

Cestovna rasvjeta u urbanim sredinama

Petljak, Helena

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:849764>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Helena Petljak

**CESTOVNA RASVJETA U URBANIM
SREDINAMA**

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Helena Petljak

**CESTOVNA RASVJETA U URBANIM
SREDINAMA**

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: prof. dr. sc. Vesna Dragčević

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Helena Petljak

ROAD LIGHTING IN URBAN AREA

FINAL EXAM

Supervisor: Prof. Vesna Dragčević, PhD

Zagreb, 2024.



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Student/ica :

Helena Petljak

(Ime i prezime)

008220665856

(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu završnog ispita pod naslovom:

Cestovna rasvjeta u urbanim sredinama

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

Road lighting in urban area

(Naslov teme završnog ispita na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

27. kolovoza 2024.

Mentor:

prof. dr. sc. Vesna Dragčević

Potpis mentora:

Vesna Dragčević

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Helena Petljak, 0082065856

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

Cestovna rasvjeta u urbanim sredinama

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

27.8.2024.

Potpis:

Helena Petljak



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja :

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

Potpis:

Heleua Petljina

SAŽETAK

U ovome je radu riječ o javnoj cestovnoj rasvjeti u gradskim, gusto naseljenim područjima gdje je motorni, a osobito pješački promet učestao i zahtijeva posebnu pažnju pri projektiranju elemenata prometnice. Vidljivost sudionika u prometu narušena je zbog fizikalnih pojava kao što su refleksija, refrakcija i apsorpcija, stoga je svrha cestovne rasvjete definirana kao mjera koja će povećati i poboljšati vidljivost, a time smanjiti broj prometnih nesreća i učestalost kriminala noću. Navedeni su elementi kao što su izvori, svjetiljka, nosači koji omogućavaju funkcionalnost sustava te njihove karakteristike po kojima se prosuđuju za uporabu na prometnici i po ekonomičnosti. Opisane su vrste rasporeda rasvjete i gdje se koriste. Istaknute su i posljedice suvislog korištenja rasvjete u urbanim sredinama koje dovode do problema svjetlosnog onečišćenja, ali su dana i rješenja za minimiziranje onečišćenja.

Ključne riječi: cestovna rasvjeta; cesta; urbana sredina; vidljivost; svjetlosno zagađenje; raspored izvora svjetlosti; sigurnost prometa

SUMMARY

This paper discusses public road lighting in urban, densely populated areas where motor and pedestrian traffic is frequent and requires special attention when designing road elements. The visibility of road users is challenged by physical phenomena such as reflection, refraction and absorption, making the purpose of road lighting to increase and improve visibility, thereby reducing the number of traffic accidents and crime at night. Elements such as light sources, lamps and beams, which enable the functionality of the system, are listed along with their characteristics, which are evaluated for use on roadways and are based on economic efficiency. The types of lighting arrangements and where they are used are also described. The paper also highlights the consequences of excessive lighting in urban areas that lead to light pollution, and offers solutions for minimizing this pollution.

Key words: road lighting; road; urban area; visibility; light pollution; lighting fixtures layout; road safety

SADRŽAJ

SAŽETAK	i
SUMMARY	ii
SADRŽAJ	iii
1. UVOD	1
2. SVRHA CESTOVNE RASVJETE	3
2.1. Fizikalne pojave svjetlosti	3
2.2. Problemi vidljivosti na prometnici	4
2.3. Mjera sigurnosti i zaštite	6
3. ELEMENTI SUSTAVA CESTOVNE RASVJETE	8
3.1. Mjerila kvalitete rasvjete	8
3.2. Osnovni elementi	13
3.2.1. Električni izvori svjetlosti	13
3.2.2. Svjetiljke	15
3.2.2.1. Standardne svjetiljke	15
3.2.2.2. Reflektori	16
3.2.3. Površina kolnika	17
3.3. Elementi instalacije	18
3.3.1. Nosači	18
3.3.2. Kablovi i vodovi	20
4. RASPORED CESTOVNE RASVJETE	21
4.1. Geometrijski pojmovi	21
4.2. Vrste rasporeda	24
4.3. Karakteristična mjesta	26
5. EKONOMIKA SUSTAVA CESTOVNE RASVJETE	33
5.1. Čimbenici ekonomičnosti sustava rasvjete	33
5.1.1. Kvaliteta	33
5.1.2. Geometrija	34
5.1.3. Elementi	35
5.1.4. Održavanje	35
5.2. Proračun ekonomičnosti	36
6. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE	38
6.1. Uzroci svjetlosnog onečišćenja	40
6.2. Posljedice svjetlosnog onečišćenja	41
6.3. Rješenja	43
6.4. Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj	44
7. ZAKLJUČAK	47

POPIS LITERATURE	48
POPIS SLIKA	51
POPIS TABLICA.....	53

1. UVOD

Projektiranje svakog građevinskog objekta, bilo da je to konstrukcija i prometnica, interdisciplinarna je aktivnost. Spojem različitih struka kao što su graditeljstvo, elektrotehnika, geodezija i strojarstvo, dolazi se do najboljeg rješenja. Kod planiranja prometnice, u ovome slučaju ceste, prvenstveno se definira optimalna trasa, zatim materijali usjeka ili zasjeka i slojeva ceste i na kraju dolaze objekti koje se nalaze s obje strane ceste i iznad nje. U zadnju stavku spadaju, između ostalog, prometna signalizacija i rasvjeta. Razvitkom prometa nastala je potreba za kvalitetnijim cestama koje će dostići povećani volumen prometa i suvremene probleme koji se zbog toga javljaju. Cestovna rasvjeta je element koji izravno utječe na vidljivost i zapažanje sudionika u prometu, a time i na sigurnost na cestama. Sigurnost se očituje u obliku smanjenja prometnih nesreća, pa čak i u obliku smanjenja stope kriminala.

Strukturu rada, osim uvoda, čini još pet poglavlja. U drugom poglavlju *Svrha cestovne rasvjete* pojasnit će se fizikalne pojave svjetlosti i spektar elektromagnetskog zračenja, a bit će i govora o razlozima zbog kojih se cestovna rasvjeta postavlja kao što su prevencija prometnih nesreća i kriminala noću, uvjetima i pojavama koje mogu pogoršati vidljivost vozačima kao bliještanje te efekti crnog okvira i otvora. Treće poglavlje, *Elementi sustava cestovne rasvjete*, govori o osnovnim elementima; električnom izvoru svjetlosti (vrstama, bitnim karakteristikama), svjetiljkama i površini kolnika kao sustavu kojem se dodaju instalacijski elementi, nosači i vodovi, koji osiguravaju pogonsku funkciju. Također se spominju mjerila kvalitete kao što su luminancija i rasvijetljenost po kojima se klasificira cestovna rasvjeta. Četvrto poglavlje, *Raspored cestovne rasvjete*, bavi se geometrijskim pojmovima kojima se opisuje sustav rasvjete te tipovima rasporeda rasvjete ovisno o dijelu prometnice koji se promatra. Peto i šesto poglavlje, *Ekonomika sustava cestovne rasvjete* i *Svjetlosno onečišćenje*, usko su povezani pojmom održivosti. Pojasnit će se kako produljiti vijek trajanja rasvjete te educirati o negativnim stranama prekomjerne rasvjete i kako ih ublažiti.

Cilj ovog rada je približiti osnove planiranja i projektiranja sustava cestovne rasvjete, elemente na koje treba obratiti pažnju odnosno mjerila kvalitete po kojima se rasvjeta kategorizira. Također je važno uočiti nedostatke pojedinih sustava i znati kako utjecati na funkcionalnost i dugotrajnost istog. Osim funkcionalnosti, iznimno je bitna ekonomičnost i razumijevanje potreba neke lokacije kako bi se na određenim elementima, ako je moguće, uštedilo, a da se pri tome ne narušava svrha sustava cestovne rasvjete. Ne smije se zaboraviti ni na utjecaj na okoliš koji se danas detaljno razmatra u svakom aspektu života. Svjetlosno zagađenje problem je koji seže još iz prošlog stoljeća, ali je za većinu to tek novi pojam. Ono utječe na sav živi svijet i njegov biološki ritam, a najizraženiji je iznad velegradova. Prvi korak

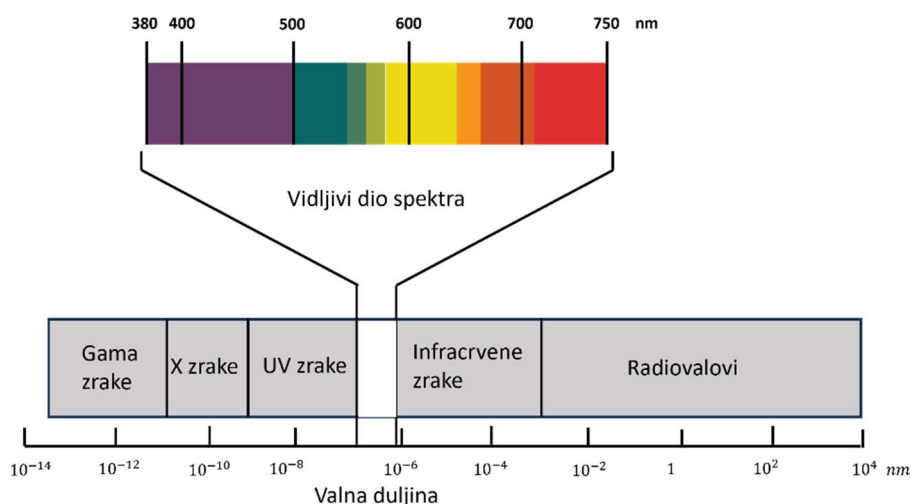
u borbi protiv svjetlosnog zagađenja mogu napraviti upravo oni zaduženi za projektiranje sustava rasvjete stoga je bitno podići razinu svijesti o toj temi.

2. SVRHA CESTOVNE RASVJETE

2.1. Fizikalne pojave svjetlosti

Prvenstveno se nužno upoznati kako uopće svjetlost putuje, koje su njene karakteristike i na koji ju način čovjek vidi. Svjetlost dolazi u obliku širokog spektra elektromagnetskog zračenja od 10^2 do 10^6 nanometara od kojeg je čovjek sposoban vidjeti samo od 380 do 750 nanometara valnih duljina. Taj dio naziva se vidljivi dio spektra. Grafički prikaz vidljivog dijela spektra u odnosu na potpuni spektar dan je na slici 1. Budući da je čovjekovo oko najosjetljivije na valne duljine oko 550 nanometara, što odgovara zelenoj boji, svjetlosni tok rasvjetnih tijela uspoređuje se upravo s njima kada se razmatra osjetljivost. Boja nekog predmeta, koju čovjek percipira, ovisi o svjetlosti koja obasjava taj predmet. Boja će biti vidljiva samo ako postoji u spektru svjetlosti koja ga obasjava. Zato je bitno razlikovati žarulje koje se koriste pri rasvjeti jer se tako direktno utječe na vidljivost objekata.

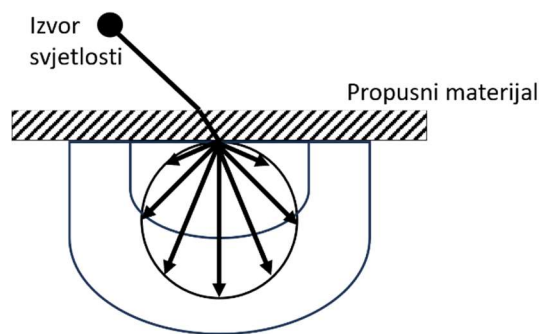
S obzirom da je svrha cestovne rasvjete služiti isključivo čovjeku, njene se karakteristike moraju promatrati na temelju njegovih osjetila. Fotometrija je grana optike koja se bavi mjerenjem svojstva svjetlosti, ali samo one koja je dio vidljivog spektra. Mjerne jedinice koje se koriste u tu svrhu su kandela (cd) za jakost svjetlosti, lumen (lm) za svjetlosni tok, luks (lx) za rasvijetljenost, kandela po četvornom metru (cd/m^2) za luminanciju i lumen po vatu (lm/W) za svjetlosnu iskoristivost [1].



Slika 1.: Spektar elektromagnetskog zračenja (Izvor: [2])

Snop svjetlosti putuje na 3 različita načina jednom kad dotakne neku površinu: refleksijom, apsorpcijom i transmisijom. Ovisno o površini zrake svjetlosti se mogu odbiti od nje, upiti i

pretvoriti u drugu vrstu energije ili proći kroz nju ako je materijal proziran. Reflektirane i transmitirane zrake čine neki predmet vidljivim jer tada zrake dolaze do oka za razliku od onih koje su upijene u predmet. Faktor refleksije bitan je kod promatranja svojstava kolnika, a obilježava omjer svjetlosnog toka koji se odbio od površine i ukupnog upadnog toka. Kod idealno glatke površine sve se zrake reflektiraju pod istim kutem kao što su upale no kod hrapavih površina, kao što su kolnici, događa se difuzna refleksija gdje su reflektirane zrake usmjerene u različitim smjerovima. Kod kućišta u kojem se nalazi izvor svjetlosti, primaran je faktor propuštanja koji označava omjer propuštenog dijela toka kroz proziran materijal i upadnog svjetlosnog toka. Ukoliko zrake koje prođu kroz materijal ostaju paralelne s upadnim govori se o pravilnom propuštanju, a ako pri izlazu zrake idu u različitim smjerovima radi se o difuznom propuštanju. Na slici 2 vidljivo je rasipanje svjetlosnog toka izvora iza opalnog stakla koje je iz tog razloga najprimjenjenije u rasvjeti generalno.



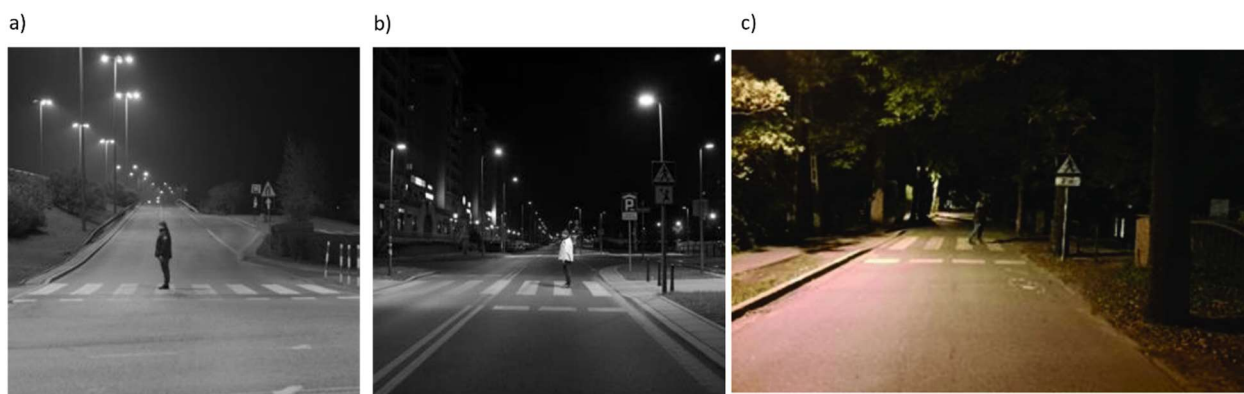
Slika 2.: Difuzno propuštanje svjetlosti kroz propusni materijal (Izvor: [3])

Organ oka kod čovjeka omogućava osjet vida. Jedan od bitnih činitelja organa vida su fotoreceptori, odnosno stanice koje se još nazivaju čunjićima i štapićima. Čunjići daju oštru sliku, mogućnost razlikovanja boja i jasniji dojam, dok štapići jamče vidljivost po mraku i jedini su aktivni po mraku. Postoje razdoblja dana, primjerice sumrak, kada čunjići i štapići rade u isto vrijeme, ali niti jedni punim potencijalom i zato je tada vidljivost slabija. Zato su točke kao ulazak i izlazak iz tunela kritične pri projektiranju rasvjete jer prilagodba na tamu traje puno duže nego kada se iz tame dođe na svjetlo, ali obje situacije mogu biti ključni trenutci u prometu.

2.2. Problemi vidljivosti na prometnici

Zbog putanje svjetlosti u prostoru se događaju efekti koji mogu otežati tok vožnje, a to su primjerice izostanak pozitivne i negativne siluete, crni okvir i otvor kod tunela, reflektirajuća površina kolnika za vrijeme padalina i slično.

