Analiza osnovnih svjetlotehničkih veličina

Rašić, Dejan

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:744849

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dejan Rašić

ANALIZA OSNOVNIH SVJETLOTEHNIČKIH VELIČINA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 10. ožujka 2017.

Zavod: **Zavod za prometnu signalizaciju**
Predmet: **Vizualne informacije u prometu**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3840

Pristupnik: **Dejan Rašić (0135213572)**
Studij: Promet
Smjer: Cestovni promet

Zadatak: **Analiza osnovnih svjetlotehničkih veličina**

Opis zadatka:

Retrorefleksija u prometu je jedan od najbitnijih čimbenika sigurnosti prometa, pogotovo u noćnim uvjetima i uvjetima smanjene vidljivosti. Retrorefleksija je pojam koji opisuje vraćanje svjetlosti ka svom izvoru dok se navedena svjetlost može vrednovati pomoću fizikalnih i svjetlotehničkih veličina. Svjetlotehničke (fotometričke) veličine razlikuju se od fizikalnih po tome što vrednuju svjetlost po osnovi reakcija ljudskog vidnog organa, pa se mogu nazvati psihofizikalnim.
Zadatak Završnog rada je analizirati, obraditi i opisati sve svjetlotehničke veličine sa njohovim karakteristikama i obilježjima, te navesti praktičnu primjenu navedenih večičina u planiranju i održavanju signalizacije u prometu.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

doc. dr. sc. Darko Babić

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA OSNOVNIH SVJETLOTEHNIČKIH VELIČINA
ANALYSIS OF BASIC LIGHTNING DEFINITIONS

Mentor: doc. dr. sc. Darko Babić

Student: Dejan Rašić

JMBAG: 0135213572

Zagreb, rujan 2017.

SAŽETAK

Retrorefleksija je pojam koji opisuje vraćanje svjetlosti prema svom izvoru, a navedena svjetlost može se vrednovati pomoću fizikalnih i svjetlotehničkih veličina. Kvalitetnom retrorefleksijom se postiže raspoznavanje i prepoznavenje prometnih znakova i drugih elemenata prometnice u uvjetima otežane vidljivosti pri prilagođenoj brzini kretanja vozila. U radu je napravljen pregled i usporedba fizikalnih osnova svjetla i boje, opisani su izvori svjetlosti. Prikazane su osnove i načini rasvjete prometnica i implikacije svjetlosnog onečišćenja. Analizirane su osnovne svjetlotehničke veličine u svrhu pregleda mogućnosti primjene na povećanje sigurnosti prometa.

KLJUČNE RIJEČI: Svjetlost, svjetlotehničke veličine, svjetlosno onečišćenje, rasvjeta prometnica, izvori svjetlosti.

SUMMARY

Retroreflection is a term that describes the remittance of light to its source, and this light is evaluated by physical and light-technical quantities. The discernment and recognition of traffic signs and other traffic elements under circumstances of aggrevated visibility by adapted speed is accomplished by quality reflection. An overview and comparison of physical light and colour basis is made in this work, the sources of light are described. The basic and manner of traffic artery lighting and the implication of lighting pollution is demonstrated. The grounds of light-technical quantities are analysed with the purpose of overview of implementation possibilities on the increase of traffic safety.

KEY WORDS: light, light-technical pollution, traffic artery lighting, source of light.

SADRŽAJ

1. UVOD ... 1
2. FIZIKALNE OSNOVE SVJETLA I BOJE ... 2
2.1. Svjetlo i zračenje ... 2
2.2. Teorija zračenja ... 3
2.2.1. Valna teorija svjetla ... 3
2.2.2. Kvantna teorija svjetla ... 4
2.3. Optičko zračenje ... 5
2.3.1. Ultraljubičasto zračenje ... 5
2.3.2. Infracrveno zračenje ... 6
2.3.3. Vidljivo zračenje ... 6
2.4. Spektar vidljivog zračenja ... 6
2.5. Svjetlo i boje ... 8
2.6. Sustav kolorimetrije – CIE ... 8
2.7. Temperatura boje ... 12
2.8. Reprodukcija boje ... 14
2.9. Spektralni sustav izvora svjetla ... 15
3. IZVORI SVJETLOSTI ... 16
3.1. Umjetni izvori ... 17
3.2. Termičko zračenje ... 18
3.3. Luminiscentno zračenje ... 19
4. OSNOVE I NAČINI RASVJETE PROMETNICA ... 21
4.1. Izvori svjetlosti cestovne rasvijete ... 22
4.2. Svjetiljke ... 22
4.3. Površine kolnika ... 23
4.4. Načini rasvjete prometnica ... 23
4.4.1. Centralni raspored ... 24
4.4.2. Jednostrani raspored ... 24
4.4.3. Dvostrani raspored ... 25
4.4.4. Kombinirani raspored ... 25
4.4.5. Aksijalni poprečni raspored ... 25
4.4.6. Aksijalni uzdužni raspored ... 26
5. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE ... 27
5.1. Elementi svjetlosnog onečišćenja ... 27

5.1.1. Svjetlina neba 28
5.1.2. Smetajuće svjetlo 28
5.1.3. Bliještanje 28
5.2. Posljedice svjetlosnog zagađenja 29
5.2.1. Sigurnosne posljedice 29
5.2.2. Astronomske posljedice 30
5.2.3. Biološke posljedice 30
6. ANALIZA I PRIMJENA OSNOVNIH SVJETLOTEHNIČKIH VELIČINA 31
6.1. Svjetlosni tok 32
6.2. Jakost svjetlosti 32
6.3. Osvijetljenost 32
6.4. Luminacija 33
6.5. Razina luminancije površine kolnika 35
6.6. Jednolikost luminancije površine kolnika 35
6.7. Razina rasvijetljenosti neposredne okoline ceste 35
6.8. Mjerenje svjetlotehničkih veličina 36
7. ZAKLJUČAK 37
LITERATURA 38
POPIS KRATICA 40
POPIS SLIKA 41
POPIS TABLICA 42

1. UVOD

Tema završnog rada je analiza osnovnih svjetlotehničkih veličina. Svjetlost je dio elektromagnetskog zračenja koji podražuje osjetne stanice mrežnice oka i izaziva osjet vida. Možemo ju vrednovati pomoću fizikalnih i svjetlotehničkih veličina. Svjetlotehničke (fotometričke) veličine vrednuju svjetlost po osnovi reakcija ljudskog vidnog organa i ograničene su samo na vidljivo zračenje spektra. Glavna obilježja svjetlosti u okviru fotometrije su svjetlosni tok, jakost svjetlosti, rasvijetljenost ili osvijetljenost te sjajnost ili luminancija. Jedina fotometrijska veličina koju ljudsko oko može vidjeti je luminacija te predstavlja najvažniji čimbenik projektiranja rasvjete. Završni rad je podjeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Fizikalne osnove svjetla i boje
3. Izvori svjetlosti
4. Osnove i načini rasvjete prometnica
5. Svjetlosno onečišćenje
6. Analiza i primjena osnovnih svjetlotehničkih veličina
7. Zaključak.

U drugom poglavlju opisane su fizikalne osnove svjetla i boje, vrste svjetlosnog zračenja te je opisano kvantitativno vrednovanje boje – kolorimetrija.

U trećem pogavlju se opisuju izvori svjetlosti, dok se veći naglasak stavlja na umjetne izvore svjetlosti koje koristimo za osvjetljavanje. Na sigurnost prometa u noći u znatnoj mjeri utječe cestovna rasvjeta koja vozačima daje utisak opće sigurnosti prilikom kretanja prometnicom, te se u četvrtom poglavlju opisuju njezina glavna tehnička svojstva, kvaliteta njezinih osnovnih elemenata i raspored izvora svjetlosti u cestovnoj rasvjeti.

U petom poglavlju je opisano svjetlosno onečišćenje odnosno promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovane uputrebom umjetnih izvora svjetlosti koji nepovoljno djeluju na ljudsko zdravlje, sigurnost prometa zbog bliještanja i dr.

Šesto poglavlje opisuje osnovne svjetlotehničke veličine odnosno glavna obilježja svjetlosti.

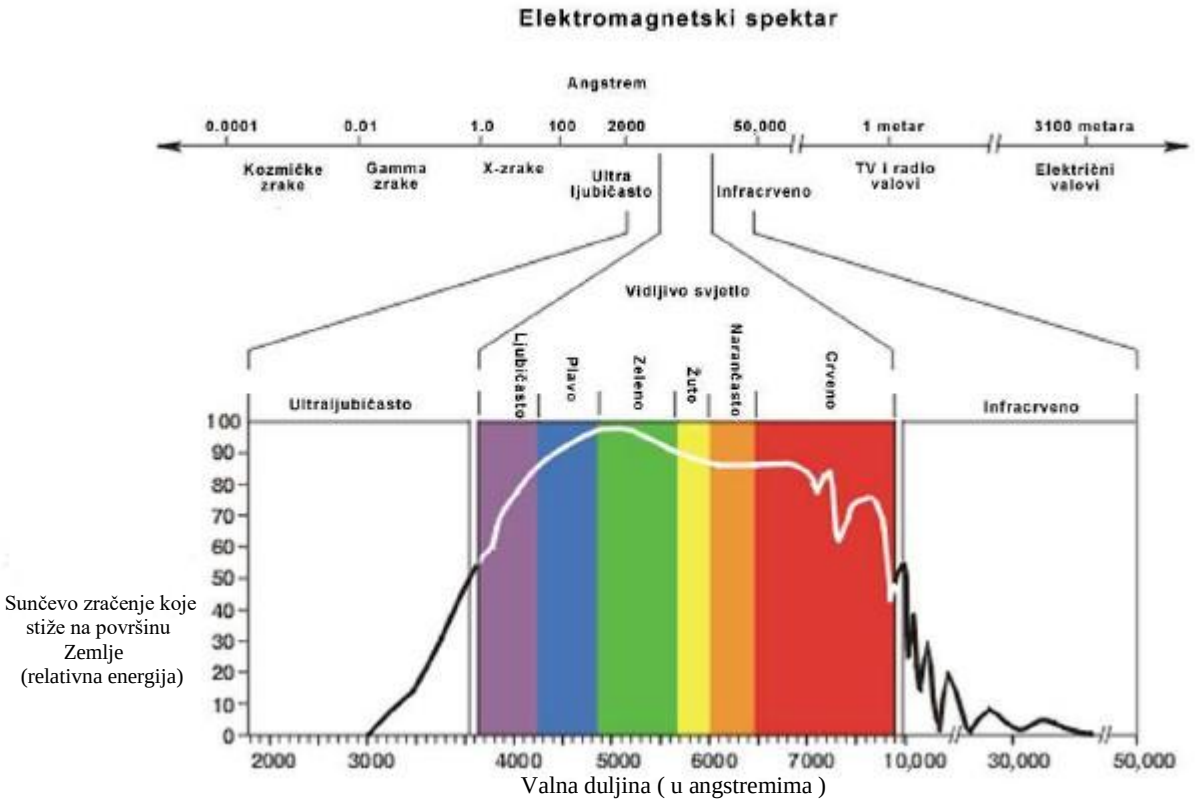
2. FIZIKALNE OSNOVE SVJETLA I BOJE

Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje je vidljivo ljudskom oku. Ljudsko oko u prosjeku može vidjeti svjetlost s valnom duljinom u rasponu od 390 do 750 nm.

Ljudsko oko reagira samo na vrlo ograničeni raspon valnih duljina, na vidljivu svjetlost. Međutim, ono odlično raspoznaje i vrlo male razlike unutar tog raspona. Te male razlike nazivamo boje. Boje su dakle male frekvencijske razlike u području vidljive svjetlosti. Najkraću valnu duljinu imaju ljubičasta i plava svjetlost, a najdulju crvena svjetlost[10].

2.1. Svjetlo i zračenje

Zračenje je u fizikalnom smislu definirano kao emisija ili prijenos energije u obliku elektromagnetskih valova ili čestica. Spektar elektromagnetskog zračenja je širok i rasprostire se od kozmičkih zračenja do tehničkih izmjeničnih struja. Pregled spektra zračenja prikazan je na slici 1. Pojedina zračenja se dakle međusobno razlikuju samo po različitim valnim duljinama odnosno po frekvencijama[4].



Slika 1. - Elektromagnetski spektar
Izvor: [4]

U kontekstu rasvjete koristi se vrlo usko područje spektra elektromagnetskog zračenja (područje valnih duljina između 10^{-7} i 10^{-3} m), koje se naziva *"optičko zračenje"*. Interval između 380 nm i 780 nm elektromagnetskog zračenja se naziva *vidljivo zračenje (svjetlo).*

2.2. Teorija zračenja

Moderna fizika pripisuje svakom zračenju dvojnu (dualističku) karakteristiku: pri interakciji s čvrstom tvari, zračenje se manifestira kao čestice (fotoni), dok se pri širenju prostorom, manifestira kao elektromagnetsko valno širenje energije. U tom smislu, fizika tretira emisiju svjetlosnog zračenja iz dva aspekta, aspekta kvantne teorije (čestica) i aspekta valne teorije (energija).

