

Analiza rasvjete cesta i cestovnih objekata u funkciji sigurnosti

Čeko, Franjo

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:076034>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Franjo Čeko

ANALIZA RASVJETE CESTE I CESTOVNIH
OBJEKATA U FUNKCIJI SIGURNOSTI

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2020

Zagreb, 31. ožujka 2020.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**
Predmet: **Sigurnost cestovnog i gradskog prometa I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5715

Pristupnik: **Franjo Čeko (0135253047)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Analiza rasvjete cesta i cestovnih objekata u funkciji sigurnosti**

Opis zadatka:

Razina zapažanja cjeline i detalja vidne okoline za vozače i sudionike cestovnom prometu noću i u uvjetima smanjene vidljivosti, važna je komponenta procesa pravovremenog reagiranja i poduzimanje odgovarajuće radnje u svrhu sprječavanja nastanka prometne nesreće. Pouzdanost zapažanja u takvim uvjetima u ovisnosti je o sposobnosti brzog i sigurnog uočavanja svih pojedinosti u vozačevom vidnom polju ali i izvan tog polja. Rasvjeta kao element koji povećava razinu vidljivosti pri tome ima značajnu ulogu. U završnom radu potrebno je obaviti analizu utjecaja rasvjete ceste i cestovnih objekata na vidljivost i povećanje razine zapažanja cjeline i detalja vidne okoline za vozače i ostale sudionike u cestovnom prometu.

Mentor:



doc. dr. sc. Rajko Horvat

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA RASVJETE CESTE I CESTOVNIH OBJEKATA U
FUNKCIJI SIGURNOSTI**

**ANALYSIS LIGHTING ROADS AND ROAD FACILITIES IN
THE CONTEXT OF SAFETY**

Mentor: doc.dr.sc. Rajko Horvat

Student: Franjo Čeko

JMBAG:0135253047

Zagreb, rujan 2020.

SAŽETAK

Cestovna rasvjeta je jedan od glavnih čimbenika sigurnosti prometa koja služi za bolje uočavanje ceste, cestovnih objekata, prepreka i ljudi u prometu u noćnim uvjetima i tako pomaže smanjenju nastanka prometne nezgode. U radu su prikazane fizikalne osnove svjetlosti, objašnjene su osnovne uloge i značajji rasvjete ceste u svrhu povećavanja sigurnosti sudionika u prometu i prikazano je planiranje i projektiranje rasvjete cesta. Izvršena je analiza cestovne rasvjete pojedinih ulica u gradu Zagrebu i na osnovu dobijenih podataka uspoređene su žuta i bijela rasvjet i različiti rasporedi izvora svjetlosti.

KLJUČNE RIJEČI: cestovna rasvjeta; svjetlost; sigurnost;

SUMMARY

Road lighting is one of the main factor of traffic safety and is important for better view of roads, road objects, obstacles and people in traffic at night. Because of the listed facts, road lighting is helping reduce traffic accidents. In this thesis physical basics of lightning, planning and projecting of road lightning are shown, basic roles and features of road lightning are explained with purpose of increasing safety of the traffic participants. Road lightning of some streets in city of Zagreb are analyzed and based on obtained date yellow and white lightning are compared as different layout of light source.