U naseljenim mjestima gdje je pješački promet učestao, posebna pažnja treba se pridati osvjetljenju pješačkih prijelaza koji čine dio vidnog polja vozača. Ovisno o postavljanju rasvjete i tako dobivenoj luminanciji pozadine (fasada, kolnik), pješak se može vidjeti kao pozitivna ili negativna silueta, ili pak može biti potpuno nevidljiv za vozača [4]. Ukoliko je luminancija površine kolnika veća od luminancije površine pješaka, pješak će biti vidljiv konturno odnosno kao pozitivna silueta (slika 3.a). U obrnutoj situaciji kada je luminancija površine pješaka veća od one od kolnika, tada je pješak vidljiv kao negativna silueta (slika 3.b). Pri lošem postavljanju rasvjete moguće je da je pješak potpuno nevidljiv ili da je vidljiv samo jedan dio koji dakako nije dovoljan da bi se takvo zapažanje smatralo sigurnim i djelotvornim (slika 3.c).

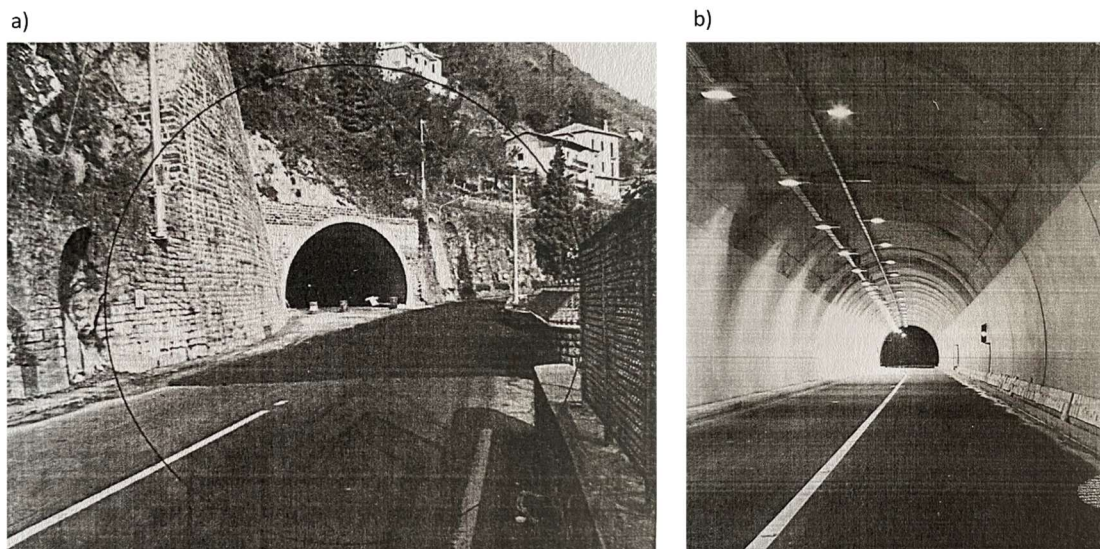


Slika 3.: a) pozitivna silueta pješaka, b) negativna silueta pješaka, c) nevidljiv pješak (Izvor: [4],[5])

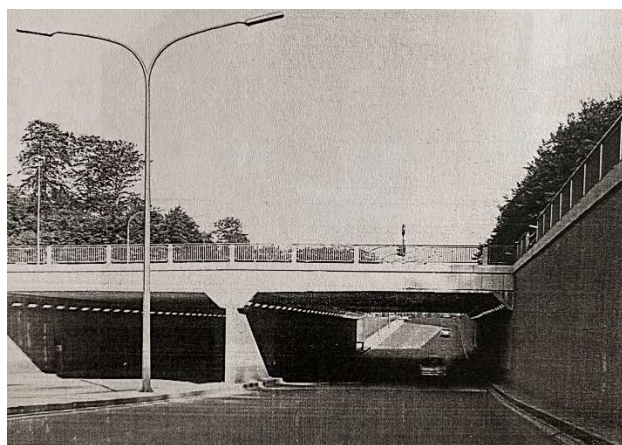
Na nekim dijelovima prometnice gdje noću prevladava tamna pozadina, instaliranje prejake rasvjete može uzrokovati bliještanje koje je stvara nelagodu u očima vozača. Osim boli, smanjena je vidljivost objekta i sve izgleda kao obavijeno česticama prašine. Zato se na tim dijelovima koriste zasjenjenje svjetiljke.

Loši vremenski uvjeti smanjuju jednolikost luminancije glatke površine kolnika jer ona postaje reflektirajuća zbog nakupljanja padalina na njoj. Za takve je situacije također karakteristična pojava bliještanja. U slučaju magle rasvjeta nije u mogućnosti puno pridonijeti zapažanju detalja, ali može pomoći vizualnim vođenjem tako što pokazuje neposredan smjer ceste i olakšava orijentaciju pogotovo na prometnicama sa zavojima i križanjima.

Efekti crnog otvora i okvira karakteristični su za tunele. Ovi efekti događaju se zbog spore prilagodbe ljudskog oka na promjenu luminancije pri velikim brzinama. Efekt crnog otvora događa se pri ulasku u dugi neodgovarajuće rasvijetljen tunel danju i izlazak iz dugog tunela noću, a prikazan je na slici 3. Efekt crnog okvira pojavljuje se kod loše osvjetljenog ili neosvijetljenog kratkog tunela danju i vidljiv je na slici 4. Objekti koji se nađu u tom okviru ili otvoru potencijalni su uzrok prometne nesreće.



Slika 4.: Efekt crnog otvora pri a) ulasku u tunel danju, b) izlasku iz tunela noću. (Izvor: [3])



Slika 5.: Efekt crnog okvira pri prolasku kroz podvožnjak. (Izvor: [3])

2.3. Mjera sigurnosti i zaštite

Cestovna rasvjeta postavljena bilo gdje, bilo kako i kojim god intenzitetom može štoviše ugroziti stanje na prometnici. Stoga kako bi osigurali uvjete vidljivosti, koji jamče vozačima svih vozila i pješacima pravodobno uočavanje detalja okoline i mogućih opasnosti, potrebno se strogo držati propisa i preporučenih minimalnih vrijednosti parametara za različite razrede prometnica. Navedeni uvjeti vidljivosti pridonose osjećaju sigurnosti i udobnosti tijekom vožnje.

Ispravno projektirana cestovna rasvjeta pridonijet će smanjenju prometnih nesreća i kriminala, olakšat će vidnu prilagodbu vozača pri ulasku i izlasku iz tunela ili podvožnjaka, omogućit će veću iskoristivost prometnice noću i osjećaj sigurnosti pri kretanju pješaka.

Prevenција prometnih nesreća

Poznato je da se velik broj nesreća događa noću i iz njih obično proizlaze teže ozljede, a statistički podatci iz 2021. godine [6] ukazuju na ozbiljnost broja nesreća i u njima stradalih obzirom na manju gustoću prometa koja vlada noću kao i na to da se najviše nesreća događa u naseljenim mjestima. Osim ljudskih žrtvi tu je i golemi trošak za društvo prouzročen materijalnim štetama.

Pri upravljanju motornim vozilom primaju se podražaji putem svih osjetila, ipak osjetilo vida daje najviše povratnih informacija zato cestovna rasvjeta mora omogućiti dobro zapažanje zapreka, detalja i signalizacije na prometnici, ali i u neposrednoj okolini. Zapravo, zadatak vozača je zapažanje, a zadatak cestovne rasvjete je da stvori uvjete zapažanja za vozača. U prilog tome ide činjenica [3] da je 1939. godine u Engleskoj zbog ratnog stanja isključena cestovna rasvjeta, a rezultat je bio porast broja smrtno stradalih za 65%.

Ipak, prometna nesreća noću proizlazi iz kombinacije nekoliko čimbenika; opadanje vizualne interpretacije vozača jer je noć što znači slabije razlikovanje boja ili smanjena oštrina vida, vremenske prilike i slično.

Prevenција kriminala

Prvobitna namjena cestovne rasvjete, prije rapidnog rasta motornog prometa, bila je smanjenje kriminala upućena uglavnom pješacima. Osvijetljene ulice i lica ljudi davali su osjećaj sigurnosti jer bi svjetlost sprječavala zločince da izvedu svoj čin zbog mogućih svjedoka.

Naposlijetku, izvedbom sustava cestovne rasvjete ne može se u potpunosti djelovati na poboljšanje uvjeta uočavanja svakog pojedinca niti njegovu sigurnost zbog drugih vanjskih čimbenika kao što su starije osobe kojima je vid sve lošiji i refleksi sporiji ili pak osobe u alkoholiziranom stanju smanjenih kognitivnih sposobnosti (pažnja, percepcija).

3. ELEMENTI SUSTAVA CESTOVNE RASVJETE

3.1. Mjerila kvalitete rasvjete

Na cestama s motornim prometom osnovni je zadatak postaviti takvu rasvjetu koja će omogućiti vozaču pravovremeno zapažanje zapreke na kolniku. To se ostvaruje kontrastom pozadine i zapreke. Mjerila kvalitete koja se razmatraju na cestama motornog prometa s ciljem dobre vidljivosti i vidne udobnosti su razina i jednolikost luminancije površine kolnika, bliještanje, razina rasvijetljenosti površine kolnika, spektralni sastav izvora svjetlosti i vizualno vođenje.

Razina luminancije površine kolnika

Luminancija je gustoća jakosti svjetlosti neke točke ili površine kolnika u promatranom smjeru, a ovisi o karakteristikama zračenja svjetiljki, geometriji sustava i refleksijskim svojstvima površine kolnika. Mjeri se luminancimetrom [7]. Luminancija se dobiva pomoću horizontalne rasvijetljenosti, a srednja luminancija površine kolnika (L_m) je omjer sume luminancija svih točaka neke promatrane površine i broja točaka ili malih dijelova od kojih se sastoji. Ona utječe na vidnu performansu i vidnu udobnost i dana je izrazom [3]:

$$L_m = \frac{\sum L_T}{N} \quad \left(\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right)$$

gdje je:

L_T (cd/m²) – luminancija točke

N – broj točaka promatrane površine

Jednolikost luminancije površine kolnika

Opća jednolikost luminancije (j_L) pridonosi vidnoj performansi, a uzdužna jednolikost (j_{Lu}) pridonosi udobnosti zapažanja. Visoka razina jednolikosti daje subjektivan osjećaj dobro rasvijetljene ceste. Navedene vrste jednolikosti dane su sljedećim izrazima [3]:

$$j_L = \frac{L_{\min}}{L_m} \cdot 100 \quad (\%)$$

$$j_{Lu} = \frac{L_{\min}(u)}{L_{\max}(u)} \cdot 100 \quad (\%)$$

gdje je:

L_{min} (cd/m²) – minimalna vrijednost luminancije površine kolnika

L_m (cd/m²) – srednja vrijednost luminancije površine kolnika

$L_{min}(u), L_{max}(u)$ (cd/m²) – minimalna i maksimalna vrijednost luminancije površine kolnika po sredini prometnog traka uzdužno uz os ceste promatrane iz sredine traka

Bliještanje

Bliještanje je pojava kod koje svjetlost bliještećih izvora upada u oko vozača i tako ometa brzinu zapažanja, oštrinu i kontrast detalja ovisno o kutu promatranja i upada svjetlosti. Fiziološko bliještanje smanjuje vidnu performansu. Zamagljeni bijeli zaslon koji u očima vozača stvara ova pojava ima svoju luminanciju koja se naziva ekvivalentna luminancija prekrivanja. Kvantitativni opis smanjene vidljivosti zbog fiziološkog bliještanja daje porast praga (TI), odnosno on predstavlja povećanje minimalnih vrijednosti luminancija zapreke i površine kolnika nebi li zapreka bila jednako vidljiva s bliještanjem izvora i bez njega. Izraz za dobivanje porasta praga je [3]:

$$TI = 65 \cdot \frac{L_v}{L_m^{0,8}} \quad (\%)$$

gdje je:

TI (%) – relativni porast praga

L_{min} (cd/m²) – ekvivalentna luminancija prekrivanja

L_m (cd/m²) – srednja luminancija površine kolnika

Psihološko bliještanje smanjuje vidnu udobnost zapažanja zbog zamora oka koje je prisutno pri dugotrajnom bliještanju izvora. Mjera kontrole psihološkog bliještanja (G) dana je kao opisna skala temeljena na subjektivnoj ocjeni bliještanja [3].

$G = 1$ nepodnošljivo

$G = 3$ smetajuće

$G = 5$ prihvatljivo

$G = 7$ zadovoljavajuće

$G = 9$ neprimjetno

Posljedice psihološkog bliještanja su uglavnom prihvatljive ukoliko je vrijednost porasta praga unutar propisanih vrijednosti za danu klasu cestovne rasvjete.

Spektralni sastav izvora svjetlosti

Spektralni sastav podrazumijeva boju izvora svjetlosti i boju rasvijetljenih predmeta. Utječe na oštrinu viđenja, subjektivnu ocjenu kvalitete luminancije površine kolnika i podnošljivost bliještanja, brzinu zapažanja i vrijeme regeneracije oka nakon zablještenja. Više govora o karakteristikama izvora svjetlosti biti će u potpoglavlju *Osnovni elementi*.

Vizualno vođenje

Pojam vizualnog vođenja nemjerljiv je, a podrazumijeva postavljanje stupova izvora svjetlosti tako da noću pomažu vozaču otkriti smjer ceste iz udaljenosti koja jamči sigurno zaustavljanje, a i veće. Pridonosi i vidnoj performansi i udobnosti.

Klase rasvjete za ceste motornog prometa dane su u tablici 1 uz opis situacije na cesti na kojoj se nalaze. U tablici 2 dane su minimalne vrijednosti mjerila kvalitete za klase cestovne rasvjete na cestama motornog prometa.

Tablica 1.: Klase cestovne rasvjete za ceste motornog prometa (Izvor: [3])

Karakteristike ceste	Klasa rasvjete
Ceste s velikom dopuštenom brzinom (100 km/h) i jednosmjernim prometom, s razdjelnim pojasom između prometnih traka, s križanjima u dvije i više razina, autoceste i ceste namijenjene isključivo za promet motornih vozila, opseg i gustoća prometa te složenost konfiguracije mogu biti: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Velika ▪ Srednja ▪ Mala 	M1 M2 M3
Ceste s velikom dopuštenom brzinom (100 km/h) i dvosmjernim prometom, s kontrolom prometa (semafori, horiz. i vert. signalizacija) i razdvojenim kolnicima od prometnih traka pješaka i biciklista, kontrola prometa i razdvojenost kolnika mogu biti: <ul style="list-style-type: none"> • Loša • Dobra 	M1 M2
Ceste sa srednjom dopuštenom brzinom (80 km/h), s kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima od prometnih traka pješaka i biciklista, kontrola prometa i razdvojenost kolnika mogu biti: <ul style="list-style-type: none"> • Loša • Dobra 	M2 M3
Ceste za relativno slabiji i lokalni promet sa malom (60 km/h) brzinom prometa, spojne ceste, prometno važnije ceste u stambenim naseljima, s kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima koji mogu biti: <ul style="list-style-type: none"> • Loši • Dobri 	M5 M4

Tablica 2.: Minimalne vrijednosti mjerila kvalitete za dane klase rasvjete na cestama za motorni promet (Izvor: [3])

Klasa rasvjete	Područje primjene			
	Za sve ceste			Ceste bez ili s malim brojem križanja
	$L_m \left(\frac{cd}{m^2}\right)$	j_L (%)	TI (%)	j_{Lu} (%)
M1	2	40	10	70
M2	1,5			
M3	1		50	
M4	0,75	15	/	/
M5	0,5			

Ceste i ulice na kojima je zastupljeniji pješački promet moraju svojom rasvjetom osigurati da pješak bude vidljiv vozaču, ali i da se pješak osjeća sigurnije tako što jasno i na vrijeme zapaža objekte i osobe u svojoj okolini. Ova se područja promatraju prema razini i jednodimenzionalnosti horizontalne rasvijetljenosti površine kolnika.