2.2.1. Valna teorija svjetla

Valna teorija tumači emisiju svjetlosnog zračenja kao elektromagnetsko valno širenje energije prostorom, pri čemu se to širenje odvija pravocrtno po prostoru, i to u obliku transverzalnih valova (njihanje je pravokutno na smjer širenja valova). Brzina širenja zračenja je konstantna, a definira se slijedećom jednadžbom[4]:

$$c = f * \lambda \ [m/s]$$

gdje su:

c - brzina širenja zračenja (m/s),
f - frekvencija zračenja (Hz = s^{-1}),
A - valna duljina zračenja (m).

U vakuumu je brzina širenja elektromagnetskog zračenja prirodna konstanta čija vrijednost iznosi:

$$c_0 = (2{,}99776 \pm 0{,}00004) * 10^8 \approx 3 * 10^8 \ [m/s]$$

Ova brzina se naziva "brzina svjetlosti".

U plinovima, tekućinama i krutinama, koje su propusne za zračenje, brzina širenja zračenja (c) je uvijek manja od brzine u vakumu (c_0) i u relaciji je s parametrom loma svjetla za medij, kroz koji prolazi. Pri tome se frekvencija zračenja ne mijenja, nego se proporcionalno smanjuje samo brzina c i valna duljina λ, što znači da relacija $c/\lambda = f$ ostaje uvijek konstantna.

S tim u svezi treba naglasiti kako se brzina širenja vidljivog zračenja (područje valnih duljina između 380 i 780 nm) prolazom kroz zrak skoro uopće ne mijenja, te je samo za 0.03% manja od brzine širenja u vakumu ($3 * 10^8$ m/s).

Na osnovi valne teorije može se objasniti većina fizikalnih pojava koje su vezane za valnu prirodu svjetla, i to: odraz (refleksija), propusnost (transmisija), lom svjetla, otklon (ogib), interferencija, polarizacija i slično.

2.2.2. Kvantna teorija svjetla

Kvantna teorija zračenja temelji se na pretpostavci prema kojoj je svako zračenje sastavljeno iz elementarnih energetskih čestica, koje se nazivaju "kvanti". Po toj teoriji zračenje se definira kao emisija, upijanje (apsorbiranje) i prijenos energije u obliku kvanta. Na osnovi kvantne teorije može se fizikalno objasniti svjetlosna emisija. Prema Einsteinovoj hipotezi kvantnost je osobina koja je značajna baš za samo svjetlo[4].

Svjetlosno zračenje je dakle skup svjetlosnih kvanta koji se nazivaju *"fotoni"* (fos = [grč.] - svjetlo). Fotoni se u vakumu šire brzinom svjetla i njihova je energija utoliko veća, koliko je frekvencija zračenja (f) veća, odnosno koliko je valna duljina zračenja (λ) manja. Količina energije fotona se definira jednadžbom[4]:

$$W = h * f \ [J]$$

gdje su:

h - Planckova konstanta (Js),

f - frekvencija zračenja ($Hz=s^{-1}$).

Planckova konstanta je prirodna konstanta čija vrijednost iznosi:

$$h = 6{,}6256 * 10^{-34} \ [Js]$$

Fotoni su elementarne energetske čestice, koje nemaju "materijalne osnove", pa prema tome nemaju niti mirujuću masu. Postoje samo tako dugo, dok se kreću brzinom širenja zračenja, a potpuno pak nestaju, kada se zaustave[4]. Ako dakle, neki atom upije svjetlosni kvant, ovaj ne leži u atomu kao foton, nego potpuno nestaje, pri čemu sva energija fotona prelazi na atom. Za fotone je dakle, značajno nekakvo "potencijalno postojanje" u cijelom spektru zračenja. To znači da se foton može pojaviti svugdje gdje postoji elektromagnetsko zračenje, kada se foton umiri prestaje njegovo potencijalno postojanje.

Istraživanje međusobnog utjecaja zračenja i tvari pokazalo je:

Ako neka tvar apsorbira određeno zračenje, a emisija zračenja iz te tvari se nastavi, "novo zračenje" može imati istu energiju i istu valnu duljinu. Obično je novo zračenje energetski oslabljeno i stoga ima veću valnu duljnu. Ova osobina fotona naročito se manifestira kod luminiscentnih tvari, kod izvora svjetla na izboj i kod fotoelemenata[4].

Na osnovi kvantne teorije mogu se fizikalno protumačiti fotoelektrična i fotobiološka djelovanja različitih zračenja. Posebno je kvantna teorija značajna za fizikalnu percepciju svjetlosnog zračenja zagrijanih tijela, te se samo na osnovu te teorije mogu protumačiti eksperimentalno utvrđeni zakoni zračenja zagrijanih tijela.

2.3. Optičko zračenje

Izraz "optičko zračenje" označava područje spektra elektromagnetskog zračenja, koje se koristi u kontekstu svjetlotehničkih relacija.

U sklopu cjelokupnog spektra elektromagnetskih zračenja, koji se rasprostiru od kozmičkih zračenja do tehničkih izmjeničnih struja, samo relativno usko područje valnih duljina od 102 do 108 nm zauzima optičko zračenje.

Spektar optičkog zračenja dijeli se na 3 područja:

- ultraljubičasto zračenje,
- infracrveno zračenje (toplina),
- vidljivo zračenje (svjetlo).

Ljudsko oko registrira samo vidljivi dio spektra, dok ultraljubičasto i infracrveno zračenje ne primjećuje. Ultraljubičasto zračenje graniči s vidljivim zračenjem u zoni kraćih valnih duljina, dok je infracrveno zračenje u zoni većih valnih duljina optičkog zračenja[4].

2.3.1. Ultraljubičasto zračenje

Granice spektra ultraljubičastog zračenja nisu precizno definirane, prihvaćeno je da se dio spektra između 100 do 400 nm odnosi na ultraljubičasto zračenje. Iz praktičnih razloga UV-zračenje se dijeli na 3 uža područja: UV-A zračenje (315- 400 nm), UV-B zračenje (280-315 nm) i UV-C zračenje (100-280 nm).

UV-A zračenje pobuđuje luminiscentne, fotobiološke i fotokemijske procese i zbog toga se primjenjuje u industriji, medicini i sl. Ovo zračenje potamnjuje ljudsku kožu, odnosno pobuđuje pigmente u ljudskoj koži na promjenu boje, ali ne uzrokuje njene upale.

UV-B zračenje prouzrokuje crvenjenje kože (erythem) kao i pigmentiranje kože (tamnjenje kože). Isto tako, ovo zračenje utječe na stvaranje tzv. antirahitičnog vitamina D_2 u ljudskom organizmu. Stoga se ovo područje UV-zračenja upotrebljava uglavnom u medicini za terapeutske svrhe (npr.: "umjetno sunce").

UV-C zračenje pocrvenjuje i potamnjuje ljudsku kožu i može biti štetno za oči jer uzrokuje upalu (conjunctivitis actinica). Ovo područje je od naročite važnosti kod nekih izvora svjetla koji djeluju na principu pražnjenja i gdje se UV-C zračenje pomoću fluorescentnog praha, posebnog sastava, pretvara (transformira) u vidljivo svjetlo. Za područje valnih duljina između 250 i 265 nm značajno je vrlo jako baktericidno djelovanje (uništavanje bakterija), zračenja valnih duljina ispod 200 nm stvaraju ozon[4].

2.3.2. Infracrveno zračenje

Granice spektra infracrvenog zračenja, također, nisu precizno definirane; općenito se može reći kako je područje od 780 nm do 1 mm (106 nm), područje infracrvenog zračenja. Iz praktičnih razloga IR-zračenje podijeljeno je na 3 uža područja: IR-A zračenje (780-1400 nm), IR-B zračenje (1.4-3 μm), i IR-C zračenje (3 μm-1 mm)[4].

Infracrveno zračenje za ljudsko oko nije vidljivo, dok ga naša koža osjeti kao toplinu. Ovo zračenje prodire kroz vakum ili kroz čisti zrak skoro bez primjetnih gubitaka energije. U slučaju da zračenje pogodi neki predmet (objekt), energija zračenja se apsorbira i pri tome pretvara u toplinu.

Od svih gore navedenih područja IR-A zračenje ima najjače toplinsko djelovanje. Zato se ova vrsta zračenja primjenjuje kod "termičkih izvora", koji se koriste u industriji (za zagrijavanje i žarenje, za pečenje emajliranih lakova, te za isparavanje i sušenje).

2.3.3. Vidljivo zračenje

Vidljivo zračenje ljudsko oko percipira kao svjetlo i u stanju ga je razlikovati po boji i svjetlini. Kraćim valnim duljinama odgovara ljubičasti kraj, a dužim crveni kraj. Vidljivo zračenje (svjetlo) koje sadrži sve valne duljine, ljudsko oko percipira kao svjetlost bijele boje (beta svjetlost).

2.4. Spektar vidljivog zračenja

Elektromagnetska zračenja se međusobno razlikuju po valnim duljinama odnosno po frekvencijama, iz kojih su sastavljena. Pritom neko zračenje može biti sastavljeno samo iz jedne valne duljine (frekvencije) ili pak iz većeg broja valnih duljina (frekvencija). Tako razlikujemo:

- monokromatska zračenja,
- sastavljena (kompleksna) zračenja.

Monokromatska zračenja imaju samo jednu valnu duljinu. U proširenom smislu to je zračenje vrlo uskog dijela spektra, npr. samo 10 nm, koje se može označiti samo jednom srednjom valnom duljinom.

Sastavljena zračenja sadrže komponente nejednakih valnih duljina. Kod te vrste zračenja razlikujemo kontinuirana i nekontinuirana zračenja.

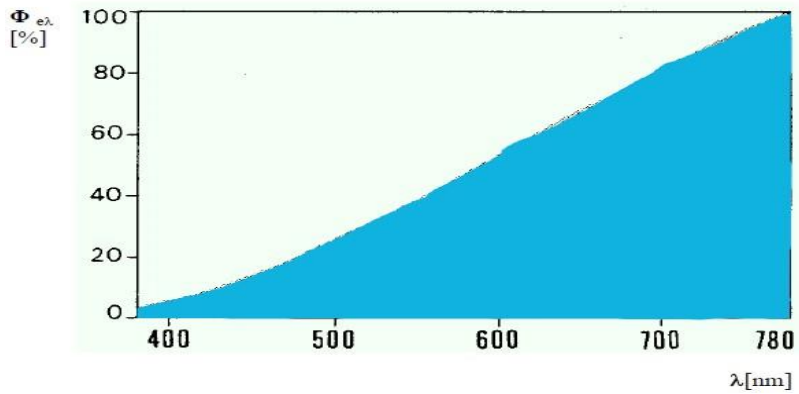
Kontinuirana zračenja su sastavljena zračenja većeg područja u kojem učinak zračenja nigdje ne pokazuje skokove. Ako skokovi postoje, govorimo o nekontinuiranom zračenju.

Spektar je pojam, koji se upotrebljava kada se želi prikazati udjele valnih duljina od kojih je neko zračenje sastavljeno.

Spektar vidljivog zračenja (svjetla) najprikladnije se prikazuje pomoću loma svjetlosnih zraka na nekom mediju (prizma, leća, vodena kap i sl.), pritom se kratkovalno zračenje lomi jače nego dugovalno. Najpoznatiji primjer optičkog prikaza vidljivog spektra je duga[4].

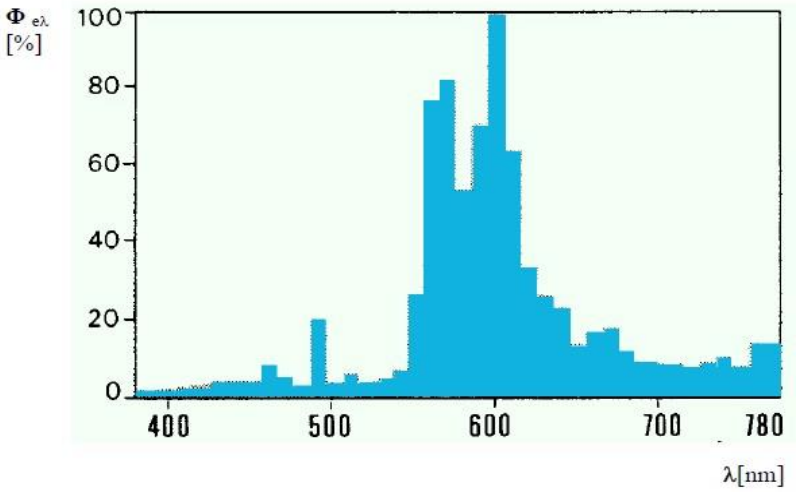
S obzirom na sastav zračenja razlikuju se dvije osnovne vrste spektra:

- kontinurani spektar (slika 2.),
- linijski spektar (slika 3.).



