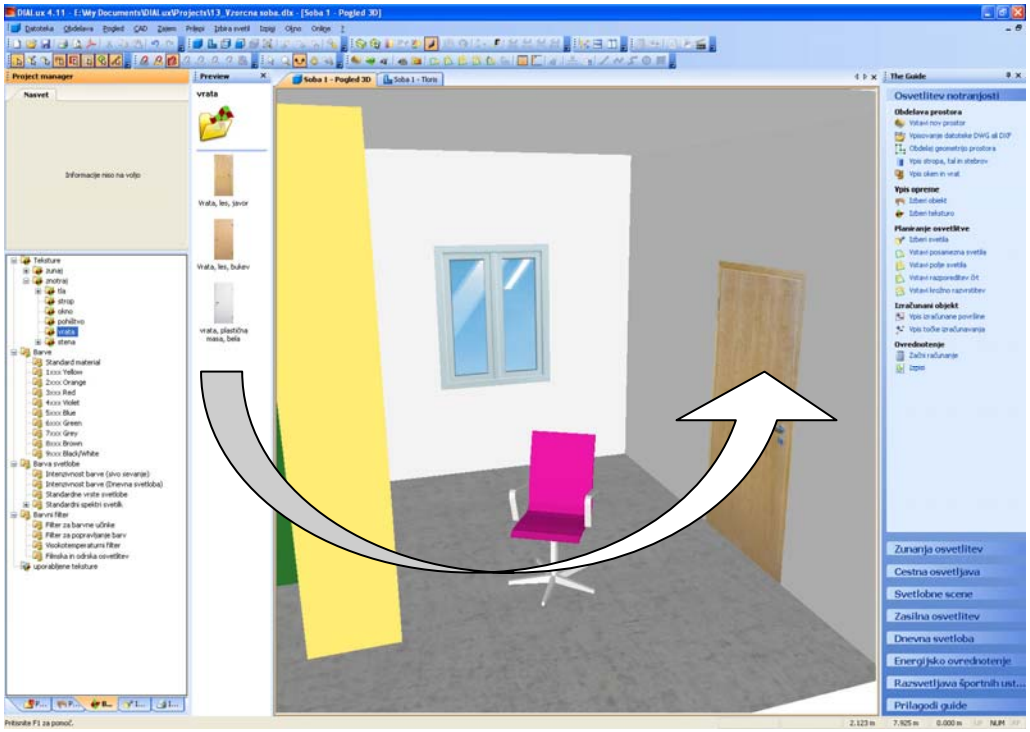
10.5.4 VSTAVLJANJE TEKSTUR

Tudi teksture lahko vnašamo po sistemu »povleci in spusti«. Če želimo izbrano površino opremiti s teksturo, le-to izberemo iz seznama na zavihku ***Barve*** v in jo povlečemo na površino. S teksturami lahko opremimo samo na prave površine v prostoru (okna, vrata, pohištvo, stene …) ne pa tudi virtualne (računske) površine. Tekstura, ki jo povlečemo na izbrani predmet, se bo prilepila na vse površine tega predmeta, ki imajo določeno enako barvo (npr. če so vse stene v prostoru enake barve in na eno od njih prilepimo teksturo z opeko, se bo le-ta prilepila na vse stene prostora. Če pa želimo s teksturo opremiti samo eno površino, moramo pri lepljenju teksture držati dvigalko (tipko ***Shift)***.

Urejanje tekstur

Če tekstura ni pravilno prilepljena, jo lahko kasneje popravimo oz. uredimo. Ob izbiri predmeta v CAD vmesniku so v ***Pregledovalcu*** prikazane lastnosti površin z dodatnimi informacijami o teksturi. Če je tekstura npr. napačno orientirana lahko to popravimo v ustreznem zavihku ***Pregledovalca***. Prav tako lahko teksturo premaknemo in jo povečujemo

oz. zmanjšujemo ter tako prilagodimo velikosti izbranega predmeta oziroma prostora. Pri opremljanju predmetov v prostoru se moramo zavedati, da izbrana tekstura ne vpliva na svetlobno-tehnične izračune, zato je potrebno vsaki površini podati tudi ustrezno barvo oziroma odsevnost.



Slika 10.28: Vrata vstavimo na izbrano steno po principu »povleci in spusti«. Teksturo vrat lahko izberemo že na seznamu vrat, lahko pa jo kasneje tudi zamenjamo ali ustrezno uredimo.

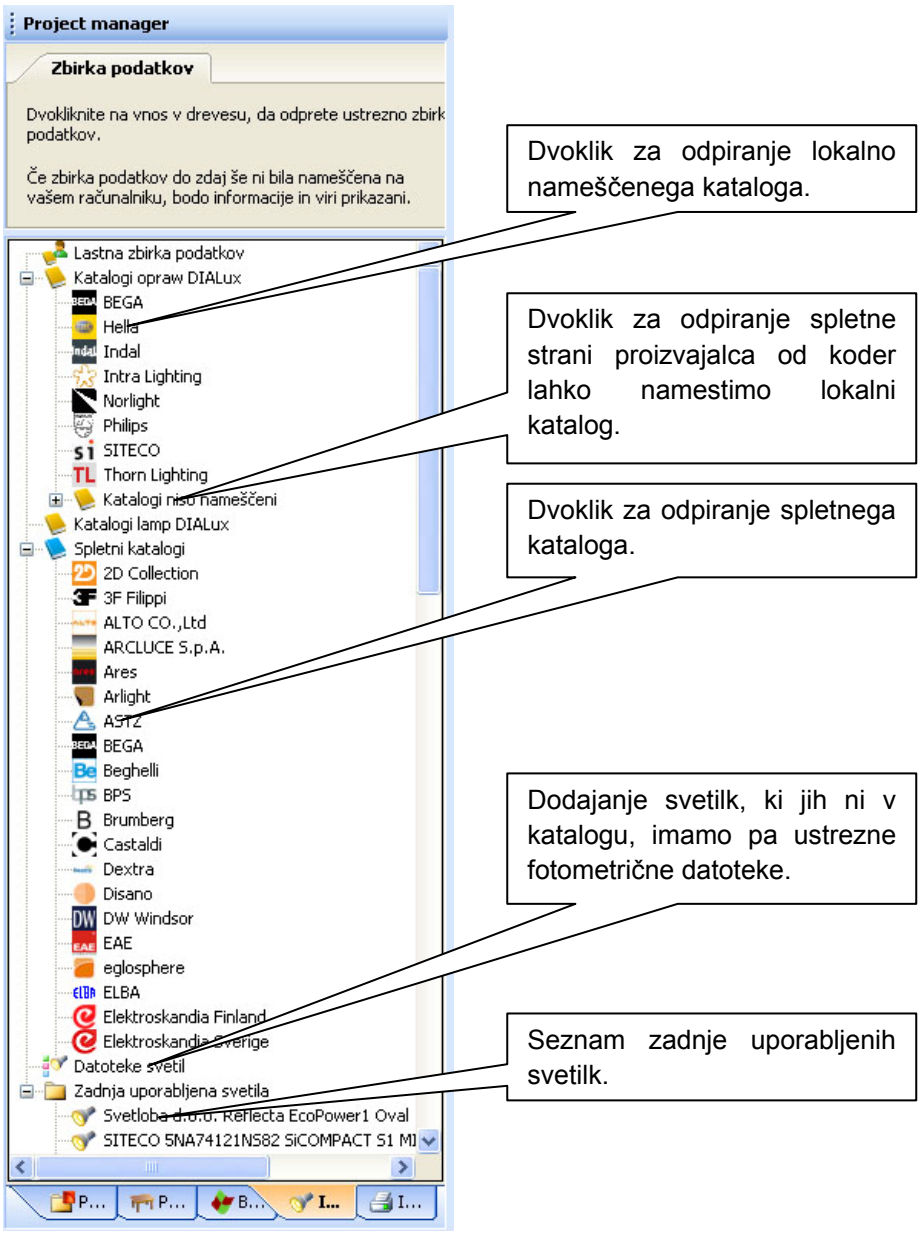
10.6 VNOS IN UREJANJE SVETILK IN SISTEMOV SVETILK

S klikom na ***Izbiro svetil*** v ***Vodiču*** ali s klikom na zavihek ***Izbira svetil***, odpremo drevesno strukturo za izbiro svetilk. V drevesni strukturi v ***Upravitelju projekta*** (***Projektni manager***) lahko vidimo seznam lokalno nameščenih katalogov svetilk ter seznam spletnih katalogov. Posamezen katalog odpremo z dvojnim klikom na ime kataloga (običajno kar ime proizvajalca). V drevesni strukturi je prikazan je tudi seznam proizvajalcev svetilk (s katerimi ima DIALux sklenjeno partnersko pogodbo), katerih katalogi še niso nameščeni.

Svetilke iz katalogov, ki so nameščeni na računalniku lahko takoj uporabimo v projektu. Kataloge, ki pa še niso na računalniku, pa moramo najprej namestiti. To storimo z dvoklikom na ime takega proizvajalca oziroma kataloga. S tem odpremo njegovo internetno stran, od koder si lahko katalog nato naložimo. Svetilke lahko v projekt vnašamo tudi direktno iz spletnih katalogov. Lokalna namestitev v tem primeru ni potrebna.

V programu DIALux lahko uporabimo tudi svetilke, ki ne izvirajo iz posameznih katalogov proizvajalcev ampak jih v program uvozimo samo z ustreznimi fotometričnimi datotekami. Te datotek imamo lahko shranjene v mapi, ki je dostopna preko izbire "Datoteke svetil"

Na koncu drevesnega seznama so vedno navedena zadnja uporabljena svetila, kar omogoča njihovo hitrejšo izbiro.



Slika 10.29: Upravitelj projekta z drevesno strukturo katalogov svetilk. Najprej so navedeni katalogi, ki so nameščeni na računalniku. Sledijo jim spletni katalogi svetilk, ter datoteke svetilk, ki smo jih uvozili sami. Na koncu so navedene še zadnje uporabljene svetilke.

Ko želimo izbrani prostor opremiti s svetilkami, v ***Vodiču*** na desnem robu zaslona izberemo poglavje ***Osvetlitev notranjosti***. Nato v seznamu poiščemo naslov ***Planiranje osvetlitve***. V tem delu lahko izberemo svetila, ki jih bomo uporabili v prostoru in jih na različne načine vnesemo v prostor.

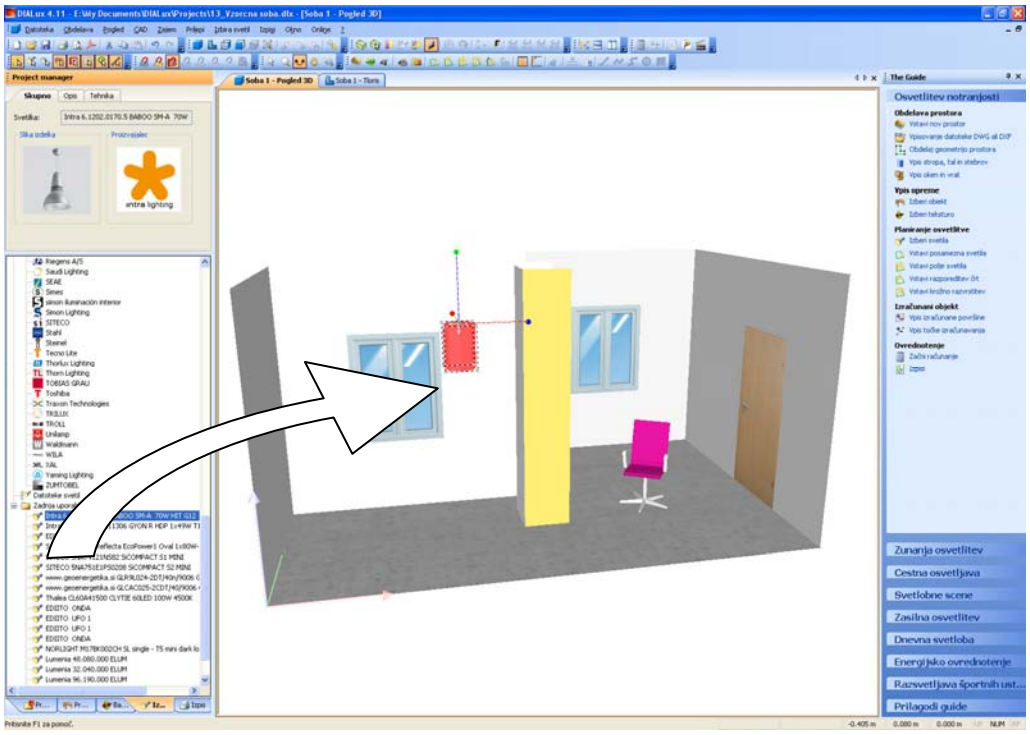
Na voljo imamo 4 načine umestitve svetilk v prostor in sicer:

- umestitev posamezne svetilke,
- umestitev pravokotnega polja svetilk,
- umestitev linije svetilk ter
- umestitev krožnega polja svetilk.

Slika 10.30: Vodič (The Guide) za osvetlitev notranjosti. Označen je del, kjer lahko izberemo svetilke, ki jih bomo uporabili pri razsvetljavi izbranega prostora ter način, kako jih bomo vnesli v prostor.

10.6.1 VNOS POSAMEZNIH SVETILK

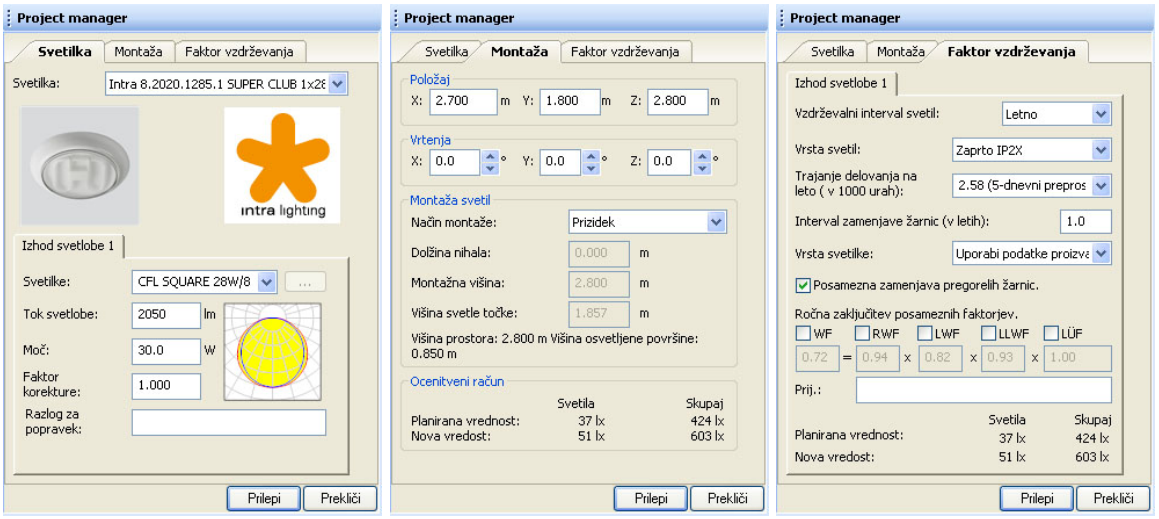
Posamezne svetile lahko vnesemo v prostor iz drevesne strukture na zavihku ***Izbira svetil*** v ***Upravitelju projekta*** po postopku »povleci in spusti«.



Slika 10.31: Posamezne svetilke lahko vnesemo v prostor po principu »povleci in spusti« iz seznama v Upravitelju projekta enako kot ostale elemente v prostoru. Nato uredimo še njihov položaj.

Svetilka je v prostor vstavljena na tisti poziciji, kjer smo izpustili miškino tipko. Zato moramo po vnosu svetilke ustrezno urediti (popraviti) njen položaj v prostoru (ne pozabimo na ustrezno višino) in orientacijo (usmerjenost). To lahko naredimo z miško ali pa s spreminjanjem podatkov o svetilki v ***Pregledovalcu***.

Svetilko lahko vstavimo v prostor tudi s klikom na ***Vstavi posamezna svetila*** v ***Vodiču.*** Po kliku se v CAD vmesniku prikaže svetilka, v ***Pregledovalcu*** pa trije zavihki z lastnosti vstavljene svetilke. Preden svetilko vstavimo tako lahko pregledamo in ustrezno spremenimo njene podatke (na zavihku ***Svetilka***), položaj svetilke v prostoru in njeno usmerjenost ter način montaže (na zavihku ***Montaža***) ter podatke, ki vplivajo na faktor vzdrževanja (na zavihku ***Faktor vzdrževanja***). Slednji podatki vplivajo na razmerje med planirano vrednostjo osvetljenosti (ki mora ustrezati vzdrževani osvetljenosti iz standarda SIST EN 12464) ter začetni vrednosti osvetljenosti (ko je razsvetljava nova), tako da jim moramo nameniti ustrezno pozornost. Na dnu ***Pregledovalca*** sta gumba ***Prilepi*** in ***Prekliči*** s katerima lahko potrdimo ali prekličemo vnos svetilke v prostor.



Slika 10.32: Trije zavihki s podatki o svetilki, njeni montaži in faktorju vzdrževanja, ki so na voljo v Pregledovalcu ko vnašamo novo svetilko preko vodiča oziroma spreminjamo njene lastnosti po vnosu iz Upravitelja projekta.

Na zavihku ***Svetilka*** izberemo svetilko. Privzeta svetilka je zadnja svetilka, ki smo jo uporabili. Le-to lahko preko spustnega seznama enostavno zamenjamo. Na zavihku ***Montaža*** nastavimo lokacijo svetilko, morebitno rotacijo in višino namestitve. Na zavihku ***Faktor vzdrževanja*** pa nastavimo vse podatke, ki so pomembni za izračun faktorja vzdrževanja. Ko smo vnesli vse podatke, pritisnemo na gumb "Prilepi".

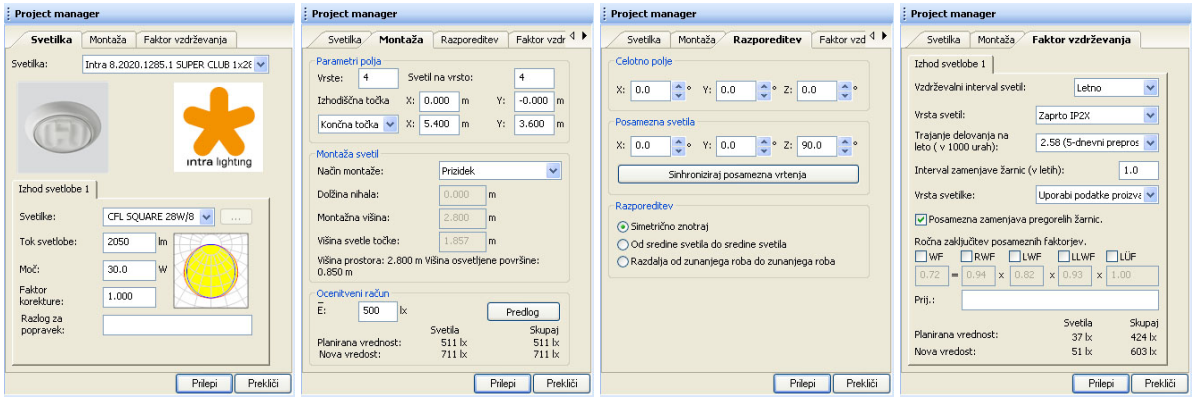
Če želimo te podatke naknadno spremeniti, do njih lahko dostopamo preko drevesne strukture v ***Upravitelju projekta***, kjer izberemo ustrezno ***Posamezno razporeditev***.

10.6.2 VNOS POLJA SVETILK

Vnos polja (ali razporeditve) svetilk nam omogoča da v prostor hkrati vnesemo večje število enakih svetilk, ki so razporejene v ustrezen geometrični vzorec (pravokotno polje,

linijo ali krožno razporeditev). Te možnosti nam nekoliko olajšajo delo pri projektiranju razsvetljave večjih prostorov in poskrbijo za res enakomerno razmestitev svetilk.

Pravokotno polje svetilk vnesemo v prostor z izbiro ***Vstavi polje svetila*** v ***Vodiču***. Pred vstavljanjem polja svetilk je priporočljivo v CAD vmesniku spremeniti pogled na tloris. Po kliku na ***Vstavi polje svetila***, se na tlorisu prostora v CAD vmesniku pokaže predlagano polje za namestitev svetilk, v ***Pregledovalcu*** pa štirje zavihki z lastnosti. Na dnu ***Pregledovalca*** se prikažeta gumba ***Prilepi*** in ***Prekliči***.



Slika 10.33: Ko v projekt vnašamo polje svetilk imamo v Pregledovalcu na voljo štiri zavihke. Poleg treh, ki so podobni kot v primeru vnosa posamezne svetilke, je dodan še četrti z lastnostmi polja.

Na zavihku ***Svetilka*** izberemo ustrezno svetilko. Privzeta svetilka je zadnja svetilka, ki smo jo uporabili, lahko pa svetilko preko spustnega seznama enostavno zamenjamo z drugo. Na zavihku ***Montaža*** nastavimo število vrstic in stolpcev svetil, izhodišče polja svetilk in velikost polja. Velikost polja je lahko definirana s končno točko, razdaljo med svetilkami ali z razdaljo v obeh smereh. Na sredini tega zavihka definiramo tudi višino namestitve svetilk. V spodnjem delu zavihka lahko vpišemo želeno povprečno osvetljenost v prostoru in pritisnemo na gumb ***Predlog***. V tem primeru bo program sam predlagal število in razporeditev svetilk s katero je v prostoru možno doseči vneseno želeno osvetljenost. Na zavihku ***Razporeditev*** lahko spreminjamo rotacijo celotnega polja ali rotacijo posameznih svetilk. Na zavihku ***Faktor vzdrževanja*** pa nastavimo vse podatke, ki so pomembni za izračun faktorja vzdrževanja. Ko smo vnesli oziroma preverili vse podatke, pritisnemo na gumb ***Prilepi***.

Če želimo te podatke naknadno spremeniti, do njih lahko dostopamo preko drevesne strukture v ***Upravitelju projekta***, kjer izberemo ustrezno ***Razporeditev v polje***. Lahko pa v CAD vmesniku izberemo polje svetilk in nato v ***Pregledovalcu*** uredimo podatke.

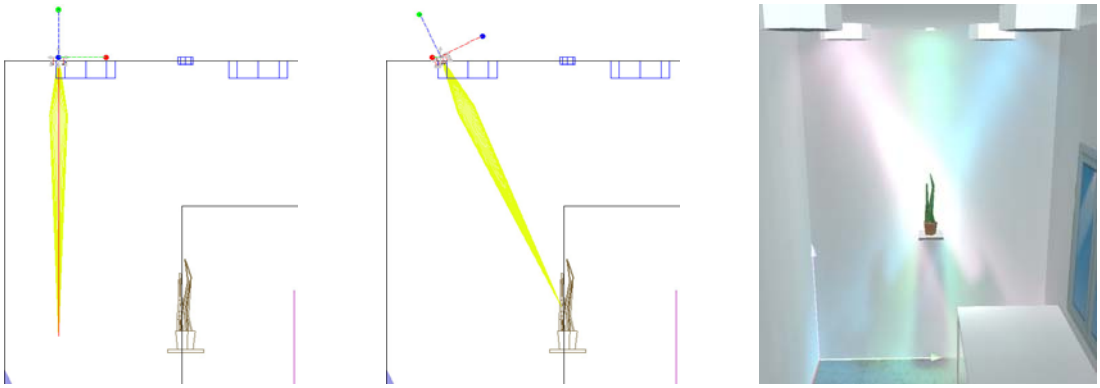
Na podoben način vstavljamo tudi skupine svetilk, ki so razvrščene v linijo ali pa krožno razporejene svetilke.

10.6.3 USMERJENOST SVETILK

Vsaki od svetilk v prostoru lahko spreminjamo tudi usmerjenost. Večina svetilk seveda sveti naravnost navzdol, kar je tudi privzeta usmerjenost, ko svetilko vnesemo v prostor. Vendar pa želimo včasih svetilko usmeriti kam drugam. Večinoma so to svetilke, ki so

namenjene osvetlitvi posameznih predmetov npr. v izložbah ali galerijah. Svetilko lahko usmerimo na več načinov. Najlažji način je z uporabo določitve točke osvetlitve.

Recimo, da želimo z LED reflektorji (z barvno svetlobo) osvetliti predmet, ki se nahaja na polici na eni od sten. Najprej v CAD vmesniku izberemo ustrezen pogled (npr. stranski ris), tako da vidimo vse tri LED svetilke in polico s predmetom, ki ga želimo osvetliti. Nato v CAD vmesniku izberemo prvo svetilko. Če imamo vključeno funkcijo ***3D-prikaz porazdelitve svetlobe (izbran)*** se prikaže prostorska porazdelitev svetlobe izbrane svetilke s pomočjo katere lahko vidimo, kam je svetilka usmerjena. Potem pritisnemo desno miškino tipko in izberemo ***Določi točko osvetlitve***. Ker bi radi svetilko usmerili tako, da bo največja svetilnost v smeri proti predmetu, ki ga osvetljujemo, izberemo ***Usmerite proti I max***. Pojavi se krog s križem in le-tega postavimo na predmet na polici. Enako naredimo še za ostali dve svetilki. Po izvedenem izračunu osvetljenosti, se v 3D pogledu lepo vidi da so vse tri svetilke usmerjene na predmet na polici.