Razina srednje rasvijetljenosti površine kolnika

Rasvijetljenost se može opisati kao količina svjetlosnog toka izvora koja pada na neku površinu ili određenu točku, a mjeri se luksmetrom [7]. Budući da svjetlosni tok najčešće pada pod nekim kutem na površinu, rasvijetljenost ima svoju horizontalnu i vertikalnu komponentu. Horizontalna rasvijetljenost pruža pješaku sigurno kretanje površinom, a vertikalna rasvijetljenost mu omogućava raspoznavanje lica drugih pješaka. Srednja rasvijetljenost (E_m) dobiva se kao srednja vrijednost rasvijetljenosti u određenom broju točaka površine koja se promatra, odnosno izrazom [3]:

$$E_m = \sum_{i=1}^N \frac{E_i}{N} \quad (\text{lx})$$

gdje je:

E_m (lx) – srednja rasvijetljenost površine

E_i (lx) – rasvijetljenost točke

N – broj točaka

Jednolikost rasvijetljenosti površine kolnika

Jednolikost rasvijetljenosti (j_r) je pokazatelj kvalitete podjele svjetlosti po površini, a dobiva se izrazom [3]:

$$j_r = \frac{E_{min}}{E_m} \cdot 100 \quad (\%)$$

gdje je:

j_r (lx) – jednolikost rasvijetljenost površine

E_{min} (lx) – minimalna rasvijetljenost površine

E_m (lx) – srednja rasvijetljenost površine

Rasvjeta na cestama s pretežitom pješačkim prometom svrstana je u sedam klasa od kojih je svaka pobliže opisana u tablici 3, a dane su i minimalne vrijednosti mjerila kvalitete za svaku klasu rasvjete.

Tablica 3.: Minimalne vrijednosti mjerila kvalitete za dane klase rasvjete na cestama i prostorima za pretežitom pješački promet (Izvor: [3])

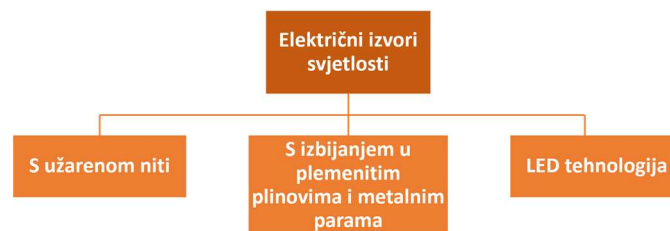
Opis ceste	Klasa rasvjete	E_m (lx)	j_r (%)
Ceste i prostori visoke prometne razine	P1	25	40
Ceste i prostori s velikom količinom i gustoćom pješaka i biciklista noću	P2	15	
Ceste i prostori sa srednjom količinom i gustoćom pješaka i biciklista noću	P3	10	
Ceste i prostori s malom količinom i gustoćom pješaka i biciklista noću; pristupne ceste stambenim objektima	P4	7,5	25
Ceste i prostori s malom količinom i gustoćom pješaka i biciklista noću; pristupne ceste objektima, važnost očuvanja ambijenta	P5	5	
Ceste i prostori s veoma malom količinom i gustoćom pješaka i biciklista noću; pristupne ceste objektima, važnost očuvanja ambijenta	P6	3	
Ceste i prostori koji trebaju imati samo orijentacijsku rasvjetu	P7	Nema posebnih zahtjeva	

3.2. Osnovni elementi

Osnovni elementi sustava cestovne rasvjete su električni izvor svjetlosti, svjetiljka i površina kolnika. Ovi elementi zajedno najviše pridonose ukupnoj kvaliteti cijelog sustava stoga je od velike važnosti izabrati ih tako da su njihove karakteristike maksimalno iskorištene u nekom sustavu. Izvor svjetlosti pretvara električnu, toplinsku ili elektromagnetsku energiju u energiju svjetlosnog zračenja, svjetiljka služi za raspodjelu svjetlosnog toka izvora, a površina kolnika sa svojim refleksijskim svojstvima izravno utječe na luminanciju.

3.2.1. Električni izvori svjetlosti

Električni se izvori dijele u dvije skupine s obzirom na to kako se električna energija pretvara u svjetlosnu: izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama i izvori svjetlosti s užarenom niti. Druga vrsta se sve manje koristi, a može se naći u manjim mjestima i sporednim ulicama predgrađa. Treća vrsta LED tehnologije sve se više koristi i potražuje. Na slici 6 prikazana je podjela električnih izvora svjetlosti.



Slika 6.: Podjela električnih izvora svjetlosti (Izvor: [3])

Izvori svjetlosti na osnovi izbijanja

Izvori svjetlosti na osnovi izbijanja proizvode svjetlost pobudom plina ili metalne pare između elektroda prolaskom električne struje. Optičko zračenje koje nastaje sastoji se od vidljivog dijela spektra i ultraljubičastog zračenja. Na stijenkama cijevi se koristi premaz luminofor koji nevidljivo ultraljubičasto zračenje pretvara u vidljivu svjetlost. Ovakve žarulje podržavaju rad i na temperaturama do minus 30°C. Najpovoljniji izvor svjetlosti je onaj sa najvećom svjetlosnom iskoristivošću (koliko izvor proizvede svjetlosnog toka iz struje koju dobije), najvećom vrijednosti indeksa uzvrata boje (odnosno kako i koliko vjerno neki predmet rasvjetljava neki izvor u usporedbi s referentnim izvorom svjetlosti [8]) i toplo bijelom bojom svjetlosti. U tablici 4 dane su osnovne karakteristike modela izvora svjetlosti ovog tipa najčešće korištenih u cestovnoj rasvjeti [8]. Usporedbom podataka da se zaključiti da je niskotlačna natrijeva cijev odlična po pitanju iskoristivosti, ali ima slab indeks uzvrata boje. Zato se koristi na prometnicama gdje je važnija oštrina zapažanja primjerice one gdje su magle učestale.

Fluokompaktne žarulje su iznimno ekonomične s visokim indeksom uzvrata boje što ih čini idealnima za osvjetljenje arhitektonsko značajnih okolina, dobrom svjetlosnom iskoristivošću, ali nešto manjim brojem sat gorenja.

Tablica 4.: Karakteristike modela izvora svjetlosti na osnovi izbivanja koji se koriste u cestovnoj rasvjeti (Izvor: [3])

	Visokotlačna natrijeva žarulja (NAV)	Visokotlačna živina žarulja (HQL)	Visokotlačna metalhalogena žarulja (HQL)	Niskotlačna natrijeva cijev (SOX-E)	Niskotlačna fluorescentna cijev (L)	Fluokompaktna žarulja
Boja svjetlosti	žuto-bijela	hladna bijela	toplo bijela, neutralno bijela, dnevna svjetlost	žuto-narančasta	topli ton, toplo bijela, svijetlo bijela, dnevna svjetlost	topli ton, toplo bijela
Indeks uzvrata boje	20-39, 60-69	50-60	89-93	slabo	85-100	80-89
Spektar svjetlosti	vidljiva svjetlost (550-680 nm)	vidljiva svjetlost i UV zračenje	vidljiva svjetlost i UV zračenje	vidljiva svjetlost (589 nm)	vidljiva svjetlost i UV zračenje	vidljiva svjetlost i UV zračenje
Svjetlosna iskoristivost (lm/W)	do 150	40-60	do 90	do 190	do 90	do 65
Gorenje (h)	24 000	16 000-24 000	6 000-15 000	14 000-24 000	6 000-16 000	10 000
Karakteristična primjena u cestovnoj rasvjeti				prometnice s učestalom maglom		povijesne jezgre, parkovi

Izvori svjetlosti s užarenom niti

Ova vrsta izvora svjetlosti proizvodi svjetlost zagrijavanjem spirale od volframa na visoku temperaturu pomoću električne struje. Koriste se od 19. stoljeća, no danas se teži njihovom zamjenom novijim tehnologijama jer, iako imaju odličan uzvrat boje, jeftine su i jednostavno se njima rukuje, vrlo kratko traju (samo 1000 sati) i svjetlosna iskoristivost im je svega 10 do 15 lm/W. Maksimalno zračenje postižu u žuto-zelenom dijelu spektra i najbliže je spektru sunčeve svjetlosti. Uzrok maloj trajnosti je trošenje žarne niti uslijed čestih promjena temperature zbog varijacija u naponu mreže.

LED tehnologija

Ovaj se tip izvora svjetlosti sve više koristi zbog svoje štedljivosti, a istovremeno proizvodnji snažne svjetlosti. LED-žarulja svijetli na temelju rada diode koja električnu energiju pretvara u svjetlosnu. Boja može biti plava, zelena, crvena ili bijela ovisno o materijalu diode. Odlika ove vrste da je dugotrajna i gori i do 100 000 sati, indeks uzvrata boje je vrijednosti 80, troši manje energije od drugi izvora i pri radu ispuštaju vrlo malo toplinske energije. Mana im je proizvodnja od skupih materijala koji utječu na cijenu krajnjeg proizvoda [9].



Slika 7.: LED cestovna rasvjeta (Izvor: autor)

3.2.2. Svjetiljke

Svjetiljka kao objekt unutar kojeg se nalazi izvor svjetlosti služi za raspodjelu svjetlosnog toka po površini ceste i njene bliže okoline. Ona se sastoji od svjetlotehničkih elemenata koji usmjeravaju svjetlost u određenom smjeru (reflektori, refraktori, difuzori, kape), mehaničkih dijelova koji štite svjetiljku i izvor od atmosferskih utjecaja i pričvršćuju za konstrukciju (kućište, vijci) te elektrotehničkih elemenata kojima se izvor priključuje u strujnu mrežu (vodiči, grlo žarulje). U cestovnoj rasveti koriste se standardne svjetiljke i reflektori.

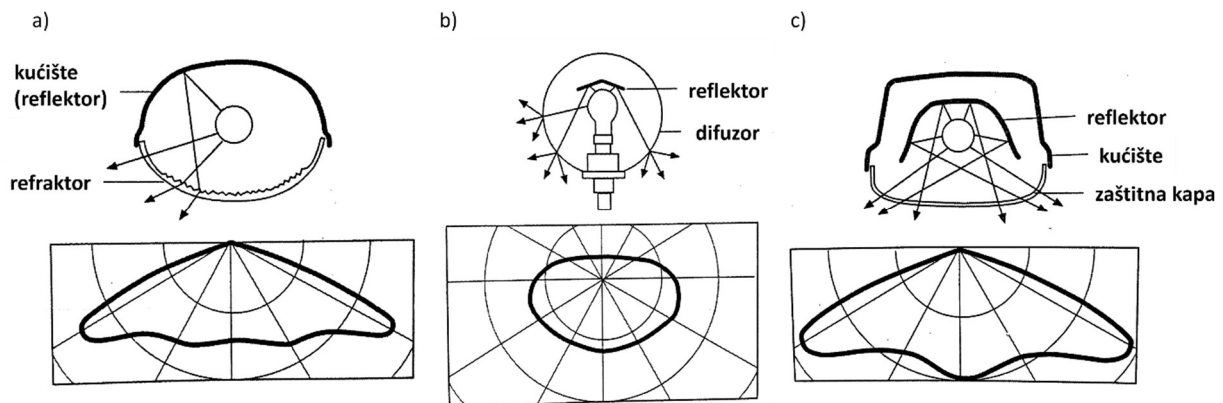
3.2.2.1. Standardne svjetiljke

Standardne svjetiljke montiraju se na stup ili nosivu žicu, a jakost zračenja svjetlosti usmjerena je uz uzdužnu os ceste. Bitna svojstva za uporabu ovih svjetiljki na prometnicama dana su u obliku fotometrijskih i konstruktivnih svojstava [3].

Fotometrijska svojstva

Krivulja jakosti zračenja svjetlosnog toka je grafički prikaz raspodjele svjetlosnog toka izvora u svim smjerovima. Ona ovisi o rasporedu elemenata unutar kućišta svjetiljke (reflektora, kape, refraktora i difuzora) i koje se fizikalne pojave događaju (refleksija, refrakcija, difuzija). Dio svjetlosnog toka izvora izravno se usmjerava na željenu plohu, a drugi dio se reflektira od zrcalnog reflektora. Reflektori se izrađuju od aluminijskog materijala pa su tako otporni na koroziju i moraju biti glatke površine radi što boljih refleksijskih svojstava. Na slici 8.c reflektor je od vanjskih utjecaja atmosfere zaštićen staklenom kapom koja sprječava ulazak zagađenog zraka u kućište. Dio svjetlosnog toka koji izravno zrači na površinu kontrolira se refraktorom koji je prikazan na slici 8.a. On se izrađuje od stakla ili umjetnog materijala kao i difuzor. Prednost stakla je otpornost na visoke temperature i izvrsna prozirnost, a prednost umjetnih materijala je mala

težina i laka obrada. Difuzor na slici 8.b koristi se na javnim trgovima i u povijesnim jezgrama. O kombinaciji i materijalu navedenih dijelova unutar svjetiljke ovisi njena optička iskoristivost, odnosno omjer izlaznog i ukupnog svjetlosnog toka koji izvor proizvode, a za cestovnu rasvjetu ona iznosi 60-70%. Svjetiljke mogu biti zasjenjene, poluzasjenjene i nezasjenjene. To se postiže sjenilom koje sprječava izravnu vidljivost izvora za određene raspone kuteva s ciljem smanjenja bliještanja. Zasjenjene i poluzasjenjene svjetiljke koriste se na prometnicama viših razreda i drugim gdje postoji mogućnost bliještanja.



Slika 8.: Tri tipa kontrole i usmjeravanja svjetlosnog toka s pripadajućim krivuljama jakosti zračenja svjetlosti (Izvor: [3])

Konstruktivna svojstva

Atmosferski utjecaju mogu ozbiljno smanjiti vijek trajanja svjetiljke pa je od iznimne važnosti koristiti materijale otporne na koroziju kao što su nehrđajući čelik za kućište svjetiljke, reflektor od aluminija, zaštitnu kapu od stakla ako su prisutne visoke temperature izvora, a konstrukcija svjetiljke i montažnih dijelova mora biti kvalitetna i stabilna uslijed vibracija. Potrebno je osigurati zaštitu od ulaska prašine i prodora vode u svjetiljku. Za svjetiljke u kojima se postiže radna temperatura viša od 90 °C potrebno je postaviti izolacijske materijale. Treba se postaviti električna zaštita dijelova u slučaju kratkog spoja. Konstrukcija mora biti takva da omogućuje jednostavnu i pristupačnu montažu i održavanje. Naposljetku, dizajn svjetiljki mora odgovarati estetici prostora posebice za povijesno značajne sredine.

3.2.2.2. Reflektori

Reflektor čine optički elementi za usmjeravanje svjetlosnog toka unutar granica nekog zadanog prostornog kuta [8]. U reflektore se ugrađuju izvori svjetlosti velikih deklariranih snaga visokih vrijednosti luminancije što uzrokuje bliještanje, stoga da bi se ono graničilo stavljaju se

rešetkasta sjenila ispred zaštitnog stakla reflektora. Zaštitno staklo mora biti otporno na visoke temperature zbog izvora velikih snaga unutar reflektora.

3.2.3. Površina kolnika

Zbog trošenja površine kolnika uslijed habanja zbog trenja kotača, atmosferskih utjecaja i čestica na površini, refleksijska svojstva kolnika imaju drugačije vrijednosti nego prije prometovanja pa se zato u praksi uzimaju svojstva kolnika nakon jedne godine. Osim o istrošenosti kolnika, refleksijska svojstva ovise o materijalu i tehnologiji izvedbe. Refleksijska svojstva temelje se na koeficijentu luminancije (q) definiranim kao omjer luminancije i rasvijetljenosti neke točke površine kolnika [3], a ovisi o vrsti materijala površine kolnika te položaju izvora svjetlosti i promatrača.

$$q = \frac{L}{E} \quad \left(\frac{1}{\text{steradian}} \right)$$

gdje je:

q (1/steradian) – koeficijent luminancije

L (cd/m²) – luminancija točke površine kolnika

E (lx) – horizontalna rasvijetljenost točke površine kolnika

Jedan od načina utvrđivanja refleksijskih svojstava je metodom triju parametara: Q_0 , S_1 i S_2 . Srednji koeficijent luminancije Q_0 označava sveukupnu refleksiju površine kolnika. Zrcalni faktori S_1 i S_2 veličine su na temelju kojih se određuje stupanj zrcaljenosti kolnika i one određuju oblik q - tijela. Za uobičajene cestovne površine, vrijednosti Q_0 su od 0,04 do 0,16, pri čemu niže vrijednosti odgovaraju tamnijim, a više svjetlijim površinama. Na slici 9 nalazi se grafički prikaz q – tijela.