Slika 2. - Kontinuirani spektar

Izvor: [4]



Slika 3. - Linijski spektar

Izvor: [4]

Kontinuirani spektri imaju blage prijelaze između pojedinih spektralnih područja (npr. kao kod duge). Grafički se to prikazuje jednom krivuljom bez skokova. Tijek zračenja nekog područja valnih duljina je tada proporcionalan površini ispod krivulje između graničnih vrijednosti tog područja zračenja.

2.5. Svjetlo i boje

Vidljivo zračenje (svjetlo) ljudsko oko ne percipira samo prema sjajnosti nego i prema bojama. Svako fizikalno definirano vidljivo zračenje (određene jakosti i spektralnog sastava) pobudi u vidnom organu fiziološki osjećaj boje, koje se naziva "podražaj boja". Pri tome je u principu svejedno da li se radi o zračenju svjetlosnog izvora (boja svjetla) ili pak o zračenju osvjetljenog objekta (boja tijela). Ako se naime, osvjetljava neki obojeni objekt (predmet), on će dio svjetla propustiti ili odraziti (reflektirati), to propušteno ili reflektirano "modulirajuće zračenje" prouzročiti će u organu vida osjećaj boja. Znači, boja objekta može nastati samo pri svjetlu (umjetnom ili prirodnom) i ona je u osnovi ovisna o spektralnom sastavu svjetla koje predmet osvjetljava. Iz toga proizlazi da neki objekt može poprimiti različite boje kada se osvjetljava svjetlom različitih boja[24].

Pojam "boja" treba razmatrati u čulnom (subjektivnom) smislu ili pak u fizikalno-matematičkom smislu. Boje razmatrane s fizikalnog gledišta opisane su:

- kolorimetrijskim sustavom CIE,
- temperaturom boje,
- reprodukcijom boje.

2.6. Sustav kolorimetrije – CIE

Kvantitativnim vrednovanjem boja bavi se znanost koja se naziva kolorimetrija (mjerenje boja).

Kolorimetrija rabi za označavanje boja poseban trikromatski sustav, koji omogućava ostvarenje svake boje aditivnim mješanjem triju prikladno izabranih podražaja boja (primarnih valencija boja). Trikromatski sustav, koji je međunarodno prihvaćen, naziva se "standardni kolorimetrijski sustav CIE”[4].

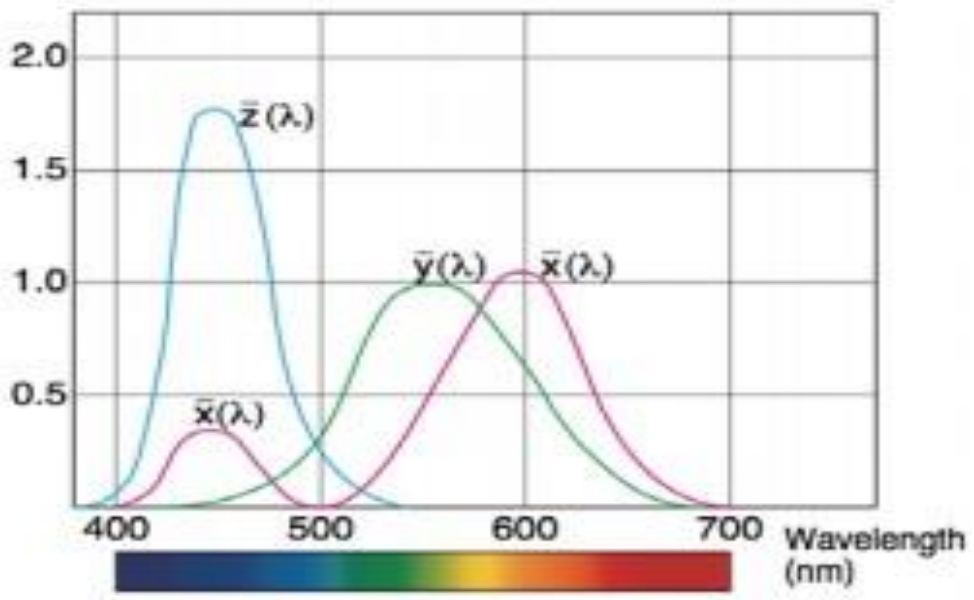
CIE je usvojila dva kolorimetrijska sustava koje je nazvala:

- standardni kolorimetrijski sustav CIE-1931.
- dopunski standardni kolorimetrijski sustav CIE-1964.

Prvi sustav (1931) vrijedi za vidno polje 2°, a koristi se pri veličini vidnog polja između 1° i 4°, drugi sustav (1964) vrijedi za vidno polje 10°, a koristi se kod veličina vidnog polja, većih od 4°.

Oba sustava omogućavaju vrednovanje proizvoljne spektralne raspodjele energije na temelju tri "funkcije standardnih spektralnih vrijednosti". Prema standardnom kolorimetrijskom sustavu CIE-1931 te su funkcije označene kao: $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ i $\bar{z}(\lambda)$, dok su prema dopunskom standardnom kolorimetrijskom sustavu CIE-1964 te funkcije označene sa $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$ i $\bar{z}_{10}(\lambda)$. Te funkcije prikazuju ovisnost standardnih spektralnih vrijednosti od valne duljine i dane su u tabličnom obliku[4].

Na slici 4. prikazan je grafički prikaz funkcija $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ i $\bar{z}(\lambda)$, koje vrijede za standardni kolorimetrijski sustav.



Slika 4. - Grafički prikaz funkcija, CIE 1931.

Izvor: [11]

Funkcije standardnih spektralnih vrijednosti od osnovnog su značaja u kontekstu kvantitativnog vrednovanja boja, koje se temelji na određivanju vrijednosti tzv. *trikromatskih komponenti.* One se označavaju na slijedeći način:

- u kolorimetrijskom sustavu CIE-193*1:X, Y, Z,*

- u kolorimetrijskom sustavu C'IE-1964: X_{10}, Y_{10} i Z_{10}.

Simboli pritom znače:

- X ili X_{10} - mjera za crvenu boju,
- Y ili Y_{10} - mjera za zelenu boju,
- Z ili Z_{10} - mjera za plavu boju.

Vrijednost trikromatskih komponenata određuje se prema izmjerenoj spektralnoj raspodjeli zračenja izvora i pomoću tri funkcije standardnih spektralnih vrijednosti: govoreći o boji tijela treba dodatno uzeti u obzir i spektralne osobine samoga tijela[4].

Za označavanje karakteristike boje nekog zračenja, koristi se pojam "obojenost". Obojenost se vrednuje *trikromatskim koordinatama.* Kada se te koordinate odnose na standardni kolorimetrijski sustav CIE-1931. onda su označene sa simbolima x. y, z i definirane su na slijedeći način:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Ako se trikromatske koordinate odnose na dopunski kolorimetrijski sustav CIE-1964, onda su označene simbolima X_{10}, Y_{10} i Z_{10}, a definirane su na način:

$$x_{10} = \frac{X_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}}$$

$$y_{10} = \frac{Y_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}}$$

$$z_{10} = \frac{Z_{10}}{X_{10} + Y_{10} + Z_{10}}$$

Iz tog načina proizlazi:

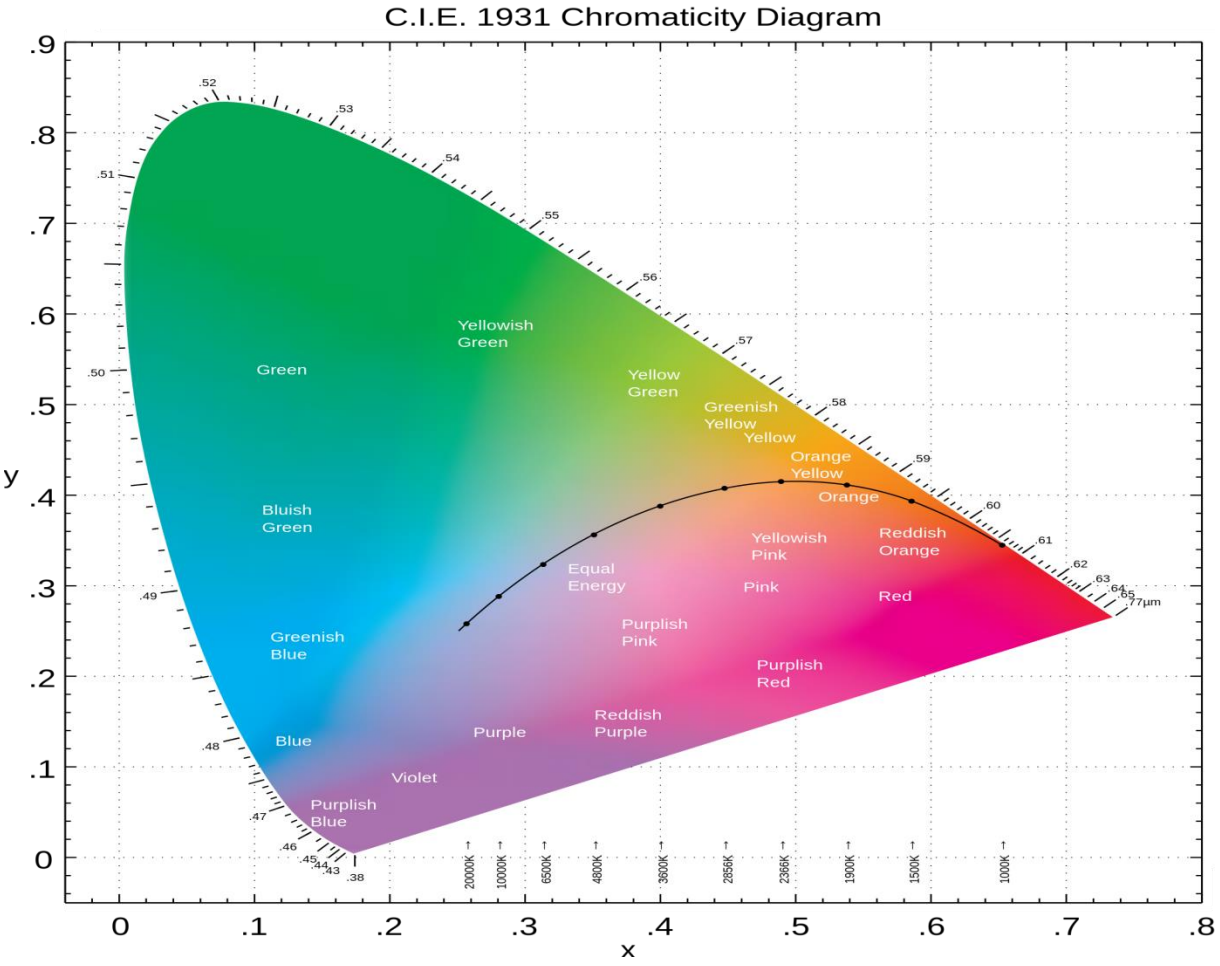
$$x+y+z=1,$$

odnosno

$$x_{10}+y_{10}+z_{10}=1$$

Boja nekog zračenja se može odrediti i u slučaju ako su poznate samo dvije trikromatske koordinate, i to: x i y odnosno x_{10} i y_{10}.

Na tom principu je definiran tzv. *dijagram boja* (trokut boja) kojeg je objavila *CIE* 1931 godine (slika 5.). To je dijagram koji prikazuje rezultat aditivnog miješanja dvaju trikromatskih komponenata: pri čemu su na x-osi dijagrama udjeli crvene boje, a na y-osi, udjeli zelene boje. Pomoću dijagrama boja moguće je dakle točno odrediti svaku boju svjetla (izvora) i svaku boju tijela, ako su poznate vrijednosti trikromatskih koordinata x i y. Svakoj boji odgovara samo jedna točka na dijagramu, koju određuju koordinate x i y[4].