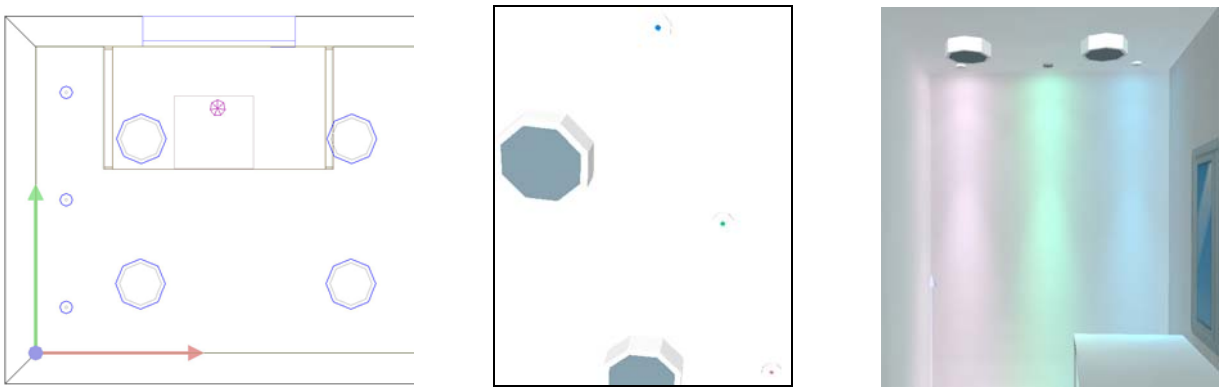
Slika 10.34: Posamezne svetilke lahko tudi usmerimo v želeno smer. Na levi sliki vidimo, da izbrana svetilka sveti naravnost navzdol. S pomočjo obračanja svetilke ali katerega od ostalih načinov usmerjanja lahko svetilko usmerimo v želeno smer, na primer na določen predmet (srednja slika). Usmerjenost svetilke se lepo vidi v 3D prikazu prostora po izvedenem izračunu osvetljenosti (desna slika).

Usmerjenost svetilk lahko spreminjamo tudi na druge načine. Ena od možnosti je preko ***Pregledovalca***, kjer ročno vpišemo koordinate oz. kote rotacije po posameznih smereh, za katere bi radi obrnili svetilko. Lahko pa svetilko obrnemo (usmerimo) tudi s pomočjo premikanja barvnih točk (rdeča, zelena in modra) na oseh, ki v CAD vmesniku podajajo položaj in usmerjenost svetilke.

10.6.4 BARVA SVETLOBE SVETILKE

Posameznim svetilkam lahko spremenimo tudi barvo svetlobe, ki jo le-te oddajajo. Recimo, da želimo na eni od sten v prostoru ustvariti barvni svetlobni vzorec. V katalogu izberemo ustrezne svetilke, na primer tri ozkosnopne LED reflektorje in jih vstavimo v prostor z ***Vstavi posamezno svetilo***. Svetilke namestimo blizu stene ali pa jih naknadno usmerimo na steno, kot je bilo opisano v zgornjem primeru osvetlitve predmeta. Vse tri svetilke dodamo novi krmilni skupini "LED RGB" in ustvarimo novo sceno, kjer bodo prižgane le-te tri LED svetilke (več o svetlobnih scenah je v poglavju v nadaljevanju). Vsaki svetilki nastavimo želeno barvo svetlobe: prva naj oddaja rdečo, druga zeleno in tretja modro svetlobo. Barvo svetlobe nastavimo tako, na v zavihku ***Barve*** v **Upravitelju projekta** izberemo ***Barvni filtri***

in nato ***Filtri za barvne učinke***. Iz seznama nato izberemo ustrezen filter ter ga po principu »povleci in spusti« dodamo izbrani svetilki. Da je bil barvni filter ustrezno nameščen na svetilko vidimo po tem, da svetilka dvakrat utripne. Če v 3D pogledu v CAD vmesniku svetilko pogledamo od spodaj, lahko vidimo, da je svetli del svetilke obarvan z barvo filtra. Po izvedenem izračunu lahko učinek barvnih filtrov vidimo tudi v 3D prikazu obravnavanega prostora.



Slika 10.35: Prikaz uporabe barvnih filtrov svetlobe na svetilkah. Na levi sliki so ob levi steni vstavljeni trije LED reflektorji, ki smo jih opremili z barvnimi filtri. Na srednji sliki lahko vidimo, da se v tem primeru svetla površina svetilke obarva v barvi izbranega filtra. Zgornja svetilka (mali reflektor) ima nameščen moder filter, srednja zelenega in spodnja rdečega. Na desni sliki lahko vidimo učinek barvne svetlobe v 3D prikazu prostora po izvedenem izračunu osvetljenosti.

10.6.5 SVETLOBNE SCENE

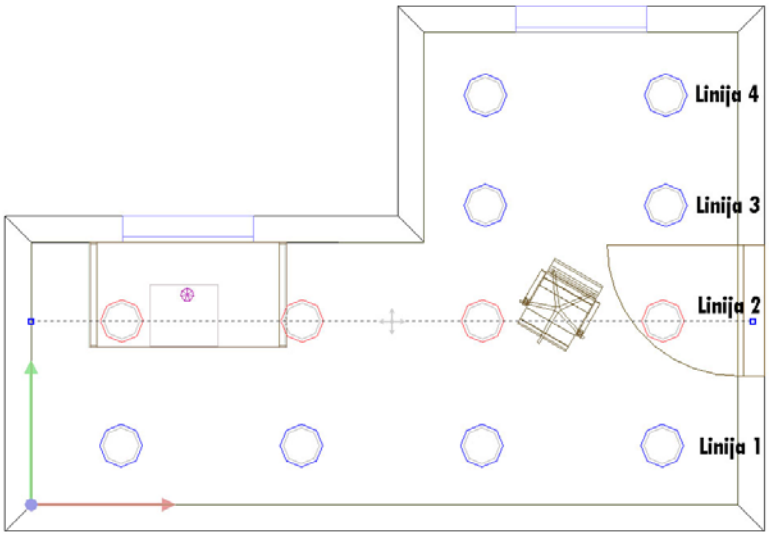
Sodobne svetilke z možnostjo regulacije svetlobnega toka in ustrezni krmilni sistemi danes omogočajo, da razsvetljavo v prostoru prilagajamo različnim dejavnostim, podobno kot prilagajamo razsvetljavo gledališkega odra različnim scenam. Ker gre za zelo podoben princip se je tudi v razsvetljavi uveljavil enak izraz in govorimo o različnih svetlobnih scenah. Na primer v predavalnici lahko predvidimo sceno za predavanje s pomočjo table, kjer je tabla ustrezno dodatno osvetljena. Druga scena bi lahko bila za predavanja s pomočjo projektorja, kjer mora biti prednja stena ustrezno temna vendar mora razsvetljava študentom omogočati pisanje zapiskov. Potem lahko predavalnico uporabljamo tudi za projekcije filmov, kjer je zaželeno, da je celotna predavalnica precej temna. In mogoče še scena za pisanje izpitov, kjer je zaželeno, da je celoten prostor dovolj osvetljen, da omogoča ustrezno zbranost med izpitom. Pri različnih svetlobnih scenah gre torej za to, da z istimi svetilkami v prostoru dosežemo različne svetlobne razmere.

Da lahko svetlobne razmere pri različnih predvidenih dejavnostih v prostoru preverimo že v fazi projektiranja, tudi program DIALux pozna svetlobne scene. Z njihovo uporabo lahko torej v enem samem prostoru (tlorisu) in z eno razporeditvijo svetilk izdelamo različne variante osvetlitve, ki se razlikujejo po tem, katere svetilke so vklopljene in katere izklopljene ter kolikšen delež polnega svetlobnega toka oddajajo.

Za lažje razumevanje potrebnih korakov pri preverjanju različnih svetlobnih scen si bomo njihovo uporabo ogledali na primeru našega testnega prostora. Kot lahko vidimo na naslednji sliki, smo v prostor vstavili 12 svetilk, ki so razporejene v 4 linije. Glede na položaj

oken v prostoru smo svetilke v linije razporedili tako, da so posamezne linije vzporedne s stenama, na katerih so okna. Tako so v spodnjih dveh linijah po štiri svetilke, v zgornjih dveh pa po dve svetilki. Izdelali bi radi 4 svetlobne scene, ki bodo omogočale različne dejavnosti v prostoru. Razlikovale se bodo seveda po stopnji zatemnitve (zmanjšanja svetlobnega toka) posamezne linije svetilk:

- scena 1: običajna uporaba prostora v času, ko ni na voljo dnevne svetlobe (vse svetilke oziroma vse štiri linije: 100 % (scena vse 100%);
- scena 2: uporaba prostora zjutraj in zvečer oziroma v dneh, ko je dnevne svetlobe premalo, da bi lahko v celoti izklopili umetno razsvetljavo: linija 1: 100 %; linija 2: 75 %, linija 3: 50 %; linija 4: 25 % (scena 100% 75% 50% 25%);
- scena 3: čiščenje prostora zahteva manjšo osvetljenost kot pisarniško delo: vse svetilke oziroma linije: 50 % (scena vse 50%);
- scena 4: počitek po delu oziroma čas pred začetkom dela, ko želimo v delu prostora nekoliko manjšo osvetljenost: linija 1: 100 %, linija 2: 100 %, linija 3: 50 %, linija 4: 50 % (scena 100% 100% 50% 50%).

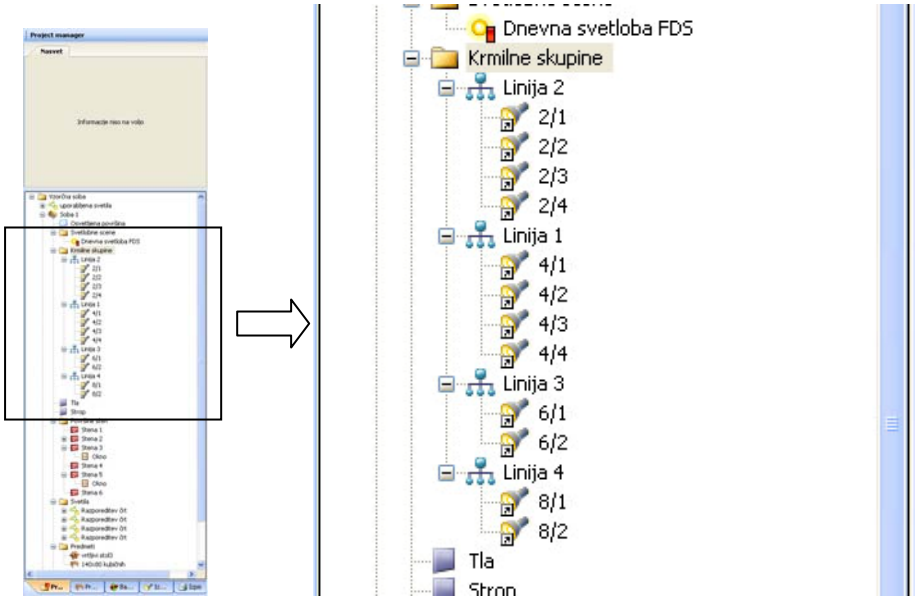


Slika 10.36: Obravnavani prostor s svetilkami, razporejenimi v štiri skupine (linije). Glede na položaj oken v prostoru so svetilke razporejene tako, da so linije vzporedne s stenama, na katerih so okna. To nam na primer omogoča, da lahko v prostoru z ustrezno sceno (scena 2) dosežemo enakomerno osvetljenost s kombinacijo dnevne svetlobe in umetne razsvetljave. Ko spreminjamo scene, imajo svetilke v eni liniji enak svetlobni tok.

Krmilne skupine

V posamezni sceni ima skupina svetilk (v zgornjem primeru svetilke v eni liniji) enak svetlobni tok, zato jih lahko krmilimo s skupnim krmilnikom. Ta princip je uporabljen tudi v DIALux-u, zato je potrebno posamezne svetilke, linije svetilk ali polja svetilk, ki bi jih radi uporabili v različnih scenah z različnim svetlobnim tokom, najprej razporediti v različne krmilne skupine. Svetilke, ki jih krmilimo skupaj z enim krmilnikom, dodamo v eno krmilno skupino. Krmilne skupine lahko tudi poimenujemo (npr. za zgornji primer: Linija 1, Linija 2, Linija 3, Linija 4). V našem primeru torej eno krmilno skupino predstavlja ena linija svetilk. Svetilke dodamo v krmilno skupino s pomočjo seznama v ***Upravitelju projekta*** (zavihek ***Projekt*** -> ***Soba 1*** -> ***Svetila*** -> ***Razporeditev črt*** -> pritisnemo desni miškin gumb

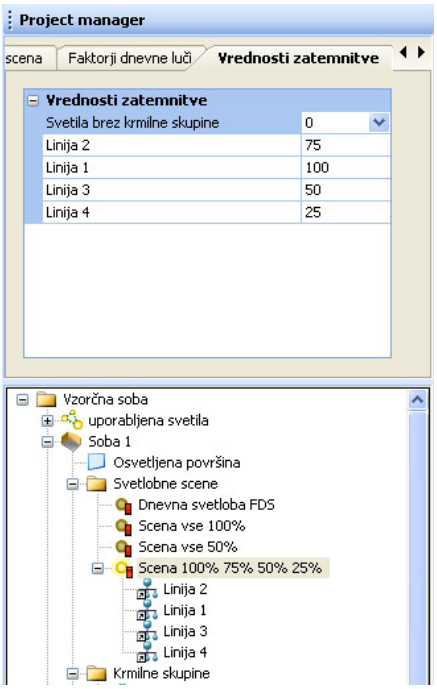
in izberemo ***Dodaj krmilni skupni*** -> ***Nova krmilna skupina***). Skupino svetilk lahko dodamo krmilni skupini tudi v CAD vmesniku tako, da izberemo linijo svetilk, pritisnemo desni miškin gumb in izberemo ***Dodaj krmilni skupni*** -> ***Nova krmilna skupina***.



Slika 10.37: Upravitelj projekta (levo) s povečanim delom, kjer so v drevesni strukturi navedene krmilne skupine. Vidimo, da imamo v projektu štiri krmilne skupine (Linija 1, Linija 1, Linija 2, Linija 3, Linija 4) s po štirimi (Linija 1 in Linija 2) oziroma s po dvema (Linija 3 in Linija 4) svetilkama. Vsaka svetilka je označena z svojo oznako oziroma imenom (npr. 2/1, 2/2 ...).

Vnos in lastnosti svetlobnih scen

Ko smo v DIALux vnesli krmilne skupine, lahko le-te uporabimo v različnih scenah (z različnim svetlobnim tokom). Svetlobne scene prav tako vnesemo in jim določimo lastnosti v ***Upravitelju projekta***.



Slika 10.38: Upravitelj projekta s Pregledovalcem med urejanjem svetlobnih scen.

Sceno, kjer imamo vse svetilke nastavljene na 100% svetlobnega toka (scena 1), ustvarimo zelo enostavno. V ***Vodiču*** vklopimo poglavje ***Svetlobne scene*** in izberemo ***Vpis umetne svetlobne scene (skupna umetna svetloba na 100%)***. Program bo v drevesno strukturo v ***Upravitelju projekta*** na zavihek ***Projekt*** dodal novo svetlobno sceno, ki jo preimenujemo v "Scena vse 100%". Sceno, kjer so vse svetilke na 50 % svetlobnega toka, lahko dodamo s kopiranjem prve scene (izberemo sceno, desni miškin gumb, izberemo ***Kopiraj svetlobno sceno***). Novo sceno preimenujemo v "Scena vse 50%" in v zavihku ***Vrednosti zatemnitve*** vrednost 100 % spremenimo na 50 %. Sceno, kjer ima vsaka linija svetilk svojo nastavitev svetlobnega toka ustvarimo tako, da izberemo eno od krmilnih skupin, kliknemo desni miškin gumb in izberemo ***Dodaj svetlobni sceni*** -> ***Nova svetlobna scena.*** Novo svetlobno sceno preimenujemo na primer v "Scena 100% 75% 50% 25%". Izbrano sceno v drevesni strukturi kliknemo z desnim miškinim gumbom in izberemo ***Dodajanje krmilne skupine***. Nato po vrsti dodamo še preostale tri krmilne skupine. Na zavihku ***Vrednosti zatemnitve*** posameznim krmilnim skupinam (linijam svetilk) še ustrezno spremenimo vrednost zatemnitve (svetlobnega toka). Zadnjo sceno lahko dodamo s kopiranjem tretje scene in po zgoraj opisanem postopku spremenimo vrednosti zatemnitve.

Kasneje, ko izvajamo izračune osvetljenosti v prostoru, lahko izberemo za katere svetlobne scene bomo izračune izvedli.

10.7 VSTAVLJANJE POVRŠIN ZA IZRAČUN

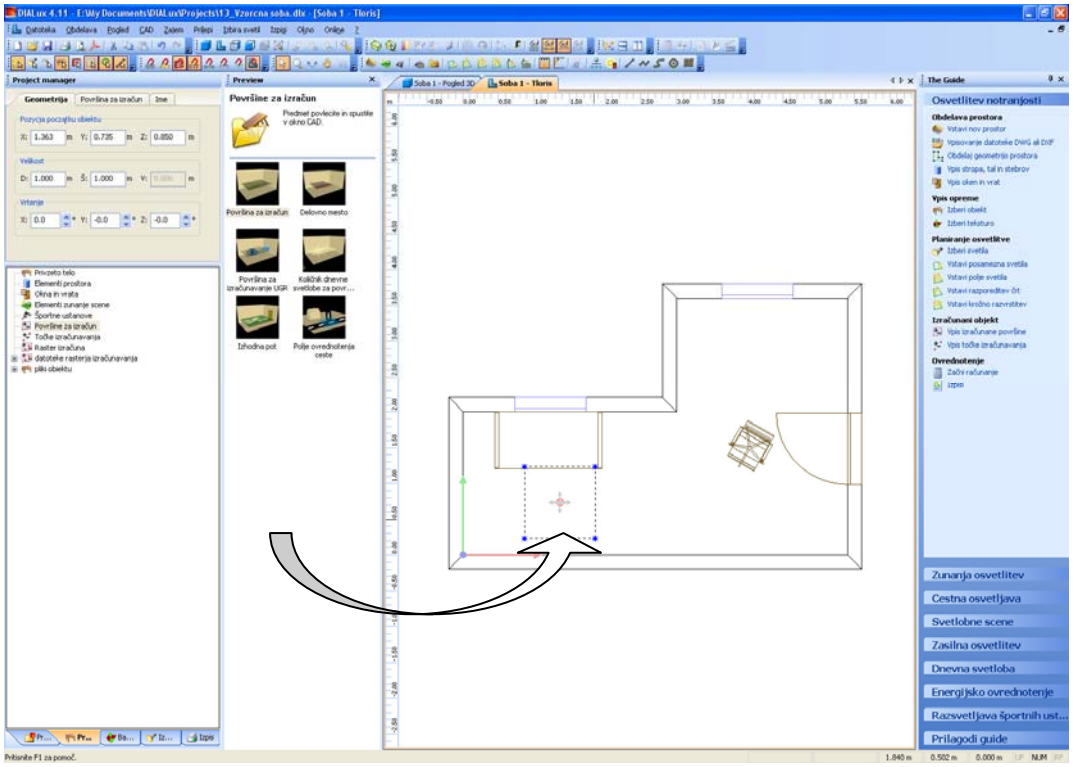
Skladno s standardom SIST EN 12464-1 moramo z razsvetljavo zagotoviti ustrezne delovne pogoje (vidne razmere) tam, kjer se opravljajo vidne naloge, torej na področju dela in v njegovi neposredni okolici. To pomeni, da ni potrebno zagotoviti v standardu navedene povprečne vzdrževane osvetljenosti za določeno delo (npr. 500 lx za branje in pisanje oz. pisarniško delo) v celotnem prostoru (pisarni), temveč le na področju dela oziroma vidne naloge. V primeru pisarne je to na primer površina (lahko tudi samo del površine) pisalne mize.

Če želimo, da bomo imeli v DIALux-u na voljo podatke o povprečni osvetljenosti in enakomernosti osvetljenosti na določeni (omejeni, npr. s površino pisalne mize) delovni površini, moramo v projekt vstaviti t.i. površino za izračun. V nasprotnem primeru DIALux izračuna povprečno osvetljenost in njeno enakomernost na celotni površini obravnavanega prostora. Seveda lahko v obravnavani prostor vnesemo več različnih površin za izračun. Te površine so lahko horizontalne, vertikalne oziroma nagnjene za določen kot, tako da jih lahko prilagodimo dejanskim področjem dela v prostoru.

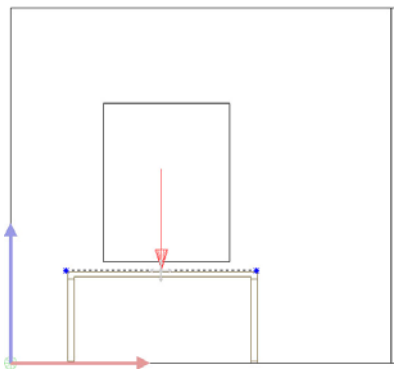
Površine za izračun se nahajajo v ***Upravitelju projekta*** na zavihku ***Predmeti***. V seznamu poiščemo ustrezno površino in jo po principu »povleci in spusti« vnesemo v prostor tako kot ostale predmete (pohištvo, svetilke …). Obliko površine za izračun lahko nato spremenimo s premikanjem posamezne stranice ali s pomočjo ***Pregledovalca***. V ***Pregledovalcu*** lahko spreminjamo tudi usmerjenost površine, če le-ta ni vzporedna s tlemi. Pri postavitvi površine za izračun v prostor moramo biti zelo pozorni tudi na nastavitev pravilne višine. Višina površine za izračun mora biti vsaj nekaj malega (npr. 1 mm) višja kot

je višina delovne površine. V nasprotnem primeru se površina za izračun nahaja v delovni površini (npr. v namizni ploskvi) in je tako tudi v njeni senci (izračunane vrednosti osvetljenosti bodo manjše ali sploh enake nič). Višino površine za izračun najlažje preverimo v ***Stranskem risu*** ali ***Pogledu od spredaj***. Lahko pa jo preverimo in ustrezno popravimo tudi v ***Pregledovalcu***.

Ko smo vnesli želeno površino za izračun, lahko v ***Pregledovalcu*** na zavihku ***Površina za izračun*** nastavimo še kaj želimo izračunati. Na voljo imamo različne osvetljenosti: pravokotno (pravokotno na površino za izračun), vertikalno (navpično), horizontalno (vodoravno), polcilindrično, cilindrično, polkrogelna in s kamero usmerjeno osvetljenost.



Slika 10.39: Površino za izračun lahko vstavimo v prostor enako kot ostale elemente prostora (npr. pohištvo) z miško po principu »povleci in spusti« iz menija ob Upravitelju projekta.



Slika 10.40: Če smo površino za izračun vnesli v tloris, naknadno v stranskem risu (ali pogledu od spredaj) preverimo še njeno višino. Površina za izračun mora biti vsaj malenkost (1 mm) višje od površine npr. pisalne mize.

Ko v obravnavani prostor vstavljamo površino za izračun svetlobno-tehničnih razmer na posameznem delovnem mestu, moramo posebej definirati površino vidne naloge oz. področja dela in posebej njeno neposredno okolico.