Slika 9.: Definicija srednjeg koeficijenta luminancije (Izvor: [3])

Prema ova tri parametra moguće je klasificirati suhe površine kolnika u R – sustav koji se sastoji od četiri klase prikazane u tablici 5.

Tablica 5.: R – klasifikacija suhих površina kolnika (Izvor: [3])

Klasa	Parametri refleksije			Vrsta refleksije	Opis površine
	Q0	S1	S2		
R1	0,10	0,25	0,53	pretežno difuzna	Betonski kolnik Asfaltni kolnik s 80% agregatnih dodataka koji strše iz mase asfalta
R2	0,07	0,58	1,80	djelomično difuzna	Lijevani novi asfalt Asfaltbeton sa 60% agregatnih dodataka veličine zrna do 10 mm
R3	0,07	1,11	2,38	djelomično zrcalna	Hrapavi asfalt zbog istrošenosti i uglačanosti Asfaltbeton i lijevani asfalt veličine zrna do 10 mm
R4	0,08	1,55	3,03	pretežno zrcalna	Glatki asfalt Istrošeni lijevani asfalt

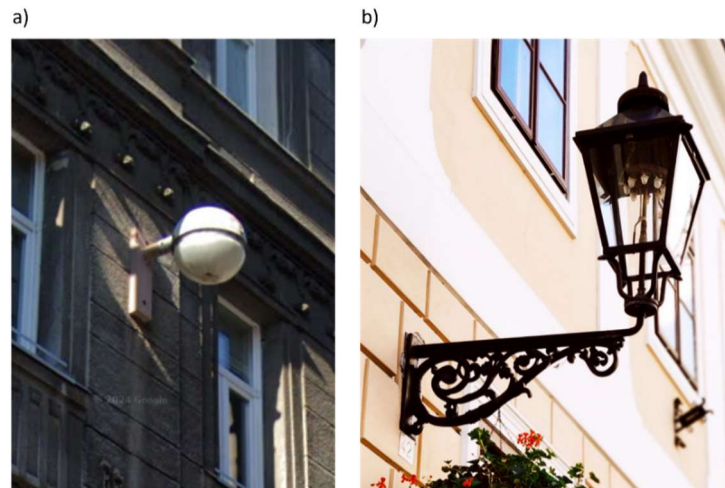
3.3. Elementi instalacije

Osim osnovnih elemenata postoje i elementi instalacije koji su zaduženi za normalnu pogonsku funkciju, a to su nosači svjetiljki, razvodni uređaji, uređaji za upravljanje i regulaciju, kabeli i vodovi te uređaji za zaštitu.

3.3.1. Nosači

Zidne konzole

Svjetiljka se može nalaziti na fasadi zgrade pričvršćena zidnom konzolom. Ovaj način je moguć samo ako su zgrade dovoljno visoke da udovolje geometriji rasvjete, a najčešće se izvodi u uskim ulicama omeđenim zgradama. Konzole mogu biti različitih oblika prikazanih na slici 10.

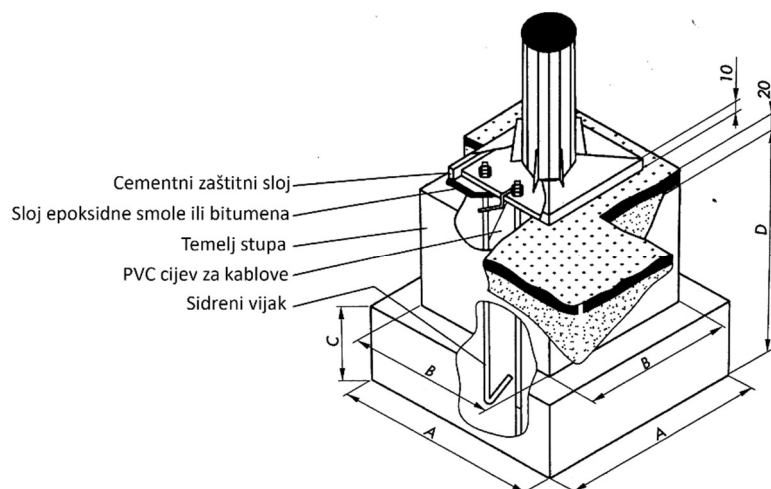


Slika 10.: a) zidna konzola od željezne cijevi, b) stilska zidna konzola od lijevanog željeza (Izvor: [10],[11])

Stupovi

Najčešće se pak primjenjuju stupovi koji mogu biti različitih materijala (čelični, betonski, drveni, od lijevanog željeza), poprečnih presjeka (okrugli, osmerokutni) i visina, s krakom ili bez. Visoki stupovi proizvode se u više dijelova kako bi se olakšala montaža i transport.

Temelj stupa je betonska (C12/15) ili armirano-betonska (C16/20) konstrukcija u obliku blok temelja za tla dobre nosivosti i blok temelja s proširenom osnovom za tla smanjene nosivosti. Stup se može izravno postaviti u betonsku konstrukciju, ali bolje rješenje je sidrenje stupa uz pomoć temeljne ploče jer se tako efikasnije i jeftinije može zamijeniti dotrajali stup. Za kablove je potrebno predvidjeti PVC cijev unutar temelja promjera minimalno 76 centimetara. Dijelovi temelja prikazani su na slici 11.



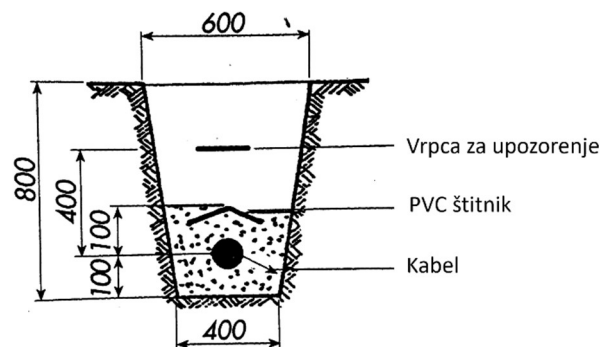
Slika 11.: Temeljenje stupa (Izvor: [3])

Nosive žice

Nosive žice su, kao i zidne konzole, dobro rješenje za središta gradova u ulicama omeđenim visokim zgradama. Izvode se od dva čelična pocinčana užeta, gornjeg nosivog i donjeg ovjesnog užeta, razapeta između stupova ili fasada.

3.3.2. Kablovi i vodovi

U cestovnoj rasvjeti pojavljuju se nadzemni i instalacijski vodovi i kablovi. Najprimjenjeniji nadzemni vodovi su samonosivi kabelski snopovi s izolacijom, koji se vješaju na drvene, betonske ili čelične stupove. Instalacijski vodovi u stupovima građeni su od bakrenog vodiča izoliran slojem PVC-mase. U zemlju ili betonski kanal polaže se elektroenergetski nearmirani kabel s izolacijom i plaštem od PVC-mase. Ukoliko je takav kabel potrebno položiti van kolničke trake onda se izrađuje kabelski rov. Prikazan na slici 12, dno kabelskog rova treba pokriti s 10 centimetara debelim slojem sitne zemlje ili pijeska, na njega kabel, a iznad kabela još pijeska i mehanička zaštita u obliku plastičnog štitnika ili cigle. Četrdeset centimetara iznad kabela postavlja se traka za upozorenje. Ukoliko se postavlja više kabela njihov međusobni razmak mora iznositi barem 15 centimetara [3].



Slika 12.: Kabelski rov (Izvor: [3])

Na mjestima većih očekivanih mehaničkih naprezanja i prijelaza preko prometnica izvodi se kabelska kanalizacija. Ona se sastoji od betonskih ili plastičnih cijevi, a potrebno ju je postaviti okomito na uzdužnu os ceste i od svakog kraja kolnika mora biti dulja jedan metar. Pri ovoj izvedbi treba paziti na već postojeće opskrbe instalacije.

4. RASPORED CESTOVNE RASVJETE

4.1. Geometrijski pojmovi

Zbog različitih konfiguracija terena nastale su i specifične, njima prilagođene konfiguracije prometnica koje opet zahtijevaju prilagođenu cestovnu rasvjetu. Najprije se valja upoznati s osnovnim geometrijskim pojmovima.

Visina montaže

Visina montaže podrazumijeva udaljenost od tla do izvora svjetiljke i ovisi o širini kolnika koju izvor svjetlosti mora osvijetliti. Pri jednostranom rasporedu svjetiljki, visina montaže mora biti u skladu sa cijelom širinom kolnika koju mora osvijetliti, dok kod dvostranog rasporeda na jedan izvor opada pola širine kolnika. Pri odabiru visine montaže potrebno je sagledati činjenicu da se smanjenje utjecaja bliještanja postiže većom visinom montaže, ali to s druge strane ne pridonosi optimalnom iskorištenju svjetlosnog toka izvora svjetiljke. Također kod malih visina montaže postoji rizik da će rubovi kolnika biti nedovoljno rasvijetljeni, a za veću visinu montaže će šira okolina biti nepotrebno rasvijetljena.

Međurazmak

Međurazmak je udaljenost između dva izvora svjetlosti paralelna s osi ceste. To je karakteristika koja najviše utječe na ekonomičnost sustava, što je međurazmak veći troškovi izgradnje i održavanja su manji. Ne treba pretjerivati s međurazmakom jer može doći do nejednolike rasvijetljenosti duž površine kolnika koja mora biti u vrijednostima većima od minimalno dopuštene s obzirom na klasu cestovne rasvjete (u većini slučajeva ona iznosi 40%). U tablici 6 prikazane su iskustvene vrijednosti odnosa međurazmaka i visine montaže za sustave s uobičajeno korištenim izvorima svjetlosti i različitom tipu zasjenjenosti svjetiljke na uobičajenim površinama kolnika.

Tablica 6.: Preporučene vrijednosti odnosa a/h ovisno o vrsti izvora svjetlosti i zasjenjenosti svjetiljke (Izvor: [3])

Izvor svjetlosti	a/h		
	Svjetiljka		
	Zasjenjena	Poluzasjenjena	Nezasjenjena
Niskotlačne natrijeve žarulje Visokotlačne živine/natrijeve fluorescentne žarulje	3	3,5	4
Visokotlačne natrijeve žarulje – cjevaste (prozirne)	3,5	4	4,5

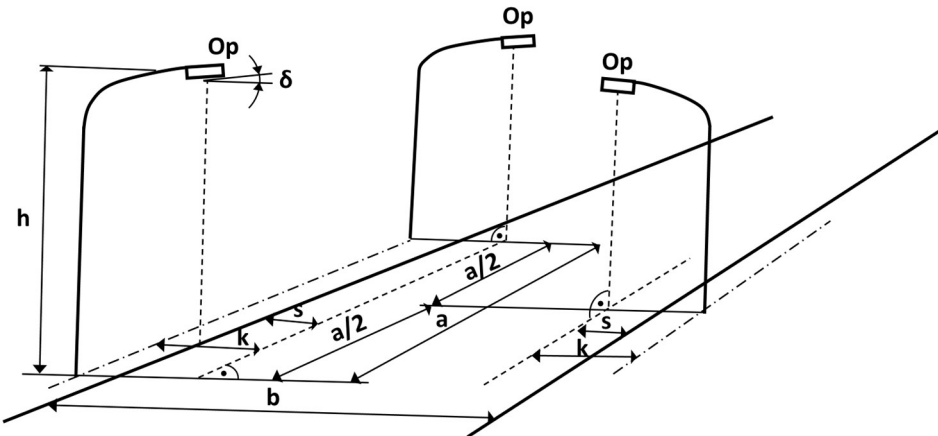
Krak optičke osi

Udaljenost od mjesta temeljenja stupa svjetiljke do optičkog centra izvora poznat je kao krak optičke osi. On iznosi maksimalno jednu petinu širine kolnika kada je izvor postavljen konzolno s obzirom na vertikalni dio stupa. Kod suvremenih optičkih sustava svjetiljki taj krak je nepotreban zbog vrijednosti krivulja jakosti zračenja svjetiljki koje dopuštaju da se svjetiljka postavi direktno na stup.

Kutovi nagiba

Kut nagiba definiran je kao kut koji montirana svjetiljka zatvara s horizontalom i iznosi 5, 10 ili 15 stupnjeva. Postavljanje svjetiljke u horizontali najpovoljnije je zbog minimalnog svjetlosnog onečišćenja. Kutovi nagiba od 15 stupnjeva najviše poprečno osvjetljuju kolnik, ali pridonose bliještanju vozačima iz poprečnog smjera ili u zavojima. Uobičajeno se na prometnicama s gustim prometom postavljaju kutovi nagiba od 5 stupnjeva, a za niže klase rasvjete kutovi od 10 stupnjeva. Svaka svjetiljka dolazi s dokumentacijom proizvođača za koji kut montiranja je proizvedena. Ti se kutovi moraju poštovati pri montiranju jer dobivene svjetlotehničke vrijednosti neće biti iste.

Na slici 13 prikazane su sve spomenute geometrijske veličine.



Slika 13.: Geometrija sustava cestovne rasvjete (Izvor: [3])

h (m) – visina montaže izvora svjetlosti

a (m) – međurazmak izvora svjetlosti

a/h – odnos međurazmaka i visine montaže izvora svjetlosti

k (m) – krak optičke osi izvora svjetiljke

δ (°) – kut nagiba montirane svjetiljke

s (m) – udaljenost optičke osi od ruba kolnika

b (m) – širina kolnika

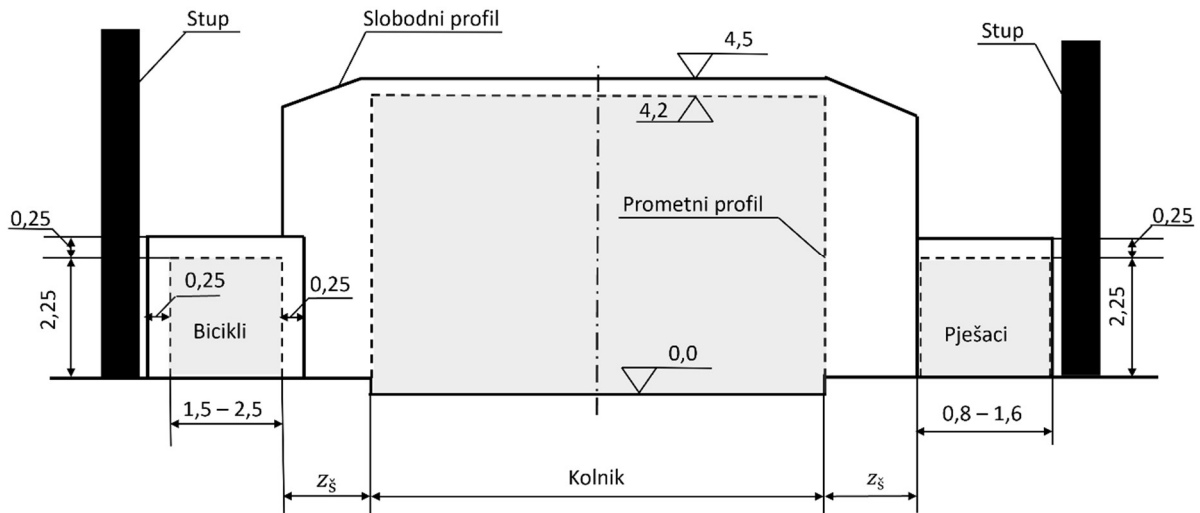
Op – optički centar svjetiljke

Prometni profil ceste

Prometni profil sastoji se od svih vrsta prometnih trakova i rubnih trakova, a visina od najviše točke kolnika je 4,20 metara.

Slobodni profil ceste

Slobodni profil ceste čini prometni profil uz zaštitnu visinu i širinu koja ovisi o dopuštenoj brzini, a vrijednosti su vidljive u tablici 7. Visina mu je 4,50 metara. U slobodni kao ni u prometni profil izvana ne smiju zadirati nikakvi fizički objekti što podrazumijeva i rasvjetne stupove. Najčešće na prometnicama u naselju postoje i pješački hodnik i biciklistička staza čije se širine kreću od 1,5 metar do 2,5 metra za biciklističku stazu i od 0,8 metara do 1,6 metara za pješački hodnik ovisno o gustoći prolaznika. U njihove slobodne profile također ne smiju zadirati stupovi cestovne rasvjete. Na slici 14 prikazan je tipičan kombinirani slobodni profil ceste u naseljenom mjestu.