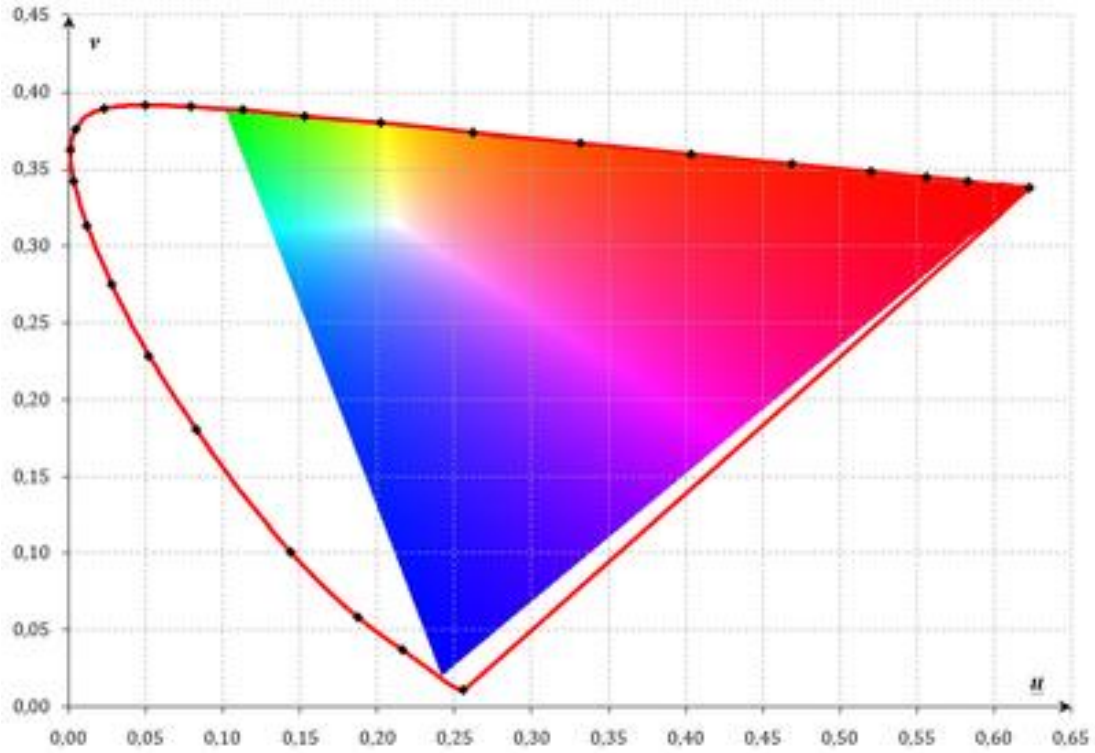
Slika 5. - Dijagram boja

Izvor: [12]

Dijagramom boja na slici 5. nije moguće jednostavno odrediti promjene boja (razlike), zato je CIE 1960. godine objavila tzv. *"UCS* (umform-chromaticitv-scale) *dijagram CIE-1960",* koji je prikazan na slici 6.

Koordinate tog dijagrama su određene na način:

$$u = \frac{4x}{-2x+12y+3} \qquad v = \frac{6y}{-2x+12y+3}$$



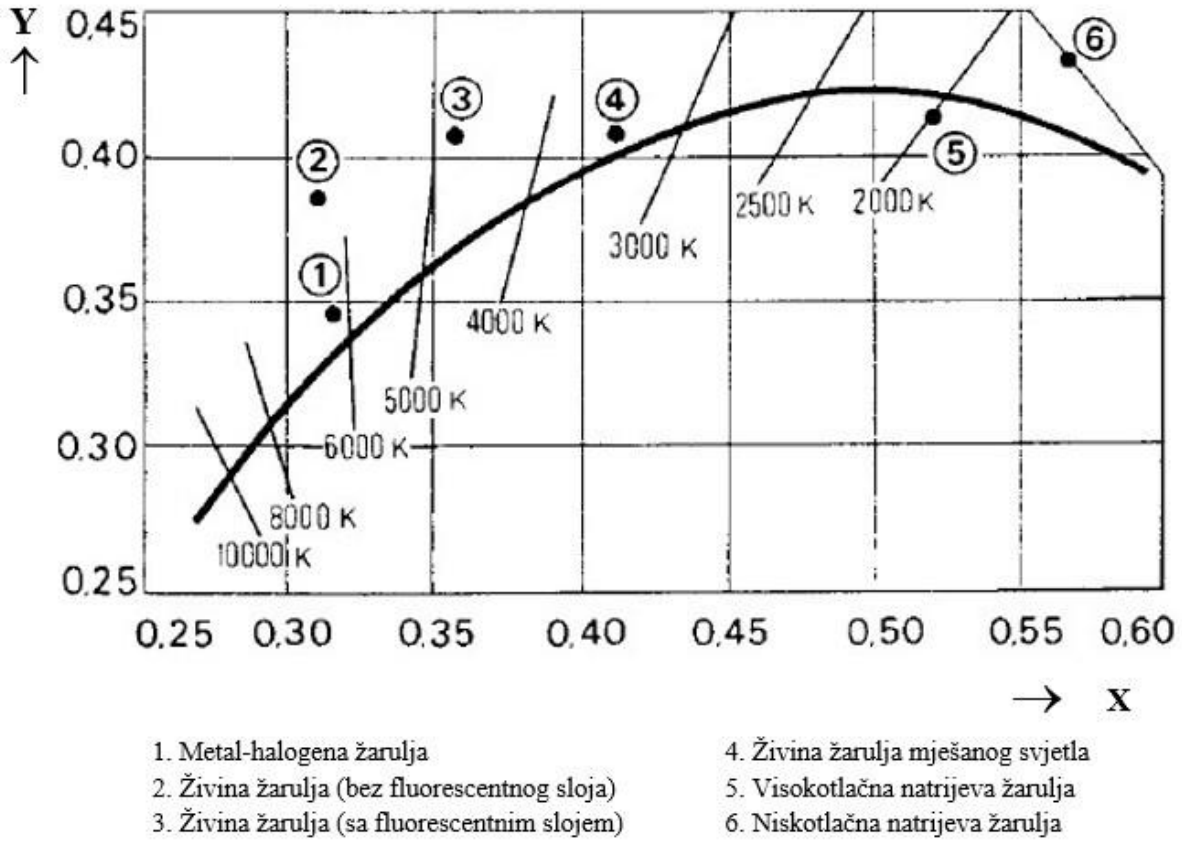
Slika 6. - Dijagram boja UCS

Izvor: [13]

2.7. Temperatura boje

Za označavanje boje svjetla nekog izvora koristi se uz kolorimetrijski sustav CIE, pojam koji se naziva temperatura boje. Pojam temperature boje se koristi kada se boju svjetla nekog izvora opisuje usporedbom s bojom crnog izvora. Temperatura boje je određena kao ona temperatura crnog izvora u stupnjevima kelvina (K), pri kojoj je zračenje crnog izvora, prema obojenosti (položaj trikromatskih koordinata u dijagramu boja), potpuno identično, obojenosti zračenja ispitivanog izvora svjetla[4].

Ako se trikromatske koordinate crnog izvora, koje on ima pri različitim temperaturama (K), unesu u dijagram boja (slika 5.), nastaje linija koja se naziva "Planckova crta". Ta crta označava položaje temperatura boje crnog izvora. Budući su spektralne osobine tehničkih termičkih izvora vrlo slične osobinama crnog izvora, može se Planckovu crtu smatrati kao crtu koja prikazuje temperature boje žarulja. Spektralne osobine izvora na pražnjenje prilično se razlikuju od osobina crnog izvora. Radi toga položaji temperatura boje tih izvora ne leže na Planckovoj crti, nego u njenoj blizini. Stoga se takve izvore svjetla opisuje tzv. *"sličnom temperaturom boje".* Ona je određena kao temperatura crnog izvora pri kojoj je boja crnog izvora vrlo slična (najsličnija) boji izvora svjetla. Položaje sličnih temperatura boje označavaju u dijagramu boja, kose crte (tzv. "Judd-ove crte"), koje sijeku Planckovu crtu (slika 7.)[4]. Na istoj slici su prikazani i položaji točaka boje izvora svjetla na pražnjenje koji se koriste u svjetlotehnici.



Slika 7. - Dijagram položaja točaka boja od izvora svjetla

Izvor: [4]

Primjer prostora osvjetljenog izvorima različitih temperatura boje svjetla.



Slika 8. - Temperatura svjetla

Izvor: [14]

2.8. Reprodukcija boje

Obojeni izgled rasvijetljenog predmeta (boja tijela) zavisi o spektralnoj raspodjeli zračenja izvora svjetla koje obasjava predmet. Dakle spektralna raspodjela zračenja je osnovni razlog različitog dojma obojenosti rasvijetljenih predmeta (objekata). Za označavanje učinka neke vrste svjetla na obojenost predmeta, koje je tim svjetlom obasjano, koristi se izraz *"reprodukcija boje"*. U kontekstu izvora svjetla, reprodukcija boje se definira kao učinak zračenja (nekog izvora svjetla) na dojam obojenosti predmeta, kojega izvor obasjava, u usporedbi s izgledom obojenosti istih predmeta, obasjanih s usporednom vrstom svjetla. Općenito, reprodukcija boje označava vezu između reproducirane i originalne (prirodne) boje.

Za označavanje i vrednovanje karakteristika reprodukcija boje izvora svjetla *CIE* je 1965. godine, uvela postupak pod nazivom "postupak testiranih boja". Tim postupkom se utvrđuje srednja vrijednost promjena boja, koje nastaju, kada se grupu boja za testiranje (8 Munsell-ovih boja za testiranje, srednje zasićenosti) najprije osvjetli s ispitivanim izvorom svjetla a zatim s referentnim (usporednim) izvorom[4].

Pri tome se za referentni izvor uzima:

- kod ispitivanih izvora s temperaturom boje do 5000 K: crni izvor koji ima jednaku temperaturu boje kao ispitivani izvor svjetla.
- kod ispitivanih izvora iznad 5000 K: izvor svjetla sa spektralnom raspodjelom dnevnog svjetla.

Svrha postupka testiranih boja je utvrditi vrijednost tzv. "općeg indeksa reprodukcija boje (R_a)". To je indeks, koji u kvantitativnom obliku daje karakteristike reprodukcije boje nekog izvora svjetla. Vrijednost indeksa R, ovisi o:

- spektralnim refleksnim osobinama boja za testiranje,
- spektralnoj raspodjeli zračenja ispitivanog izvora svjetla,
- spektralnoj raspodjeli zračenja referentnog izvora svjetla,
- adaptaciji ljudskog oka.

Najveća vrijednost koju indeks R_a može imati je 100, što znači da su spektralne raspodjele zračenja ispitivanog i referentnog izvora svjetla identične. Kada obje spektralne raspodjele zračenja nisu jednake, vrijednost indeksa R je uvijek manja, što je slučaj kod većine izvora svjetla koji se rabe u svjetlotehnici[4].

Proizvođači izvora svjetla obično daju podatak o indeksu R_a što za svjetlotehničku praksu potpuno zadovoljava, ako se izvor označi samo odgovarajućim "stupnjem reprodukcije boje".

2.9. Spektralni sustav izvora svjetla

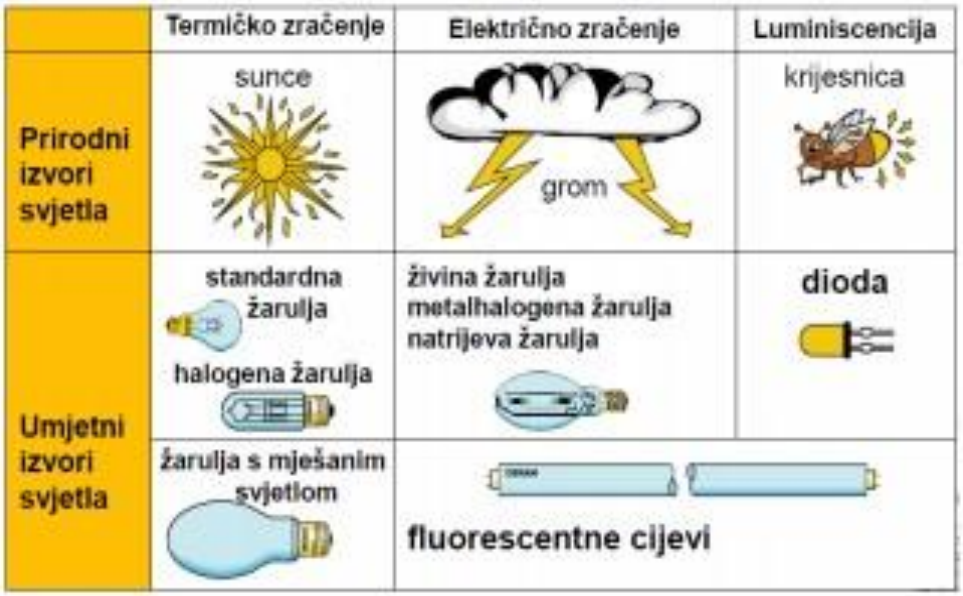
Spektralni sustav izvora svjetla osjetno utječe na[4]:

- oštrinu viđenja (pri monokromatskoj svjetlosti oko oštrije fokusira predmete),
- subjektivnu ocjenu kvalitete sjajnosti (luminacije) površine kolnika,
- subjektivnu ocjenu snošljivosti psihološkog blještanja,
- brzinu zapažanja,
- vrijeme regeneracije oka nakon zablještenja,
- visokotlačna živina žarulja - zahtijeva 50% višu razinu srednje sjajnosti (luminacije) površine kolnika
- stvarna (izmjerena) vrijednost sjajnosti (luminacije) površine kolnika kod visokotlačne Hg žarulje je približno za 35% viša od one s niskotlačnom Na žaruljom, za istu subjektivnu ocjenu kvalitete cestovne rasvjete,
- za istu subjektivnu ocjenu snošljivosti psihološkog blještanja dopuštena jakost svjetiljke za upadni kut $\gamma=80°$ (I_{80}), u instalacijama sa niskotlačnom Na cijevi približno je za 40% veća,
- za istu luminaciju površine kolnika, brzina zapažanja u instalacijama s niskotlačnim Na žaruljama, je za oko 40% veća.