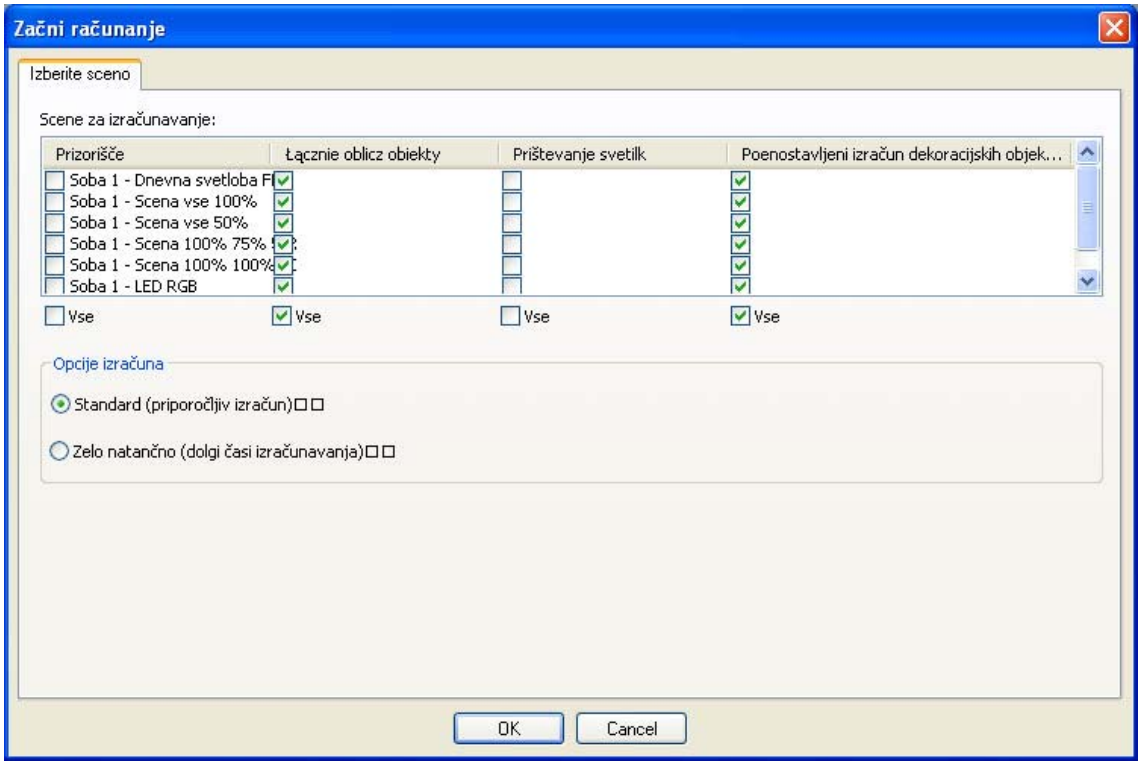
Površina za izračun osvetljenosti delovnega mesta se prav tako nahaja na zavihku ***Predmeti***. V prostor jo vnesemo po principu »povleci in spusti«. Nato ustrezno oblikujemo najprej površino področja dela (vidne naloge), ki mora biti ustrezne velikosti in nameščena na ustreznem mestu (npr. na delovni mizi). Nato oblikujemo še površino neposredne okolice vidne naloge. Če nam privzeta oblika površine neposredne okolice ne ustreza, jo lahko z desnim gumbom in izbiro ***Obdelaj površino*** ustrezno spremenimo. Tudi pri vstavljanju površine za izračun osvetljenosti delovnega mesta moramo biti zelo pozorni na nastavitev pravilne višine.

10.8 IZRAČUN SVETLOBNO TEHNIČNIH RAZMER

Ko izračunavamo svetlobno-tehnične razmere v obravnavanem prostoru imamo v DIALux-u več možnosti: izračun osvetljenosti prostora z umetno razsvetljavo, izračun osvetljenosti prostora z dnevno svetlobo in kombiniran izračun z umetno in naravno dnevno svetlobo.

10.8.1 IZRAČUN OSVETLJENOSTI V PROSTORU

Simulacijo svetlobno-tehničnih razmer oziroma izračun osvetljenosti v prostoru začnemo s klikom na ikono ***Začni izračunavanje*** . Izračun lahko poženemo tudi z ***Vodiča***, kjer v poglavju ***Osvetlitev notranjosti*** in izberemo ***Začni računanje***.

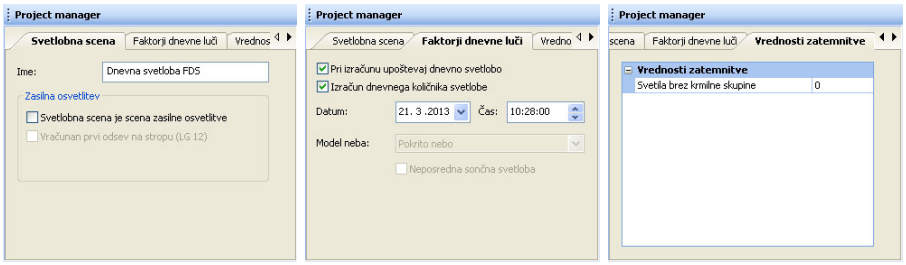


Slika 10.41: Pred začetkom izračuna osvetljenosti v prostoru moramo v programu nastaviti parametre izračuna. Izberemo lahko posamezna prizorišča (prostore) v katerih bo izračunana osvetljenosti, svetlobne scene, ki se bodo upoštevale pri izračunu ter kako točen naj bo izračun.

Pred začetkom izračuna moramo programu potrditi, kaj bi želeli izračunati. Na oknu, ki se odpre, so naštete so vse svetlobne scene in prizorišča. Pred vsako svetlobno sceno (prizoriščem) je potrdilno polje. Če so bili izračuni že izvedeni in so rezultati na voljo, potem so polja za potrditev v prvem stolpcu prazna. Če pa se je od zadnjega izračuna stanje v prostoru (oziroma sceni) spremenilo (dodano pohištvo ali površine za izračun, dodane svetilke, spremenjene nastavitve svetlobnega toka …), pa bodo polja posameznih scen (prizorišč), kjer so zaradi sprememb potrebni novi izračuni, že potrjena. Izberemo lahko tudi, kako točen bo izračun oziroma kaj vse naj se pri izračunu upošteva. Če želimo, da program pri izračunu upošteva tudi odsevnosti in druge lastnosti objektov, ki smo jih vstavili (npr. pohištvo), potrdimo polja v drugem stolpcu (če je teh površin v prostoru veliko, se s tem lahko čas izračuna zelo podaljša, zato prve izračune običajno naredimo brez upoštevanja odsevnosti in površin pohištva in drugih predmetov). Če želimo, da program pri izračunu oziroma v rezultatih upošteva tudi ohišja svetilk (sence svetilk), potrdimo polja v tretjem stolpcu. Tudi ta izbira lahko precej podaljša potreben čas za izračun. Zato lahko, če želimo krajši čas izračuna, izberemo tudi poenostavljeno obravnavo dekoracijskih objektov, kar naredimo s potrditvijo polj v zadnjem stolpcu.

10.8.2 IZRAČUN DNEVNE SVETLOBE

Če želimo izračunavati tudi (ali samo) prispevek dnevne svetlobe, moramo v ***Vodiču*** izbrati poglavje ***Dnevna svetloba*** in nato še ***Dodaj sceno z dnevno svetlobo***. V ***Pregledovalcu*** se nato pojavijo trije zavihki, v katerih spreminjamo nastavitve za dnevno svetlobo.



Slika 10.42: Zavihki v Pregledovalcu, kjer lahko vnesemo ali popravimo nastavitve za izračun naravne (dnevne) svetlobe v prostoru, opremljenem z okni.

V zavihku ***Svetlobna scena*** lahko določimo ali spremenimo ime scene. Sceno poimenujemo na primer »Dnevna svetloba FDS", ker želimo izračunati faktor dnevne svetlobe (FDS) v določenih točkah prostora in ne direktno osvetljenosti z dnevno svetlobo. Na zavihku ***Faktorji dnevne luči*** potrdimo izbiro, da želimo računati dnevno svetlobo. Če želimo izračunati faktor dnevne svetlobe in ne osvetljenosti, kot na primer v našem primeru, moramo potrditi tudi spodnjo izbiro (***Izračun dnevnega količnika svetlobe***). Če to potrditveno polje ni potrjeno, bo program izračunal osvetljenosti z dnevno svetlobo v luksih (enota faktorja dnevne svetlobe pa je %). V tem primeru moramo izbrati še kateri datum in čas naj program upošteva ter kateri model neba naj bo uporabljen. Datum in čas vplivata na položaj in višino sonca, model neba pa na porazdelitev svetlosti na nebesnem svodu, ki vpliva na osvetljenost v prostoru. Pri izbiri modela neba imamo na voljo: oblačno, delno oblačno in jasno nebo. Če za izračun izberemo model jasnega neba lahko izberemo tudi, ali naj program izračuna in prikaže tudi direktno sončno svetlobo, če ta seva skozi

okno v prostor (če je npr. okno obrnjeno na jug). Nato na zavihku ***Vrednosti zatemnitve*** določimo še, s kakšno močjo naj svetijo svetilke umetne razsvetljave. V kolikor želimo izračunati samo osvetljenost z dnevno svetlobo ali (kot v našem primeru) le faktor dnevne svetlobe, vse svetilke v prostoru nastavimo na 0 %.

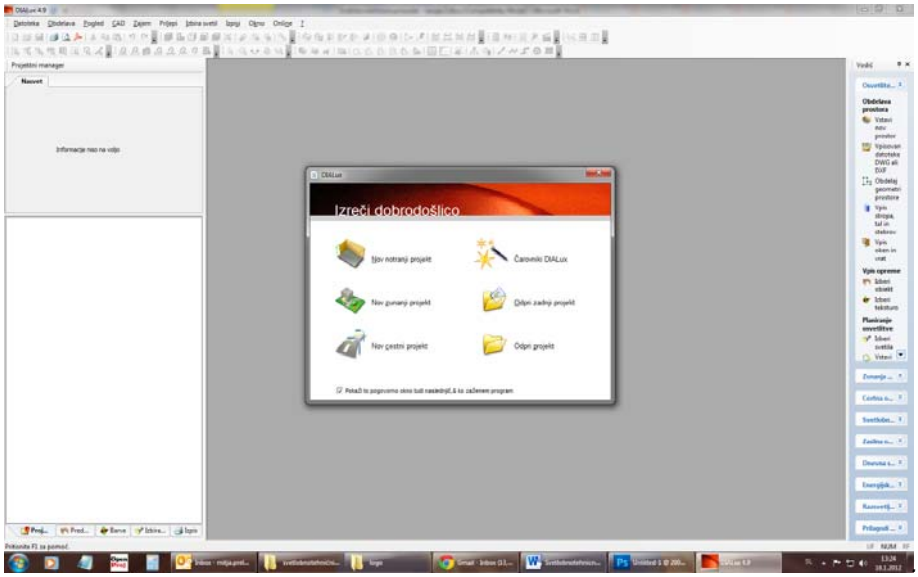
Ne glede na to, ali smo izbrali izračun faktorja dnevne svetlobe ali izračun osvetljenosti z dnevno svetlobo, bo v osnovnih rezultatih prikazana osvetljenost z dnevno svetlobo v luksih. Če želimo prikaz rezultatov faktorja dnevne svetlobe (FDS) v %, moramo pred izračunom v prostor vnesti še dodatno površino za izračun FDS (zavihek ***Predmeti*** -> ***Površine za izračun*** -> ***Količnik dnevne svetlobe za površino za izračun***). Površino vstavimo in jo ustrezno oblikujemo tako kot ostale površine za izračun. Po potrebi lahko uporabimo tudi desno miškino tipko in izberemo ***Obdelaj površino za izračun***.

10.8.3 IZRAČUNI CESTNE RAZSVETLJAVE

Izračuni svetlobno-tehničnih razmer pri cestni razsvetljavi potekajo podobno kot izračuni pri notranji razsvetljavi. Prav tako moramo najprej definirati ustrezen prostor (cesto ali drugo zunanjo površini) jo opremiti z ustreznim »pohištvom« in svetilkami in določiti parametre izračuna. Za nekoliko lažje začetke na tem področju je v nadaljevanju podan kratek pregled potrebnih korakov.

Izračun svetlosti ali osvetljenosti cestne površine

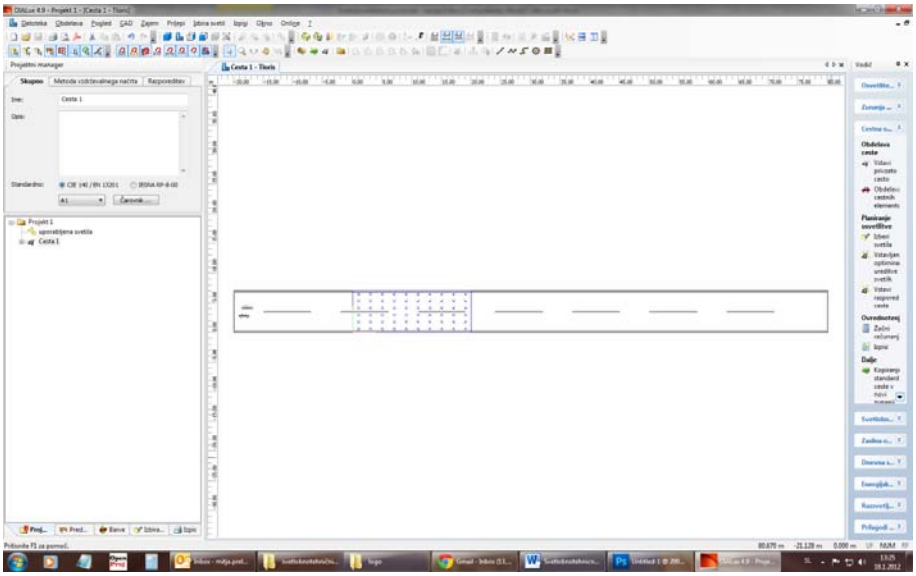
Ko zaženemo program se nam odpre uvodno okno, kjer lahko izberemo tip projekta. Izberemo 'Nov cestni projekt'.



Slika 10.43: Izračun cestne razsvetljave začnemo tako, da v oknu »Izreči dobrodošlico« izberemo »Nov cestni projekt«. Podobno lahko izračun razsvetljave drugih zunanjih površin (parki, trgi, dvorišča ...) začnemo z izbiro »Nov zunanji projekt«.

Po izbiri novega cestnega projekta se odpre znano DIALux okolje, kjer v CAD vmesniku vidimo model ceste ter področje računanja. Če v drevesni strukturi ***Upravitelja projekta*** izberemo posamezen element (kot na primer 'Cesta 1', ali 'Cestišče 1'), lahko v

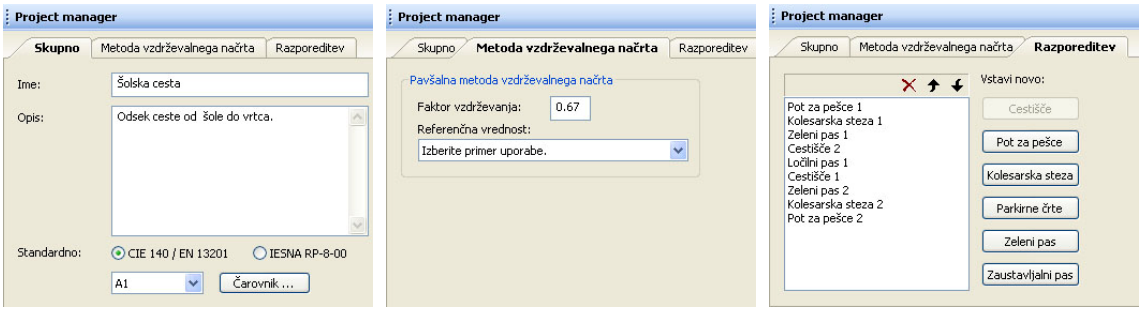
Pregledovalcu spreminjamo osnovne podatke ceste in cestišča, dodajamo kolesarske steze, poti za pešce (pločnike), nastavljamo razred (r) cestišča in podobno.



Slika 10.44: CAD vmesnik s cestno površino, na kateri je označeno polje računanja oziroma vrednotenja. V Pregledovalcu lahko ustrezno spremenimo profil ceste in dodamo npr. kolesarske steze ali pločnike.

Pri cesti lahko pod zavihkom ***Skupno*** spremenimo ime ceste (v spodnjem primeru ga spremenimo v »Šolska cesta«), dodamo opis in določimo po katerem standardu bomo naredili izračune. V Evropi izračune izvajamo skladno s standardom SIST EN 13201. Če bi izvajali simulacije za cesto v ZDA, bi uporabili standard IESNA RP-8-00. Pri uporabi standarda SIST EN 13201 moramo določiti tudi svetlobno situacijo. Na voljo nam je tudi čarovnik, ki nas vodi skozi posamezne odločitve in nam pomaga določiti svetlobno situacijo Pri uporabi čarovnika podamo:

- tipično hitrost udeležencev v prometu in
- glavne uporabnike in druge dovoljene uporabnike

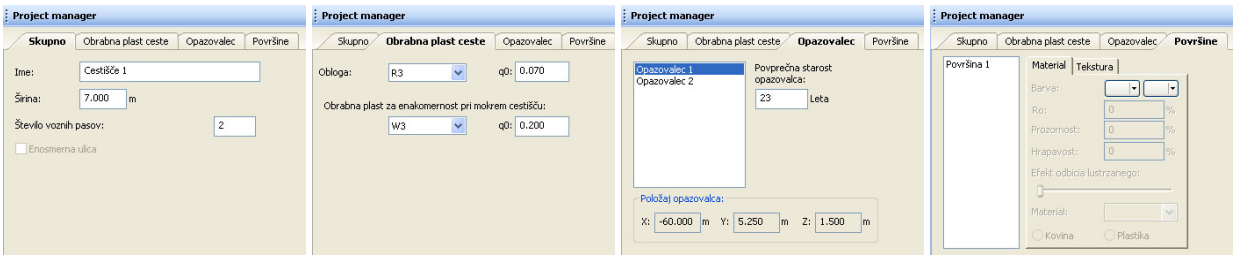


Slika 10.45: Zavihki v Pregledovalcu na katerih lahko določimo lastnosti oz. parametre ceste.

Pod zavihkom ***Metoda vzdrževalnega načrta*** določimo faktor vzdrževanja ali iz spustnega seznama izberemo ustrezno okolje v katerem se cesta nahaja. Pod zavihkom ***Razporeditev*** pa dodamo k cestišču dodatne površine kot so pot za pešce (pločnik), kolesarska steza, parkirne črte, zeleni pas in zaustavljalni pas. S spreminjanjem razporeditve se istočasno spreminja tudi model cestišča v CAD vmesniku (prikazano na naslednji sliki).

Slika 10.46: Primer razporeditve elementov ceste v CAD vmesniku. Cesto smo razširi, tako da imamo v vsaki smeri dva vozna pasova. Dodali smo tudi vmesni pas ter ob vsaki strani širši zeleni pas, kolesarsko stezo in pot za pešce (pločnik). Na sliki so označena tudi ustrezna polja vrednotenja na vseh prometnih površinah.

Pri posameznih elementih ceste imamo na voljo različne nastavitve. Pri cestišču na zavihu ***Skupno*** nastavimo ime cestišča, njegovo širino in število voznih pasov. Zavihek ***Obrabna plast ceste*** je namenjen določitvi odsevnih lastnosti vozne površine. Posebej lahko določimo lastnosti za suho in za mokro cestno površino. Na zavihku ***Opazovalec*** je definiran položaj opazovalca in njegova starost. Skladno s standardom SIST EN 13201 je lokacija opazovalca na sredini voznega pasu, na višini 1.5 m in oddaljena 60 m od prve točke vrednotenja (po dogovoru se polje vrednotenja vedno začne pri svetilki). Pri cestišču z dvema voznima pasovoma sta na tem zavihu dva opazovalca, za vsak vozni pas en. Če je izbran svetlobno-tehnični razred, kjer smeri pogleda niso definirane (razredi za pešce, ali konfliktna področja kot na primer križišča…), se za načrtovanje razsvetljave uporablja princip osvetljenosti in zavihka ***Opazovalec*** ni! Na zavihku ***Površine*** izberemo ustrezen material, iz katerega je izdelano cestišče. Tukaj lahko določimo tudi teksturo, ki bo prikazana ob 3D izpisu.



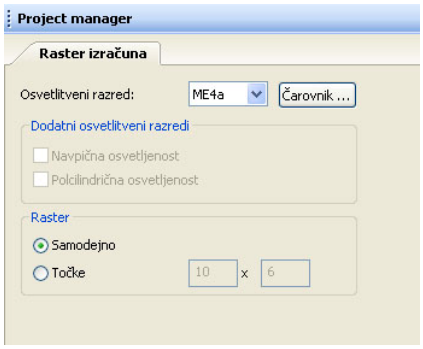
Slika 10.47: Zavihki v Pregledovalcu na katerih lahko določimo lastnosti oz. parametre cestišča.

Na vsakem cestišču je označeno tudi polje vrednotenja. Do lastnosti polja vrednotenja pridemo v drevesni strukturi ***Upravitelja projekta***. V ***Pregledovalcu*** moramo za vsako polje vrednotenja določiti "Osvetlitveni razred". Če svetlobno-tehnični razred, v katerega spada naše cestišče poznamo, ga lahko izberemo iz spustnega seznama. Če pa svetlobno-tehničnega razreda ne poznamo, ga lahko izberemo s pomočjo čarovnika. Moramo pa poznati lastnosti prometa na obravnavani cesti ter lastnosti okolja v katerem se cesta nahaja. Pri uporabi čarovnika podamo:

- tipično hitrost udeležencev v prometu;
- glavne uporabnike in druge dovoljene uporabnike;
- namestitev ukrepov za umirjanje prometa;

- nevarnost kriminala;
- potrebo po prepoznavanju obrazov;
- tok prometa kolesarjev oziroma peščev;
- svetlost okolja in
- potrebo po izračunu polkrožne osvetljenosti.

Če smo v ***Pregledovalcu*** izbrali svetlobno-tehnični razred, kjer smeri pogleda niso točno določene (npr. površine za pešce, trgi, konfliktna področja ...), nam program samodejno ponudi tudi izračun polcilindričnih osvetljenosti.



Slika 10.48: Zavihek Raster izračuna v Pregledovalcu, kjer lahko določimo (izberemo) svetlobno-tehnični razreda cestišča. V kolikor razreda ne poznamo, ga lahko določimo s pomočjo čarovnika.

Podobne nastavitve so na voljo tudi pri drugih elementih ceste, le da sta tukaj na voljo le zavihka ***Skupno*** in ***Površine***. Pri nekaterih od teh elementov, kjer se odvija promet (poti za pešce, kolesarske steze, zaustavljalni pas), moramo določiti tudi polje vrednotenja. Pri ostalih elementih, kjer ni prometa (zeleni pas, ločilni pas, parkirne črte), pa polja vrednotenja ni. Ko so cesta, cestišče in polje (polja) vrednotenja definirani, lahko vstavimo svetilke.

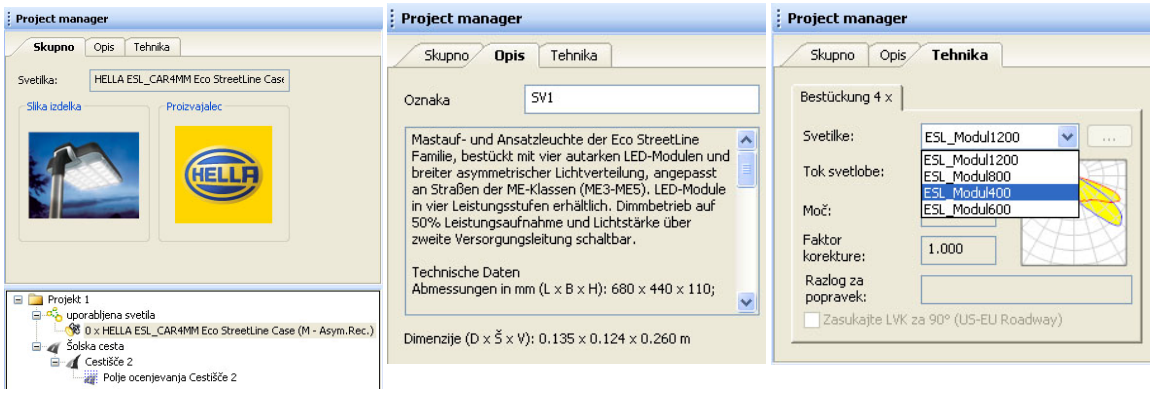
Vstavljanje svetilk

Po določitvi lastnosti ceste oziroma cestne površine lahko v projekt vstavimo ustrezne svetilke. Postopek je enak kot pri načrtovanju notranje razsvetljave. Najprej izberemo želene svetilke. To naredimo tako, da v ***Vodiču*** v poglavju ***Cestna osvetlitev*** izberemo »Izbira svetilk« in iz seznama na zavihku »Izbira svetilk« v ***Upravitelju projekta*** izberemo proizvajalca katerega svetilke nameravamo v projektu uporabiti. Nekateri proizvajalci so vstavljanje svetil v program omogočili preko vtičnikov (Plug-in), drugi pa preko spletnih katalogov. Uporabimo lahko tudi svetilke, ki jih ni v katalogih proizvajalcev, imamo pa njihove podatke v ustrezni datoteki. Tako svetilko lahko v projekt vstavimo preprosto tako, da povlečemo (princip »povleci in spusti« - »drag & drop«) fotometrično datoteko (IES, EULUMDAT ali ULD) iz Raziskovalca (Windows Explorer) v projekt.

Večina vtičnikov za vstavljanje svetilk ima podoben izgled in enako funkcionalnost. Svetilko lahko izberemo na podlagi 5 kriterijev. Ko je svetilka izbrana, jo s klikom na ikono vstavimo v projekt. Če nismo popolnoma prepričani, katero svetilko bomo v projektu uporabili, lahko vstavimo več svetilk in kasneje izberemo, katere bodo uporabljene.

Slika 10.49: Primer vtičnika za vnos svetilk proizvajalca Hella.