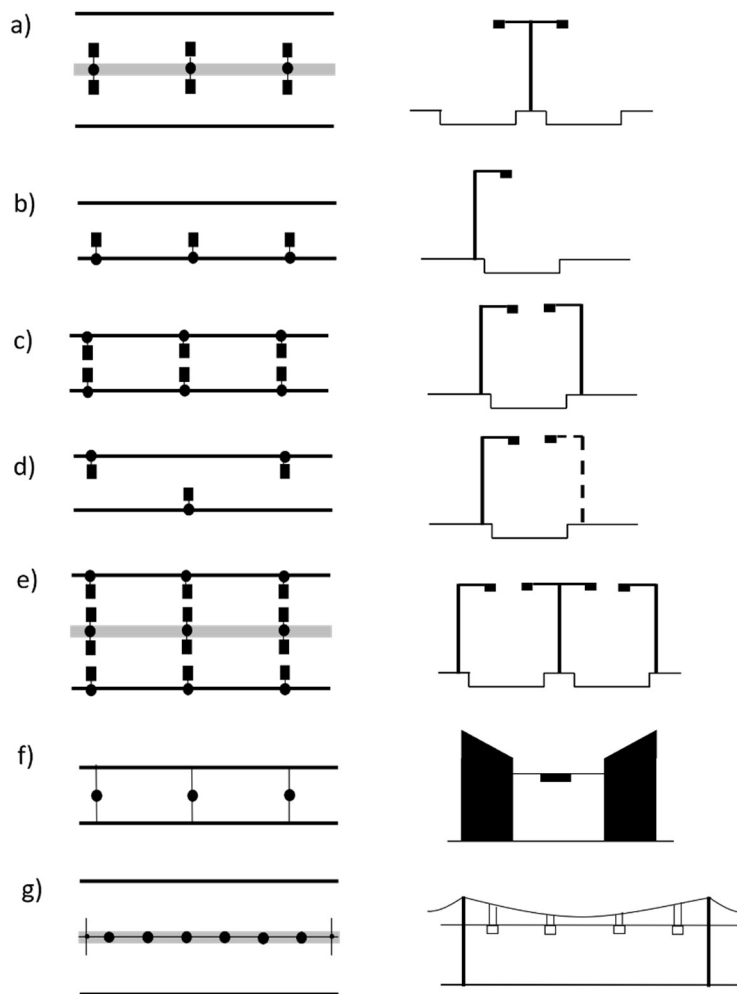
Slika 14.: Kombinirani slobodni profil ceste (Izvor: [38])

Tablica 7.: Iznos zaštitne širine ovisno o dopuštenoj brzini prometnice (Izvor: [3])

Dopuštena brzina v_{dop} (km/h)	>70	≤70	≤50
Zaštitina širina z_{ξ} (m)	1,25	1,00	0,75

4.2. Vrste rasporeda

Kako bi se olakšao proces pronalaženja najboljeg rješenja, dani su rasporedi cestovne rasvjete koji mogu najviše beneficirati sustavu ovisno o broju i širini prometnih trakova. Postoji sedam vrsti rasporeda koji su dani u nastavku i prikazani na slici 15.



Slika 15.: Različiti rasporedi izvora svjetlosti: a) centralni, b) jednostrani, c) dvostrani s izvorima postavljenim paralelno, d) centralni s izvorima postavljenim naizmjenično, e) kombinirani, f) aksijalni s nosivom žicom postavljenom okomito na os ceste, g) aksijalni s nosivom žicom postavljenom paralelno s osi ceste (Izvor: [3])

Centralni raspored

Kod centralnog rasporeda (Slika 15.a) rasvjetni stupovi su postavljeni na razdjelni pojas između prometnih kolnika pa se takav sustav najčešće koristi na autocestama i cestama s dva prometna traka. Izvori svjetlosti postavljaju se na isti stup jedan nasuprot drugom i tako svaki izvor rasvjetljava jedan kolnik. Prednost ovakvog sustava je ekonomičnost zbog jednog reda stupova.

Jednostrani raspored

Postavljanje rasvjetnih stupova samo s jedne strane prometnice (Slika 15.b) najčešće se koristi zbog svoje jednostavnosti i ekonomičnosti na većini cesta s najviše tri prometna traka, pritom visina montaže izvora svjetlosti mora biti veća od širine kolnika. Kako bi osvijetljenost u smjeru okomitom na os ceste bila optimalna nužno je maksimum zračenja jakosti svjetlosti usmjeriti na najudaljeniji trak.

Dvostrani raspored sa izvorima postavljenim paralelno ili izmjenično

Kod ovakvog tipa rasporeda rasvjetni stupovi nalaze se s obje strane prometnice što dovodi do većih troškova izgradnje i održavanja, ali ovakav sustav daje bolji rezultat jednolikosti luminancije u odnosu na druge sustave. Kada su izvori postavljeni naizmjenično (Slika 15.d) jednolikost je manja nego kada su oni postavljeni paralelno (Slika 15.c). Ovakav sustav postavlja se na prometnice s najmanje četiri prometna traka i svaki red izvora svjetlosti osvjetljava polovicu kolnika.

Kombinirani raspored

Kombinirani raspored (Slika 15.e) sastoji se od centralnog i dvostranog tipa postavljanja izvora svjetlosti. Koristi se na širokim prometnicama s dva prometna kolnika od kojih svaki ima bar četiri prometna traka i obostranim pješačkim stazama.

Aksijalni raspored s nosivom žicom postavljenom paralelno s osi ceste ili okomito na nju

Aksijalni raspored s izvorima svjetlosti postavljenim na čeličnu nosivu žicu paralelno s osi ceste (Slika 15.g) razapetu između dva stupa ekonomičniji je od ostalih rasporeda jer je broj stupova manji, ali broj svjetiljki veći obzirom da se postavljaju na međurazmak u vrijednosti trećine onog kod standardnih rasporeda. Koristi se na autocestama gdje su kolnici široki, osigurava dobro vizualno vođenje.

Drugi tip (Slika 15.f) sastoji se od svjetiljki postavljenih na čeličnu nosivu žicu razapetu između fasada zgrada koje okružuju ulicu u središnjem dijelu grada. Izvori su postavljeni na sredini širine ulice ili iznad svakog prometnog traka ako se radi o široj ulici. Ovakvim raspored postigne se izuzetna jednolikost luminancije i rasvijetljenosti kolnika zbog središnjeg položaja izvora svjetlosti i zbog refleksije svjetlosti od okolnih fasada.

4.3. Karakteristična mjesta

Na nekim mjestima u prometu nije dovoljno pridržavati se uobičajenog rasporeda rasvjete već se zbog zahtjeva veće sigurnosti i vidljivosti mora takvim mjestima pristupiti s oprezom i uporabiti drugačije metode kako bi se došlo do finalnog rješenja. Tu se ubrajaju raskrižja, pješački prijelazi, kružni tok, podvožnjaci i pothodnici itd.

Raskrižje u razini

Ukoliko raskrižje sačinjavaju ceste koje su prethodno bile osvjetljene tada je potrebno na svim prometnicama zadržati isti raspored izvora svjetlosti, isti izvor, tip i nagib svjetiljke, oblik stupa,

visinu montaže te iste vrijednosti mjerila kvalitete kao što su ograničavanje bliještanja, jednolikost luminancije, klasu i vizualno vođenje. Nerasvijetljene i slabo rasvijetljene ceste potrebno je rasvijetliti istim načinom u dužini od sto metara od središta raskrižja. Dozvoljeno je uzeti 50% veću razinu luminancije ako se radi o bitnijem, većem raskrižju s velikom gustoćom motornog i pješačkog prometa. Sustav rasvjete na križanju glavnih i sporednih cesta najbolje je utvrditi superponiranjem rasporeda rasvjete svake od njih, a zatim postaviti dodatna stupna mjesta. Kako bi se smanjio broj stupova i ograničila nepreglednost potrebno je, kada je to moguće, kombinirati vertikalnu signalizaciju i rasvjetne stupove. Ovaj zahtjev je nužno zadovoljiti kada je razmak stupa rasvjete i nosača vertikalne signalizacije manji od pet metara. Na slici 16 prikazan je primjer nepoštivanja ovog pravila, razmak stupa prometne signalizacije i rasvjetnog stupa manji je od minimalnog, štoviše, rasvjetni stup postavljen je ispred semafora blokirajući pogled na semafor vozačima u desnoj traci.



Slika 16.: Primjer lošeg postavljanja rasvjetnog stupa na križanju Ulice Kneza Branimira i Ulice Dragutina Mandla (Izvor: autor)

Čvorište u više razina

Postoje tri rješenja postavljanja cestovne rasvjete na čvorišta u više razina. Prvo rješenje uključuje standardni raspored (jednostrani, dvostrani, centralni) cestovne rasvjete na čvorištima izvan naselja ili u okolici koja zauzimaju veću površinu pa veći broj stupova ne predstavlja problem za preglednost i osigurava dobro vizualno vođenje. Ipak standardni raspored preporuča se koristiti i u naseljenim dijelovima kod čvorišta kraj kojih se nalaze stambene zgrade zbog manjeg bliještanja. Za razliku od raskrižja u razini, ovdje se na sporednim prometnicama čvorišta mogu koristiti drugačiji izvori svjetlosti, svjetiljke, visina montaže i vrsta rasporeda, ali mjerila kvalitete na svim prometnicama u istom čvorištu moraju

biti ista. Primjer ovakvog čvorišta je Držićeva petlja u Zagrebu koja je prije postavljanja današnje rasvjete imala visoke stupove s reflektorima koji su stanarima bila velika smetnja. Drugo rješenje je primjena visokih stupova odnosno stupova kojima je visina montaže 20 – 40 metara. Ovaj tip primjenjuje se kod zbijenih čvorišta jer se uporabom manjeg broja stupova dobiva na većoj preglednosti i ekonomičnosti, a obzirom da je osvijetljena i okolina, a ne samo kolnik, vidljivost je izrazito dobra. Zbog velike rasvijetljenosti kod ovakvog se sustava treba obratiti posebna pažnja na ograničavanje bliještanja zato se koriste što manji nagibni kutevi i zasjenjeni reflektori. Mana ovih stupova najčešće je održavanje zbog teškog pristupa. Optimalno i najekonomičnije od svih bilo bi treće rješenje koje je kombinacija prethodna dva.

Kružni tok

Ukoliko se radi o kružnom toku manjih dimenzija dovoljno je postaviti jedan stup u središte otoka koji će rasvijetliti kružni tok uz pomoć postojeće rasvjete prilaznih cesta. Primjer takvog osvijetljenja kružnog toka dan je na slici 17. Veći kružni tok rasvijetljava se prema sljedećim pravilima [3]: po jedan izvor svjetlosti postavlja se na rub centralnog otoka gdje ga siječe os svakog prilaznog prometnog traka, po jedan izvor svjetlosti nalazi se uz desni rub prilaznog prometnog traka gdje se siječe njegova os i tangenta simetrale ceste kružnog toka, naposljetku se postavljaju izvori svjetlosti na vanjski rub kružnog toka ovisno o već postavljenim izvorima iz prva dva pravila.



Slika 17.: Kružni tok osvijetljen jednim središnjim stupom u Ulici Vice Vukova (Izvor: autor)

Cesta u zavoju

Rasvjeta na cestama u zavoju čiji polumjer kružnog luka ne prelazi 1000 metara mora biti postavljena jednostrano s vanjske strane zavoja, a međurazmak se mora smanjiti proporcionalno veličini kružnog luka i to do dvije trećine iznosa međurazmaka na ravnoj dionici ceste. Iznimno ako se radi o širokim kolnicima rasvjeta se postavlja dvostrano. Kutovi nagiba svjetiljki moraju biti minimalni zbog ograničenja bliještanja. Cesta u zavoju s jednostranim rasporedom rasvjete prikazana je na slici 18.



Slika 18.: Rasvjeta postavljena s vanjske strane zavoja na lokaciji Držićeva petlja (Izvor: [12])

Podvožnjaci

Podvožnjake je nužno rasvijetliti ako je cesta ispred i iza njih rasvijetljena. Svjetiljke se ugrađuju na ili u strop kako nebi zadirale u slobodni profil ceste. Na slici 19.a prikazan je podvožnjak osvijetljen reflektorima. Kako bi se danju izbjegao efekt crnog okvira na nekim se podvožnjacima primjenjuje osvjetljenje dnevnim svjetlom kroz otvore u konstrukciji na mjestu razdjelnog pojasa kako je vidljivo na slici 19.b.



Slika 19.: Podvožnjak rasvijetljen a) reflektorima b) otvorom u konstrukciji na Slavenskoj Aveniji (Izvor: autor)

Pješački prijelazi

Ako je cesta standardno rasvijetljena, mjesta na kojima se nalaze pješački prijelazi nije potrebno dodatno rasvijetliti, a položaj izvora svjetlosti u odnosu na pješački prijelaz nije bitan. Pješački prijelaz je nužno osvijetliti na neosvijetljenim cestama i tada se vodi briga o položaju izvora svjetlosti. Na ravnim dijelovima ceste izvor svjetlosti postavlja se iza pješačkog prijelaza, a na cestama u zavoju ispred pješačkog prijelaza gledajući iz smjera vožnje. Osim klasične rasvjete, pješački prijelaz može se označiti prizmama na rubu kolnika od kojih se odbija svjetlost automobila upozoravajući na prisutnost pješačkog prijelaza (slika 20.a). Suvremena tehnologija omogućila je razvoj novih rješenja kao što je prometni znak s ugrađenom LED lampom u podnožju [13] koji rasvijetljava pješački prijelaz cijelom dužinom i širinom, a može se aktivirati nailaskom automobila ili pješaka te ne zahtjeva konstantan radi (ali je i taj način rada moguć) pa pridonosi štednji energije (slika 20.b).



Slika 20.: a) trepereće prizme kraj pješačkog prijelaza, b) prometni znak s LED lampom (Izvor: autor, [14])

Pješački pothodnici

Pothodnike je potrebno osvijetliti svjetiljkama postavljenim u stropu ili na gornjem dijelu bočnih zidova te postaviti svjetleće natpise koji označavaju izlaz. Rasvjeta mora biti u cjelodnevnom režimu rada, a što je pothodnik duži rasvjeta mora biti kvalitetnija. Slika 21 prikazuje pothodnik rasvijetljen na bočnim zidovima.



Slika 21.: Rasvjetljenje pothodnika u Ulici Kneza Branimira (Izvor: autor)

Javni trg

Rasvjeta trgova ovisi o vrsti prometa koji se tamo odvija i njegovim potrebama. Glavni trg grada Zagreba posjeduje pješački i tramvajski promet zbog čega rasvijetljenost mora biti dobra. Na slici 22 vidljiv su visoki stupovi s ukrasnim elementima te niži stupovi s kuglastim svjetiljkama. Raspored i geometrija rasvjete mora se prilagoditi estetici prostora.



Slika 22.: Rasvjeta Trga bana Josipa Jelačića u Zagrebu (Izvor:[15])

Trgovačke ulice

Što je veće značenje ulice to rasvjeta mora biti kvalitetnija. Zbog velikog broja izloga traži se dobra rasvijetljenost i uporaba izvora svjetlosti s visokim iznosom indeksa uzvrata boje. Obzirom da je ovaj tip ulice s obje strane omeđen zgradama, najčešće se primjenjuju svjetiljke postavljene na fasade ili aksijalan raspored s nosivim žicama postavljenim okomito na os ulice. Oba tipa postavljena su na dijelove llice u Zagrebu.

Ceste s tramvajskim prometom

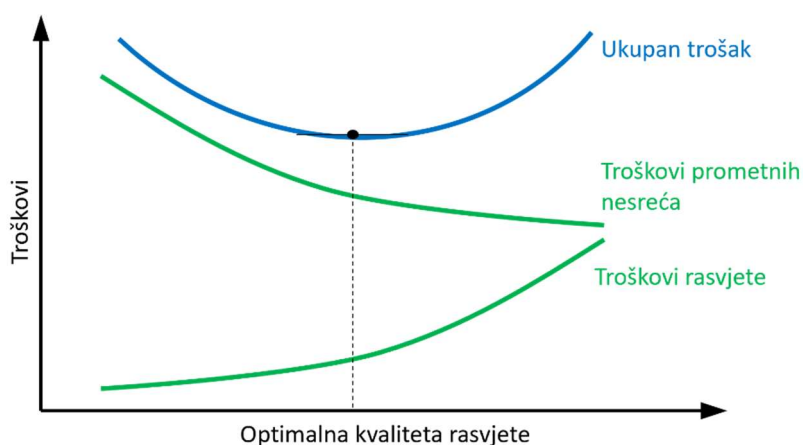
Na cestama s tramvajskim prometom posebna pažnja obraća se na multifunkcionalnost stupa tako da koristi i za rasvjetu i za pričvršćenje kontaktne mreže, te je bitno da oni ne zadiru u slobodni profil tramvaja. Primjer dvojne funkcije rasvjetnog stupa vidljiv je na slici 23.