KEYWORDS: road lighting; brightness; certainty

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1.UVOD | 1 |
| 2. FIZIKALNE OSNOVE SVJETLOSTI | 2 |
| 2.1. Zračenje | 2 |
| 2.2 Svjetlo i boje..... | 3 |
| 2.3. Spektralni sustav izvora svjetla | 3 |
| 2.4. Površine koje reflektiraju svjetlo..... | 4 |
| 3. ULOGA I ZNAČAJ RASVJETE CESTE I CESTOVNIH OBJEKATA U POVEĆANJU SIGURNOSTI SUDIONIKA U PROMETU | 7 |
| 3.1. Izvor svjetlosti cestovne rasvjete..... | 9 |
| 3.2. Svjetiljke..... | 10 |
| 3.3. Raspored izvora svjetlosti..... | 11 |
| 3.3.1. Centralni raspored izvora svjetlosti | 11 |
| 3.3.2. Jednostrani raspored izvora svjetlosti..... | 12 |
| 3.3.3. Dvostrani raspored izvora svjetlosti | 13 |
| 3.3.4. Kombinirani raspored izvora svjetlosti..... | 14 |
| 3.3.5. Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu..... | 15 |
| 3.3.6. Aksijalni raspored izvora svjetla s nosivim žicama uzdužno na os ceste..... | 16 |
| 4. PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE RASVJETE CESTA I CESTOVNE INFRASTRUKTURE | 18 |
| 4.1. Razina i jednolikost luminacije | 19 |
| 4.2. Razina rasvjetljenosti | 21 |
| 4.3. Ograničenje blještanja | 22 |
| 4.4. Spektralni sustav izvora svjetlosti | 22 |
| 4.5. Vizualno i optičko viđenje prometa | 23 |
| 5. ANALIZA RASVJETE I RASVJETLJENOSTI CESTA I CESTOVNIH OBJEKATA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA | 25 |
| 5.1. Uređaj za mjerenje jačine izvora svjetlosti..... | 25 |
| 5.2. Podaci o mjerenju | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2.1. Slavonska avenija | 26 |
| 5.2.2. Vukovarska ulica | 27 |
| 5.2.3. Ulica Ilica | 28 |
| 5.2.4. Slavonska avenija (Zelena tržnica)..... | 29 |
| 5.2.5. Križanje Čavićeve ulice sa Slavonskom avenijom..... | 30 |
| 5.3. Rezultati analize | 31 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 32 |
| LITERATURA | 33 |
| POPIS SLIKA | 34 |
| POPIS TABLICA..... | 34 |

1.UVOD

Cestovna rasvjeta je jedan on najbitnijih faktora sigurnosti sudionika u prometu u noćnim uvjetima. Dobru cestovnu rasvjetu ne čini samo dovoljno jako osvjetljenje, nego je bitno da rasvjeta bude jednolika duž ulice te da nema blještanja ili treptanja retroreflektora. Osim osvjetljenja ceste važno je dobro osvjetliti i ostale cestovne objekte kao što su: tuneli, podvožnjaci, nadvožnjaci, mostovi sl. Posebnu pažnju treba pridodati pješačkim stazama tj. pločnicima koji trebaju biti osvjetljeni radi sigurnosti pješaka u prometu. Kako je sigurnost sudionika u prometu najvažniji čimbenik, potrebno je analizirati cestovnu rasvjetu kako bi se poboljšali uvjeti tijekom vožnje. U završnom radu obavljena je analiza rasvjete pojedinih ulica u gradu Zagrebu i izmjerila jačina svjetlosnih izvora.

Rad je podjeljen u šest cijelina:

1. Uvod
2. Fizikalne osnove svjetlosti
3. Uloga i značaj rasvjete ceste i cestovnih objekata u povećanju sigurnosti sudionika u prometu
4. Planiranje i projektiranje rasvjete cesta i cestovne infrastrukture
5. Analiza rasvjete i rasvjetljenosti cesta i cestovnih objekata na području Grada Zagreba
6. Zaključak

U drugom poglavlju su iznesena osnovni pojmovi koji se tiču svjetla, boje, zračenja i površina koje reflektira svjetlo.

U trećem poglavlju ovog rada opisana je uloga cesta i cestovnih objekata u povećanju sigurnosti sudionika u prometu. Opisana je kvaliteta cestovne rasvjete, kakve uvjete rasvjeta mora zadovoljavati, izvori svjetlosti cestovne rasvjete i raspored cestovne rasvjete.

U četvrtom poglavlju je opisano planiranje i projektiranje rasvjete cesta i cestovne infrastrukture.

U petome poglavlju je rađena analiza rasvjete i rasvjetljenosti cesta i cestovnih objekata pojedinih ulica na području grada Zagreba.