Ko smo svetilko vstavili v projekt, se le-ta pojavi v drevesni strukturi ***Upravitelja projekta*** pod rubriko »Uporabljena svetila«. V ***Pregledovalcu*** so na voljo trije zavihki, s katerimi lahko spreminjamo lastnosti svetilke. Na zavihku ***Skupno*** je naveden tip svetilke, fotografija svetilke in logotip proizvajalca. Na zavihku ***Opis*** lahko svetilki določimo unikatno ime za ta tip svetilk (v našem primeru npr. SV1), podani pa so tudi tehnični podatki svetilke. Na zavihku ***Tehnika*** pa so podani električni in svetlobno-tehnični podatki ter polarni diagram kotne porazdelitve svetilnosti. Če je v ta tip svetilke lahko nameščenih več različnih vrst svetlobnih virov ali imajo ti lahko različno moč, lahko ustrezno svetilko oziroma svetlobni vir izberemo iz spustnega seznama »Svetilke«. Ko izberemo drug tip svetlobnega vira (svetilke), se spremenijo tudi električni parametri in svetlobni tok svetilke.

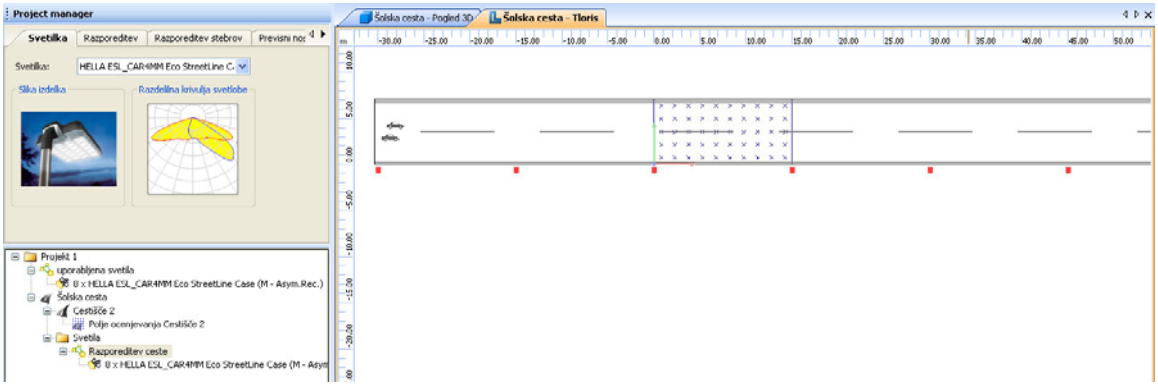


Slika 10.50: Ko v drevesni strukturi Upravitelja projekta izberemo svetilko, lahko v zavihkih Pregledovalca določimo lastnosti oziroma parametre izbrane svetilke.

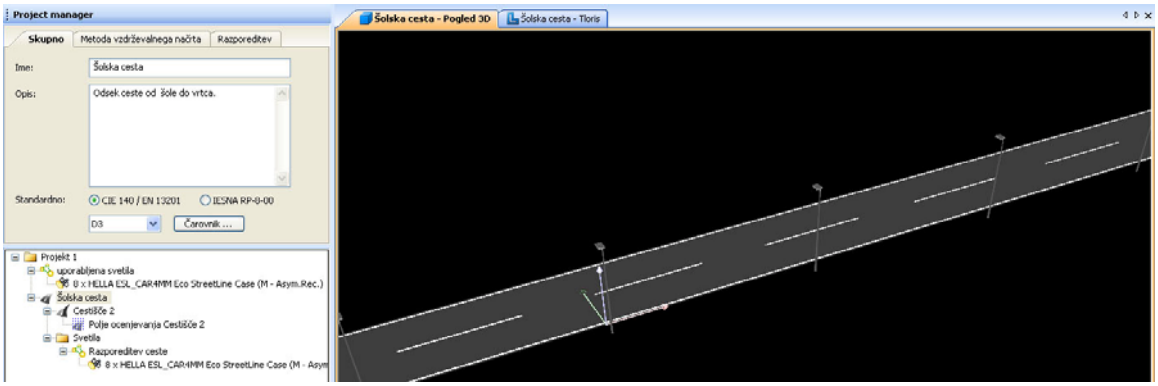
Vstavljanje polja svetilk

Ko smo svetilke izbrali in določili njihove lastnosti, jih lahko vstavimo v projekt. To naredimo tako, da izbrano svetilko primemo v drevesni strukturi ***Upravitelja projekta*** in jo prenesemo na cestišče (princip »povleci in spusti«). Svetilko oziroma polje svetilk lahko vstavimo v vse poglede, najlažje pa to naredimo v 3D pogledu ali v tlorisu. Ko so svetilke (polje svetilk) vstavljene, se pojavijo tudi v drevesni strukturi ***Upravitelja projekta***, kjer se pod izbrano cesto pojavi alineja ***Svetila***. Seveda so svetilke vrisane tudi na ustrezna mesta

v ***CAD vmesniku***. Ko vnesemo svetilke, program tudi prilagodi polje vrednotenja in sicer tako, da se to vedno nahaja med dvema svetilkama, ne glede na razdaljo med njima.



Slika 10.51: Prikaz vstavljenega polja svetilk na tlorisu ceste. Polje vrednotenja z ustreznim številom točk za izračun svetlosti se vedno nahaja med dvema svetilkama. Če spremenimo razdaljo med svetilkami se avtomatsko spremeni tudi velikost polja vrednotenja in razdalje med posameznimi točkami.



Slika 10.52: Primer vstavljenega polja svetilk, v tem primeru prikazanega v 3D pogledu CAD vmesnika.

Ko smo v projekt vstavili svetilko oziroma polje svetilk, moramo še preveriti in ustrezno nastaviti geometrijske parametra postavitve svetilk (razdalja med svetilkami, višina svetilke, naklon, izteg …).

Lastnosti razporeditve svetilk

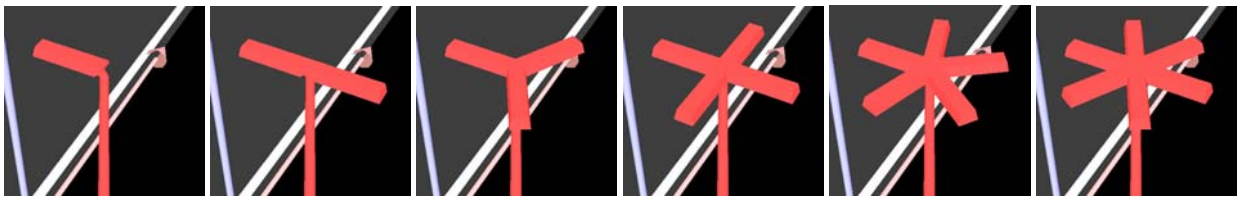
Za določitev lastnosti razporeditve svetilke imamo v **Pregledovalcu** na voljo 5 zavihkov. Na zavihku ***Svetilka*** izberemo svetilko, ki jo bomo uporabili. Če smo v projekt s pomočjo vtičnika vstavili več različnih svetilk, lahko ustrezno svetilko izberemo oziroma spremenimo s pomočjo spustnega seznama. Na tem zavihku je prikazana tudi fotografija svetilke in polarni diagram kotne porazdelitve svetilnosti.

Na zavihku ***Razporeditev*** izberemo tip razporeditve svetilk. Na voljo imamo štiri različne razporeditve in sicer:

- enostranska razporeditev spodaj;
- enostranska razporeditev zgoraj;

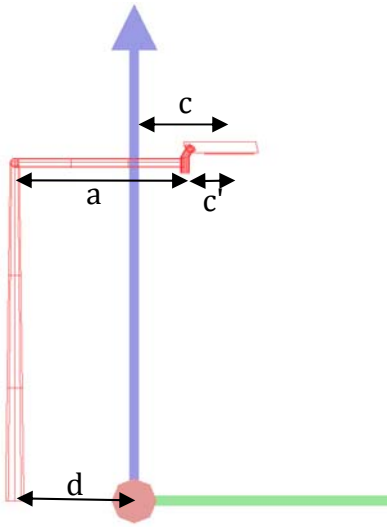
- obojestranska razporeditev nasproti in
- obojestranska razporeditev zamaknjeno.

Na zavihku ***Razporeditev stebrov***, lahko določimo razdaljo med svetilkami, višino svetilk ali višino svetle točke svetilk, število svetilk na enem stebru in zamik po dolžini (odmik polja vrednotenja od stebra prve svetilke). Pri spreminjanju števila svetilk na stebru moramo biti pozorni na to, da program več svetilk na enem stebru razvrsti po celotnem krogu in pri tem svetilke tudi ustrezno obrne. Če na primer izberemo da sta na stebru dve svetilki, svetilki ne bosta postavljeni vzporedno, ampak bo ena svetila obrnjena naprej, druga pa nazaj kot je to prikazano na spodnji sliki.



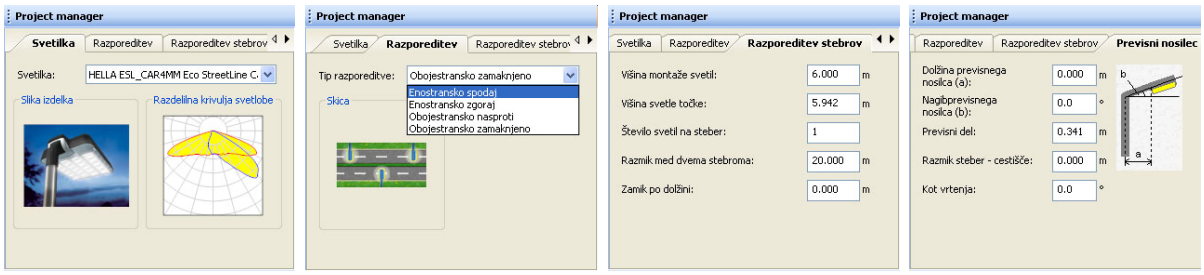
Slika 10.53: Primer vstavljenega polja svetilk, v tem primeru prikazanega v 3D pogledu CAD vmesnika.

V kolikor svetilka ni montirana direktno na steber ampak na previsni nosilec, na zavihku ***Previsni nosilec*** določimo njegovo dolžino (a). V kolikor je svetilka nameščena direktno na steber, dolžino nastavimo na 0. Kot nagiba previsnega nosilca moramo za projekte v Sloveniji nastaviti na 0, drugače namestitev svetilke ni skladna z Uredbo o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaženja okolja (kot nagiba previsnega nosilca pomeni tudi kot nagiba svetilke). Previsni del (c) je razdalja med robom cestišča in središčem svetlega dela svetilke in je odvisna od razdalje med stebrom in cestiščem (d), dolžine previsnega nosilca (a) in razdalje od pritrditve svetilke do središča svetlega dela svetilke (c'). Vrednost c' lahko ugotovimo tako, da nastavimo a in d na vrednost 0 in odčitamo vrednost c.



Slika 10.54: Prikaz razmerij med posameznimi dolžinami pri določitvi lastnosti previsnega nosilca na stebru svetilke: dolžina previsnega nosilca (a), previsni del (c), razdalja do središča svetlega dela svetilke (c') in oddaljenost stebra od roba cestišča (d).

Na zavihku ***Ime*** lahko vsaki razporeditvi svetilk ob cesti določimo tudi ustrezno ime.



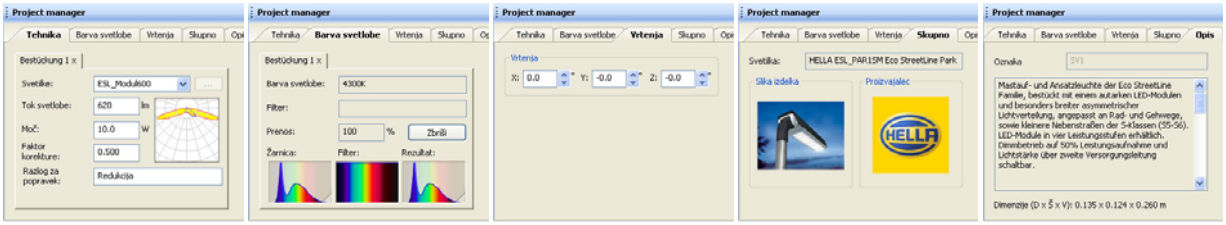
Slika 10.55: Prikaz posameznih zavihkov v Pregledovalcu, na katerih lahko določimo lastnosti oziroma parametre razporeditve svetilk.

V drevesni strukturi ***Upravitelja projekta*** imamo Podrejeno ***Razporeditvi ceste*** definirane svetilke in njihove lastnosti. Za ogled in spremembo le-teh je v ***Pregledovalcu*** na voljo 5 zavihkov. Na zavihku ***Tehnika*** lahko spreminjamo električne in svetlobno-tehnične lastnosti svetilk. Če bomo na primer izračun svetlosti (osvetljenosti) opravili pri upoštevanju regulacije svetlobnega toka (vklopljen nočni režim z zmanjšanim svetlobnim tokom), v ***Faktor korekcije*** vpišemo vrednost 0.5 in pod ***Razlog za popravek*** vpišemo npr. »Redukcija«.

Na zavihku ***Barva svetlobe*** lahko določimo uporabo barvnega filtra. V tem primeru je na zavihku prikazan učinek filtra. Če spremenite barvo svetlobe s pomočjo filtra, bo graf prepustnosti filtra prikazan na sredinskem grafu, na desnem pa končni rezultat oz. dejanska izsevana svetloba. Lastnosti filtra (prepustnost in oznaka) so vpisane v ustrezna okna.

Na zavihku ***Vrtenje*** določimo kot za katerega je zavrtena svetilka oziroma usmerjenost svetilk. Če smo pri ***Razporeditvi ceste*** na zavihku ***Razporeditev stebrov*** določili, da je na vsakem stebru več kot ena svetilka, lahko s pomočjo tega zavihka popravimo usmerjenost svetilk tako, da bodo vse svetilke obrnjene v isto smer. To storimo tako, da v »rotacijo svetilke v osi z« vpišemo vrednost 0. **Na žalost je v programu napaka, tako da se ta rotacija v izračunu ne upošteva. Rezultati tako niso pravilni, saj bo program svetilke sicer narisal pravilno, rezultati pa ostanejo enaki kot pred spremembo usmerjenosti.**

Na zavihku ***Skupno*** je podan tip svetilke skupaj s fotografijo svetilke in logotipom proizvajalca. Na zavihku ***Opis*** je prikazano unikatno ime za ta tip svetilk, podani pa so tudi njeni tehnični podatki.



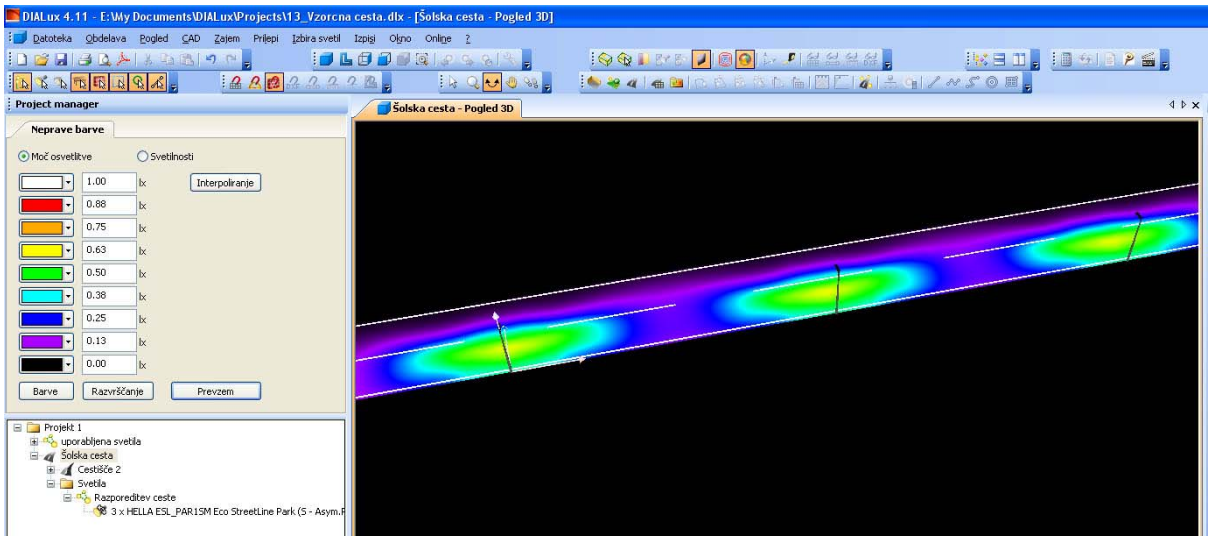
Slika 10.56: Pregledovalec z zavihki za določitev lastnosti oz. parametrov svetilk.

Ko so vsi parametri razporeditve svetilk in samih svetilk vneseni, lahko začnemo z izračunom svetlobno-tehničnih parametrov na obravnavani cesti.

Izračun svetlosti ali osvetljenosti

Simulacijo in izračun zaženemo s klikom na ikono ***Začni izračunavanje*** ali z ***Vodičem***, kjer v poglavju »Zunanja osvetlitev« izberemo »Začni računanje«. Pred začetkom izračuna nas program vpraša kaj bi radi računali. Naštete so vse ceste oziroma cestišča. Če so bili izračuni že izvedeni, potem so polja za potrditev v prvem stolpcu prazna. Če pa se je stanje na cesti po zadnjem izračunu spremenilo, pa so potrditvena polja pri cestah, kjer so potrebni novi izračuni, potrjena. Izberemo lahko tudi točnost izračuna. Če želimo, da se pri izračunu upošteva tudi objekte, ki smo jih vstavili ob cesti (npr. odsev svetlobe od fasade stavbe), potrdimo polja v drugem stolpcu (s tem se lahko čas simulacije zelo podaljša). Če želimo, da program pri izračunu upošteva tudi ohišja svetilk (sence svetilk), potrdimo polja v tretjem stolpcu. Če pa želimo hitrejši izračun, lahko izberemo poenostavljeno obravnavo dekoracijskih objektov, kar naredimo s potrditvijo polj v zadnjem stolpcu.

Ko program konča z izračunom se nam običajno v ***CAD vmesniku*** odpre 3D prikaz ceste s prikazanimi rezultati izračuna. Najbolj nazoren je prikaz z uporabo kodirnih barv (psevdo barve ali false colours), kot ga prikazuje spodnja slika.



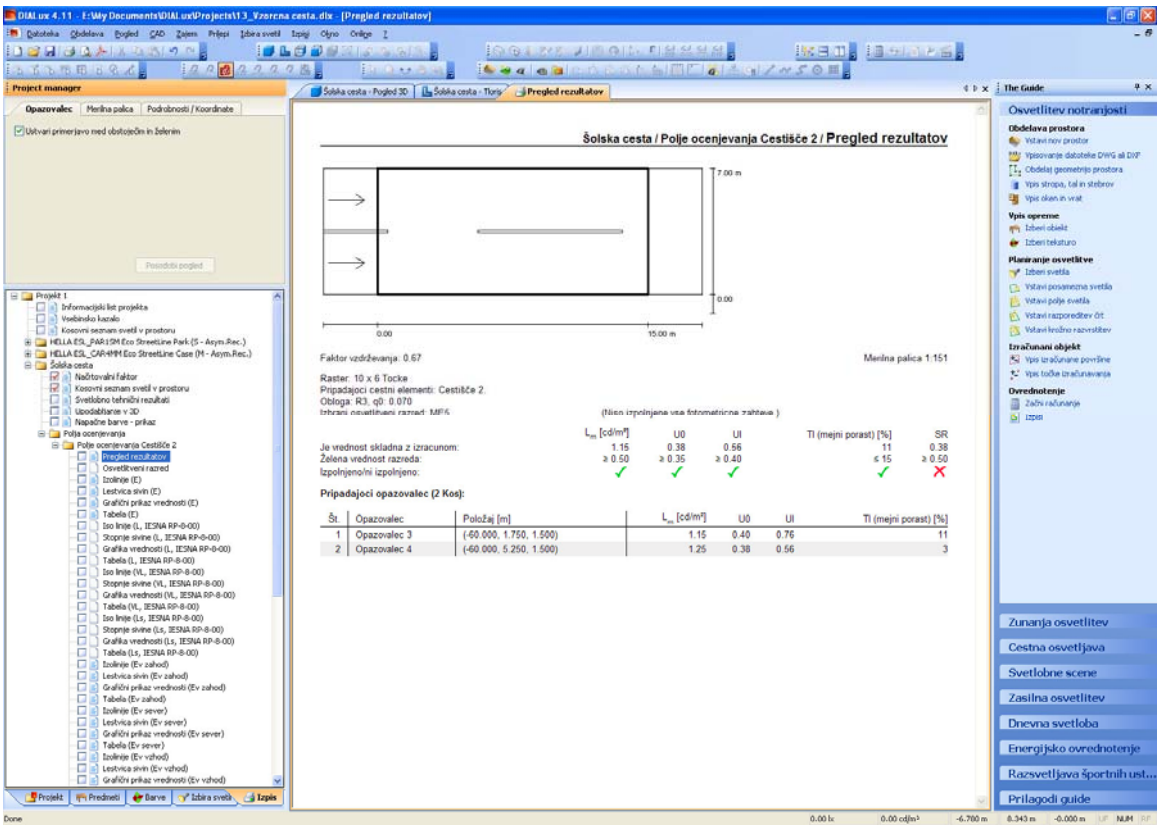
Slika 10.57: Prikaz rezultatov izračuna v 3D pogledu z kodirnimi (psevdo) barvami. Vrednosti posameznih barv so podane v Pregledovalcu in jih lahko po potrebi tudi spremenimo.

Na tem mestu moramo opozoriti, da je slovenski prevod izrazov v DIALux-u napačen, saj v rezultatih predstavljena veličina "Moč osvetlitve" predstavlja **osvetljenost**, "Svetilnosti" pa predstavljajo **svetlost**, vendar ne svetlost, kot jo vidi opazovalec!

Ostale svetlobno-tehnične rezultate si lahko ogledamo na zavihku ***Izpis*** v ***Upravitelju projekta***. Za projektante razsvetljave je običajno najbolj zanimiv podatek, ali so rezultati skladni z zahtevami standarda za podan svetlobno-tehničnim razred ceste, ki smo ga vpisali na začetku načrtovanja razsvetljave. Skladnost z zahtevami standarda lahko preverimo v ***Upravitelju projekta*** na zavihku ***Izpis***. V drevesni strukturi izpisa izberemo stran z

rezultati, do katere pridemo z izbiro na primer: ***Projekt1*** -> ***Šolska cesta*** -> ***Polje ocenjevanja*** -> ***Polje ocenjevanja Cestišče 2*** -> ***Pregled rezultatov***. Več o pregledu in izpisu rezultatov je v naslednjem poglavju.

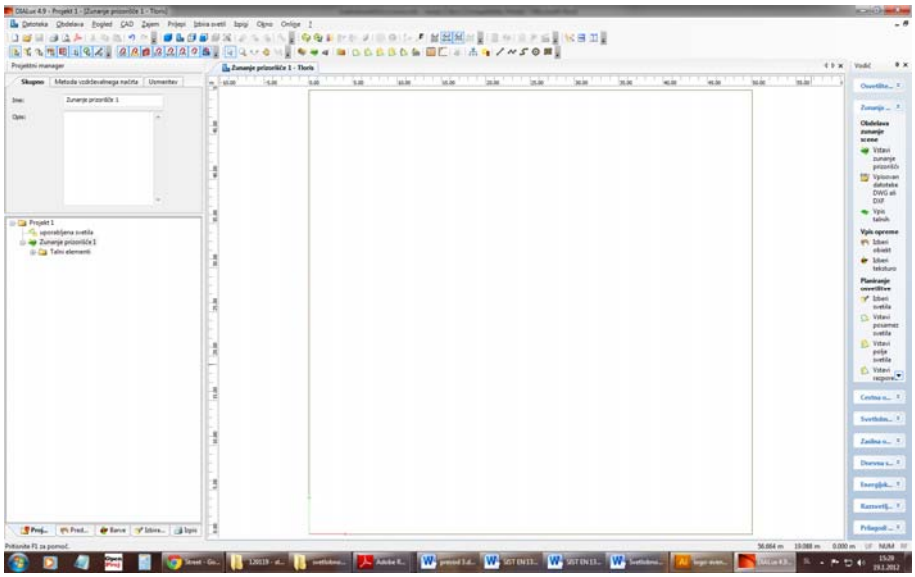
Na spodnji sliki so prikazani rezultati izračunov za omenjen primer »Šolske ceste«. Za lažje preverjanje izpolnjevanja zahtev, prikaz rezultatov vsebuje tudi zahteve standarda za podan svetlobno-tehnični razred (v izbranem primeru je to ME5) ter skladnost rezultatov z zahtevami, ki je prikazana z zelenimi kljukicami pod rezultati. Pri neskladnih rezultatih pa je oznaka rdeč križec. Kot lahko vidimo na sliki so izračunane vrednosti: srednje svetlosti vozišča (L_m), splošne enakomernosti (U_0), vzdolžne enakomernosti (U_l) in mejnega porasta praga zaznavanja (TI) skladni z zahtevami standarda za izbran svetlobno-tehnični razred. Izračunana svetlost okolice (SR) pa je prenizka in torej ni skladna z zahtevo standarda.