Općenito se može zaključiti da su izvori svjetla na temelju natrijevih para oko 30 % učinkovitiji od živinih visokotlačnih izvora. Pri tome su nešto lošiji rezultati za natrijeve visokotlačne žarulje od onih niskotlačnih natrijevih cijevi.

3. IZVORI SVJETLOSTI

Izvori svjetlosti su svi uređaji ili tijela koji, bez obzira na koju vrstu, emitiraju za ljudsko oko vidljivo svjetlo. Kada govorimo o izvorima svjetlosti, važno je spomenuti njihovu podjelu. Postoji nekoliko načina na koji možemo podijeliti izvore svjetlosti, a najčešće govorimo o podjeli na prirodne i umjetne izvore svjetlosti. Moguća je i podjela na primarne i sekundarne izvore. Također, izvore svjetlosti možemo podijeliti i prema vrsti emitiranog zračenja. Tada govorimo o izvorima monokromatske, polikromatske ili izvorima bijele svjetlosti. Monokromatski izvori emitiraju samo jednu valnu duljinu svjetlosti, polikromatski nekoliko određenih valnih duljina dok izvori bijele svjetlosti emitiraju svjetlost svih valnih duljina. Osim ovih podjela, izvore dijelimo i po obliku na točkaste, linijske, površinske i volumne[9].

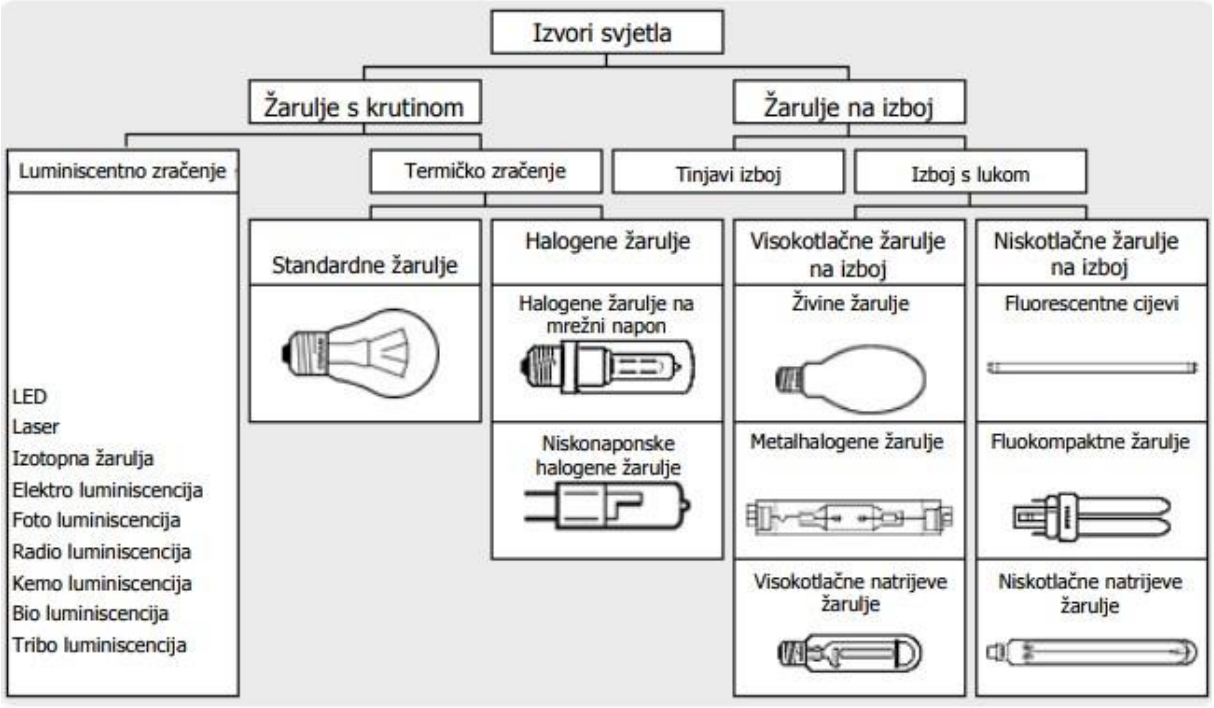


Slika 9. - Prirodni i umjetni izvori svjetlosti

Izvor: [10]

3.1. Umjetni izvori

Umjetni izvori svjetlosti su izvori nastali ljudskim djelovanjem (proizvodnjom) ili za uzrok imaju neku prirodnu pojavu (npr. grom uzrokuje požar). Kod ljudskog djelovanja mislimo uglavnom na proizvodnju rasvjetnih tijela. Takve izvore možemo podijeliti prema načinu generiranja svjetlosti na izvore koji generiraju svjetlost principom termičkog zračenja (žarulje s žarnom niti) i one koji generiraju svjetlost principom luminiscencije (žarulje na izboj). Ta dva načina čine osnovnu podjelu umjetnih izvora svjetlosti[9].



Slika 10. - Podjela izvora svjetla prema načinu generiranja svjetla

Izvor: [11]

3.2. Termičko zračenje

Princip termičkog zračenja koristi se u žaruljama s žarnom niti (slika 11.). Svjetlost nastaje tako što struja teče kroz žarnu nit i zagrijava ju te se žarna nit usijava. Užarena nit zatim emitira elektromagnetsko zračenje u vidljivom dijelu spektra. Također, velik dio zračenja otpada na infracrveni spektar, dok se većina snage ipak utroši u zagrijavanje niti, time smanjujući efikasnost takvih izvora. Osim uobičajenih žarulja čija je nit najčešće izrađena od volframa, u ovu skupinu pripadaju i halogene žarulje (slika 12.). U takve se žarulje dodaje halogenid – uobičajeno brom, klor, flor ili jod što povećava iskorištenost žarulje[9].



Slika 11. - Standardna žarulja sa žarnom niti

Izvor: [11]



Slika 12. - Halogena žarulja

Izvor: [15]

3.3. Luminiscentno zračenje

Svjetlosno zračenje koje se ne zasniva na termičkom zračenju naziva se luminiscentno zračenje. Luminiscentno zračenje nastaje kada elektroni prelaze iz jedne energetske razine u drugu. Potrebnu energiju za luminiscenciju moguće je dovesti iz različitih izvora (tablica 1.)[9].

Tablica 1. - Izvori luminiscentnog zračenja

Oznaka	Energija	Primjer
Elektro luminiscencija	Električna energija	Izboj u plinu, pn - prijelaz
Foto luminiscencija	Elektromagnetsko zračenje	UV konverzija s luminiscentnim materijalima
Kemo i bio luminiscencija	Energija kemijske reakcije	Gorenje, oksidacija, enzimske reakcije
Tribo luminiscencija	Mehanička energija	Svjetlosni efekti u kristalima
Termo luminiscencija	Toplinska energija	Svjetlosni efekti u kristalima
Radio luminiscencija	Radioaktivnost	Aurora Borealis

Izvor: [24]

Visokotlačne žarulje na izboj su prema tome izvori luminiscentnog zračenja gdje se potrebna izlazna energija dobiva tokom električne struje. Za razliku od njih, luminiscencija fluorescentnih žarulja dolazi od energije zračenja (UV zračenja).

Metalhalogene žarulje spadaju u grupu visokotlačnih žarulja na izboj. Pri visokom tlaku (~10 bar) plinsko punjenje emitira izravno vidljivo svjetlo pobuđeno elektronima. Dodavanjem elemenata rijetkih metala moguće je kontrolirati spektar zračenja[6].



Slika 13. - Metalhalogena žarulja

Izvor: [16]

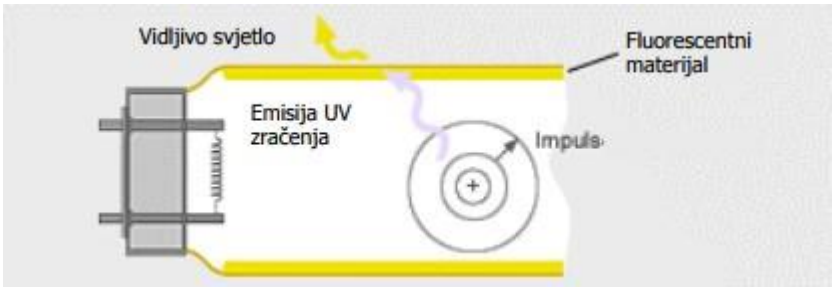
Niskotlačne natrijeve žarulje se razlikuju od niskotlačnih živinih žarulja. Tlak punjenja iznosi svega nekoliko milibara, ali ipak se emitira izravno vidljiva svjetlost, monokromatskog spektra zračenja (585 nm).



Slika 14. - Niskotlačna natrijeva žarulja

Izvor: [17]

Kod niskotlačnih živinih žarulja (kao što su fluorescentne i fluokompaktne žarulje), za razliku od gore navedenih izvora, atomi žive ne emitiraju vidljivu svjetlost kao rezultat sudara, već emitiraju UV zračenje. Ovo UV zračenje pretvara se u vidljivu svjetlost zahvaljujući fluorescentnom materijalu (fosforu) koji se nalazi na unutarnjoj strani cijevi. Ovaj proces naziva se foto luminiscencija, i kao energiju pobude koristi elektromagnetsko zračenje (UV zračenje). Primjenom različitih fluorescentnih materijala (različitih fosfora) moguće je dobiti različite spektre zračenja, koji su diskretni[6].



Slika 15. - Fluorescentna žarulja

Izvor: [6]

4. OSNOVE I NAČINI RASVJETE PROMETNICA

Cestovna rasvjeta treba omogućiti takve uvjete viđenja koji noću jamče vozačima motornih, zaprežnih i drugih vozila i biciklistima što sigurniju vožnju, zapažanje potencijalnih opasnosti, što bolju orijentaciju, viđenje i prepoznavanje drugih pješaka, te stjecanje utiska opće sigurnosti pri kretanju prometnicom, te što bolje zapažanje kako cjeline tako i važnih detalja vidne okoline[25].

Kvalitetna cestovna rasvjeta općenito:

- pridonosi smanjenju prometnih nezgoda, posebno onih sa poginulima i teže ozlijeđenim,
- pridonosi smanjenu kriminala,
- umanjuje vizualne probleme pri nailasku vozača na tunel u vožnji danju ili izlazu iz tunela na nerasvijetljenu cestu u vožnji noću,
- vozaču pri prolasku kroz tunel olakšava vidnu prilagodbu,
- omogućava veće brzine kretanja motornih vozila, a time neizravno i prometni kapacitet ceste,
- pridonosi većem iskorištenju cestovne mreže noću,
- jamči sigurno kretanje pješaka,
- pridonosi općem prostornom ugođaju boravka i življenja.

Cestovna rasvjeta postavlja se u zonama povećane opasnosti pa se cestovnom rasvjetom opremaju:

- dionice cesta i autocesta,
- mostovi, tuneli i galerije,
- prometna čvorišta u dvije i više razina,
- granični prijelazi,
- prometno-uslužni objekti autocesta i brzih cesta,
- prometne površine centra za održavanje i kontrolu prometa.

Na sigurnost prometa noću u znatnoj mjeri utječe gubitak ili slabljenje vidnih funkcija u mraku ili u sumraku. Opadanjem opće rasvijetljenosti postupno se smanjuju i gube gotovo sve osnovne vidne funkcije:

- oštrina vida,
- kontrast,
- dubinsko viđenje,
- brzina zapažanja,
- razlikovanje boja.

Kvalitetu određenog sustava cestovne rasvjete u pravilu određuju tehnička svojstva i kvaliteta njezinih osnovnih elemenata i to:

- izvora svjetlosti,
- svjetiljke,
- površine kolnika.

4.1. Izvori svjetlosti cestovne rasvijete

Osnova svake rasvjete jest izvor svjetlosti koji električnu, toplinsku ili elektromagnetsku energiju pretvara u energiju svjetlosnog zračenja, izraženu svjetlosnim tokom izvora i mjerenog u lumenima. Električni izvori svjetlosti su naprave koje pretvaraju električnu u svjetlosnu energiju na jedan ili više načina i zrače ju u obliku elektromagnetskih valova koje čovjekov vid doživljava kao svjetlost. Današnji izvori svjetlosti dijele se u dvije osnovne skupine[25]:

- izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama
- izvori s užarenom niti.

Izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama nemaju metalne spirale već svjetlost proizvode uzbudom plina odnosno metalne pare između dviju elektroda. U sustavima cestovne rasvjete u pravilu se primjenjuju električni izvori svjetlosti na osnovi izbijanja kroz plinove i metalne pare i to (slika 7.):

- visokotlačna natrijeva žarulja (NAV),
- visokotlačna živina žarulja (HQL),
- visokotlačna metalhalogena žarulja (HQI),
- niskotlačna natrijeva cijev (SOX-E),
- niskotlačna flourescentna cijev (L),
- fluokompaktna žarulja.