Slika 23.: Rasvjetni stup na koji je spojena tramvajska mreža u Dubravi (Izvor: autor)

5. EKONOMIKA SUSTAVA CESTOVNE RASVJETE

Isključivo se kvalitetna rasvjeta može analizirati po svojoj ekonomičnosti jer je tek tada utrošak ulaganja usporediv s uštedama koje proizlaze iz smanjenja prometnih nesreća i kriminala. Osim spomenute dvije stavke, postoje i ostale dobrobiti kvalitetne rasvjete po kojima se može vidjeti isplativost rasvjete, no te se stavke ne mogu numerički izraziti. Radi se o udobnosti vožnje i osjećaju sigurnosti na rasvijetljenoj prometnici i ljepoti rasvijetljenog eksterijera. Porastom kvalitete rasvjete očekivano je da rastu i troškovi izgradnje, dok se troškovi prometnih nesreća i kriminalnih dijela smanjuju. Pri optimalnoj kvaliteti neke rasvjete može se postići minimum ukupnih troškova [3] prikazan na slici 24, no spomenutu kvalitetu teško je predvidjeti zato svakako ne treba pribjegavati najjeftinijim solucijama, jer će one dovesti do velikih troškova održavanja i skraćenog vijeka trajanja, već se to postiže utjecajem na stavke kao što su što niža instalirana snaga, smanjen broj rasvjetnih mjesta i što kvalitetniji pojedinačni elementi sustava.



Slika 24.: Optimalna kvaliteta cestovne rasvjete (Izvor: [3])

5.1. Čimbenici ekonomičnosti sustava rasvjete

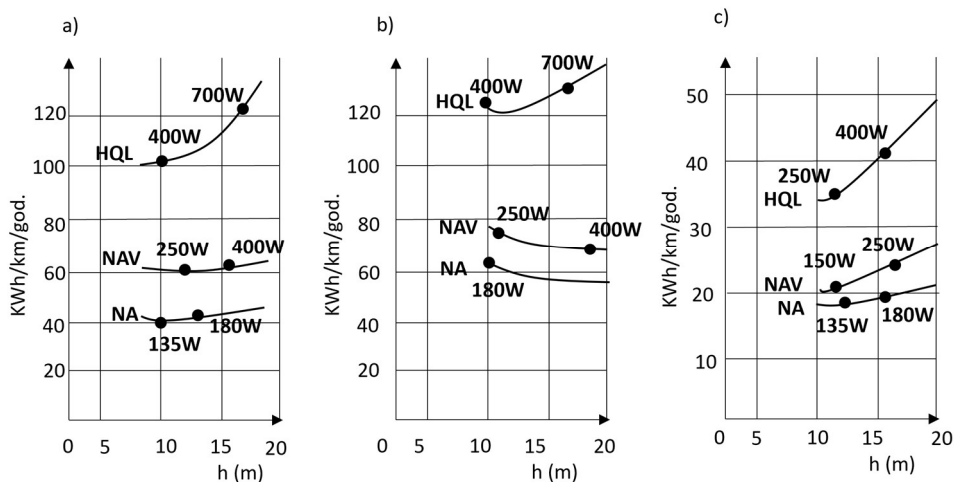
5.1.1. Kvaliteta

Od velike je važnosti poznavati značaj i strukturu prometnice za koju se projektira sustav rasvjete. Rasvjeta je klasificirana u razrede prema potrebama prometnice kojoj služi, ovisno o njenoj dopuštenoj brzini, gustoći prometa i slično. Svaka klasa cestovne rasvjete ima propisane minimalne parametre koji moraju biti zadovoljeni pri izvedbi. Nadasve neekonomično bi bilo dodijeliti cestovnu rasvjetu više klase prometnici nižeg razreda jer bi tada utrošak energije i resursa bio prevelik obzirom na potrebe koje promatrana prometnica ima. Isto tako staviti nižu klasu cestovne rasvjete na zahtjevnju prometnicu dovelo bi u pitanje udobnost i sigurnost

prometa na tom području. Definiranje klasa cestovne rasvjete podliježe strogim zakonitostima koje, ako se ne poštuju, mogu izazvati poražavajuće posljedice u slučaju gustog prometa.

5.1.2. Geometrija

Utjecanjem na vrstu rasporeda stupova svjetiljki, međurazmak, visinu montaže i ostale geometrijske komponente najviše se može doprinijeti ekonomičnosti sustava cestovne rasvjete. Odabir optimalne geometrije za istu kvalitetu rasvjete znači najmanji broj rasvjetnih stupova, iz čega proizlazi najveća ušteda budući da tek 10-15% cijene izgradnje stupnog mjesta čini svjetiljka s izvorom, a ostatak su troškovi radnji koje prethode postavljanju izvora na stup [3]. Osim uštede pri izgradnji, manji broj stupova čini prostor ljepšim i preglednijim te smanjuje troškove kasnijeg održavanja.



Slika 25.: Ukupna prosječna godišnja potrošnja energije po kilometru rasvijetljene ceste ovisno o visini montaže h za tri vrste izvora svjetlosti: a) centralni raspored s izvorima u opoziciji, b) dvostrani raspored s izvorima paralelno, c) jednostrani raspored (Izvor: [16])

Analizom vrijednosti sa slike 25 uočeno je da pri odabiru najniže instalirane snage i natrijeve žarulje jednostrani raspored (slika 25.c) troši dva puta manje električne energije po kilometru rasvijetljene ceste od centralnog rasporeda (slika 25.a) i tri puta manje energije od dvostranog raspored (slika 25.b) za dva metra višu visinu montaže.

5.1.3. Elementi

Izvor svjetlosti

Izvor svjetlosti najveći je potrošač električne energije u sustavu cestovne rasvjete pa odabir optimalne vrste izvora utječe na ukupnu potrošnju električne energije i najveći dio troškova održavanja. U današnje vrijeme postoji mnogo izbora izvora svjetlosti no najprimjenjenije su visokotlačne natrijeve žarulje, niskotlačne natrijeve cijevi i visokotlačne živine žarulje. Sa stajališta ukupnih troškova i potrošnje, najbolji izbor za ulice i naseljena mjesta gdje je tražena dobra interpretacija boja je visokotlačna natrijeva žarulja. Olakotna okolnost modernog doba je ta što je iskoristivost upravo ovih najčešće korištenih vrsta izvora izuzetno narasla u zadnjih sto godina [16].

Svjetiljke

Bliještanje može učiniti vožnju vrlo neugodnom pa se iz tog razloga na cestama viših razreda koriste zasjenjene ili poluzasjenjene svjetiljke. Zasjenjenjem svjetiljke gubi se intenzitet svjetlosnog toka pa se takve svjetiljke postavljaju na manjim međurazmacima (što znači više stupnih mjesta) kako se kvaliteta rasvjete nebi izgubila, to je uistinu veći trošak no neophodan jer se na značajnim cestama bliještanje mora smanjiti na dopuštene vrijednosti dok to na cestama manje važnosti nije prioritet pa se takve zasjenjene svjetiljke ne koriste.

Površina kolnika

Refleksijska svojstva kolnika značajno utječu na luminanciju njegove površine, čak i uz isti svjetlosni tok, što utječe na ukupne troškove instalacije rasvjete. Ako je površina kolnika svjetlija, potrebno je manje svjetla da bi se postigla ista razina osvijetljenosti. Postoje betonski i svijetli asfaltni kolnici s posebnim umjetnim agregatnim dodatcima čiji srednji koeficijent luminancije površine kolnika može biti 20-50% veći od onog uobičajenih asfaltnih kolnika. Izvedba takvih kolnika skuplja je od tamnih asfaltnih no znatno utječe na uštedu troškova sustava.

5.1.4. Održavanje

Završetkom planiranja optimalnog sustava cestovne rasvjete i izgradnje istog zadatak nije gotov, preostaje održavati taj sustav do kraja njegovog vijeka trajanja koji se ispravnim održavanjem može produljiti, ali i znatno skratiti nemarnim djelovanjem. Održavanje podrazumijeva nabavu i pravovremeno mijenjanje izvora svjetlosti, čišćenje svjetiljke, bojanje stupova, otklanjanje kvarova, provjera stupova i temelja te vodova i slično. Za optimalnu kvalitetu rasvjete troškovi održavanja su minimalni što cijeli sustav čini ekonomičnim. Uloga održavanja je zadržati funkcionalna svojstva sustava na istoj razini, iako je razumno za očekivati

da s vremenom neke karakteristike opadaju u kvaliteti i da se popravkom ne mogu vratiti na početno stanje funkcionalnosti.

Faktori koji utječu na propadanje elemenata sustava rasvjete su: temperatura okoline, stanje zagađenosti atmosfere, učestalost paljenja i gašenja, mehaničke vibracije, sudar s vozilima, vibracije, nedostaci proizvodnje i loši vremenski uvjeti.

Postoji sustavno i pojedinačno održavanje. Sustavno održavanje uključuje pregled cjelokupne opreme sustava i radi se svakih šest do osamnaest mjeseci. Tim načinom održavanja utječe se na sigurnost prometa i smanjenje troškova održavanja. Između dva sustavna održavanja preporuča se napraviti i pojedinačna održavanja.

5.2. Proračun ekonomičnosti

Za svaki planirani sustav dobro je imati nekoliko rješenja i usporediti ih te odabrati najprikladnije. Tada se radi izračun ekonomičnosti sustava. Uspoređuje se sveukupan godišnji trošak sustava cestovne rasvjete koji se dijeli na troškove kapitala i troškove održavanja. Slika 26 prikazuje hijerarhiju ukupnih godišnjih troškova.



Slika 26.: Dijagram ukupnih godišnjih troškova sustava cestovne rasvjete (Izvor: [3])

Ukupni godišnji troškovi se izračunavaju kao [3]:

$$GT = T_k + T_i + T_c + T_b + T_e$$

$$GT = k \times I + n_i c_i \frac{t_1}{t_2} + w \frac{t_1}{t_2} + n_s c_s + n_{ST} C_{ST1} + S_{ST} C_{ST2} + t_1 c_e p_i$$

gdje je:

k – koeficijent koji uzima u obzir vrijeme amortizacije sustava (ili dijelova sustava) te kamate na uloženi kapital (za 20 godine amortizacije i 10% kamata $k=0,13$)

I (kn) – ukupna investicija

n_i (kom) – ukupan broj izvora svjetlosti

c_i (kn) – jedinična cijena izvora svjetlosti

t_1 (sati) – sati pogona godišnje (4200 sati)

t_2 (sati) – trajnost izvora svjetiljke

w (kn/kom) – jedinična cijena zamjene izvora svjetlosti

n_s (kom) – broj svjetiljki

c_s (kn/kom) – jedinični troškovi čišćenja svjetiljke

n_{ST} (kom) – broj stupova

c_{ST1} (kn/kom) – jedinična cijena bojenja jednog stupa (radnja snaga i mehanizacija)

s_{ST} (m²) – površina stupa (od 1,2 m² za $h=3$ m do 14 m² $h=16$ m)

c_{ST2} (kn/kom) – jedinična cijena materijala za bojenje po m² obojenog stupa (~ 50 kn/m² površine stupa)

c_e (kn/kWh) – cijena električne energije

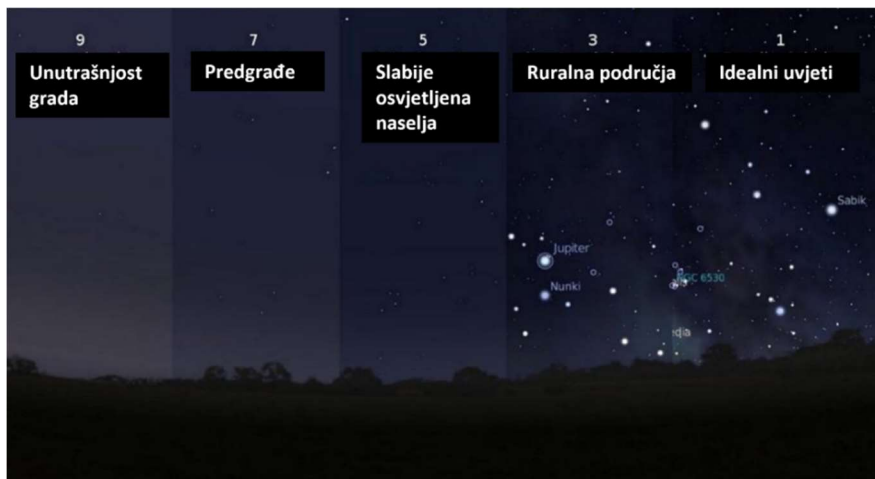
p_i (kW) – ukupna instalirana sna

6. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

Grad noću bio bi nezamisliv bez rasvjete koja obasjava površine kolnika, građevina, gradskih trgova i spomenika. Rasvjeta pridonosi osjećaju sigurnosti, stvara ambijent, štoviše, daje drugačiji pogled na okolinu i njenu ljepotu koja se našla u tami. Pitanje je u kojem je trenutku čovjek prešao granicu udovoljivši svojim potrebama i pritom zanemario posljedice koje će se ticati njega i okoliša. Relativno nov i brzorastući problem današnjice je svjetlosno onečišćenje koje se također smatra i jednim on najraširenijih oblika lošeg utjecaja na okoliš. Ono uključuje bliještanje reklamnih panoa, nepotrebno osvjetljenje unutrašnjosti poslovnih i uredskih zgrada kao i snažnu cestovnu rasvjetu koja osvjetljava ulice, dvorišta i parkirališta. Umjetna svjetlost svakako ima svoje prednosti i razloge zbog kojih je i postavljena. Primjerice, produljivanje produktivnog dana kako bi čovjek imao više vremena za rad ili aktivnosti koje zahtijevaju svjetlost. No kada takva rasvjeta postane neučinkovita ili čak iritantna zbog svoje jakosti, govori se o svjetlosnom onečišćenju.

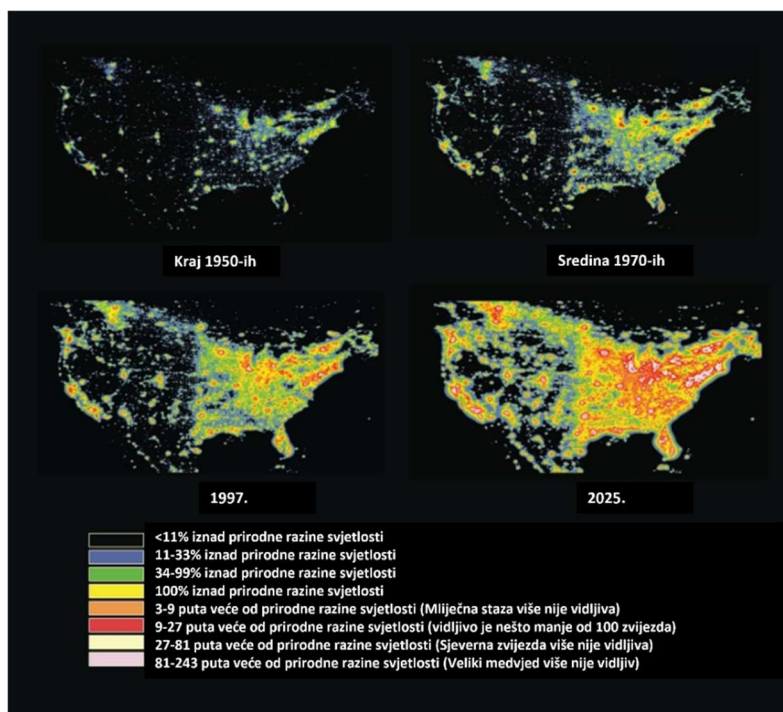
Sky glow je termin koji se koristi za opisivanje difuznog sjaja koji se pojavljuje iznad gradskih i prigradskih područja noću. Ova pojava nastaje kada umjetna svjetlost osvjetli čestice u atmosferi, poput vodenih kapljica i prašine, te se reflektira i raspršuje [17]. *Sky glow* je posebno izražen u gusto naseljenim područjima, ali može se proširiti i na ruralna područja. *Sky glow* ima nekoliko negativnih posljedica. Prvo, otežava astronomima promatranje neba jer smanjuje kontrast između zvijezda i pozadinskog neba. Također, može poremetiti biološke ritmove i ponašanje noćnih životinja kao i omesti migracijske obrasce ptica. Osim toga, svjetlosno onečišćenje može negativno utjecati na kvalitetu sna kod ljudi.