Slika 10.58: Številski rezultati, do katerih pridemo preko zavihka Izpis v Upravitelju projekta. Poleg tlorisa obravnavane površine so podane izračunana svetlost, enakomernost, vzdolžna enakomernosti, TI (porast praga zaznavanja) in svetlost okolice (SR). Zelene kljukice pod rezultati pomenijo, da so rezultati skladni z zahtevami standarda, rdeč križec pa nasprotno, da izračunana vrednost odstopa od zahtevane.

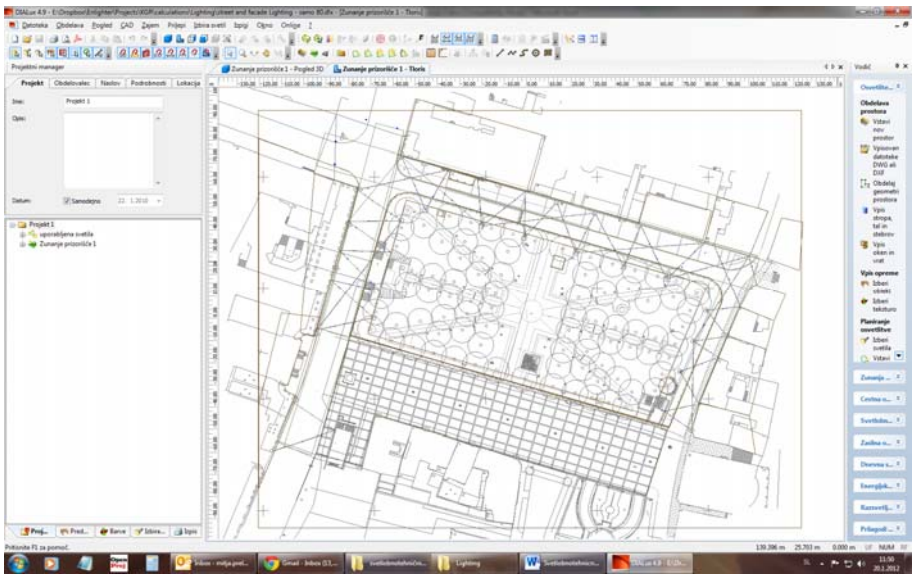
Izračun osvetljenosti drugih zunanjih površin

Postopek projektiranja razsvetljave (izračuna osvetljenosti) drugih zunanjih površin (na primer konfliktnih con ali površin za pešce) je nekoliko drugačen od izračuna svetlosti cestne in je še bolj podoben projektiranju razsvetljave v notranjem prostoru. Ko zaženemo program DIALux se odločimo za 'Nov zunanji projekt'. Odpre se nam okno CAD vmesnika, kjer je v tlorisnem pogledu prikazana ravna površina kvadratne oblike, ki predstavlja tla obravnavanega prostora.



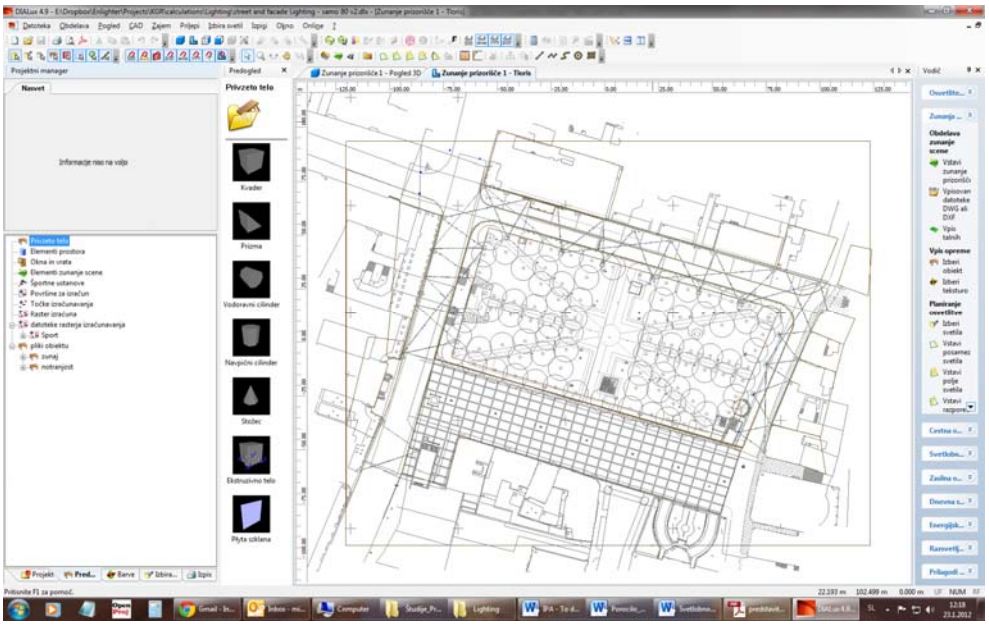
Slika 10.59: Začetek dela pri projektiranju razsvetljave zunanje površine. V CAD vmesniku je prikazana zunanja površina, ki jo z nastavitvami lahko ustrezno spremenimo, da ustreza našim potrebam.

V to površino lahko uvozimo datoteko, ki prikazuje arhitekturno ali urbanistično situacijo, saj nam to zelo pomaga pri ustvarjanju natančnega modela prostora. Uvoziti je možno različne vrste datotek iz drugih programov za projektiranje (npr. AutoCAD in podobno).

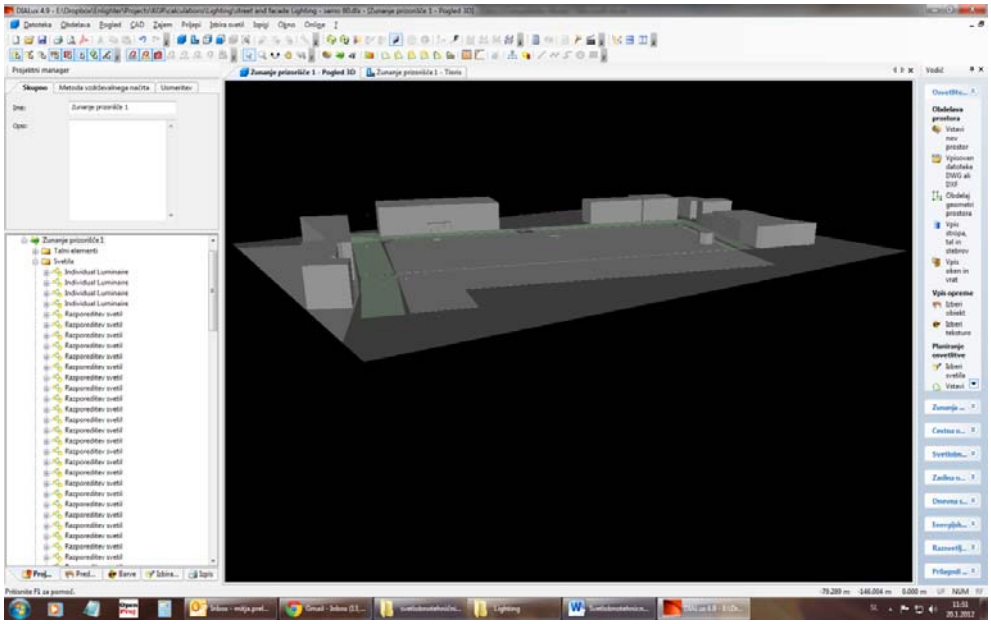


Slika 10.60: Zunanja površina z dodano arhitekturno situacijo (v prikazanem primeru Kongresni trg in zvezda park v Ljubljani). Arhitekturno situacijo lahko uvozimo iz drugih programov (npr. AutoCAD).

S pomočjo uvožene arhitekturne (urbanistične) situacije nato v prostor vstavimo prostorsko »pohištvo« - zgradbe in druge objekte, ki se nahajajo ob ali na obravnavanem prostoru in za katere ocenimo, da vplivajo na svetlobno-tehnične rezultate. To so ponavadi stavbe, večja drevesa, plakati in podobno. Seveda lahko za bolj realističen prikaz obravnavanega prostora vstavimo tudi manjše podrobnosti. Opremljanje prostora poteka na enak način kot pri projektiranju razsvetljave notranjega prostora. V ***Upravitelju projekta*** izberemo zavihek ***Predmeti***, nato pa lahko izberemo želeni predmet (objekt) in ga po principu »povleci in spusti« postavimo na želeno mesto.

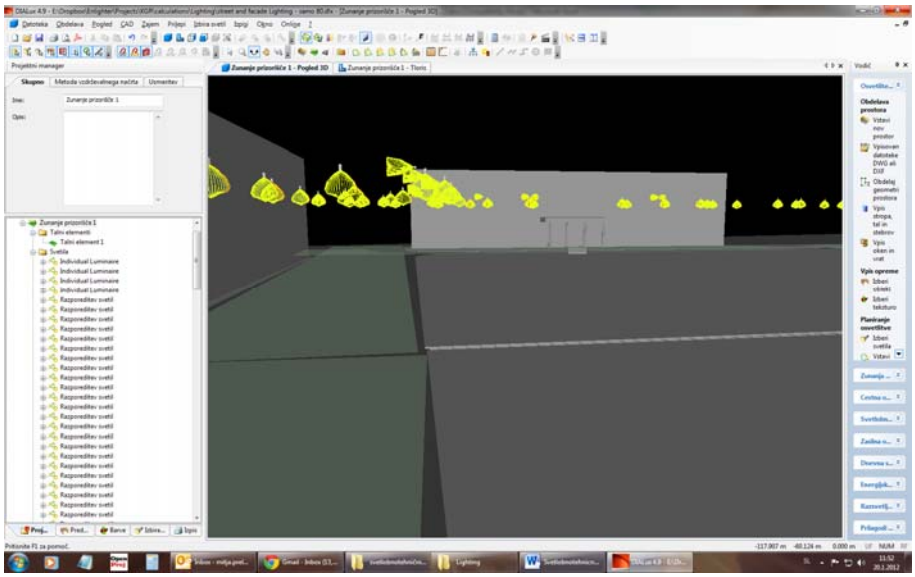


Slika 10.61: Predmete, s katerimi lahko opremimo obravnavani zunanji prostor, izberemo v drevesni strukturi v Upravitelju projekta oziroma v meniju med Upraviteljem projekta in CAD vmesnikom in jih nato s »povleci in spusti« postavimo na želeno mesto v CAD vmesniku.



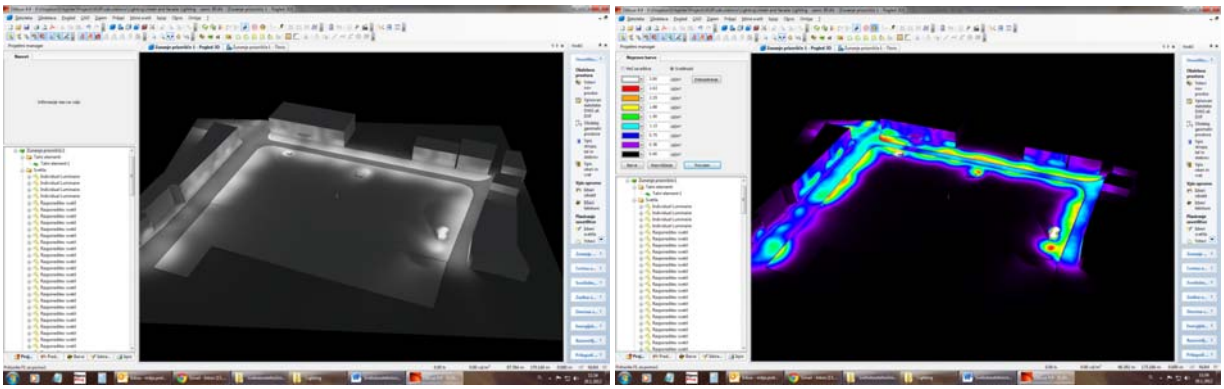
Slika 10.62: Ko smo prostor opremili s predmeti (okoliške stavbe, drevesa, zelene površine …) lahko v 3D pogledu v CAD vmesniku preverimo pravilen položaj, predvsem pa višino vseh vstavljenih predmetov.

Naslednji korak je postavitev svetilk v prostor. Podobno kot pri načrtovanju notranje ali cestne razsvetljave tudi tu lahko svetilke izberemo iz katalogov v ***Upravitelju projekta*** na zavihku izbira svetilk. Svetilke nato po principu »povleci in spusti« postavimo na ustrezna mesta ter v ***Pregledovalcu*** določimo njihove parametre kot so položaj, višina, usmerjenost, svetlobni tok … Pazimo tudi na ustrezen faktor vzdrževanja (projektiranja) saj vpliva na rezultate izračuna. Pri usmerjanju svetilk si lahko pomagamo tako, da v CAD vmesniku prikažemo tudi njihove porazdelitve svetilnosti. To je še posebej koristno, ko usmerjamo svetilke (reflektorje) s katerimi osvetljujemo fasade stavb, spomenike ali druge zanimive predmete v obravnavanem zunanjem prostoru.



Slika 10.63: Obravnavani prostor, prikazan v 3D pogledu v CAD oknu z vstavljenimi svetilkami. Pri vsaki svetilki je prikazana tudi prostorska porazdelitev svetilnosti, ki nam pomaga pri iskanju ustrezne lokacije svetilke in njenem usmerjanju.

Sledi izračun osvetljenosti zunanje površine, ki poteka na enak način kot pri izračunih v ostalih primerih. Po končanem izračunu lahko prikažemo rezultate v CAD vmesniku oziroma jih natisnemo v poročilo. Več o prikazu in obdelavi rezultatov je v naslednjem poglavju.



Slika 10.64: Prikaz rezultatov izračuna s sivinami (levo) in s kodirnimi (psevdo) barvami (desno). V slednjem primeru lahko vrednosti za posamezne barve razberemo, lahko pa tudi po želji popravimo v Pregledovalcu levo od CAD vmesnika.

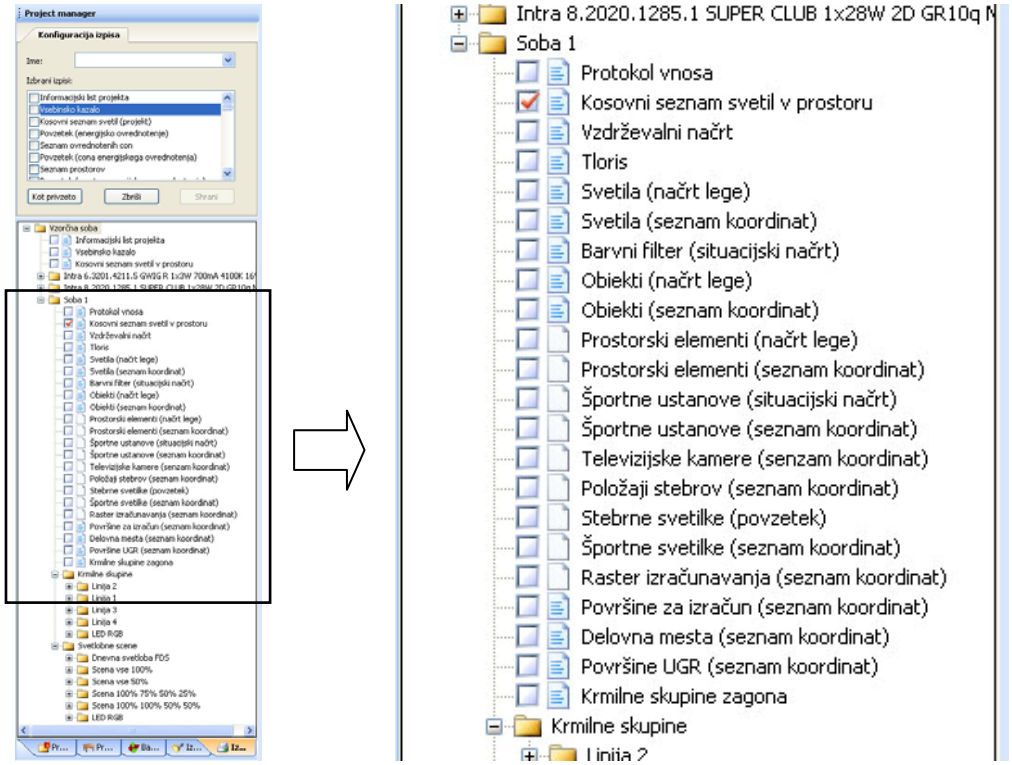
10.9 REZULTATI IZRAČUNA

Program DIALux omogoča prikaz rezultatov izračunov osvetljenosti (ali svetlosti v primeru cestne razsvetljave) v različnih oblikah. Najbolj običajna oblika je tabelaričen izpis rezultatov, ki sicer omogoča precej več kot samo izpis tabel s končnimi podatki. Rezultate lahko dobimo tudi v obliki slik, kjer so izračunane vrednosti predstavljene z izoluks diagrami ali z t.i. »psevdo« barvami. Lahko pa za prikaz končnega izgleda osvetljenega prostora uporabimo tudi foto-realistične slike. Za še bolj realističen prikaz osvetljenega prostora pa lahko uporabimo tudi 3D video, ki ga je prav tako mogoče izdelati v DIALux-u. Nekaj kratkih navodil, kako priti do ustreznih rezultatov, je v nadaljevanju.

10.9.1 IZPIS REZULTATOV V OBLIKI POROČILA

Izpis rezultatov v obliki tabel je najbolj osnovni prikaz rezultatov, ki pa omogoča tudi najlažjo oceno, ali bo projektirana razsvetljava zadovoljila zahteve standardov oziroma ali ustreza priporočilom. Za lažje delo projektanta so izpisi rezultatov v DIALux-u že oblikovani kot končno poročilo, ki ga je potrebno samo natisniti. V poročilo se lahko vključi vse podatke o prostoru, opremi, svetilkah …, ki smo jih vnesli v program. Prav tako pa tudi vse rezultate izračunov v različnih oblikah: tabele, tlorisi z izoluks krivuljami ali »psevdo« barvnim prikazom vrednosti, 3D prikazi izgleda prostora …

Pregledu in izpisu rezultatov je namenjen zadnji (desni) zavihek v ***Upravitelju projekta***. Ko ga odpremo, se v drevesni strukturi prikažejo podatki, ki so na voljo. S potrditvijo potrdilnih polj pred posameznimi možnostmi izberemo, katere podatke želimo prikazati v poročilu. Podatki, ki imajo pred opisom ikono popisanega lista so izračunani in jih lahko natisnemo. Tisti, ki pa so označeni z ikono praznega lista pa niso bili izračunani (ker jih pred izračunom nismo izbrali) oz. niso dostopni. Vsaka potrjena možnost (del poročila) bo izpisana na svojem listu papirja (ali več listih, če je npr. tabela bolj obsežna), zato je priporočljivo, da izberemo res samo tiste dele, ki se nam zdijo pomembni za tistega, ki mu je poročilo namenjeno. V nasprotnem primeru je lahko poročilo zelo obsežno in zato tudi nepregledno. Mimogrede namreč lahko pri bolj obsežnih projektih pridemo do 100 ali več strani.



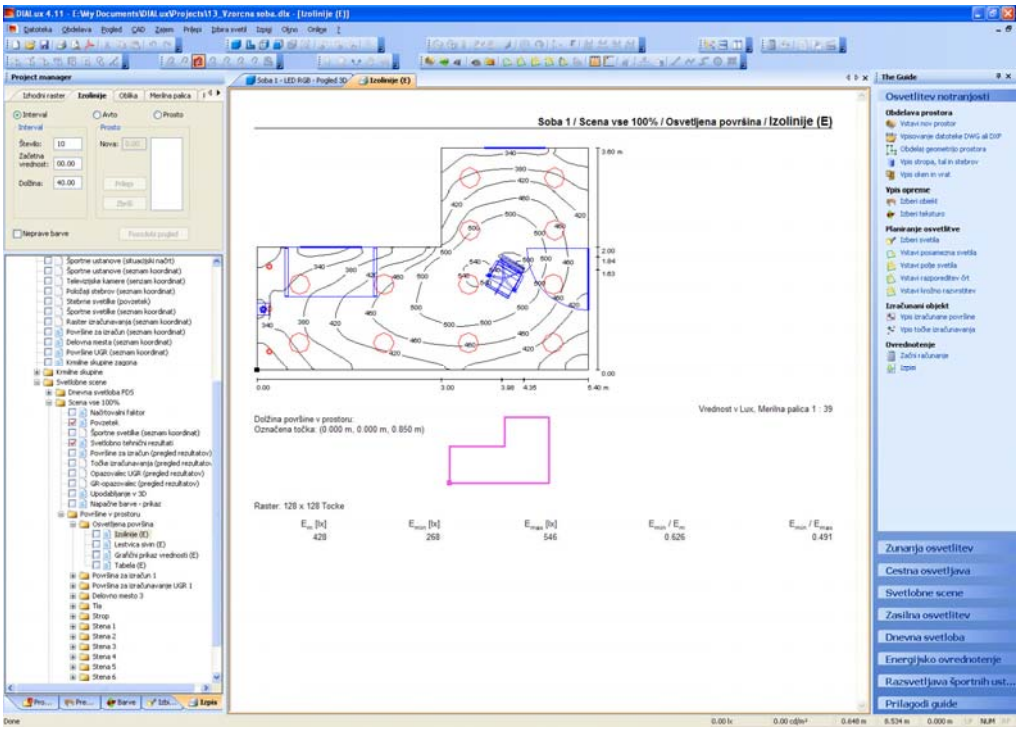
Slika 10.65: Okno Upravitelja projekta s prikazano drevesno strukturo poročila (levo) ter povečan prikaz dela drevesne strukture, kjer lahko izberemo posamezne liste, ki bodo vključeni v pisno poročilo (desno), Posamezne dele poročila, ki so na voljo (ikona popisanega lista) lahko izberemo s potrditvijo potrdilnega polja pred ikono (npr. Kosovni seznam svetil v prostoru).

Preden rezultate oziroma poročilo natisnemo, lahko vsebino posameznih listov pregledamo v samem programu. Za pregled izbranega lista poročila na zaslonu je potrebno dvakrat klikniti na pripadajočo ikono oz. na opis podatka. Za pregled več rezultatov hkrati pa z desnim klikom na ikono popisanega lista izberemo opcijo ***Odpri v novem oknu*** (***Open in New Window***).

Natisnjeno končno poročilo bo vsebovalo vse liste (dele poročila), ki jih potrdimo s potrdilnimi polji pred ikono. Da poročilo ni predolgo in zato nepregledno, priporočamo da vključite le najbolj pomembne podatke:

- osnovni podatki o prostoru;
- osnovni podatki o uporabljenih svetilkah;
- izračuni za posamezne scene;
    - splošna osvetljenost;
    - osvetljenost delovnega mesta;
    - indeks bleščanja (UGR);
    - faktor dnevne svetlobe (FDS);
    - ...

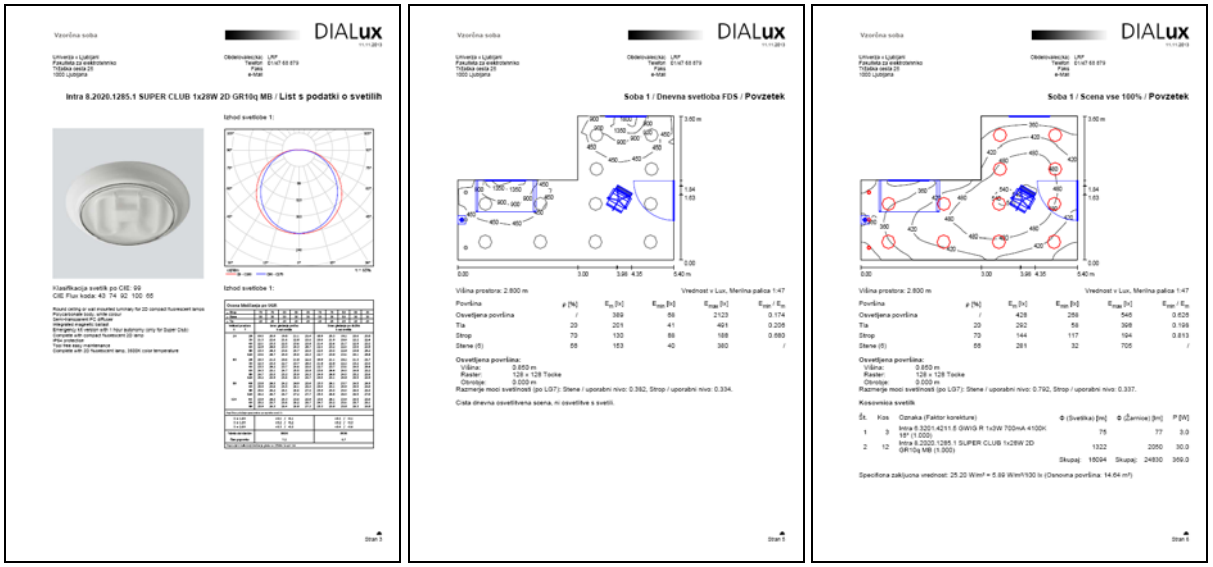
Ko smo potrdili (odkljukali) vse kar želimo prikazati v končnem poročilu, lahko le-to natisnemo oziroma shranimo v obliki Adobe Acrobat datoteke (*.pdf datoteka). To naredimo s klikom na ikono ***Shrani izpise kot PDF*** , ki jo najdemo v eni od palet z ikonami, običajno pod glavnim menijem programa.