Izvori svjetlosti s užarenom niti (standardne žarulje) proizvode svjetlost dovodeći spiralu od volframove žice do visoke temperature prolaskom električne struje kroz nju.

4.2. Svjetiljke

Svjetiljke služe za kontrolu i razdiobu svjetlosnog toka jednog ili više izvora svjetlosti. Svjetiljka se općenito sastoji od svjetlotehničkih, mehaničkih i elektrotehničkih elemenata. Svjetlotehnički element čini optički sustav svjetiljke kojem je svrha svjetlost usmjeriti u određenom smjeru. To su u pravilu reflektori, refraktori, difuzori i kape[3].

Mehanički dijelovi svjetiljke služe za zaštitu izvora i ostalih dijelova svjetiljke od atmosferskih utjecaja, za njihovo pridržavanje, te za pričvršćenje svjetiljke na nosače (kućište, vijci i slično).

Elektromehanički elementi služe za priključak svjetiljke i izvora svjetlosti na napon, međusobno povezivanje električnih dijelova svjetiljke, paljenje i pogon izvora svjetlosti te poboljšanje faktora snage i zaštitu od radiosmetnji.

Osnovne vrste svjetiljki koje se koriste u sustavima cestovne rasvjete su:

- standardne svjetiljke za cestovnu rasvjetu za montažu na stup, zid ili nosivu žicu kod kojih je jakost zračenja svjetlosti rotacijski simetrična odnosno simetrična u odnosu na poprečnu os ceste i pretežno usmjerena uz uzdužnu os ceste,
- svjetiljke za rasvjetu tunela sa simetričnom odnosno asimetričnom krivuljom zračenja jakosti svjetlosti,
- reflektori – svjetiljke sa specifičnim optičkim elementima za usmjeravanje svjetlosnog toka unutar granica nekog zadanog prostornog kuta.

4.3. Površine kolnika

Površina kolnika je završni dio kolničke konstrukcije po kojoj se neposredno prometuje. Refleksijska svojstva nove površine kolnika u mnogočemu su različita od onih po kojima je određeno vrijeme tekao promet. Refleksijska svojstva površina kolnika zavise od vrste materijala i tehnologije izvedbe površine kolnika te od stupnja istrošenosti i stupnja zagađenosti same površine. Razlikujemo četiri osnovna tipa površine kolnika[25]:

- hrapava – hrapava (površina je hrapava u makro i mikrostrukturi)
- hrapava – glatka (površina je hrapava u makro, a glatka u mikrostrukturi)
- glatka – hrapava (površina je glatka u makro, a hrapava u mirkosturkturi)
- glatka – glatka (površina je glatka u makro i mikrostrukturi).

4.4. Načini rasvjete prometnica

Razlikujemo nekoliko načina rasvjete prometnica, a to su:

1. centralni raspored
2. jednostrani raspored
3. dvostrani s paralelnim izvorima
4. dvostrani s naizmjeničnim izvorima
5. kombinirani raspored
6. aksijalni poprečni raspored
7. aksijalni uzdužni raspored

4.4.1. Centralni raspored

Centralni raspored izvora svjetlosti najčešće se primjenjuje na autocestama i općenito prometnicama sa razdjelnim pojasom i dva odvojena kolnika s najviše dva do tri prometna traka. Izvori svjetlosti postavljeni su na jedan stup i to u opoziciji tako da svaki od njih rasvjetljavaju svoj kolnik (slika 16.)[25].



Slika 16. - Centralni raspored izvora svjetlosti

Izvor: [18]

4.4.2. Jednostrani raspored

Jednostrani raspored izvora svjetlosti kao jednostavan i ekonomičan najčešće se primjenjuje na svim vrstama prometnica s najviše tri prometna traka, kojih ukupna širina kolnika nije veća od visine montaže izvora svjetlosti[25].



Slika 17. - Jednostrani raspored izvora svjetlosti

Izvor: [19]

4.4.3. Dvostrani raspored

Dvostrani raspored izvora svjetlosti je općenito primjenjiv za sve relativno široke prometnice s najmanje četiri prometna traka tako da svaki red preuzima ulogu rasvjetljavanja polovice širine kolnika. Dvostrani raspored može biti s izvorima jedan nasuprot drugome, odnosno s naizmjenično postavljenim izvorima.



Slika 18. - Dvostrani raspored izvora svjetlosti

Izvor: [20]

4.4.4. Kombinirani raspored

Kombinirani raspored izvora svjetlosti primjenjuje se općenito kod relativno širokih prometnica s dva prometna kolnika gdje svaki od njih ima najmanje četiri prometna traka s obostranim pješačkim stazama uz kolnik. U principu je to kombinacija dvaju ranije opisanih rasporeda, centralni odnosno dvostrani (slika 18.).

4.4.5. Aksijalni poprečni raspored

Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivom žicama poprečno na cestu prikladan je i često se koristi za rasvjetu ulica u središnjim gradskim područjima. Izvori svjetlosti postavljeni su po sredini ulice odnosno kod širih ulica po sredini svakog prometnog traka i to na čelične žice razapete između bočnih fasada.

4.4.6. Aksijalni uzdužni raspored

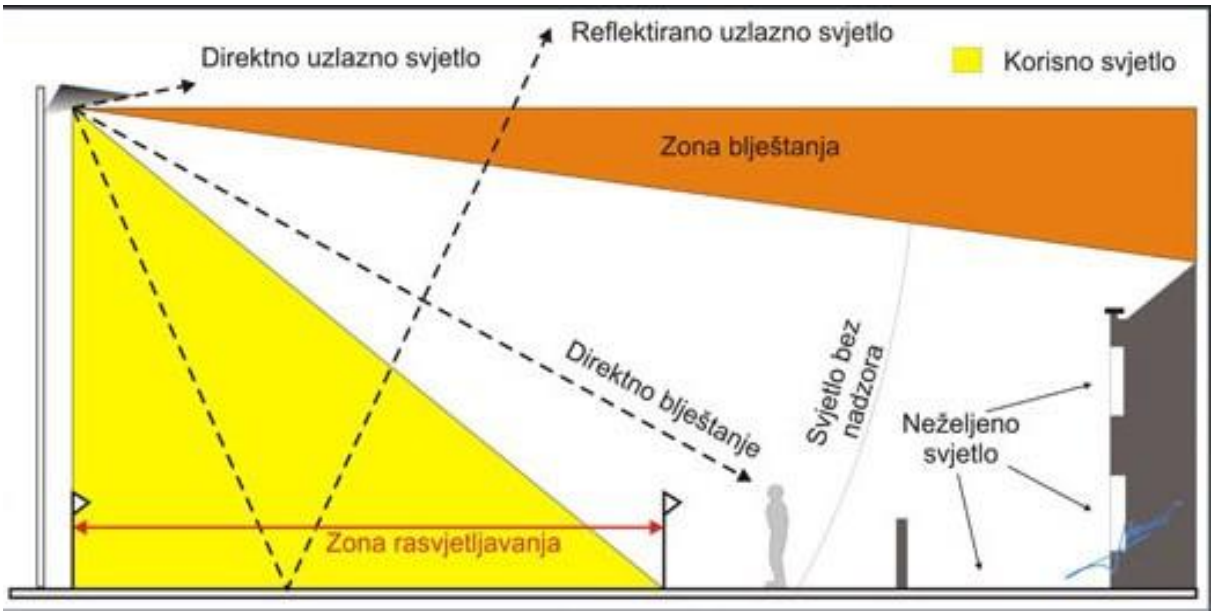
Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama uzdužno na os ceste primjenjiv je u pravilu za rasvjetu autocesta s relativno širokim kolnicima. Izvodi se tako da se svjetiljke postavljaju na čeličnu nosivu žicu uz uzdužnu os ceste.

5. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

Svjetlosno onečišćenje je promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovana emisijom svjetlosti iz umjetnih izvora svjetlosti koja štetno djeluje na ljudsko zdravlje i ugrožava sigurnost u prometu zbog bliještanja, zbog neposrednog ili posrednog zračenja svjetlosti prema nebu ometa život i/ili seobu ptica, šišmiša, kukaca i drugih životinja te remeti rast biljaka, ugrožava prirodnu ravnotežu na zaštićenim područjima, ometa profesionalno i/ili amatersko astronomsko promatranje neba ili zračenjem svjetlosti prema nebu, nepotrebno troši električnu energiju te narušava sliku noćnog krajobraza[7].

Zaštita od svjetlosnog onečišćenja postiže se mjerama zaštite od nepotrebnih, nekorisnih ili štetnih emisija svjetlosti te mjerama zaštite noćnog neba od prekomjernog osvjetljenja.

Zakonom o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja uređena su načela zaštite, subjekti koji provode zaštitu, način utvrđivanja standarda upravljanja rasvijetljenošću u svrhu smanjenja potrošnje električne i drugih energija i obveznih načina rasvjetljavanja, utvrđene su mjere zaštite od prekomjerne rasvijetljenosti, ograničenja i zabrane u svezi sa svjetlosnim onečišćenjem, planiranje gradnje, održavanja i rekonstrukcije rasvjete, te odgovornost proizvođača proizvoda koji služe rasvjetljavanju[8].



Slika 19. - Svjetlosno onečišćenje

Izvor: [21]

5.1. Elementi svjetlosnog onečišćenja

Utjecaj rasvjete na svjetlosno onečišćenje razmatra se u tri elementa, a to su :

- povećanje svjetline neba,
- smetajuće svjetlo,
- blještanje.

Svjetlo koje se emitira iz svjetiljaka proizvodi (poput svakog drugog svjetla) tri komponente: direktno svjetlo, reflektirano svjetlo i apsorbirano svjetlo. Direktno i apsorbirano svjetlo ne predstavljaju veliki problem, dok međutim reflektirano svjetlo predstavlja problem kada se odbije od površine koju se rasvjetljava, ova komponenta svjetla se lomi između brojnih čestica prašine i aerosolnih mjehurića u atmosferi, stvarajući tako disperzni oblak svjetla[25].

5.1.1. Svjetlina neba

Svjetlina neba nastaje iz prirodnih i umjetnih razloga. Prirodna komponenta svjetline neba proizlazi iz pet elementarnih izvora (sunčevo svjetlo se refletira od površine Mjeseca i Zemlje, slabo „svijetljenje neba“ u gornjim slojevima atmosfere (stalna slaba aurora), refleksija sunčevog svjetla od međuplanetarne prašine (zodiakalno svjetlo), lom zvjezdanog sjaja u atmosferi te pozadinsko svjetlo zvijezda i svemirskih maglica[25].

5.1.2. Smetajuće svjetlo

Smetajućim svjetlom se naziva ona komponenta vanjske rasvjete koja „provaljuje“ tuđe posjede. Ova kategorija presudan je faktor u kontekstu ljudske ugode i zdravlja, budući se između ostalog govori o svjetlu koje prodire u spavaće sobe. Umjetna rasvjeta utječe i na ljude, dolazi do poremećaja sna, životnog ritma, te alergijskih i hormonalnih poremećaja koji mogu uzrokovati razna oboljenja, pa čak i tumorozna oboljenja[25].

5.1.3. Bliještanje

Bliještanje je vizualna senzacija koja nastaje zbog prevelike količine svjetla koje ulazi u oko. Razlikujemo tri kategorije bliještanja[25]:

- Zasljepljujuće bliještanje – bliještanje toliko intenzivno da neko vrijeme po uklanjanju stimulansa, zasljepljena osoba ne raspoznaje predmete ispred sebe. Ova pojava se susreće kod zablještavanja dugim svjetlima vozača koji dolaze u susret (slika 20).
- Onesposobljavajuće bliještanje – uzrokuje smanjenje vidnih mogućnosti. Ova pojava se manifestira kod ulaza intenzivne zrake svjetla u staklinu oka, gdje se zraka lomi i odbija umanjujući doživljaj kontrasta slike na rožnici.
- Neugodno bliještanje – bliještanje uzrokuje nelagodu i smetnju iako u isto vrijeme ne umanjuje znatno sposobnost raspoznavanja objekata u vidnom polju. Ipak, dulje izlaganje ovom tipu bliještanja kod sudionka u prometu izaziva zamor te su moguće pogreške u prometu.



Slika 20. - Bliještanje u prometu

Izvor: [22]

5.2. Posljedice svjetlosnog zagađenja

Brojne su posljedice uzrokovane svjetlosnim onečišćenjem:

- sigurnosne,
- biološke,
- kulturološke,
- astronomske,
- pravne,
- ekonomske, itd.