John E. Bortle načinio je numeričku ljestvicu od 9 stupnjeva po kojoj amaterski astronomi mogu procijeniti tamu mjesta s kojeg promatraju nebo. Bortleovu skalu objavio je u časopisu *Sky & Telescope* 2001. godine. Ona numerički opisuje koliko je neko mjesto povoljno za opservaciju, a ujedno daje informacije o utjecaju svjetlosnog onečišćenja. Stupanj 1 karakterističan je za iznimno tamna mjesta gdje su uvjeti za promatranje idealni, dok stupanj 9 obilježava mjesta u unutrašnjosti grada gdje je svjetlosno onečišćenje najizraženije odnosno zvijezde su gotovo nevidljive [18]. Slika 27 prikazuje kako vizualno odrediti tamu neba.



Slika 27.: Promatranje noćnog neba prema Bortleovoj skali koja procjenjuje ozbiljnost svjetlosnog onečišćenja na ljestivici od 1 do 9 (Izvor: [19])

Poznato je da na svijetu postoji više od 100 milijuna uličnih svjetiljki, a već krajem 20. stoljeća 23% kopnene površine Sjedinjenih Američkih Država, 37% Europske Unije i 5% svijeta bilo je pod pojavom *sky glow*-a u razmjerima većim od prirodno očekivanih [20]. Na slici 28 vidljivo je svjetlosno onečišćenje nad Sjevernom Amerikom od polovice prošlog stoljeća i predviđanje za 2025. godinu.



Slika 28.: Povećanje nebeskog sjaja iznad Sjeverne Amerike uzrokovano umjetnom svjetlošću (Izvor: [21])

6.1. Uzroci svjetlosnog onečišćenja

Smanjenje prometnih nesreća

Poprilično ustaljeno mišljenje u javnosti je da cestovna rasvjeta uvelike pridonosi sigurnosti i smanjenju broja nesreća u prometu, bilo da se radi o automobilima, pješacima ili biciklistima. Iz tog se razloga na prometnice postavlja jaka rasvjeta. U stvarnosti se pokazalo da rasvjeta zapravo nema toliki učinak da bi se mogao opravdati njen intenzitet. Zato se upravo to koristi kao argument za prigušenje rasvjete i djelomično isključenje iste. U nekim dijelovima Ujedinjenog Kraljevstva vlada je odlučila prigušiti rasvjetu i djelomično ju ugaziti. Zaključeno je da se broj nesreća nije povećao [20]. Teško je izvoditi eksperimente na dijelovima gdje se očekuje povećan broj nesreća jer bi bilo nemoralno smanjiti vidljivost sudionicima u prometu na neko vrijeme samo radi rezultata ispitivanja. Ono što je sigurno je da je prosječna brzina vožnje noću veća zbog manjeg prometa i više vozača u alkoholiziranom stanju tako da rasvjeta sama po sebi može teško sama pomoći nastaloj situaciji. Na brzinu vožnje može utjecati i struktura dionice; kakva su raskrižja, ima li ležećih policajaca, ograničenje brzine, pješački prijelazi, razred ceste itd. Smanjenju intenziteta rasvjete i djelomičnom gašenju u satima kada se očekuje mali promet, nekoliko sati iza ponoći, može se pribjeći tek kada su poboljšane cestovne oznake i uvedeni reflektivni znakovi. Razvojem automobila povećao se i intenzitet svjetla na automobilima u zadnjih 60 godina pa je jaka rasvjeta nepotrebna i štetna, što se na kraju smatra svjetlosnim onečišćenjem [22]. Problem za onečišćenje predstavljaju zemlje nižih primanja gdje se smatra da bi se velik broj nesreća riješio uvođenjem rasvjete kao relativno jeftino rješenje, ali bi se s druge strane zagađenje znatno povećalo.

Smanjenje kriminala

Kriminalne radnje povezane su sa tamom, uskim i slijepim uličicama. Postavljanje rasvjete na tim dijelovima potiče osjećaj sigurnosti jer je vidljivost bolja i zbog činjenice da je netko drugi svjedočio činu, no to ne znači da kriminal u tom području nestaje. Rasvjetljavanjem prethodno neosvijetljenog mjesta nije se nužno eliminirao kriminal već je moguće da je preusmjeren na drugu lokaciju. Štoviše, osvjetljavanjem se može utjecati i negativno, tako da meta bude lakše vidljiva. Prekomjerno i nepromišljeno postavljanje rasvjete u tom slučaju utječe na zagađenje.

Estetika

Dio umjetne rasvjete postavljen je da bi se osvijetlile povijesne građevine i spomenici, druga mjesta od kulturnog značaja pa i prirodne ljepote. U takvoj atmosferi čovjek može puno više uživati što se odražava i na turizam. Neki gradovi uvedne pretjerano osvijetljene reklamne panoe i izloge zbog ekonomskog razvoja. Shanghai je zbog intenzivne uporabe noćnog osvjetljenja sada poznat po svojoj dojmljivoj noćnoj panorami koja je vidljiva na slici 29. S druge strane, danas su mnogo više turistički privlačna mjesta sa što manje umjetne rasvjete,

prirodnih silueta koja se mogu pohvaliti svjetlosnom nezagađenošću. Uvođenjem umjetne noćne rasvjete čovjek se pobrinuo za estetiku objekata na tlu, a potpuno zanemario estetiku neba. Zvijezde su rijetko vidljive, a nebo obasjano umjetnim svjetlima postaje uobičajeno. Ono što će se desiti po pitanju neba je da će sljedeće generacije percipirati takvo nebo normalnim jer su pod takvim odrasli i u drugačijem obliku ga nisu niti vidjeli, a uz to će se standardi za prihvatljive uvjete okoliša polako snižavati [23].



Slika 29.: Noćna panorama Shanghai-a (Izvor: [24])

6.2. Posljedice svjetlosnog onečišćenja

Zdravlje čovjeka

Uvođenje umjetne noćne rasvjete produžilo je period dana tijekom kojeg ljudi mogu obavljati razne aktivnosti koje su inače moguće samo po danu. To direktno povećava prilike za rad i produktivnost, omogućava više vremena za slobodne aktivnosti i rekreaciju, te poboljšava socijalni aspekt života. No problem koji se javlja pri čak kratkotrajnoj izloženosti noćnoj rasvjeti je promjena u proizvodnji melatonina koji uz sebe vuče niz zdravstvenih poteškoća. Smanjenje proizvodnje melatonina može utjecati na razvoj raka jer melatonin ima antioksidativna svojstva koja utječu na stanice raka te poboljšava imunološki sustav koji se bori protiv istih. Melatonin utječe i na cirkadijalni ritam odnosno razne procese (spavanje, budnost, proizvodnja hormona, tjelesna temperatura, metabolizam) koji se odvijaju u svim živim organizmima po dvadeset četverosatnim ciklusima. Poremećaj cirkadijalnog ritma zbog nepravovremene izloženosti umjetnom svjetlu može biti karcinogen jer se gube zaštitna svojstva melatonina [25]. Štoviše, bez zaštitnih svojstava i potiskivanjem proizvodnje hormona raste estrogen čije visoke razine povećavaju šanse za rak dojke. U konačnici, osobe koje rade noćne smjene i izložene su

umjetnom svjetlu dug period rizična su skupina za razvoj raka pa i pretilosti i dijabetesa, dok slijepe žene imaju manje šanse od oboljenja [26].

Potrošnja energije i otpuštanje CO₂

Umjetna rasvjeta troši iznimno puno energije što rezultira ispuštanjem velike količine ugljikovog dioksida u atmosferu. Prema podacima iz 2013. godine, na pogon umjetne rasvjete odlazi oko 13% ukupne proizvedene električne struje, a za 6% ukupne emisije ugljikovog dioksida zaslužna je upravo umjetna rasvjeta [27]. Od globalne krize 2008. godine vlade razvijenih država počele su provoditi mjere štednje što se odrazilo i na rasvjetu. Kako bi uštedili uveli su proceduru zatamnjenja ili potpunog gašenja umjetne rasvjete u periodima smanjenog prometa. Taj potez zahtijeva sisteme centralnog upravljanja rasvjetom što znači dodatan trošak kako bi se promijenila već postojeća infrastruktura. Ovo je idealno rješenje za nova naselja u izgradnji, jer bi se pothvat mijenjanja postojeće infrastrukture isplatio tek 10-20 godina nakon postavljanja [22]. Ovakva rasvjeta bila bi zasnovana na LED tehnologiji čija bijela svjetlost više odgovara ljudskom oku, no s druge strane javio bi se problem treperenja koji je štetan za manje organizme kao što su kukci. Dok se u razvijenim zemljama govori o novim tehnologijama, u nerazvijenim i slabije razvijenim zemljama još se uvijek koriste petrolejske svjetiljke koje, ne samo da nisu ekonomične, već su i štetne za dišne puteve te one u neposrednoj blizini izlažu opasnosti od opekline.

Ekosustav

Utjecaj noćne rasvjete ima daleko veći negativni utjecaj na sve ostale žive organizme u usporedbi sa čovjekom. Duži period svjetla mijenja navike životinja i njihove aktivnosti unutar 24 sata, primjerice skupljanje hrane za koje dnevne vrste imaju više prilika nego noćne vrste. Ovo može utjecati i na odnos grabežljivca i plijena što direktno djeluje na funkcionalnost ekosustava. Bijela svjetla, spomenuta u prethodnoj točki emitiraju ultraljubičasto zračenje koje privlači šišmiše i moljce kako je prikazano na slici 30 pa bi se takva vrsta rasvjete trebala koristiti isključivo gdje je najpotrebnija budući da godi ljudskom oku jer osvjetljava okolinu na način na koji bi se vidjela na danjem svjetlu [22]. Morske kornjače pružaju snažan primjer kako umjetna svjetlost na plažama može poremetiti njihov prirodni ritam. Svjetla ih zbunjuju i tjeraju na opasne puteve, poput obližnjih cesta, gdje su u opasnosti od vozila umjesto da mirno polažu jaja na sigurnim plažama. Visoki osvjetljeni neboderi stvaraju probleme pticama koje migriraju noću jer ih svijetlo dezorijentira i često se sudaraju sa objektima što utječe na njihovu populaciju. Žabe pak propuštaju prilike za parenje kada su izložene prevelikoj količini svjetla noću, što može smanjiti njihovu sposobnost razmnožavanja. Također, umjetna svjetlost mijenja način na koji šišmiši traže hranu [21].



Slika 30.: Okupljanje moljaca oko umjetne rasvjete (Izvor: [37])

6.3. Rješenja

Potpuno zasjenjenje rasvjete

Svako rasipanje svjetlosti iznad horizontalne ravnine svjetiljke je nepotrebno osvjetljenje i vodi se kao svjetlosno onečišćenje. Ta svjetlost putuje dugim udaljenostima kroz atmosferu i nagomilava se svjetlosnim snopom svake sljedeće svjetiljke koja je postavljena na isti način [28]. Na slici 31 vidljiva je podjela svjetlosnog snopa na područja utjecaja. Trebalo bi se voditi računa o specifikacijama žarulje i postaviti ju sukladno uputama budući da iz novih tehnologija proizlaze snažne žarulje koje ne treba postavljati u nagibu da bi osvijetlile veću površinu. Ovakvo ograničenje će učiniti vožnju ugodnijom i sigurnijom jer će smanjiti neugodno blještavilo iz rasvjetnih tijela.



Slika 31.: Prikaz zona korisnog, rasipnog, provalnog i onečišćujućeg svjetla (Izvor: [29])

Ograničavanje područja osvjetljenja

Usko vezano za prethodnu točku, svjetlost se ne smije rasipati van prostora koji se želi osvijetliti. Rasipanje svjetlosti ne samo da povećava količinu potrebne energije i posljedično troškove, već se dio te svjetlosti također reflektira prema gore s tih površina.

Uklanjanje prekomjernog osvjetljenja

Koristiti samo onoliko svjetla koliko je stvarno potrebno za izvršenje zadatka i prigušiti svjetla kada god je to moguće.

Isključenje umjetne rasvjete kada se ne koristi

Ovo se odnosi na osvijetljene poslovne prostore, izloge i parkirališta trgovačkih centara koji takvi ostaju tijekom cijele noći kada to nije potrebno.

Ograničavanje rasta instalirane rasvjete

Budući da se za nove infrastrukture rasvjete koriste i nove, snažnije tehnologije, za očekivati je da će se na istom mjestu uz staru rasvjetu naći i nova zbog koje će svjetlosni tok biti prejak za danu zadaću. Ideja je da se za postavljanje novih svjetiljki zahtijeva smanjenje svjetlosnog intenziteta na već postojećim preosvijetljenim područjima.

6.4. Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj

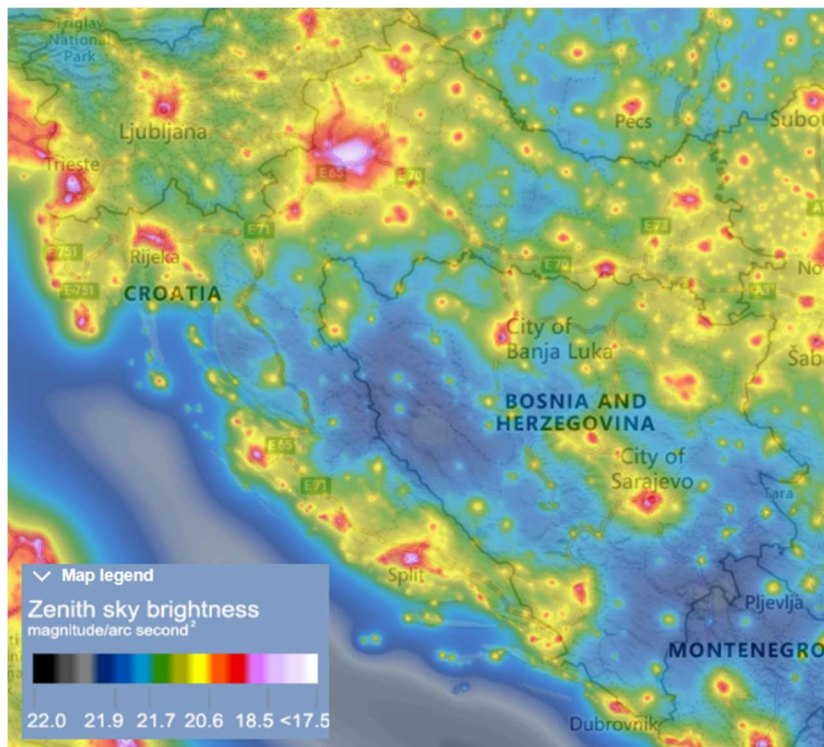
U glavnome gradu Republike Hrvatske nalazi se odličan primjer neekološke vanjske rasvjete. Kuglaste svjetiljke, vidljive na slici 32, koje raspršuju svjetlost u svim smjerovima, dok je po definiciji svjetlosnog zagađenja sva svjetlost iznad horizontale iznimno štetna. Zagreb dakako nije jedini primjer, tu su i Požega te Krk koji svoje gradske trgove i šetnjice krase upravo ovakvom rasvjetom s jedinim ciljem da se očuva estetika povijesnih dijelova grada.



Slika 32.: Kuglasta rasvjeta u centru grada Zagreba (Izvor: [30])

Rezultati mjerenja svjetlosnog onečišćenja Republike Hrvatske 2010. godine [31] upućuju na ozbiljno stanje onečišćenja za koje je predviđeno da će se znatno pogoršavati u nadolazećim godinama. Najveći doprinos onečišćenju dolazi iz velikih urbanih područja poput Zagreba i okolice, Rijeke, Splita, Osijeka i drugih većih gradova kako je prikazano na karti na slici 33. Nezagađeno nebo još se može vidjeti iznad Ličko-Senjske županije i otvorenih dijelova Jadranskog mora.