Slika 10.66: Posamezne strani poročila lahko pregledamo v CAD vmesniku. Odpremo jih tako, da dvakrat kliknemo na ikono oziroma opis podatka v drevesni strukturi v Upravitelju projekta.

V poročilo lahko poleg prikazov tlorisa prostora (ali stranskega risa oziroma pogleda od spredaj) z ustreznimi podatki, vključimo tudi3D prikaze obravnavanega prostora. Pri tem je

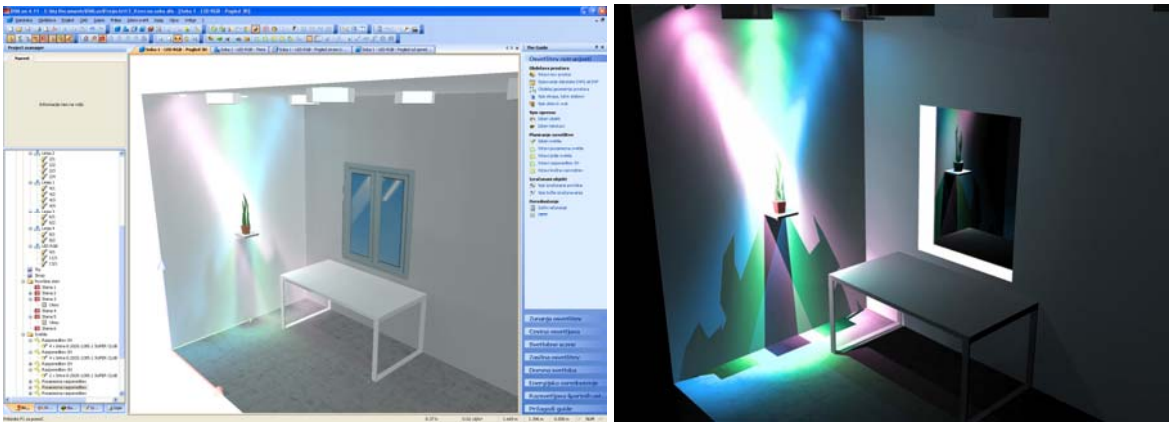
pozicija opazovalca na prikazanih slikah enaka pozicijo opazovalca, ki je bila uporabljena v CAD vmesniku. Lahko pa 3D risbo shranimo tudi kot grafično datoteko (jpg, png, bmp, wmf…).



*Slika 10.67: Nekaj strani poročila, natisnjenega v obliki *.pdf datoteke. Prva stran vsebuje podatke o uporabljeni svetilki. Sledi stran poročila s podatki o izračunani osvetljenosti z dnevno svetlobo ter stran z izračunanimi osvetljenostmi pri uporabi scene »vse 100 %«. Vidimo da je poleg slike tlorisa z vrisanimi izoluksnimi krivuljami na strani podana tudi tabela s karakterističnimi vrednostmi osvetljenosti.*

10.9.2 IZDELAVA 3D FOTO-REALISTIČNIH SLIK.

Včasih je potrebno za investitorja ali arhitekta pripraviti foto-realistične slike notranjosti prostora, ki ga obdelujemo. DIALux ima vgrajen modul za izdelavo takšnih slik. V 3D pogledu nastavimo pogled, kot ga želimo imeti na foto-realistični sliki. Nato v glavnem meniju programa izberemo ***Datoteka*** -> ***Izvozi*** -> ***Izračunaj pogled CAD s POV-Ray…*** V oknu, ki se odpre, izberemo velikost slike, lahko pa spremenimo tudi katero od ostalih nastavitev. Po potrditvi se zažene program za izdelavo foto-realistične slike in ko je slika narejena, jo računalnik odpre v privzetem programu za grafične (v tem primeru *.bmp) datoteke. Če je izdelana slika pretemna ali presvetla, lahko v nastavitvah na zavihku ***Nastavitve svetlosti*** spremenimo koeficient svetlosti.

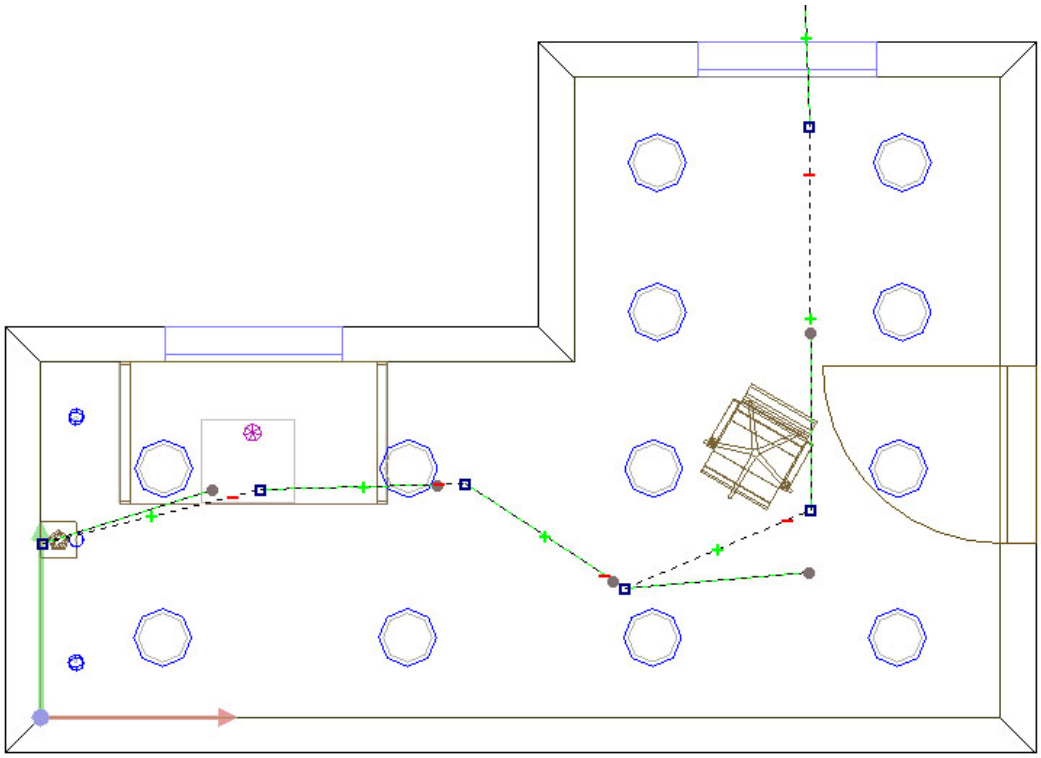


Slika 10.68: Smer pogleda za foto-realistično sliko izberemo v 3D zavihku v CAD vmesniku (levo). Izbran 3D pogled (desno) DIALux izdela in prikaže v obliki grafične (.bmp) datoteke v privzetem grafičnem programu.

Slika 10.69: Foto-realističen prikaz treh različnih svetlobnih scen v prostoru.

10.9.3 IZDELAVA 3D VIDEA.

Včasih se pokaže tudi potreba po izdelavi 3D video prikaza obravnavanega prostora. S takšnim videom lahko prikažemo kakšen bo občutek obiskovalca, ko bo vstopil in se sprehodil po prostoru. Tovrstni prikazi so predvsem primerni za večje prostore, kot so trgovine, dvorane, cerkve, prireditveni prostori, večje sejne sobe in podobno, kjer želimo z razsvetljavo tudi ustrezno oblikovati prostor in ne samo zagotoviti vidne sposobnosti delavcev.



Slika 10.70: Potek linije opazovalca (kamere) v tlorisnem prikazu obravnavanega prostora, po kateri se premika opazovalec med 3D videom. Linijo lahko ustrezno spremenimo oziroma dopolnimo, nastavimo pa lahko tudi smeri pogleda med premikanjem.

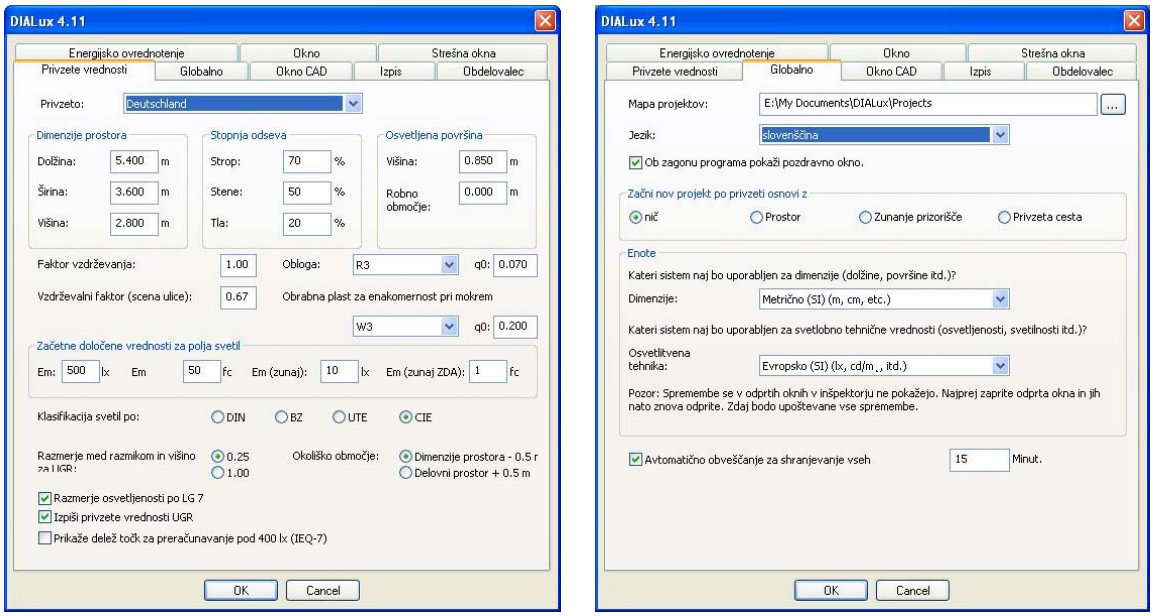
Z izdelavo 3D videa začnemo tako, da določimo pot opazovalca (kamere) skozi prostor ter smeri pogleda med premikanjem. Najprej v CAD vmesniku izberemo zavihek s 3D pogledom. Nato v glavnem meniju programa izberemo ***Datoteka*** -> ***Izvozi*** -> ***3D shrani video...*** V prikazu prostora v CAD vmesniku se prikaže ravna linija in v ***Pregledovalcu*** se prikažejo osnovni podatki. Linija predstavlja premikanje opazovalca oziroma kamere skozi

prostor. Opazovalec (kamera) začne svojo pot na levi strani linije in jo konča na desni strani. Če s potekom linije opazovalca nismo zadovoljni, preklopimo na tlorisni pogled in potek linije ustrezno uredimo. S klikom na zeleni + lahko dodamo liniji novo točko, s premikanjem sivega kroga pa spreminjamo usmerjenost opazovalca (kamere) med naslednjim premikom. Ko smo z linijo zadovoljni, si s pomočjo drsnika v ***Pregledovalcu*** lahko v 3D zavihku CAD vmesnika ogledamo predogled. Nato nastavimo še dolžino videa (ki naj ne bo predolga) in video izdelamo s klikom na ***Izdelava videa***.

10.10 NASTAVITVE PROGRAMA

V meniju ***Datoteka*** -> ***Nastavitve*** -> ***Splošne možnosti*** nastavimo oziroma spremenimo nastavitve različnih možnosti za delovanje in izgled programa. Na zavihku ***Privzete vrednosti*** nastavimo osnovne oziroma privzete podatke o prostoru za nove projekte. Privzeti podatki med drugim vsebujejo velikost prostora, odsevnosti osnovnih površin (tla, stene, strop) in osnovno površino za izračun osvetljenosti. Podatki so uporabljeni, ko na začetku programa izberemo, da želimo projektirati razsvetljavo novega prostora.

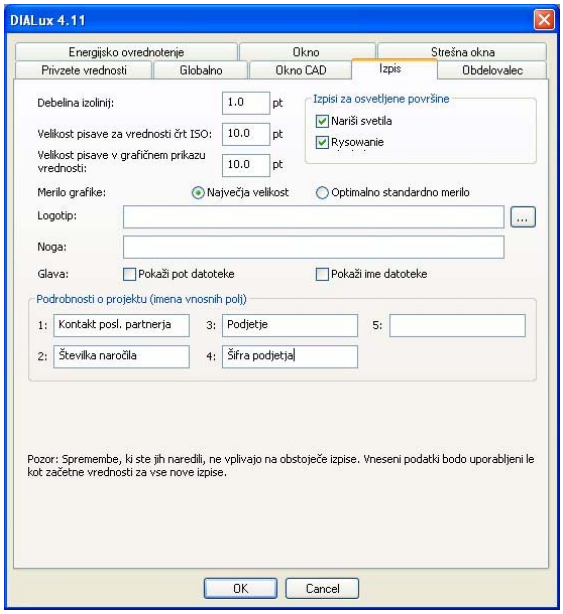
Na zavihku ***Globalno*** nastavimo privzet direktorij (mapo), kamor se shranjujejo projekti. Prav tako lahko na tem zavihku nastavimo tudi uporabljen merski sistem za dimenzijske veličine (dolžina, površina ...) ter za fotometrične veličine (osvetljenost, svetlost ...). Izbiramo lahko med metričnim (SI) in anglo-saškim sistemom. Na tem zavihku je možno nastaviti tudi uporabljen jezik programa. Med možnimi jeziki, ki jih lahko izberemo, je tudi slovenščina. Na žalost pa slovenski prevod programa ni najboljši in je zato včasih nerazumljiv.



Slika 10.71: Zavihka Privzete vrednosti (levo) in Globalno (desno) v oknu za podajanje oz. spreminjanje nastavitev programa. Do okna pridemo iz glavnega menija programa z izbiro Datoteka -> Nastavitve -> Splošne možnosti.

Na zavihku *Izpis* pa lahko definiramo oziroma popravimo nastavitve, ki se nanašajo na izpis rezultatov izračunov in ki se prav tako shranijo kot privzete vrednosti. Določimo lahko na

primer datoteko (v obliki *.bmp ali *.jpg) z logotipom podjetja projektanta ali dodatne podatke o projektu (kontaktna oseba, podjetje, ...). Vsi ti podatki bodo prikazani na izpisu projekta oz. v rezultatih simulacij.



Slika 10.72: Zavihka Izpis v oknu za podajanje oz. spreminjanje nastavitev programa. Na tem zavihku lahko nastavimo določene parametre, ki vplivajo na izpis rezultatov izračunov, ko je na primer velikost pisave, logotip podjetja, »noga«, ki se izpiše na dnu listov projekta ter druge podatke o projektu in projektantu.

11 MERITVE RAZSVETLJAVE

Fotometrične meritve razsvetljave so pomemben del izvedbe razsvetljave. Le s pomočjo meritev po končanih delih lahko ugotovimo skladnost razsvetljave s standardi, zakoni in priporočili ter kako blizu so končne vrednosti svetlosti oziroma osvetljenosti projektiranim vrednostim in zahtevam projektne naloge.

Če želimo, da bodo rezultati meritev uporabni za dejansko oceno stanja izvedene razsvetljave, jih moramo izvesti pod točno določenimi pogoji, predvsem pa morajo biti meritve ponovljive. To pomeni, da moramo poznati in upoštevati vse vplivne dejavnike ter si zapisati vse okoliščine, ki bi lahko vplivale na rezultate:

- **stabilizacija svetlobnih virov**: sijalke, predvsem visokotlačne, potrebujejo po vklopu določen čas, da se stabilizirajo in dosežejo nazivno vrednost svetlobnega toka. Zato moramo pred izvedbo meritve počakati, da svetlobni tok doseže končno vrednost;
- **stabilizacija instrumentov**: tako kot svetlobni viri tudi fotometrični instrumenti potrebujejo določen čas, da se stabilizirajo (npr. termostabilizirane merilne glave morajo doseči končno temperaturo, ki zagotavlja ustrezno točnost meritve). Zato moramo po vklopu razsvetljave in inštrumentov počakati določen čas, preden začnemo z meritvami;
- **vpliv tujih svetlobnih virov in predmetov:** tuji svetlobni viri, kot na primer osvetljeni električni aparati, namizne svetilke, zunanja razsvetljava pred oknom v notranjih prostorih oziroma osvetljeni oglasni panoji, izložbe in podobno na zunanjih površinah, imajo lahko na rezultate meritve velik vpliv. Zato je priporočljivo, da te svetlobne vire za čas meritve izklopimo. V kolikor to ni možno, moramo izvesti dvojne meritve in sicer pri vklopljeni razsvetljavi, ki jo merimo ter nato še kontrolne meritve pri izklopljeni razsvetljavi. Z odštevanjem rezultatov drugih meritev od rezultatov prvih nato ugotovimo dejanske vrednosti. Poleg tega je pri meritvah zunanje razsvetljave potrebno izbrati merilno področje, kjer ni večjih predmetov, ki bi metali senco na izbrano področje vrednotenja (kot na primer drevesa, oglasni panoji in podobno);
- **vremenski pogoji**: v kolikor gre za meritve zunanje razsvetljave, jih je potrebno izvajati v vremenu, ki omogoča pogoje, ki so enaki pogojem predvidenem v projektu. Tako na primer na področju Slovenije, meritve izvajamo takrat, ko je površina ceste suha, saj mokra površina bistveno spremeni svetlobno-tehnične parametre. To velja seveda v primerih, ko v projektnih pogojih ni bilo dodatnih zahtev glede svetlobno-tehnične situacije v mokrem (ali snežnem) vremenu. Potrebno je upoštevati tudi hitrost vetra, ki lahko maje svetilke na drogovih ali jeklenicah, zelo nizke temperature pa lahko na primer zmanjšajo svetlobni tok sijalk (predvsem fluorescentnih).

11.1 MERITVE NOTRANJE RAZSVETLJAVE

Pred izvedbo meritev notranje razsvetljave moramo ugotoviti (tudi izmeriti) ter zabeležiti vse podatke, ki vplivajo na rezultate meritev. Pod te štejemo predvsem:

- vrsta in starost svetilk;
- vrsta svetlobnih virov in predstikalnih naprav;
- napajalna napetost;
- temperatura v prostoru;
- odsevnost notranjih površin (ali vsaj njihova barva ter odsevne lastnosti);
- stanje razsvetljave, datum zadnjega čiščenja;
- serijske ali inventarne številke merilnih instrumentov, uporabljenih pri pregledu.

V kolikor je razsvetljava izvedena s fluorescenčnimi sijalkami, moramo pred meritvijo počakati vsaj 20 minut, da se sijalke stabilizirajo. Če pa so sijalke znotraj popolnoma zaprtih svetilk pa lahko traja tudi dlje, preden dosežejo končno temperaturo. Pri novih inštalacijah meritve izvajamo šele po vsaj 100 urah obratovanja razsvetljave, ko so svetlobni viri že ustrezno postarani, da so dosegli stabilno delovanje.

11.1.1 MERITVE V NEOPREMLJENIH PROSTORIH

Ker se priporočila in standardi za notranjo razsvetljavo praviloma nanašajo na posamezne delovne naloge in njihovo neposredno okolico, tudi meritve izvajamo na področjih posameznih delovnih nalog.

V določenih prostorih, na primer takih, namenjenih pisarniški dejavnosti, včasih ni možno vedno določiti področja delovnih nalog, na primer če prostor še ni vseljen. V takih primerih meritve izvedemo v praznem, neopremljenem prostoru in sicer po celotnem področju prostora. Če namreč ugotovimo, da so razmere ustrezne po celotnem prostoru, potem bodo ustrezne na vseh delovnim mestih, ne glede na to, kako bodo po prostoru razporejena.

Običajno lahko iz področja meritev izločimo pol-metrski pas ob stenah, saj se tam delovna mesta običajno ne nahajajo. Vendar pa so rezultati takih meritev uporabni samo, če bo prostor opremljen z nizkim in svetlim pohištvom, oziroma se bo visoko (svetlo) pohištvo nahajalo samo ob stenah prostora. V tem primeru pohištvo ne vpliva bistveno na osvetljenost delovnih površin. V nasprotnem primeru je potrebno meritve opraviti v opremljenem prostoru na dejanskih delovnih mestih.

Izvedbo meritev praznih prostorov začnemo tako, da v prostoru določimo ustrezna mesta merilnih točk. Običajno prostor razdelimo na kvadrate s stranicami velikosti od enega do dveh metrov. Nato v sredini vsakega kvadrata določimo merilno točko v kateri izmerimo osvetljenost. Meritev izvedemo na višini delovne ravnine. Če je ne poznamo, meritve izvajamo na višini 85 cm, če pa bodo vsa delovna mesta sedeča, pa na višini 75 cm. Pri tem si je priporočljivo pomagati ustreznim stojalom (stativom) za merilni instrument.

Meritve razsvetljave

Minimalno potrebno število merilnih točk v prostoru lahko določimo z naslednjo tabelo:

Indeks prostora	Število točk
Pod 1	4
1 do 2	9
2 do 3	16
Več od 3	25

Tabela 11.1: Minimalno število merilnih točk v prostoru v odvisnosti od indeksa prostora.

Pri tem indeks prostora izračunamo po naslednjem izrazu:

$$k = \frac{x \cdot y}{h \cdot (x \cdot y)}$$

Enačba 37: izraz za izračun indeksa prostora, na podlagi katerega izberemo minimalno potrebno število merilnih točk v prostoru.

kjer je:

- k .. indeks prostora
- x, y ..stranici prostora
- h .. višina svetilk nad delovno ravnino.

11.1.2 MERITVE V OPREMLJENIH PROSTORIH

V prostorih, kjer je razpored delovnih mest in s tem tudi področij dela znan že v času načrtovanja razsvetljave, meritve izvedemo v kompletno opremljenih prostorih. Prav tako je smiselno meritve v opremljenih prostorih izvesti ali ponoviti takrat, kadar se v prostoru nahajajo večji kosi pohištva, kot na primer regalne police, visoke omare in podobno. V takih primerih meritve povprečne osvetljenosti v praznem prostoru niso smiselne, saj se razmere lahko po vgradnji pohištva bistveno spremenijo. Meritve osvetljenosti v opremljenih prostorih opravljamo samo na dejanskih področjih dela in na njihovi dejanski neposredni okolici (ali v 0,5 m širokem pasu okoli delovne naloge). Pri tem moramo tako na delovnem mestu kot tudi v neposredni okolici predvideti zadostno število točk, v katerih izmerimo osvetljenost, tako da lahko izračunamo povprečno vrednost in enakomernost osvetljenosti. Povprečna vrednost je v standardu definirana kot razmerje med najmanjšo izmerjeno vrednostjo in povprečno vrednostjo.

Meritve osvetljenosti

Ker standard za osvetljenost delovnega mesta (SIST EN 12464) definira potrebne vrednosti vzdrževane osvetljenosti, na delovnih mestih vedno merimo osvetljenost. Meritev opravimo v ustreznem številu točk, pri vklopljeni razsvetljavi kakor jo uporablja delavec (tudi na primer z namiznimi ali drugimi dodatnimi svetilkami) ter z delavcem (oziroma merilcem) v svojem normalnem položaju na delovnem mestu. Meritev izvedemo tudi, če senca delavca pada na merilno glavo instrumenta, saj je s stališča kakovosti razsvetljave dejanska osvetljenost delovne naloge med delom edini ustrezen podatek.

Meritve svetlosti

Pogosto je na delovnih mestih priporočljivo izmeriti tudi svetlosti, ki se nahajajo v vidnem polju delavca med opravljanjem dela. Z meritvijo svetlosti lahko ugotovimo ali so na delovnem mestu v vidnem polju delavca prisotni moteči ali neustrezni kontrasti oziroma bleščanje. V kolikor se delovni prostor uporablja tako v nočnem kot v dnevnem času in ocenimo, da se svetlosti površin v prostoru pri osvetljenosti z dnevno in umetno razsvetljavo bistveno spremenijo, je priporočljivo izvesti meritve svetlosti pri razsvetljavi z dnevno svetlobo in pri razsvetljavi z umetno svetlobo. Meritve svetlosti obvezno izvedemo na delovnih mestih s slikovnimi zasloni, saj Pravilnik o varnosti in zdravju pri delu s slikovnimi zasloni (Ur. list RS št. 30/2000) predpisuje da, če je le mogoče, razmerje svetlosti med zaslonom in okoljem v neposrednem vidnem polju ne sme presegati 1:3, v ožjem vidnem polju 1:10 in v širšem vidnem polju 1:20.