5.2.1. Sigurnosne posljedice

Sigurnosne posljedice svjetlosnog zagađenja možemo podijeliti na dvije osnovne cjeline[25]:

- Sigurnost u prometu – neekološka rasvjetna tijela, loš svjetlotehnički projekt, nepravilna montaža ulične i cestovne rasvjete svijetli učesnicima u prometu direktno u oči, proizvodi snažno bliještanje otežavajući pritom pravovremeno uočavanje drugih sudionika, prepreke ili opasnosti na cesti. Na taj način sigurnost odvijanja prometa bitno je smanjena.

- Javna/privatna sigurnost – ukoliko je javna/privatna rasvjeta nepravilno postavljena te ukoliko se koriste neekološka rasvjetna tijela, tada umjesto kontrole prostora imamo neartikuliranu svjetlost koja blješti na sve strane i zapravo onemogućava pregled i kontrolu „štićenog“ objekta, te je kriminalcima/vandalima, posao zapravo olakšan.

5.2.2. Astronomske posljedice

Svjetlosno onečišćenje najprije se uočava u astronomiji. Direktno ili indirektno svjetlo negativno utječe na promatrača (neadekvatna akomodacija oka), vidljivost objekta promatranja (zvijezde blijede i nestaju zbog smanjenja kontrasta svjetlo-tama, detalji se gube ili postaju neprepoznatljivi) i instrumente za promatranje (snažno parazitsko svjetlo).

5.2.3. Biološke posljedice

Životni ciklusi cjelokupnog biljnog i životinjskog svijeta, uključivo i čovjeka, prilagođeni su dnevnim izmjenama dana i noći. Nesmetana, jasna izmjena dana i noći temeljna je odrednica čitavog ekosustava. Zbog svjetlosnog onečišćenja (nastanka noći) ugrožena je ta okosnica ekosustava kakvog danas poznajemo, sa mnogobrojnim negativnim implikacijama. Danas više od 95% Europljana živi u područjima gdje je prirodni fon noćnog neba posvijetljen za četiri ili više puta[25].

Biljke i životinje ne mogu više odrediti kada je pravo vrijeme za hranjenje, odmaranje i razmnožavanje. Učestali su primjeri kada se čitava jata ptica na migracijama spuštaju na kriva područja, zbunjena lažnim svjetlima velegrada, aerodroma, raskrižja umirući tako zbog nedostatka hrane u neprihvaljivom ambijentu, ili pak izumiranja kornjača svjetlima namamljenih na negostoljubljive plaže.

6. ANALIZA I PRIMJENA OSNOVNIH SVJETLOTEHNIČKIH VELIČINA

Svjetlost se može vrednovati pomoću fizikalnih i svjetlotehničkih veličina. Svjetlotehničke (fotometričke) veličine razlikuju se od fizikalnih po tome što vrednuju svjetlost po osnovi reakcija ljudskog vidnog organa i ograničene su samo na vidljivo zračenje spektra 380 do 780 nm.

Promatrajući svjetlost u okviru fotometrije važno je istaknuti njena glavna obilježja, odnosno veličine koje promatramo, pratimo u vizualnom ispitivanju. To su svjetlosni tok, jakost svjetlosti, rasvijetljenost ili osvijetljenost te sjajnost ili luminancija.

Veličina	Oznaka	Formula	Mjerna jedinica
Svjetlosni tok	Ø	Ø = I×Ω	Lumen (lm)
Jakost svjetlosti	I	I = Ø / Ω	Candela (cd)
Rasvijetljenost	E	E = Ø / A	Lux (lx)
Sjajnost (luminancija)	L	L = I / A	Candela po kv.metru (cd/m²)

A - osvijetljena ili svjetleća površina (m²)

Ω - prostorni kut (sr)

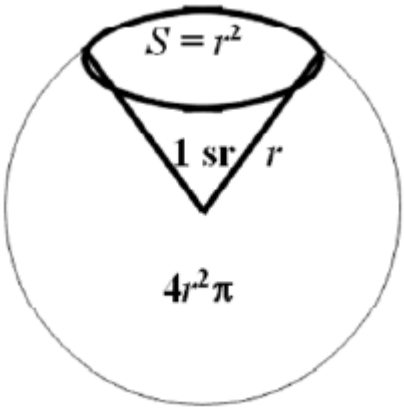
Slika 21. - Međusobni odnosi svjetlotehničkih veličina

Izvor: [10]

Prostorni kut predstavlja omjer površine kugle *(A)* i kvadrata njenog polumjera *(r).* SI mjerna jedinica za prostorni kut je steradijan *(sr).*

Puni kut $\Omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi$ steradijana

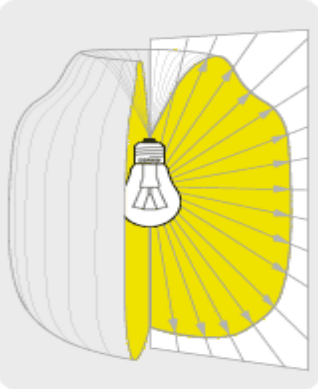
Bilo koji kut $\Omega = \frac{\text{površina}}{r^2} = \frac{S}{r^2}\,\text{sr}$



1 sr je prostorni kut koji ima ishodište u centru kugle a koji na kuglinoj plohi isijeca površinu jednaku kvadratu kuglina polumjera.

6.1. Svjetlosni tok

Snaga zračenja koju emitira izvor nazivamo i svjetlosni tok. Ljudsko oko svjetlosni tok vrednuje prema krivulji osjetljivosti oka. Mjerna jedinica za svjetlosni tok ne pripada osnovnim mjernim jedinicama SI sustava, a naziva se lumen (lm). Kada u prostornom kutu od 1 sr točkasti izvor zrači jakošću svjetlosti od 1 cd, svjetlosni tok iznosi 1 lm[10].



Slika 22. - Svjetloni tok standardne žarulje

Izvor: [11]

6.2. Jakost svjetlosti

Jakost svjetlosti predstavlja snagu zračenja koju emitira izvor svjetla u određenom smjeru. Mjerna jedinica jakosti svjetlosti je candela (cd). Definira se kao jakost svjetlosti koju u određenom smjeru zrači monokromatski izvor svjetla frekvencije *540*1012* Hz i snage zračenja u tom smjeru od *1/683* W/sr. Prikazuje se vektorski te se spajanjem vrhova vektora u jednoj ravnini izvora svjetlosti dobiva krivulja distribucije jakosti svjetlosti ili fotometrijska krivulja[10].

6.3. Osvijetljenost

Osvjetljenje je mjerilo za količinu svjetlosnog toka koja pada na određenu površinu. Jedinica za osvjetljenje je luks (lx) i to je izvedena jedinica SI sustava. Luks je definiran kao rasvijetljenost 1 kvadratnog metra na koju pada ravnomjerno raspodijeljen svjetlosni tok od 1 lumena. Radi se o isključivo računskoj veličini, koju naše oko ne primjećuje[10].

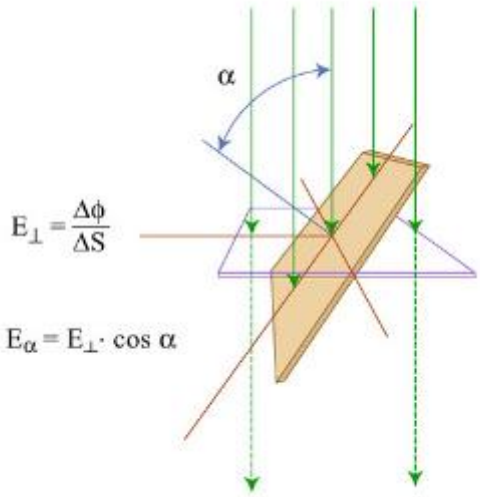
Tablica 2. - Primjeri osvjetljenosti izraženi u lx

Primjer osvijetljenosti	E / lx
Rasvjeta operacijskog stola	*20000 - 120000*
Sunčan ljetni dan	*60000 - 100000*
Oblačan ljetni dan	*20000*
Oblačan zimski dan	*3000*
Dobro osvijetljeno radno mjesto	*500 - 750*
Pješačka zona	*5 - 100*
Noć s punim mjesecom	*0,25*
Noć s mladim mjesecom	*0,01*

Izvor: [10]

Razlikujemo dvije vrste osvijetljenosti: osvijetljenost površine i osvijetljenost u točki.

Osvijetljenost površine je omjer svjetlosnog toka izvora svjetlosti koji pada okomito na zadanu površinu i zadane površine. U slučaju da svjetlost pada na zadanu površinu pod kutom *α,* osvijetljenost je manja i iznosi *E' = E x cos α [23]*.

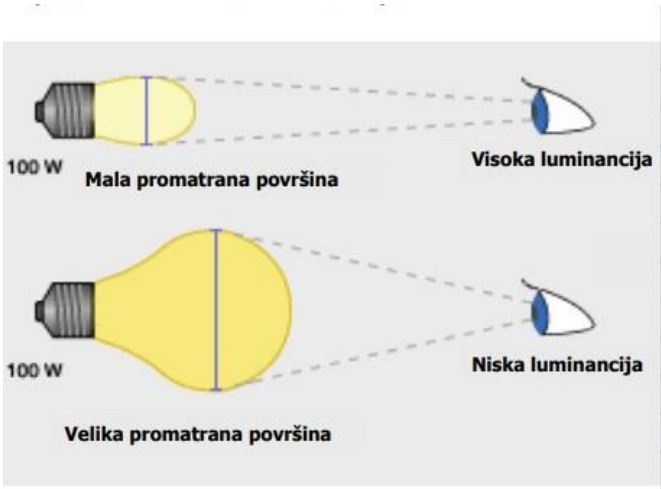


Slika 23. - Osvijetljenost površine

Izvor: [23]

6.4. Luminacija

Luminancija (L) je sjajnost rasvijetljene ili svjetleće površine kako je vidi ljudsko oko. Mjeri se u candela po površini [cd/m^2]. Oko posebno dobro vidi razliku između luminancija. Luminancija je jedina fotometrijska veličina koju ljudsko oko može direktno vidjeti, ona opisuje fiziološki učinak svjetlosti na oko te predstavlja najvažniji čimbenik projektiranja rasvjete[10].



Izvor svjetla	Prosječna luminancija [cd/m²]
Sunce u podne	$1{,}6 \times 10^9$
Xenon kino žarulja	$0{,}2 - 5 \times 10^9$
Bistra standardna žarulja	$2 \times 10^6 – 2 \times 10^7$
Fluorescentna cijev	$1{,}2 \times 10^4$
Bijeli oblak	1×10^4
Svijeća	7.500
Vedro nebo	3.000 – 5.000
Mjesec	2.500
Ugodna unutarnja rasvjeta	50 - 500
Bijeli papir pri 500 lx	100
Bijeli papir pri 5 lx	1
Noćno nebo	10^{-3}

Slika 24. - Izvor svjetlosti jednake jakosti koje primjećuje ljudsko oko

Izvor: [11]

Luminacija ovisi o: - fotometrijskim karakteristikama svjetiljke
- položaju svjetiljaka u odnosu na cestu
- refleksijskim svojstvima kolnika
- položaju promatrača.

Luminancija opisuje fiziološki učinak svjetlosti na oko, te predstavlja najvažniji čimbenik projektiranja javne rasvjete. Kod difuznih refleksivnih površina (faktor refleksije jednak u svim smjerovima), kakve se uglavnom nalaze kod unutarnjih prostora, moguće je jednostavno povezati luminanciju i rasvijetljenost sljedećim izrazom:

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

Budući da je luminanciju u tom slučaju jednostavno izračunati putem rasvijetljenosti (koja se može jednostavno dobiti proračunom), onda se vrijednosti za unutarnju rasvjetu uvijek daju u lx (rasvijetljenost).

Kod javne rasvjete, gdje okolina nema karakteristike difuzne refleksije, već prevladava miješana refleksija, ovaj izraz ne vrijedi, i vrijednosti za javnu rasvjetu daje se u cd/m2 (luminancija). Pri tome se definira koeficijent luminancije q (sr-1), koji osim o vrsti materijala ovisi i o položaju izvora svjetlosti i promatrača, a da pri tome vrijedi: L=q×E[10].

6.5. Razina luminancije površine kolnika

Razina luminancije je najvažniji pokazatelj kvalitete javne rasvjete. Ona se računa samo za kolnik. Poželjno je da luminancija bude što veća jer utječe na kontrasnu osjetljivost. Ispitivanja su pokazala da je optimalna luminancija za javnu rasvjetu 2.00 cd/m², ali ona se odnosi samo na autoputove i brze ceste. Ovisno o vrsti ceste luminancija se kreće od 0.5 cd/m² do 2.0 cd/m². Luminancija neke točke rasvijetljene površine kolnika ovisi o:

- svjetlotehničkim karakteristikama zračenja svjetiljki,
- geometriji postavljene instalacije javne rasvjete,
- refleksijskih svojstava rasvijetljene površine kolnika.

Razina srednje luminancije površine kolnika (Lm) utječe na osjetljivost kontrasta očiju vozača i na kontrast prepreke na površini kolnika, u odnosu na njezinu pozadinu i tako utječe na vidnu udobnost vozača[3].