Što se zakonodavstva tiče, zasljepljivanje umjetnom rasvjetom spominje se u čl. 15. Zakona o sigurnosti prometa na cestama [32] koji kaže da se na cestama ne smiju postavljati ploče, svjetla, stupovi ili bilo koji drugi predmeti koji bi mogli smanjiti vidljivost postojećih prometnih znakova. Također, nije dopušteno postavljati predmete koji svojim izgledom nalikuju prometnim znakovima, zasljepljuju vozače ili im odvlače pozornost na način koji može ugroziti sigurnost u prometu. Pojam svjetlosnog onečišćenja prvi se put spominje 2007. godine u članku 31. Zakona o zaštiti okoliša [33], a 2019. godine donesen je Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja [34] kojim se definiraju osnovna načela zaštite, odgovorne institucije i standardi za upravljanje rasvjetom s ciljem smanjenja potrošnje energije, propisuju se mjere za zaštitu od prekomjerne rasvjete, ograničenja i zabrane vezane uz svjetlosno onečišćenje, kao i smjernice za planiranje, održavanje i rekonstrukciju rasvjete te se određuju odgovornosti proizvođača rasvjetnih proizvoda. U Pravilniku o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima [35], temeljenim na članku 9. Zakona o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, uvodi se obveza svjetlostaja u noćnim satima u trajanju od minimalno 3 sata. To podrazumijeva potpuno gašenje ili smanjenje intenziteta rasvjete za 50%. No donošenje zakona nije još ni potpuni korak prema naprijed ukoliko se samouprave, proizvođači i javnost ne pridržava istog.



Slika 33.: Karta svjetlosnog onečišćenja Republike Hrvatske (Izvor: [36])

7. ZAKLJUČAK

Urbana područja vrve motornim, pješačkim i biciklističkim prometom, a cilj kvalitetne rasvjete je jamčiti sigurnost svih sudionika, ali i poboljšati kvalitetu života. Optimalna rasvjeta klasificirana prema mjerilima kvalitete i postavljena prema pravilnicima na neku dionicu smanjit će negativne pojave i neudobnost u vožnji. Bliještanje će se ograničiti postavljanjem svjetiljki na što manji nagibni kut ili postavljanjem sjenila, efekti crnog okvira uklonit će se uporabom rasvjete na bočnim zidovima kratkih tunela, a prevencija kriminala postići će se osvjetljenjem tamnih područja kao što su pothodnici. Dobro poznavanje karakteristika električnih izvora svjetlosti olakšat će primjenu u praksi, a LED rasvjeta i druge nove tehnologije moraju se razmotriti ne samo sa stajališta uštede energije već i sa stajališta utjecaja na zdravlje čovjeka i ostalih živih bića. Smanjenje uporabe izvora svjetlosti koji zrače ultraljubičasto zračenje povoljno je za insekte, a potpuno uklanjanje petrolejskih svjetiljki nužno je zbog njihove neekonomičnosti. Naposljetku, kada se uzme u obzir vrijeme postojanja problema svjetlosnog onečišćenja i poduzetih radnji, čovječanstvo je zakazalo. Na prvo mjesto se nažalost još uvijek stavljaju potrebe čovjeka, a tek onda utjecaj na druga živa bića.

POPIS LITERATURE

- [1] Leksikografski zavod "Miroslav Krleža": Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. 2013. - 2024. Dostupno: <https://enciklopedija.hr/clanak/fotometrija> [Pristupljeno: 21.7.2024.]
- [2] Mea Futura. Vidljivi spektar zračenja. *Mea Futura*. Dostupno: <https://rasvjeta-mea-futura.com/savjeti-rasvjeta/svjetlo/vidljivi-spektar-zracenja> [Pristupljeno: 21.7.2024.]
- [3] Širola E. *Cestovna rasvjeta*. Zagreb: Esing; 1997.
- [4] Chrzanowicz M., Jamroz K., Mackun T., Tomczuk P. Lighting requirements for pedestrian crossings – positive contrast. *Research Gate*. 2019. Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/330735347_Lighting_requirements_for_pedestrian_crossings_-_positive_contrast [Pristupljeno: 21.7.2024.]
- [5] Wandachowicz K., Zalesinska M. Article On the Quality of Street Lighting in Pedestrian Crossings. *Research Gate*. 2021. Dostupno: https://www.researchgate.net/publication/355932618_On_the_Quality_of_Street_Lighting_in_Pedestrian_Crossings [Pristupljeno: 21.7.2024.]
- [6] MUP. Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2021. Dostupno: https://mup.gov.hr/UserDocImages/statistika/2022/Bilten_o_sigurnosti_cestovnog_prometa_2021.pdf [Pristupljeno: 23.7.2024.]
- [7] *Pravilnik o mjerenju i načinu praćenja rasvijetljenosti okoliša*. Narodne novine, br. 22/23
- [8] Regionalno energetska-klimatska agencija Sjeverozapadne Hrvatske. Svjetlotehnički priručnik. *REGEA*. 2018. Dostupno: <https://regea.org/wp-content/uploads/2018/05/Svjetlotehni%C4%8Dki-priru%C4%8Dnik-Katalog-energetski-u%C4%8Dinkovite-rasvjete-sije%C4%8Danj-2013..pdf> [Pristupljeno: 23.7.2024.]
- [9] De Almeida A., Paolo B., Quicheron M., Santos B. Solid state lighting review – Potential and challenges in Europe. *Science Direct*. 2014. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114001506> [Pristupljeno: 23.7.2024.]
- [10] Reznicek Mehun A. Ulične svjetiljke. *The Flow*. 2020. Dostupno: <https://www.theflow.hr/ulicne-svjetiljke/> [Pristupljeno: 23.7.2024.]
- [11] Google Maps. Ilica 2024. Dostupno: <https://www.google.com/maps> [Pristupljeno: 23.7.2024.]
- [12] Google Maps. Držićeva petlja 2023. Dostupno: <https://www.google.com/maps> [Pristupljeno: 29.7.2024.]

- [13] Signalgrad. Svjetleći pješački prijelaz. *Signalgrad*. Dostupno: <https://www.signal.hr/proizvodi-i-usluge/svjetleci-pjesacki-prijelaz/> [Pristupljeno: 29.7.2024.]
- [14] SWARCO. CO2 znak s unutrašnjim osvjetljenjem. *SWARCO*. Dostupno: <https://peek.hr/proizvodi/c02-zuo/> [Pristupljeno: 29.7.2024.]
- [15] Amo R. Trg bana Jelačića. *Wikimapia*. 2006. Dostupno: <http://wikimapia.org/28160/hr/Trg-Bana-Jela%C4%8Di%C4%87a#/photo/45716> [Pristupljeno: 29.7.2024.]
- [16] Bommel, W.J.M. van, Boer J.B. Road lighting. Phillips Technical Library. 1980.
- [17] Kinzey B. R., Perrin T. E., Miller N. J., Kocifaj M., Aube M., Lamphar H. A. An Investigation of LED Street Lighting's Impact on Sky Glow. *Office of Scientific and Technical Information* 2017. Dostupno: <https://www.osti.gov/biblio/1418092> [Pristupljeno: 5.8.2024.]
- [18] Bortle J. E. Gauging light pollution: the Bortle dark-sky scale. *Sky & Telescope* 2006. Dostupno: <https://skyandtelescope.org/astronomy-resources/light-pollution-and-astronomy-the-bortle-dark-sky-scale/> [Pristupljeno: 5.8.2024.]
- [19] Harvard University. I can't sleep... Can you turn off the lights? *Science in the News*. 2020. Dostupno: <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2020/i-cant-sleep-can-you-turn-off-the-lights/> [Pristupljeno: 5.8.2024.]
- [20] Bennie J., Gaston K.J., Gaston S., Hopkins J. Benefits and costs of artificial nighttime lighting of the environment. *Canadian Science Publishing*. 2015. Dostupno: <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.1139/er-2014-0041> [Pristupljeno: 5.8.2024.]
- [21] Chepesiuk R. Missing the Dark: Health Effects of Light Pollution. *National Library of Medicine*. 2009. Dostupno: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2627884/> [Pristupljeno: 5.8.2024.]
- [22] Gaston, K.J. A green light for efficiency. *Nature*. 2013. Dostupno: <https://www.nature.com/articles/497560a> [Pristupljeno: 5.8.2024.]
- [23] Shchoka I. Shifting baseline syndrome. *Wilderness Society*. 2022. Dostupno: <https://wilderness-society.org/shifting-baseline-syndrome/> [Pristupljeno: 5.8.2024.]
- [24] Hartley R. Dark skies over Shanghai. *DarkSky*. 2023. Dostupno: <https://darksky.org/news/dark-skies-over-shanghai/> [Pristupljeno: 5.8.2024.]
- [25] Chamberlain K., Czeisler C.A., Gooley J., Khasala S.B.S., Lockley S.W., Smith K.A. Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2011. Dostupno: <https://academic.oup.com/jcem/article/96/3/E463/2597236> [Pristupljeno: 5.8.2024.]
- [26] Stevens, R. G. Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. *International Journal of Epidemiology*. 2009. Dostupno: <https://academic.oup.com/ije/article/38/4/963/851153?login=false> [Pristupljeno: 5.8.2024.]

- [27] Steiner A., Dr. Ishii N. The rapid transition to energy efficient lighting: an integrated policy approach. *The United Nations Environment Programme*. 2013. Dostupno: <https://www.unep.org/resources/report/rapid-transition-energy-efficient-lighting-integrated-policy-approach> [Pristupljeno: 7.8.2024.]
- [28] Falchi F., Cinzano P., Elvidge C.D., Keith D.M., Haim A. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Science Direct*. 2011. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030147971100226X?via%3Dihub> [Pristupljeno: 7.8.2024.]
- [29] *Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima*. Narodne novine, br. 14/19
- [30] Svjetlosno onečišćenje. *Pika i prijatelji*. 2017. Dostupno: <https://pikaiprijatelji.com/svjetlosno-oneciscenje/> [Pristupljeno: 7.8.2024.]
- [31] Ž. Andreić, K. Korlević, D. Andreić, A. Bonaca, P. Korlević, M. Kramar. Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj. *Hrčak*. 2010. Dostupno: <https://hrcak.srce.hr/file/107383> [Pristupljeno: 7.8.2024.]
- [32] *Zakon o sigurnosti prometa na cestama*. Narodne novine, br. 67/08, čl. 15.
- [33] *Zakon o zaštiti okoliša*. Narodne novine, br. 110/07, čl. 31.
- [34] *Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja*. Narodne novine, br. 14/19.
- [35] *Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima*. Narodne novine, br. 128/20.
- [36] Light Pollution Map. Dostupno: <https://www.lightpollutionmap.info/> [Pristupljeno: 7.8.2024.]
- [37] S. DePeak. Moths gather at a streetlight. National Moth Week. 2013. Dostupno: <https://nationalmothweek.org/2013/06/01/4648/> [Pristupljeno: 8.8.2024.]
- [38] *Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa*. Narodne novine, br. 110/01

POPIS SLIKA

Slika 1.: Spektar elektromagnetskog zračenja (Izvor: [2])	3
Slika 2.: Difuzno propuštanje svjetlosti kroz propusni materijal (Izvor: [3]).....	4
Slika 3.: a) pozitivna silueta pješaka, b) negativna silueta pješaka, c) nevidljiv pješak (Izvor: [4],[5]).....	5
Slika 4.: Efekt crnog otvora pri a) ulasku u tunel danju, b) izlasku iz tunela noću. (Izvor: [3])...	6
Slika 5.: Efekt crnog okvira pri prolasku kroz podvožnjak. (Izvor: [3])	6
Slika 6.: Podjela električnih izvora svjetlosti (Izvor: [3])	13
Slika 7.: LED cestovna rasvjeta (Izvor: autor).....	15
Slika 8.: Tri tipa kontrole i usmjeravanja svjetlosnog toka s pripadajućim krivuljama jakosti zračenja svjetlosti (Izvor: [3]).....	16
Slika 9.: Definicija srednjeg koeficijenta luminancije (Izvor: [3]).....	17
Slika 10.: a) zidna konzola od željezne cijevi, b) stilska zidna konzola od lijevanog željeza (Izvor: [10],[11]).....	19
Slika 11.: Temeljenje stupa (Izvor: [3])	19
Slika 12.: Kabelski rov (Izvor: [3]).....	20
Slika 13.: Geometrija sustava cestovne rasvjete (Izvor: [3]).....	23
Slika 14.: Kombinirani slobodni profil ceste (Izvor: [38]).....	24
Slika 15.: Različiti rasporedi izvora svjetlosti: a) centralni, b) jednostrani, c) dvostrani s izvorima postavljenim paralelno, d) centralni s izvorima postavljenim naizmjenično, e) kombinirani, f) aksijalni s nosivom žicom postavljenom okomito na os ceste, g) aksijalni s nosivom žicom postavljenom paralelno s osi ceste (Izvor: [3]).....	25
Slika 16.: Primjer lošeg postavljanja rasvjetnog stupa na križanju Ulice Kneza Branimira i Ulice Dragutina Mandla (Izvor: autor).....	27
Slika 17.: Kružni tok osvijetljen jednim središnjim stupom u Ulici Vice Vukova (Izvor: autor).	28
Slika 18.: Rasvjeta postavljena s vanjske strane zavoja na lokaciji Držićeva petlja (Izvor: [12])	29
Slika 19.: Podvožnjak rasvijetljen a) reflektorima b) otvorom u konstrukciji na Slavenskoj Aveniji (Izvor: autor).....	30
Slika 20.: a) trepereće prizme kraj pješačkog prijelaza, b) prometni znak s LED lampom (Izvor: autor, [14]).....	30
Slika 21.: Rasvjetljenje pothodnika u Ulici Kneza Branimira (Izvor: autor).....	31
Slika 22.: Rasvjeta Trga bana Josipa Jelačića u Zagrebu (Izvor:[15]).....	31
Slika 23.: Rasvjetni stup na koji je spojena tramvajska mreža u Dubravi (Izvor: autor)	32
Slika 24.: Optimalna kvaliteta cestovne rasvjete (Izvor: [3])	33
Slika 25.: Ukupna prosječna godišnja potrošnja energije po kilometru rasvijetljene ceste ovisno o visini montaže h za tri vrste izvora svjetlosti: a) centralni raspored s izvorima u opoziciji, b) dvostrani raspored s izvorima paralelno, c) jednostrani raspored (Izvor: [16])...	34
Slika 26.: Dijagram ukupnih godišnjih troškova sustava cestovne rasvjete (Izvor: [3]).....	36

Slika 27.: Promatranje noćnog neba prema Bortleovoj skali koja procjenjuje ozbiljnost svjetlosnog onečišćenja na ljestivici od 1 do 9 (Izvor: [19])	39
Slika 28.: Povećanje nebeskog sjaja iznad Sjeverne Amerike uzrokovano umjetnom svjetlošću (Izvor: [21])	39
Slika 29.: Noćna panorama Shanghai-a (Izvor: [24])	41
Slika 30.: Okupljanje moljaca oko umjetne rasvjete (Izvor: [37])	43
Slika 31.: Prikaz zona korisnog, rasipnog, provalnog i onečišćujućeg svjetla (Izvor: [29])	43
Slika 32.: Kuglasta rasvjeta u centru grada Zagreba (Izvor: [30])	45
Slika 33.: Karta svjetlosnog onečišćenja Republike Hrvatske (Izvor: [36])	46

POPIS TABLICA

Tablica 1.: Klase cestovne rasvjete za ceste motornog prometa (Izvor: [3])	10
Tablica 2.: Minimalne vrijednosti mjerila kvalitete za dane klase rasvjete na cestama za motorni promet (Izvor: [3])	11
Tablica 3.: Minimalne vrijednosti mjerila kvalitete za dane klase rasvjete na cestama i prostorima za pretežito pješački promet (Izvor: [3]).....	12
Tablica 4.: Karakteristike modela izvora svjetlosti na osnovi izbijanja koji se koriste u cestovnoj rasvjeti (Izvor: [3]).....	14
Tablica 5.: R – klasifikacija suhих površina kolnika (Izvor: [3])	18
Tablica 6.: Preporučene vrijednosti odnosa a/h ovisno o vrsti izvora svjetlosti i zasjenjenosti svjetiljke (Izvor: [3])	22
Tablica 7.: Iznos zaštitne širine ovisno o dopuštenoj brzini prometnice (Izvor: [3])	24