Svetlosti izmerimo predvsem na naslednjih površinah:

- področje dela oziroma vidne naloga,
- področje neposredne okolice vidne naloge,
- splošno ozadje vidne naloge,
- vertikalne površine nasproti delavca/opazovalca,
- področje oken podnevi in v nočnem času,
- tla iz različnih zornih kotov,
- strop iz različnih zornih kotov,
- svetilke iz različnih zornih kotov.

11.2 MERITVE CESTNE RAZSVETLJAVE

Tako kot pri razsvetljavi delovnih mest, tudi pri cestni razsvetljavi z meritvami ugotavljamo ustreznost cestne razsvetljave glede na zahteve zakonodaje, standardov in priporočil. Prav tako lahko z meritvami ugotovimo pravilnost projekta in izvedbe cestne razsvetljave. Da dosežemo ponovljivost meritev si poleg izmerjenih fotometričnih vrednosti zapišemo tudi druge podatke, ki vplivajo na rezultat meritev, kot na primer:

- vrsta, višina montaže, nagib in zasuk svetilke;
- vrsta, električna moč in starost (delovne ure) svetlobnih virov;
- širina vozišča, kolesarskih stez in pločnikov;
- vrsta podlage na merjeni prometni površini;
- napetost v napajalnem električnem omrežju, ki jo je priporočljivo izmeriti pri večjem številu svetlobnih mest. Priporočljivo jo je tudi preverjati tekom meritve;
- temperatura, ki jo merimo 1 m nad tlemi v intervalih 30 minut;
- vrsta in tip merilnih instrumentov.

11.2.1 MERITVE SVETLOSTI CESTNE RAZSVETLJAVE

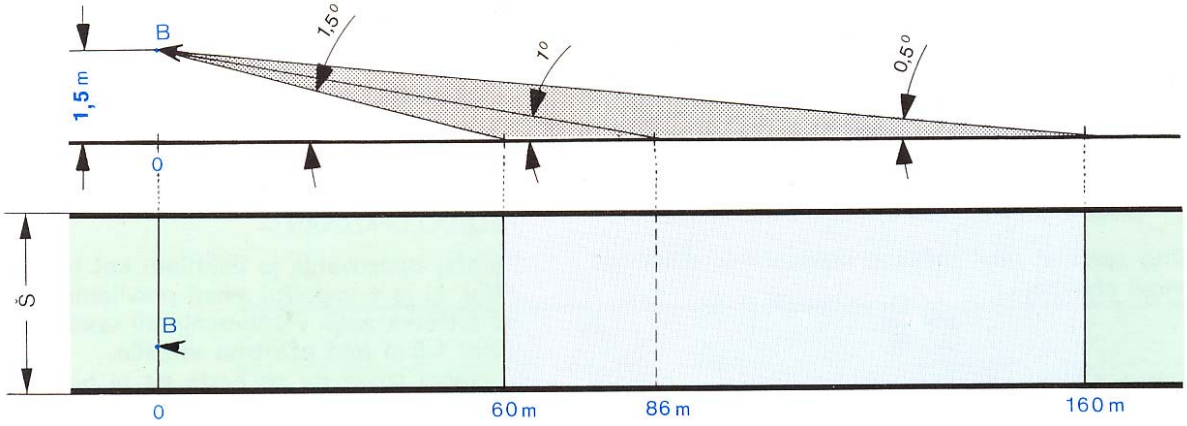
Meritve svetlosti se izvaja na prometnih površinah, kjer standardi in priporočila za razsvetljavo navajajo svetlost kot kriterij kakovosti razsvetljave. Gre za prometne površine, kjer imamo predvsem motorna vozila in kjer je smer pogleda definirana. Za merjenje uporabljamo ustrezne merilnike svetlosti, ki morajo zadostovati naslednjim pogojem:

- merilno področje instrumenta ne sme biti večje kot 2 kotni minuti v navpični smeri in 20 kotnih minut v vodoravni smeri. Velikost merjene površine (ali merjene točke) sme biti največ 0,5 m v prečni smeri in 2,5 m v vodoravni smeri;
- v primeru, da se meritve izvajajo z elektronskim instrumentom, ki uporablja CCD senzor z večjim merilnim področjem, mora instrument omogočati prilagajanje (zmanjšanje) merilnega področja. Tega je potrebno omejiti na področje opisano v prejšnji alineji.

Slika 11.1: Primer merilnika svetlosti proizvajalca Konica Minolta.

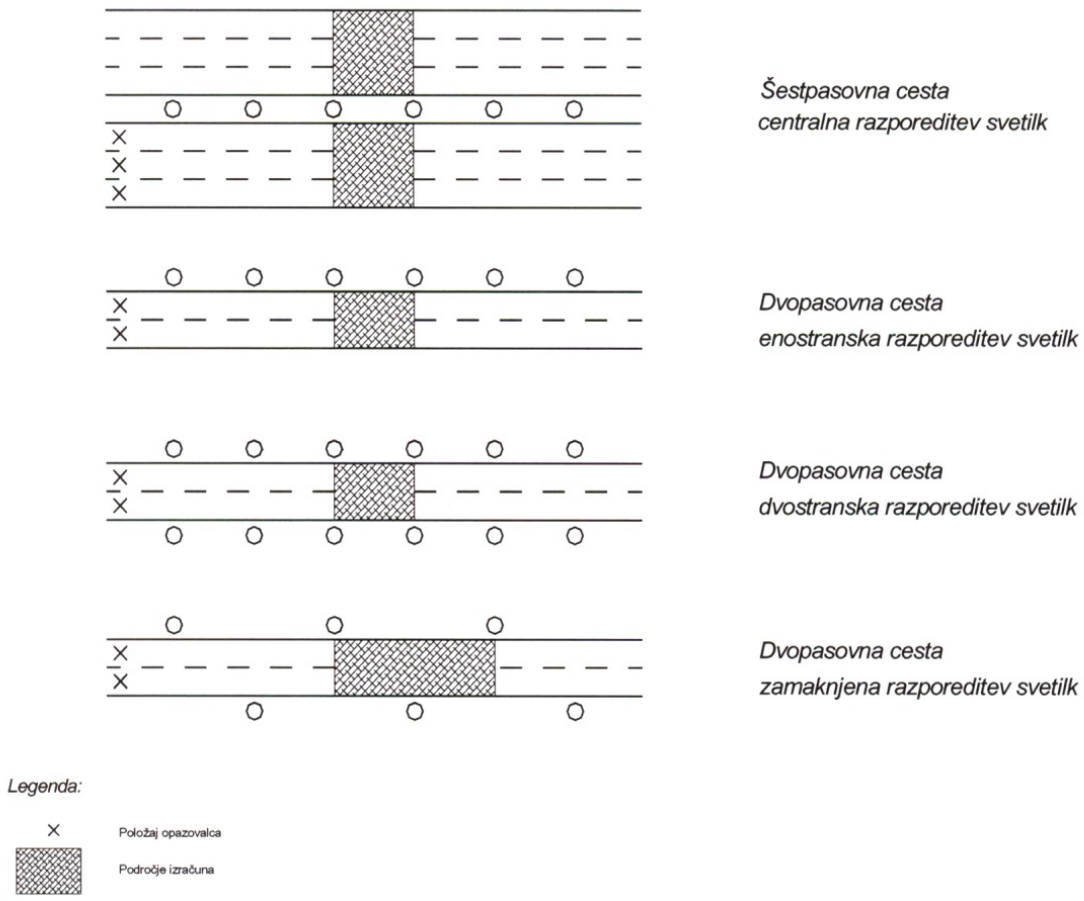
Merilne točke in položaj merilnega inštrumenta

Svetlost prometne površine izmerimo v istih točkah, kot smo jih uporabili za izračune svetlosti pri načrtovanju razsvetljave. Smer meritve oziroma položaj merilnega inštrumenta mora viti enaka, kot je smer pogleda oziroma položaj uporabnika cestne površine. Za slednjega je namreč pomembno le področje ceste oziroma prometne površine, ki se nahaja v njegovem vodnem polju. Za udeležence v motornem prometu (voznike motornih vozil) standardi za cestno razsvetljavo predpostavljajo, da se njihove oči nahajajo na sredini voznega pasu ter na (povprečni) višini 1,5 m, da je pogled usmerjen pod kotom 1° ter da je kot pogleda prav tako 1°. Tako definirano področje opazovanja je prikazano na spodnji sliki.



Slika 11.2: Polje opazovanja, kot ga definirajo standardi za razsvetljavo prometnih površin za motorni promet in kot za upoštevamo pri izračunih in meritvah tovrstne razsvetljave.

Kot lahko vidimo na zgornji sliki, se področje opazovanja začne 60 m pred voznikom in konča 160 m pred voznikom. Sredinska črta pogleda je usmerjena v točko, ki se nahaja 86 m pred voznikom. Glede na dolžino področja opazovanja (100 m), se v tem področju nahaja več svetilk cestne razsvetljave. Ker pa so svetlobno-tehnične razmere med dvema svetilkama enake, se le-te torej znotraj področja opazovanja večkrat ponovijo. Zato načrtovanje in meritve cestne razsvetljave omejimo na t.i. področje vrednotenja med dvema svetilkama. Po definiciji se področje vrednotenja začne s svetilko, ki se nahaja na začetku področja opazovanja in sega v vzdolžni smeri do naslednje svetilke. V prečni smeri področje vrednotenja zajema celotno širino vozišča, oziroma širino do vmesnega pasu med dvema smernima voziščema.



Slika 11.3: Položaji merilca in področja vrednotenja pri različnih konfiguracijah cest.

Merilne točke znotraj področja vrednotenja morajo biti iste, kot točke, ki so bile uporabljene za izračune med načrtovanjem razsvetljave. Določimo jih za vsak vozni pas posebej. Znotraj voznega pasu so točke razporejene v pravokotni mreži, kjer je vzdolžna razdalja med posameznimi točkami enaka:

$$D = \frac{S}{N},$$

Enačba 38: Izračun razdalje med točkami vrednotenja na podlagi znane dolžine področja vrednotenja (S) in izbranega števila točk v vzdolžni smeri (N).

v enačbi na prejšnji strani je:

- D .. vzdolžna razdalja med merilnimi točkami;
- S .. dolžina področja vrednotenja. Običajno je dolžina področja vrednotenja enaka razdalji med dvema svetilkama, če pa gre za dvostransko zamaknjeno porazdelitev, je potrebno vzeti razdaljo med dvema svetilkama na isti strani ceste;
- N .. izbrano število merilnih točk v področju vrednotenja, pri čemer mora veljati:
  - N=10, če je S ≤ 30 m;
  - v kolikor je S > 30 m, je N najmanjše celo število s katerim dobimo D ≤ 3 m.

Prečna razdalja med posameznimi točkami pa je enaka:

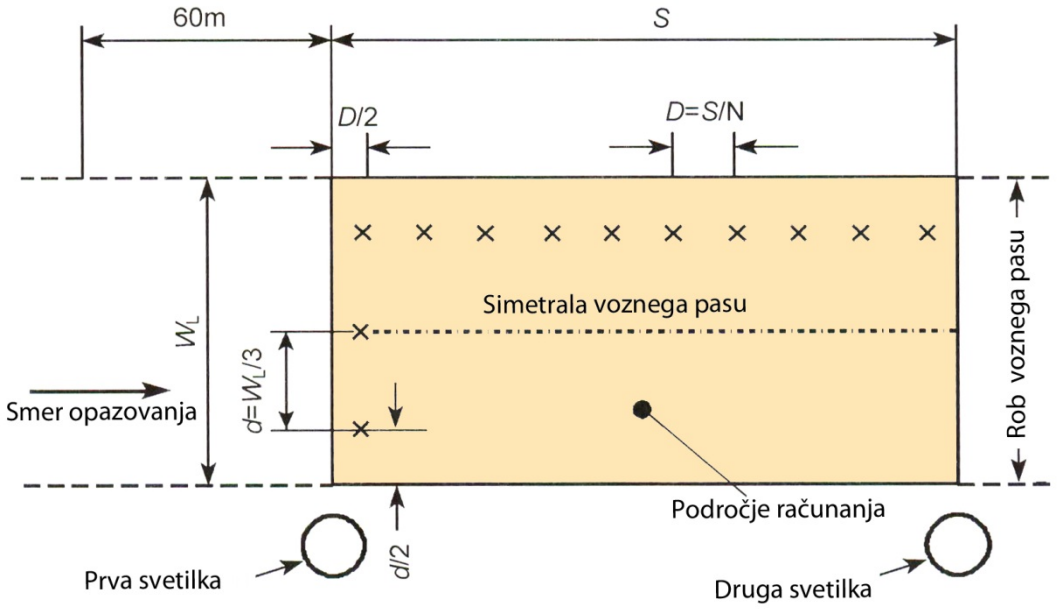
$$d = \frac{W_L}{3},$$

Enačba 39: Razdalja med vzdolžnimi linijami točk vrednotenja (d) je enaka tretjini širine voznega pasu oziroma področja vrednotenja (W_L).

kjer je:

- d .. prečna razdalja med merilnimi točkami;
- W_L .. širina področja vrednotenja.

Točke porazdelimo tako, da je razdalja med robom področja vrednotenja in prvo vzdolžno vrsto merilnih točk enaka d/2.



Slika 11.4: Prikaz porazdelitev merilnih točk po področju vrednotenja. Meritve praviloma izvajamo v istih točkah kot so bile uporabljene za izračune na področju računanja v času projektiranja Tako dosežemo ustrezno primerljivost med izračuni in meritvami.

Ko smo na terenu določili merilne točke znotraj področja vrednotenja, z merilnikom svetlosti iz ustreznega položaja (ki je enak položaju voznika) izmerimo svetlost v vsaki od

določenih točk. Iz tako dobljenih rezultatov nato lahko izračunamo povprečno vrednost svetlosti ter splošno, vzdolžno in prečno enakomernost.

$$\overline{L} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_i ,$$

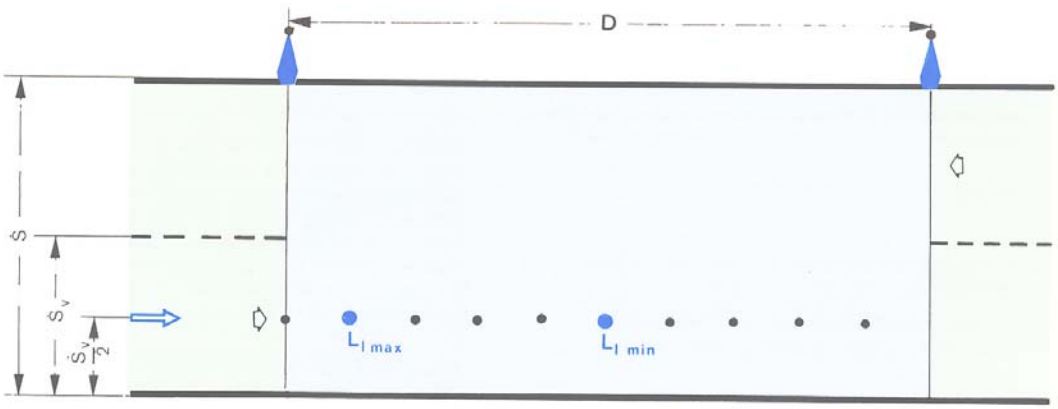
Enačba 40: Povprečno vrednost svetlosti v področju vrednotenja izračunamo iz izmerjenih vrednosti svetlosti v posameznih točkah vrednotenja.

$$U_0 = \frac{L_{\min}}{\overline{L}},$$

Enačba 41: Splošno enakomernost svetlosti izračunamo iz najmanjše izmerjene vrednosti svetlosti znotraj področja vrednotenja, ki jo delimo s povprečno svetlostjo področja.

$$U_l = \frac{L_{l\min}}{L_{l\max}},$$

Enačba 42: Vzdolžna enakomernost svetlosti je enaka razmerju med najmanjšo in največjo izmerjeno vrednostjo svetlost na vzdolžni liniji, ki poteka po sredini voznega pasu oziroma področja vrednotenja.



Slika 11.5: Vzdolžno enakomernost svetlosti izračunamo iz merilnih rezultatov na vzdolžni liniji, ki poteka po sredini področja vrednotenja.

11.2.2 MERITVE OSVETLJENOSTI CESTNE RAZSVETLJAVE

Meritve osvetljenosti izvajamo na tistih prometnih površinah, za katere predpisi, standardi in priporočila podajajo potrebne osvetljenosti. Gre za področja z mešanim prometom oziroma področja za pešce in počasni promet, kjer smeri pogleda niso jasno definirane. Katero osvetljenost merimo (bodisi horizontalno, vertikalno ali polcilindrično), je odvisno od mesta meritve in zahtev predpisov, standardov ali priporočil. Pri tem moramo uporabiti merilnik osvetljenosti, ki izpolnjuje naslednje pogoje:

- merilnik mora biti sposoben zaznavanja zelo nizkih osvetljenosti. V zunanji razsvetljavi so osvetljenosti lahko zelo nizke, kar še posebej velja za stanovanjska področja. Zato je priporočljivo, da je najmanjša osvetljenost, ki jo je merilnik sposoben zaznati, manjša od 0,01 lx. Za merilnike cestne razsvetljave so primerni merilniki, ki spadajo v razred točnosti B (točnost meritve znaša ±10%);

- spektralna občutljivost merilnika mora biti čim bliže spektralni občutljivosti človeškega očesa. V cestni razsvetljavi se uporabljajo svetlobni viri, ki imajo večinoma črtne spektre svetlobe, zato so merilne negotovosti pri neprimerni spektralni občutljivosti merilnika lahko zelo velike;
- merilnik mora imeti korekcijo kosinusa kota vpadne svetlobe. Za razliko od notranje razsvetljave, so vpadni koti svetlobe pri zunanji razsvetljavi lahko zelo veliki. To zopet velja predvsem za področja, kjer so zahtevane osvetljenosti nizke in zato razdalje med svetilkami večje;
- priporočljivo je, da je merilna glava z merilnikom povezana preko priključnega kabla, s čimer se lahko izognemo neželenemu senčenju merilne glave. Seveda je v tem primeru potrebno poskrbeti za ustrezno mehansko vpetje merilne glave.

Slika 11.6: Primer merilnika osvetljenosti proizvajalca Konica Minolta.

Meritev horizontalne osvetljenosti

Horizontalno osvetljenost prometne površine izvajamo na tleh oziroma največ 0,2 m nad tlemi. Merilna glava mora biti v vodoravnem položaju z merilno (svetlobno občutljivo) površino obrnjeno navzgor. Ker so vpadni koti svetlobe lahko zelo veliki (glede na normalo na merilno površino) je priporočljivo uporabiti merilno glavo z vgrajeno libelo ali pa merilno glavo v kardanskem vpetju s čimer zagotovimo njen vodoravni položaj. Meritve horizontalne osvetljenosti izvajamo v merilnih točkah znotraj področja vrednotenja, ki jih določimo na isti način kot pri meritvah svetlosti. Tudi tu je pomembno, da se merilne točke ujemajo z točkami, v katerih so bili opravljeni izračuni v fazi projektiranja, saj le tako lahko ugotovimo, če je bila izvedba projekta ustrezna.

Meritve vertikalne osvetljenosti

Meritve vertikalne osvetljenosti moramo izvesti povsod tam, kjer standardi oz. priporočila za razsvetljavo navajajo kot kriterij kakovosti vertikalno osvetljenost (npr. na prehodih za pešce). Pri meritvah je potrebno paziti, da je merilna glava v pravilnem vertikalnem položaju ter da merilec ne meče sence na merilno površino. Pri namestitvi merilne glave moramo paziti tudi na njeno pravilno usmerjenost, na primer pri razsvetljavi prehodov za

pešce mora biti merilna glava usmerjena vzporedno z osjo ceste (proti toku prometa) z merilno površino pravokotno na to smer.

Meritve polcilindrične osvetljenosti

Polcilindrična osvetljenost je pomembna za prepoznavanje obrazov na površinah za pešce in s tem za občutek varnosti pri uporabnikih teh površin. Meritve polcilindrične osvetljenosti izvajamo s pomočjo posebno oblikovane merilne glave oziroma posebnega nastavka, ki ga je mogoče namestiti na nekatere merilnike osvetljenosti. Pri namestitvi merilne glave pazimo tudi na običajno smer premikanja pešce. Če je smer lahko različna, kot na primer na večji trgih, potem meritev opravimo v več smereh.

Slika 11.7: Merilna glava za meritev polcilindrične osvetljenosti. Svetlobno občutljiv del je prekrit z belim difuzorjem. Merilna glava je na vrhu opremljena z libelo, ki nam omogoča namestitev (merilne površine) v pravilen (navpičen) položaj.

11.3 MERITVE SVETLOSTI FASAD IN KULTURNIH SPOMENIKOV

S sprejetjem Uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja so meritve svetlobno-tehničnih parametrov na fasadah, kulturnih spomenikih in okenskih površinah varovanih prostorov dobile večji pomen. Glede na zahteve uredbe je pri razsvetljavi fasad in kulturnih spomenikov potrebno meriti svetlost, pri okenskih površinah varovanih prostorov pa osvetljenost.

Meritve izvajamo z enakimi ali podobnimi instrumenti kot pri cestni razsvetljavi (merilnik svetlosti, merilnih osvetljenosti), pri čemer upoštevamo ustrezna določila uredbe. Za meritve svetlosti fasade se tako zahteva:

- svetlost fasade se ugotavlja z meritvami svetlosti v najmanj desetih točkah, ki so enakomerno porazdeljene po celotni površini osvetljenega dela fasade;
- meritve se izvajajo v razdalji največ 50 m od osvetljene fasade ali iz mesta za svetilkami razsvetljave fasade, če je to izvedljivo;
- merilnik svetlosti sme biti največ 2 m nad tlemi.

Za meritve svetlosti osvetljenih kulturnih spomenikov veljajo praktično enake določbe.

12 PRILOGA – ZAHTEVE ZA RAZSVETLJAVO

V nadaljevanju so podane minimalne vrednosti vzdrževane osvetljenosti (E_{min}) skupaj z dovoljenimi največjimi vrednostmi indeksa bleščanja (UGR_{max}) in potrebnimi vrednostmi indeksa barvnega videza ($R_{a\ min}$) za posamezna delovna mesta oz. delovne naloge, kot jih najdemo v standardu SIST EN 12464:2004 Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 1. del: Notranji delovni prostori.