6.6. Jednolikost luminancije površine kolnika

Jednolikost luminancije površine kolnika utječe na vidnu performancu i na udobnost zapažanja vozača. Postoji srednja, uzdužna i poprečna jednolikost luminancije. Srednja jednolikost luminancije jamči sigurno zamjećivanje prepreke, uzdužna jamči udobnost vožnje i poprečna jednolikost omogućuje sigurno zamjećivanje.

Uzdužna jednolikost luminancije (jLu) pridonosi općoj udobnosti zapažanja pri kretanju po prometnicama, jer cesta sa visokom vrijednošću uzdužne jednolikosti ostavlja dojam dobre i jednolike rasvijetljene površine bez svjetlijih i tamnijih zona. Osobito je važna ova karakteristika kod prometnica sa dužim dionicama kao što su autoceste.

Opća jednolikost luminancije (jL) površine kolnika odlučujuće utječe na vidnu performancu. Opća jednolikost luminancije ovisi o svjetlotehničkim osobinama zračenja svjetiljki, svjetlosnom toku izvora svjetlosti, geometriji instalacija te refleksijskim karakteristikama rasvijetljene površine ceste[3].

6.7. Razina rasvijetljenosti neposredne okoline ceste

Različita razina rasvijetljenosti omogućuje udobnije i sigurnije zapažanje. Za dobre uvijete zapažanja pri vožnji, treba biti dobro rasvijetljena i neposredna okolina ceste. Kod prometnica sa svijetlom okolinom potrebno je održati što višu vrijednost srednje luminancije površine kolnika. Kod prometnica sa tamnom okolinom preporučljivo je rasvijetliti i okolinu u pojasu od 5 m i do nivoa rasvijetljenosti 50% od srednje rasvijetljenosti pojasa susjednih 5 m [3].

6.8. Mjerenje svjetlotehničkih veličina

Fotometrijsko mjerenje javne rasvjete važno je za procjenu kvalitete javne rasvjete, za usporedbu sa standardnim vrijednostima, zakonima i preporukama. Da bi mjerenja bila mjerodavna i važeća, moraju se provoditi pod određenim uvjetima i biti ponovljiva.

Osim izmjerenih fotometrijskih vrijednosti bitno je zapisati i uzeti u obzir i druge čimbenike koji mogu utjecati na rezultate. Neke od njih su:

- tip, visina montaže, nagib i usmjerenost svjetiljke,
- vrsta, intenzitet i životni vijek izvora,
- širina kolnika, biciklističkih staza i nogostupa,
- vrsta podloge na mjerenoj površini,
- napon napajanja svjetiljki koji bi se trebao izmjeriti na većem broju mjesta,
- temperatura koja se mjeri 1 m iznad tla u intervalima od 30 minuta,
- vrsta i tip mjernih instrumenata.

Mjerenje svjetlotehničkih veličina se izvodi na prometnim površinama na kojima norme za rasvjetu definiraju njezinu kvalitetu. Za mjerenje se koriste mjerni uređaju koji moraju zadovoljiti ove uvjete:

- veličina površine koja se mjeri može biti najviše 0,5 m vertikalno i 2,5 m horizontalno. Mjerno područje instrumenta ne smije prijeći 2º vertikalno i 20º horizontalno.
- ako se mjerenja izvode sa instrumentom koji ima veći raspon, raspon se mora ograničiti na prethodno opisano područje.

Kod mjerenja svjetlosti uređaj se mora postaviti na najmanje 60 cm i maksimalno 160 cm od područja koje se mjeri, s tim da instrument mora biti u sredini.

Rasvijetljenost javne rasvjete mjeri se na područjima gdje standardi i norme daju kvalitetnu rasvjetu. Uređaj za mjerenje rasvijetljenosti mora moći očitati i izrazito male vrijednosti. Preporuča se da najmanja vrijednost koju uređaj za mjerenje može prepoznati bude ispod 0.01 lx. Uređaj za mjerenje mora imati korekciju kosinusa upadne svjetlosti. Ona je posebno važna kod mjerenja vertikalne rasvijetljenosti. Mjerni instrument također mora imati fotoćeliju prilagođenu spektralnoj vrijednosti ljudskog oka.

Mjerenje vodoravne rasvijetljenosti mjeri se na maksimalno 0,2 m od tla, a pri čemu sonda mora biti okrenuta prema gore i postavljena u vodoravan položaj.

Mjerenje okomite rasvijetljenosti vrši se na svim mjestima na kojima preporuke to nalažu. Sonda mora biti okrenuta okomito i mjerni instrument ne smije zaklanjati sondu, tj. bacati sjenu. Kod rasvjete pješačkih prijelaza sonda mora biti okrenuta suprotno smjeru prometa, tj. mora biti postavljena paralelno sa osi kolnika.

Mjerenje polucilindrične rasvijetljenosti mjeri se pomoću nastavka koji se stavi na mjerni uređaj, na način da se nastavak usmjeri tamo gdje želimo mjeriti polucilindrično rasvijetljenje.

7. ZAKLJUČAK

Svjetlosno zračenje kojim nazivamo sva zračenja koja emitiraju izvor mogu se podijeliti na infracrveno i ultraljubičasto zračenje koje ljudski organ vida ne uočava i na vidljivo zračenje u kojemu organ vida opaža intenzitet svjetlosti i podražaj boja.

Značajke retrorefleksije i materijali koji imaju retroreflektiranjuće osobine omogućuju da se snop svjetla koji dolazi od vozila i/ili drugih izvora svjetlosti reflektira u optimalnoj mjeri prema svome izvoru čime predmeti postaju vidljivi korisnicima prometnice. Retroreflektirajući materijali su iznimno važni pri uvjetima otežane vidljivosti, vožnje noću, pri zaustavljanju vozila u kvaru, retroreflektirajući prsluci i dr. Prilagodba retroreflektirajućih materijala iznimno je važna da bi se postigla željena sigurnost

Svjetlost nastaje putem prirodnih i umjetnih izvora, a najvažniji izvor prirodnog svjetla je Sunce. Umjetni izvori svjetla su veoma važni jer omogućuju da korisnici vide i budu viđeni što predstavlja najvažniji element sigurnosti prometa na cestama. U umjetne izvore svjetlosti spada i rasvjeta prometnice koja mora omogučiti odgovarajuću vidljivost tijekom vožnje noću, u tunelima i drugim prometnim površinama, a istovremeno svojim djelovanjem ne smije ometati korisnike.

Negativan utjecaj rasvjete, odnosno svjetlosno onečišćenje rezultat je industrijalizacije civilizacije, neadekvatnog i nestručnog planiranja što značajno utječe na kvalitetu života svih živih bića na zemlji. Stoga je potrebno posebnu pažnju posvetiti projektiranju rasvjete koja u što manjoj mjeri utječe na onečišćenje okoliša putem raspršivanja svjetlosti, blještanja, nepotrebnog osvjetljavanje pojedinih elemenata prometnica. Gledajući sa apekta sigurnosti u prometu ne ekološka rasvjetna tijela, nepravilna montaža cestovne rasvjete svijetli učesnicima u prometu direktno u oči, proizvodi snažno bliještanje te je na taj način sigurnost prometa bitno smanjena.

Svjetlosni tok opisuje snagu odaslanog, prenesenog ili primljenog svjetlosnog zračenja, dok jakost svjetlosti predstavlja snagu zračenja izvora svjetla u određenom smjeru. Osvijetljenost ukazuje na ukupnu količinu svjetlosnog zračenja koji pada na neku površinu u određenom vremenu, a luminacija kao jedina svjetlotehnička veličina koju ljudsko oko izravno uočava predstavlja sjajnost rasvijetljene ili svjetleće površine. Navedene svjetlotehničke veličine vrednuju svjetlost po osnovi reakcija ljudskog vidnog organa.

LITERATURA

[1.] Pašagić, S.: Vizualne informacije u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2004.

[2.] Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1997.

[3.] Širola, E.: Cestovna rasvjeta, Zagreb, 1997.

Internet izvori

[4.]URL:https://mandrilo.com/data/knjige/zdravlje/ParametriSvjetlaUKontekstuJavneRasvjete.pdf (kolovoz, 2017)

[5.] URL: http://www.ieee.hr/_download/repository/Predavanje2%5B3%5D.pdf (kolovoz, 2017)

[6.] URL: http://www.sau.ac.me/ARHEM/ELEKTROINST3.pdf (kolovoz, 2017)

[7.] URL: http://www.mzoip.hr/hr/okolis/svjetlosno-oneciscenje.html (rujan, 2017)

[8.] URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011_10_114_2221.html (rujan, 2017)

[9.] URL: http://www.mathos.unios.hr/~mdjumic/uploads/diplomski/KO%C5%A107.pdf (rujan, 2017)

[10.]URL:https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ElRasvjeta_rasvjeta_2%5B1%5D.pdf (rujan, 2017)

[11.] URL: http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI.pdf (rujan, 2017)

[12.] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space (rujan, 2017)

[13.] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1960_color_space (rujan, 2017)

[14.] URL: https://cee.hr/boja-svjetlosti/ (rujan, 2017)

[15.] URL: http://www.climolux.hr/katalog-proizvoda/eco-halogene-zarulje-e-27/eco-halogena-zarulja-ecoclasic-e-27-100w-a55-bistra/2251 (rujan, 2017)

[16.] URL: http://www.tez.hr/_hr/katalog/visokotlacne/metalhalogene/ (rujan, 2017)

[17.]URL:http://trgovinalux.hr/webshop/index.php?main_page=product_info&products_id=14452 (rujan, 2017)

[18.] URL: http://www.prometna-signalizacija.com/oprema-ceste/cestovna-rasvjeta/ (rujan, 2017)

[19.] URL: http://www.chinahong.org/led-street-light/7.html (rujan, 2017)

[20.] URL: http://baystreetex.com/index.php/2015/12/20/led-bulbs/ (rujan, 2017)

[21.] URL: http://www.ledontehnologija.hr/teorija.html#img_show (rujan, 2017)

[22.] URL: http://www.brillen-hausmann.de/brillen-blog/autofahrerbrille/ (rujan, 2017)

[23.] URL: http://energoinspekt.hr/zastita-na-radu/fotometrijske-velicine (rujan, 2017)

[24.]URL:http://www.avc.com.hr/eurostar/Teh_Podrska/Dokumentacija/Svjetlo/Svjetlo%20i%20rasvjeta.pdf (rujan, 2017)

[25.] URL: http://e-student.fpz.hr/index.asp?izbID=8 – nastavni materijali, kolegij Vizualne informacije u prometu (rujan, 2017)

POPIS KRATICA

UV (ultraviolet) ultraljubičasto zračenje

IR (infrared) infracrveno zračenje

CIE (franc. Commission internationale de l'éclairage) međunarodna komisija za rasvjetu

SI (franc. Système International d'Unités) međunarodni sustav mjernih jedinica

POPIS SLIKA

Slika 1. - Elektromagnetski spektar [4] 2
Slika 2. - Kontinuirani spektar [4] 7
Slika 3. - Linijski spektar [4] 7
Slika 4. - Grafički prikaz funkcija, CIE 1931 [11]. 9
Slika 5. - Dijagram boja [12] 11
Slika 6. - Dijagram boja UCS [13] 12
Slika 7. - Dijagram položaja točaka boja od izvora svjetla [4] 13
Slika 8. - Temperatura svjetla [14] 13
Slika 9. - Prirodni i umjetni izvori svjetlosti [10] 16
Slika 10. - Podjela izvora svjetla prema načinu generiranja svjetla [11] 17
Slika 11. - Standardna žarulja sa žarnom niti [11] 18
Slika 12. - Halogena žarulja [15] 18
Slika 13. - Metalhalogena žarulja[16] 19
Slika 14. - Niskotlačna natrijeva žarulja [17] 20
Slika 15. - Fluorescentna žarulja [6] 20
Slika 16. - Centralni raspored izvora svjetlosti [18] 24
Slika 17. - Jednostrani raspored izvora svjetlosti [19] 24
Slika 18. - Dvostrani raspored izvora svjetlosti [20] 25
Slika 19. - Svjetlosno onečišćenje [21] 27
Slika 20. - Bliještanje u prometu [22] 29
Slika 21. - Međusobni odnosi svjetlotehničkih veličina [10] 31
Slika 22. - Svjetloni tok standardne žarulje [11] 32
Slika 23. - Osvjetljenost površine [23] 33
Slika 24. - Izvor svjetlosti jednake jakosti koje primjećuje ljudsko oko [11] 34

POPIS TABLICA

Tablica 1. - Izvori luminiscentnog zračenja [24] 19
Tablica 2. - Primjeri osvjetljenosti izraženi u lx [10] 33

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Analiza osnovnih svjetlotehničkih veličina**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 6.9.2017

Student/ica:
Dejan Rašić
(potpis)