12.1 SPLOŠNI PROSTORI IN PROMETNE POVRŠINE V RAZLIČNIH STAVBAH

Prometne cone	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Prometne površine in veže	100 lx	28	40
Stopnice, tekoče stopnice, vozni trakovi	150 lx	25	40
Nakladališča, nakladalne rampe	150 lx	25	40

Prostori za odmor, sanitarni prostori in prostori za prvo pomoč	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Kantine	200 lx	22	80
Postori za odmor	100 lx	22	80
Prostori za korekcijsko telovadbo	300 lx	22	80
Garderobe, umivalnice, kopalnice, sanitarije	100 lx	25	80
Sanitetni prostori	500 lx	19	80
Prostori za medicinsko oskrbo	500 lx	16	90

Prostori za kontrolo	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Hišni tehnični prostori, stikalnice	200 lx	25	60
Postori za teleks in pošto, prostori za telefonsko posredovanje	500 lx	25	80

Skladišča in hladilnice	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Prostori za zaloge in skladišča	100 lx	25	60
Postori za pakiranje in odpošiljanje	300 lx	25	60

Visoka – regalna skladišča	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Vozne poti brez osebnega prometa	20 lx	22	40
Vozne poti z osebnim prometom	200 lx	22	60
Stojnice, stojišča	200 lx	22	60

12.2 KMETIJSTVO IN ŽIVILSKA INDUSTRIJA

Kmetijstvo	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Oskrba in upravljanje priprav in strojev	200 lx	25	80
Hlevi za živino	50 lx	25	40
Hlevi za bolne živali, prostori za telitev	200 lx	25	60
Priprava krmil, prostori za mleko, čistilnica orodja	200 lx	25	60

Pekarne	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Prostori za pripravo in peko	300 lx	22	80
Končna obdelava, glaziranje, dekoriranje	500 lx	22	80

Živilsko predelovalna industrija	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Pranje in polnjenje sodov	200 lx	25	80
Čiščenje, sejanje, lupljenje in kuhanje za konzerve	200 lx	25	80
Delovna mesta tovarnah čokolade in sladkorja	200 lx	25	80
Sušenje in fermentacija surovega tobaka	200 lx	25	80
Kleti za kisanje in vrenje	200 lx	25	80
Sortiranje in pranje pridelkov, mletje, mešanje, pakiranje	300 lx	25	80
Delovna mesta v klavnicah in mesarijah	500 lx	25	80
Delovna mesta in kritične cone v mlekarnah	500 lx	25	80
Delovna mesta v mlinih, filtrarnah in rafinerijah sladkorja	500 lx	25	80
Rezanje in sortiranje sadja in zelenjave	300 lx	25	80
Pridelovanje delikatesnih izdelkov in drugih živil	500 lx	22	80
Kuhinjska dela	500 lx	22	80
Izdelovanje cigar in cigaret	500 lx	22	80
Kontrola steklenic in kozarcev	500 lx	22	80
Kontrola izdelkov, garniranje, sortiranje, dekoriranje	500 lx	22	80
Laboratoriji	500 lx	19	80
Kontrola barv	1000 lx	16	90

12.3 INDUSTRIJA IN OBRT

Izdelovanje gradbenih materialov	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Sušenje	50 lx	28	20
Priprava materiala, dela na pečeh in mešalcih	200 lx	28	20
Splošna strojna dela	300 lx	25	80
Grobo oblikovanje	300 lx	25	80

Izdelovanje keramike, ploščic, stekla, steklenih izdelkov	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Sušenje	50 lx	28	20
Priprava materiala, splošna strojna dela	300 lx	25	80
Emajliranje, valjanje, stiskanje, oblikovanje enostavnih delov	300 lx	25	80
Zastekljevanje, steklopihaštvo	300 lx	25	80
Brušenje, glaziranje, poliranje stekla	750 lx	19	80
Oblikovanje majhnih delov, izdelovanje instrumentov iz stekla	750 lx	19	80
Brušenje optičnih stekel in kristalnega stekla	750 lx	16	80
Ročno brušenje in graviranje, delo na srednje velikih delih	750 lx	16	80
Drobna dela, npr. brušenje okraskov, ročno barvanje	1000 lx	16	90
Izdelava in obdelava sintetičnih dragih kamnov	1500 lx	16	90

Kemična industrija	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Proizvodno tehnične naprave z daljinskim upravljanjem	50 lx	28	40
Proizvodno tehnične naprave z občasnimi ročnimi posegi	100 lx	28	40
Stalno zasedena delovna mesta pri tehničnih napravah	300 lx	25	80
Delovna mesta v proizvodnji s stalnim procesom	300 lx	25	80
Precizne merilnice, laboratoriji	500 lx	19	80
Izdelovanje zdravil	500 lx	22	80
Izdelava plaščev in zračnic za vozila	500 lx	22	80
Barvno preizkušanje	1000 lx	16	90
Prirezovanje, dodelava, kontrolna dela	750 lx	19	80

Elektro industrija	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Izdelovanje kablov in vodnikov	300 lx	25	80
Navijanje velikih tuljav	300 lx	25	80

Navijanje srednjih tuljav	500 lx	22	80
Navijanje finih tuljav	750 lx	19	80
Impregniranje tuljav	300 lx	25	80
Galvaniziranje	300 lx	25	80
Groba montažna dela (veliki transformatorji)	300 lx	25	80
Srednje fina montažna dela (stikalne plošče)	500 lx	22	80
Fina montažna dela (telefoni)	750 lx	19	80
Zelo fina montažna dela (merilni instrumenti)	1000 lx	16	80
Delavnice za elektroniko, preizkušanje, justiranje	1500 lx	16	80

Livarne	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Podhodi, kleti itd.	50 lx	25	20
Odri	100 lx	25	40
Priprava peska	200 lx	25	80
Čiščenje odlitkov	200 lx	25	80
Delovna mesta ob kupolnih pečeh in mešalcih	200 lx	25	80
Livarne	200 lx	25	80
Praznilnice	200 lx	25	80
Strojno oblikovanje	200 lx	25	80
Ročno oblikovanje- jedra	300 lx	25	80
Tlačni liv	300 lx	25	80
Modeliranje	500 lx	22	80

Usnjarska industrija	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Delo pri kadeh, sodih in jamah	200 lx	25	40
Struganje, cepljenje, brušenje, valjanje kož	300 lx	25	80
Sedlarska dela in izdelovanje čevljev	500 lx	22	80
Prešivanje, šivanje	500 lx	22	80
Poliranje, stiskanje, prirezovanje, izsekavanje	500 lx	22	80
Sortiranje	500 lx	22	90
Strojno barvanje usnja	500 lx	22	80
Kontrola kvalitete	1000 lx	19	80
Preizkus barve	1000 lx	16	90
Čevljarstvo	500 lx	22	80
Izdelovanje rokavic	500 lx	22	80

Papirna industrija	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Dela na holandcih, strojih za mletje, brušenje lesa	200 lx	25	80
Izdelovanje papirja	300 lx	25	80
Predelava papirja	300 lx	25	80
Stroji za papir in valovito lepenko, proizvodnja kartonaže	300 lx	25	80
Knjigoveštvo	500 lx	22	80

Kovinsko predelovalna industrija	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Kovanje finih oblik	200 lx	25	60
Vgreznjeno kovanje	300 lx	25	60
Varjenje	300 lx	25	60
Groba in srednja strojna dela tolerance ≥ 0.1 mm	300 lx	22	60
Fina strojna dela, brušenje tolerance < 0.1 mm	500 lx	19	60
Natrganje, kontrola	750 lx	19	60
Vlečenje žice in cevi, hladno oblikovanje	300 lx	25	60
Predelava težkih pločevin debeline ≥ 5 mm	200 lx	25	60
Predelava lahkih pločevin debeline < 5 mm	300 lx	22	60
Izdelava orodja (npr. rezalnih orodij)	750 lx	19	60

Groba montažna dela	200 lx	25	80
Srednje fina montažna dela	300 lx	25	80
Fina montažna dela	500 lx	22	80
Zelo fina montažna dela	750 lx	19	80
Galvaniziranje	300 lx	25	80
Površinska obdelava in lakiranje	500 lx	25	80
Izdelava orodja, priprav in pribora	1000 lx	19	80
Precizna in mikromehanika	1000 lx	19	80

Železarne, valjarne, topilnice	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Proizvodne naprave brez ročnega posredovanja	50 lx	28	20
Proizvodne naprave z občasnimi ročnimi posegi	150 lx	28	40
Produkcijske naprave s stalnimi ročnimi posegi	200 lx	25	60
Skladišča žlindre	50 lx	25	20
Visoke peči	200 lx	25	20
Valjčna proga, vitel, škarjaste in ločne proge	300 lx	25	40
Krmilni odri, kontrolna mesta	300 lx	22	80
Preizkusna, merilna in nadzorna mesta	500 lx	22	80
Podhodi, tračne proge, kleti itd.	50 lx	25	20

Tekstilna industrija	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Delovna mesta in cone ob bazenih, odpiranje bal	200 lx	25	60
Grebljanje, pranje, likanje	300 lx	22	80
Delo na trgalniku	300 lx	22	80
Česanje, razvrščanje, predpredenje, tolčenje, kartiranje	300 lx	22	80
Predenje jute in konoplje	300 lx	22	80
Predenje, suknanje, navijanje, zankanje	500 lx	22	80
Listanje, tkanje, pletenje, spletanje	500 lx	22	80
Šivanje, fino pletenje, pobiranje zank	750 lx	22	80
Snovanje, vzorčenje	750 lx	22	90
Prikrojevanje, barvanje	500 lx	22	80
Sušilni prostor	100 lx	28	60
Avtomatsko tiskanje na blago	500 lx	25	80
Krotičenje, zankanje, čiščenje	1000 lx	19	80
Barvna kontrola, kontrola blaga	1000 lx	16	90
Umetno krpanje	1500 lx	19	90
Izdelovanje klobukov	500 lx	22	80

Proizvodnja avtomobilov	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Izdelava in montaža karoserij	500 lx	22	80
Lakiranje, lakirne kabine, kabine za brušenje	750 lx	22	80
Lakiranje: popravljanje, nadzor	1000 lx	16	90
Blazinjenje	1000 lx	19	80
Končna kontrola	750 lx	19	80

Lesna industrija	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Avtomatska obdelava lesa	50 lx	28	40
Sušenje lesa, izdelovanje vezanih plošč	50 lx	28	40
Parne jame	150 lx	28	40
Žage	300 lx	25	60
Dela na skobelniku, lepljenje, sestavljanje	300 lx	25	80
Brušenje, lakiranje, modelno mizarstvo	500 lx	22	80
Dela na obdelovalnih strojih za les	500 lx	19	80
Izbira lesa za furniranje	750 lx	22	90

Intarzije, rezbarjenje	750 lx	22	90
Kontrola kakovosti	750 lx	19	90

12.4 ENERGETIKA

Elektrarne	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Naprave za oskrbo z gorivom	50 lx	28	40
Kotlarne	100 lx	28	40
Strojnice	200 lx	25	80
Stranski prostori, npr. črpališča, stikališča (v zgradbah)	200 lx	25	60
Stikališča, komandni prostori	500 lx	16	80
Stikališča na prostem	20 lx	28	40

12.5 POSLOVNE IN UPRAVNE STAVBE

Pisarniška dela	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Dostava, kopiranje, prometne cone itd.	300 lx	19	80
Pisanje, tipkanje, branje, obdelava podatkov	500 lx	19	80
Tehnično pisanje	750 lx	16	80
Delovna mesta s slikovnimi enotami	500 lx	19	80

Splošna področja	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Konferenčni prostori, predavalnice	500 lx	19	80
Sprejemnice	300 lx	22	80
Arhivi	200 lx	25	80

12.6 TRGOVINA IN STORITVENE DEJAVNOSTI

Prodajalne	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Območja prodaje	300 lx	22	80
Območje blagajn	500 lx	19	80
Zavijanje blaga	500 lx	19	80

Frizerstvo in brivstvo	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Nega las	500 lx	19	90

Pralnice in kemične čistilnice	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Dostava, označevanje in sortiranje predmetov	300 lx	25	80
Pranje in kemično čiščenje	300 lx	25	80
Likanje in stiskanje	300 lx	25	80
Kontrola in popravljanje	750 lx	19	80

Tiskarne	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Prirezovanje, pozlačevanje, vtiskovanje	500 lx	19	80
Jedkanje klišejev	500 lx	19	80
Delo na kamnih in ploščah	500 lx	19	80
Delo na tiskarskih stroji, izdelovanje matric	500 lx	19	80
Sortiranje papirja in ročno tiskanje	500 lx	19	80
Stavljenje, retuširanje, litografija	1000 lx	19	80
Barvna kontrola pri večbarvnem tisku	1500 lx	16	90
Jeklo- in bakrotisk	2000 lx	16	80

Izdelovanje nakita	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Obdelava žlahtnih kamnov	1500 lx	16	90
Izdelava okrasnih predmetov	1000 lx	16	90

Urarska dela (ročno delo)	1500 lx	16	80
Izdelava ur (avtomatska)	500 lx	19	80

Parkirne garaže	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Vhodne in izhodne vozne poti (čez dan)	200 lx	25	20
Vhodne in izhodne vozne poti (ponoči)	50 lx	25	20
Vozne poti	100 lx	25	20
Parkirne in odstavne površine	50 lx	25	20
Okenca, linice	300 lx	19	80

12.7 PRIREDITVENI IN JAVNI PROSTORI

Splošna področja	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Vhodne dvorane, čakalnice	200 lx	22	80
Garderobe	200 lx	25	80
Blagajne / okenca	300 lx	22	80

Gledališča, koncertne dvorane, kinematografi	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Vadnice, sobe za preoblačenje	300 lx	22	80
Sejemski in izložbeni prostori	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	300 lx	22	80

Muzeji	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Na svetlobo neobčutljivi razstavni predmeti	300 lx	22	80
Na svetlobo občutljivi razstavni predmeti	glede na občutljivost		

Knjižnice	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Knjižne police	200 lx	19	80
Bralna področja	500 lx	19	80
Izposoja knjig	500 lx	19	80

12.8 GOSTINSTVO

Restavracije in hoteli	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Sprejemnice, blagajne, vratarnice	300 lx	22	80
Kuhinje	500 lx	22	80
Restavracije, jedilnice, funkcionalni prostori	-	22	80
Samopostrežne restavracije	200 lx	22	80
Bifeji	300 lx	22	80
Konferenčni prostori	300 lx	22	80
Veže	100 lx	25	80

12.9 ŠOLSTVO

Otroški vrtci	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Igralnice	200 lx	19	80
Jaslice	200 lx	19	80
Prostori za ročna dela	300 lx	19	80

Izobraževalne ustanove	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Učilnice osnovnih in srednjih šol	300 lx	19	80
Učilnice za večerne šole in izobraževanje odraslih	500 lx	19	80
Predavalnice	500 lx	19	80
Šolska tabla	500 lx	19	80
Demonstracijska miza	500 lx	19	80

Risalnice	500 lx	19	80
Risalnice na umetniških šolah	750 lx	19	80
Prostori za tehnično risanje	750 lx	16	80
Vadnice in laboratoriji	500 lx	19	80
Prostori za ročna dela	500 lx	19	80
Učne delavnice	500 lx	19	80
Vadnice za glasbo	300 lx	19	80
Vadnice za računalnike	500 lx	19	80
Laboratoriji za tuje jezike	300 lx	19	80
Šolske delavnice	500 lx	22	80
Vhodne dvorane	200 lx	22	80
Prometne površine, veže	100 lx	25	80
Stopnišča	150 lx	25	80
Družabni prostori za šolarje/študente in sejne dvorane	200 lx	22	80
Učiteljske zbornice	300 lx	22	80
Knjižnice: knjižne police	200 lx	19	80
Knjižnice: čitalnice	500 lx	19	80
Kabineti za učne pripomočke	100 lx	25	80
Športne dvorane, prostori za telovadbo, kopališča	300 lx	22	80
Šolske menze	200 lx	22	80
Kuhinje	500 lx	22	80

12.10 ZDRAVSTVENI DOMOVI IN BOLNIŠNICE

Večnamenski prostori	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Čakalnice	200 lx	22	80
Veže: podnevi	200 lx	22	80
Veže: ponoči	50 lx	22	80
Dnevni prostori	200 lx	22	80

Prostori za osebje	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Službeni prostori	500 lx	19	80
Prostori za zadrževanje	300 lx	19	80

Bolniške sobe, sobe za porodnice (nosečnice)	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	100 lx	19	80
Razsvetljava za branje	300 lx	19	80
Splošni pregledi	300 lx	19	80
Pregledi in zdravljenje	1000 lx	19	90
Nočna razsvetljava, razsvetljava za orientacijo	5 lx	-	80
Kopalnice in sanitarije za bolnike	200 lx	22	80

Prostori za zdrav. preglede	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	500 lx	19	90
Preiskave in zdravljenje	1000 lx	19	90

Prostori za preglede oči	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	300 lx	19	80
Zdravniški pregledi zunanjega dela oči	1000 lx	-	90
Bralni in barvni testi s tabelo za videnje	500 lx	16	90

Zdravniški prostori za preglede ušes	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	300 lx	19	80
Zdravniški pregledi ušes	1000 lx	-	90

Prostori za slik. diagnostiko	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	300 lx	19	80
Slikovna diagnostika	50 lx	19	80

Porodni prostori	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	300 lx	19	80
Pregledi in zdravljenje	500 lx	19	80

Prostori za zdravljenje (splošno)	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Dializa	300 lx	19	80
Dermatologija	500 lx	19	80
Prostori za endoskopijo	300 lx	19	80
Previjalnice	500 lx	19	80
Medicinske kopalnice	300 lx	19	80
Masaže in obsevanja	300 lx	19	80

Operacijska področja	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Prostori za pripravo in za zbujanje	500 lx	19	90
Operacijski prostori	1000 lx	19	90
Operacijsko polje	10000 lx ali več		90

Intenzivna nega	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	100 lx	19	90
Splošni pregledi	300 lx	19	90
Pregledi in zdravljenje	1000 lx	19	90
Nočni nadzor	20 lx	19	90

Zobozdravstveni prostori	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	500 lx	19	90
V območju pacienta	1000 lx	19	90
V ustni votlini	500 lx0	19	90
Primerjava belosti zobovja	500 lx0	19	90

Laboratoriji in lekarne	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	500 lx	19	80
Barvni preizkusi	1000 lx	19	90

Sterilizacije	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Prostori za sterilizacijo	300 lx	22	80
Prostori za dezinfekcijo	300 lx	22	80

Prostori za obdukcijo in mrtvašnice	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Splošna razsvetljava	750 lx	19	90
Obdukcijska in secirna miza	5000 lx	19	90

12.11 LETALIŠČA IN ŽELEZNICA

Letališča	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Dvorane za čakanje na polet in pristanek, izdaja prtljage	200 lx	22	80
Prometna področja, tekoče stopnice, tekoče poti	200 lx	22	80
Informacijsko okence, prijavno okence (Check-in)	500 lx	19	80
Carinsko okence in okence za potne liste	500 lx	19	80
Področje čakalnic	200 lx	22	80

Shrambe prtljage	200 lx	25	80
Področja za preverjanje varnosti	300 lx	19	80
Kontrolni stolp	500 lx	16	80
Prostori za varnost poletov	500 lx	16	80
Sprednje polje, površine za ustavljanje letal	20 lx	-	20
Druga področja sprednjega polja	10 lx	-	20
Dvorane za letala; za teste in za popravljanje	500 lx	22	80
Področja za teste pogonskih mehanizmov	500 lx	22	80
Merilna področja v dvoranah za letala	500 lx	22	80
Železniški objekti	E_{min}	UGR_{max}	$R_{a\ min}$
Peroni in podhodi za ljudi	100	28	40
Okenca in železniške dvorane (hale)	200 lx	28	40
Okenca in uradi za vozovnice in prtljago	300 lx	19	80
Čakalnice	200 lx	22	80

13 VIRI IN LITERATURA

Viri in dodatna literatura s področja razsvetljave

[1] Peter Podlipnik. *Svetlobnotehnični priročnik*, Elektrokovina: Maribor, 1978

[2] urednik: JARO Medien. *Licht wissen 01 – Lighting with Artificial Light*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2008

[3] urednik: Lichtagentur, Kersting C. *Licht wissen 02 – Good Lighting for a Better Learning Environment*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2012

[4] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 03 – Roads, Paths and Squares*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2007

[5] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 04 – Office Lighting: Motivating and Efficient*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2003

[6] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 05 – Industry and Trade*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2009

[7] urednik: Lichtagentur, Sandner, U. EHI Retail Institute. *Licht wissen 06 – Shop Lighting – Attractive and Efficient*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2011

[8] urednik: Lichtagentur, Kersting C. *Licht wissen 07 – Lighting as a Factor in HEalth*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2004

[9] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 08 – Sport and Leisure*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2010

[10] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 10 – Emergency Lighting, Safety Lighting*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2008

[11] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 11 – Good Lighting for Hotels and Restaurants*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2005

[12] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 12 – Lighting quality with electronics*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2003

[13] urednik: Trust Communication GmbH. *Licht wissen 13 – Outdoor workplaces*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2007

[14] urednik: Lichtagentur. *Licht wissen 14 – Ideas for Good Home Lighting*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2009

[15] urednik: Lichtagentur, Kersting C. *Licht wissen 15 – Good Outdoor Lighting for the Home*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2009

[16] urednik: : Lichtagentur, Sandner, U.. *Licht wissen 16 – City Marketing with Light*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2010

[17] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 17 – LED: The Light of the Future*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2010

[18] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 18 – Good Lighting for Museums, Galleries and Exhibitions*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2006
[19] urednik: RFW agentur für komunikation. *Licht wissen 19 – Impact of Light on Human Beings*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2010
[20] urednik: RFW agentur für komunikation. *Guide to DIN EN 12464-1*, Fördergemeinschaft Gutes Licht: Frankfurt am Main, 2012
[21] Wahl, K. *Lichttechnik*, Fachbuchverlag: Leipzig, 1954
[22] Moon. *The scientific basis of illuminating engineering*, McGraw-Hill book company: New York, 1936
[23] Kaufman. *IES lighting handbook*, Waverly Press: Baltimore, 1966
[24] Walsh, J. W. T. *Photometry*, Dover Publications: New York, 1965
[25] Wittig. *Einfuerung in die Beleuchtungstechnik*, Siemens Aktiengesselschaft: Berlin, 1969
[26] Mueller, C. G. Rudolph, M. *Svetloba in vid*, Maldinska Knjiga: Ljubljana, 1970
[27] Helbig. *Grundlagen der Lichtmesstechnik*, Akademische Verlagsgesellschaft: Leipzig, 1972
[28] Henderson, S. T. Marsden A. M. *Lamps and lighting*, Edward Arnold: London, 1972
[29] Stolzenberg, K. Wittig E. *Die Projektierung von Beleuchtungsanlagen fur Innenraume*, Lichttechnische Ges. e.V.: Karlsruhe, 1964
[30] Spieser, R. Herbst, C.-H. Höfler, K. WUillemin, A. O. *Handbuch fur Beleuchtung*, W. Girardet: Essen, 1975
[31] Ris, H. R. *Beleuchtungstechnik für Praktiker : Grundlagen - Lampen - Leuchten - Planung - Messung*, vde-verlag: Berlin, 1992
[32] Pritchard, D. C. *Lighting*, Longman: London, 1995
[33] Küppers, H. *Das Grundgesetz der Farbenlehre*, Dumont: Koeln, 2000
[34] DeCusatis, C. *Handbook of applied photometry*, American Institute of Physics: new York, 1997
[35] Murdoch, J. B. *Illuminating engineering : from Edison's lamp to the LED*, Visions Communications, New York, 2003
[36] Storey, S. White, L. *Lighting by design*, Pavilion book: London, 2005
[37] Wilhide, E. *Light your home*, Conran Octopus: London, 2005
[38] Valberg, A. *Light vision color*, John Wiley ¸Sons, Ltd: Chichester, 2005
[39] Ander, G. D. *Daylighting performance and design*, John Wiley & Sons, Inc: Hoboken, 2003
[40] McCluney, Ross. *Introduction to radiometry and photometry*, Artech House Inc: Norwood, MA, 1994
[41] Robbins, C. L. *Daylighting: design and analysis*, Van Nostrand Reinhold Company: New York, 1986
[42] Weis, B. Finke, H. *Not- und Sicherheitsbeleuchtung*, VDE Verlag: Berlin, 2011
[43] Smith, F. Kellogg, B. Fred J. *Bringing interiors to light : the principles and practices of lighting design*, Watson-Guptill: New York, 1986

[44] Gall, D. *Grundlagen der Lichtechnik – Kompendium*, Richard Pflaum Verlag: München, 2004
[45] Ogrinc, E. et. al. *Svetlobnotehnični slovar – Seznam slovenskih izrazov*, Slovensko društvo za razsvetljavo: Ljubljana, 1998
[46] Ogrinc, E. *Delovno okolje Razsvetljava*, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Oddelek za tehniško varnost: Ljubljana, 2000
[47] Muneer, T. *Solar radiation and Daylight models*, Elsevier: Oxford, 2004
[48] Mottier, P. *LEDs for Lighting Applications*, ISTE: London, 2009
[49] Lenk, R. Lenk, C. *Practical Lighting Design with LEDs*, IEEE Press: Piscataway, 2011
[50] Gspan, P. Žebovec, S. *Zahteve za razsvetljavo pri delu in standard 12464*, ZVD: Ljubljana 2006
[51] Gspan, P. *Metode ocenjevanja delovnega okolja*, Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve, Urad za varnost in zdravje pri delu: Ljubljana, 2002
[52] Winder, S. *Power Supplies for LED Driving*, Newnes-Elsevier: Burlington, 2008
[53] Sewig, R. *Handbuch der Lichttechnik*, Verlag von Julius Springer, 1938
[54] Sears, F. W. *Optika*, Naučna Knjiga; Beograd, 1963
[55] Küppers, H. *Farbe*, Callwey Verlag: München, 1972
[56] Gut. G. *Handbuch der Lichtwerbung*, Deutsche Verlags-Anstalt: Stuttgart, 1974

Viri na svetovnem spletu in spletna mesta slik

Vsi viri na svetovnem spletu oziroma spletna mesta slik so bila uporabljena v času od junija do novembra 2013.

[1] www.licht.de
[2] www.wikipedia.org
[3] www.nationalgeographic.com
[4] www.lamptech.co.uk
[5] www.innovcity.fr
[6] www.telenor.com
[7] www.infolite.si
[8] www.gamafix.it
[9] www.umich.edu
[10] www.electronichealing.co.uk
[11] lighting.philips.com
[12] www.physicsclassroom.com
[13] www.archello.com
[14] www.olympusmicro.com
[15] www.munsell.com
[16] www.kersten-metalbau.de
[17] photometry.kriss.re.kr
[18] www.lmt.de
[19] www.lumetron.com
[20] www.gossen.de

[21] www.konicaminolta.eu
[22] www.compulite.com
[23] www.collectlamps.com
[24] www.mastersinwroughtiron.com
[25] www.ge.com
[26] www.ies.org
[27] www.makingthemodernworld.org.uk
[28] www.americanhistory.si.edu
[29] www.homepages.abdu.ac.uk
[30] www.sciencemuseum.org.uk
[31] www.treehuger.com
[32] inventors.about.com
[33] www.lighting-galery.net
[34] www.lanshack.com
[35] www.lamptech.co.uk
[36] www.howstuffworks.com
[37] www.philips.com
[38] www.osram.com
[39] www.ge.com
[40] www.siteco.com
[41] www.thorn.com
[42] www.demosfuar.com.tr
[43] www.emberled.com
[44] www.schreder.com
[45] www.beha.com
[46] www.cascadilla.com