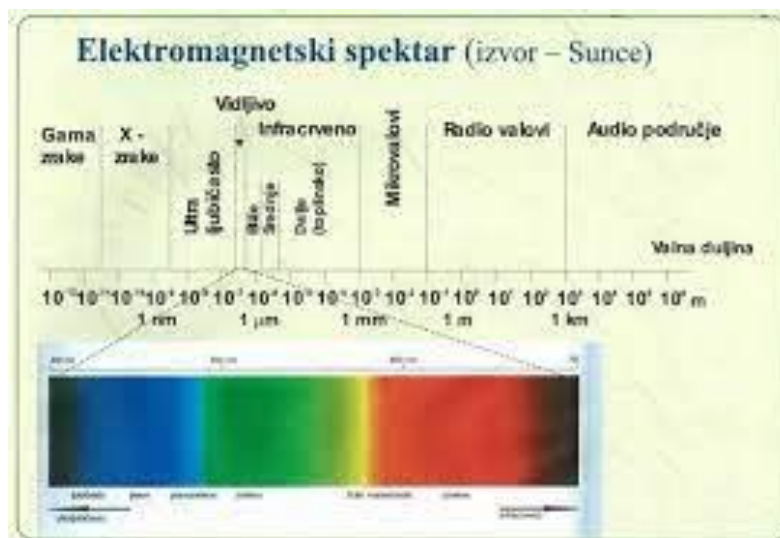
2. FIZIKALNE OSNOVE SVJETLOSTI

Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje je vidljivo ljudskom oku. Ljudsko oko, u prosjeku, može vidjeti svjetlost valne duljine od 390nm do 750nm [5].

Ljudsko oko reagira samo na vidljivu svjetlost što je vrlo ograničeni raspon valnih duljina, elektromagnetskog zračenja. Međutim, ono odlično raspoznaje i vrlo male razlike unutar tog raspona. Te male razlike nazivamo boje. Boje su dakle male frekvencijske razlike u poručju vidljive svjetlosti. Najkraću valnu duljinu ima ljubičasta i plava svjetlost, a najdulju crvena svjetlost [5].

2.1. Zračenje

Zračenje je u fizikalnom smislu definirano kao emisija ili prijenos energije u obliku elektromagnetskih valova ili čestica. Spektar elektromagnetskog zračenja je širok i rasprostire se od kozmičkih zračenja do tehničkih izmjeničnih struja. Pregled spektra zračenja prikazan je na slici 1 [5].



Slika 1: Spektar elektromagnetskog zračenja

Izvor:

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.unizd.hr%2FPortals%2F6%2Fnastavnici%2FSanja%2520Lozic%2FDaljinska%2520istra%25C5%25BEivanja%25202.pdf&psig=AOvVaw2hVayESV2n_qeHYhQZoWE0&ust=1598013646078000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCNiD6PjmgesCFQAAAAAAdAAAAABAD

U kontekstu rasvjete koristi se vrlo usko područje spektra elektromagnetskog zračenja (područje valnih duljina između 10^{-7} m i 10^{-3} m), koje se naziva "optičko zračenje". Intervali između 380nm i 780nm elektromagnetskog zračenja se naziva vidljivo zračenje (svjetlost) [5].

2.2 Svjetlo i boje

Vidljivo zračenje (svjetlo) ljudsko oko ne percipira samo prema sjajnosti nego i prema bojama. Svako fizikalno definirano vidljivo zračenje (određene jakosti i spektralnog sastava) pobudi u vidnom organu fiziološki osjećaj boje, koje se naziva „podražaj boja“. Pri tome je u principu svejedno da li se radi o zračenju svjetlosnog izvora ili pak o zračenju osvijetljenog objekta. Ako se naime, osvijetljava neki obojeni objekt (predmet), on će dio svjetla propustiti ili upiti, a dio svjetla odraziti (reflektirati). To propušteno ili reflektirano „modulirajuće zračenje“ prouzročiti će u organu vida osjećaj boje. Dakle, boja objekta može nastati samo pri svjetlu i ona je u osnovi ovisna o spektralnom sastavu svjetla koje osvijetljava predmet [5].

Pojam „boja“ treba promatrati u čulnom (subjektivnom) smislu ili pak fizikalno - matematičkom smislu. Boje razmatrane sa fizikalnog gledišta opisane su [5]:

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

2.3. Spektralni sustav izvora svjetla

Spektralni sustav izvora svjetla osjetno utječe na [5]:

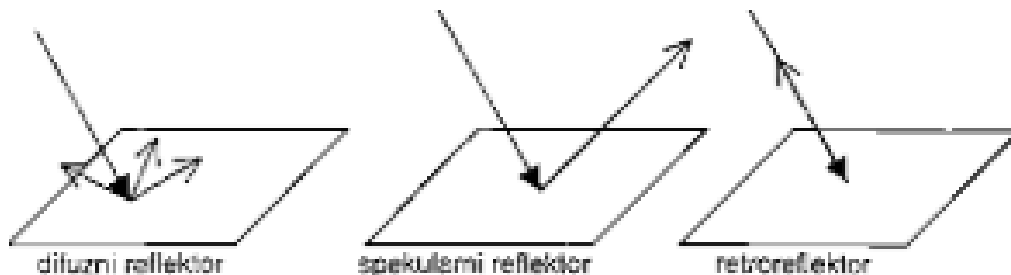
- oštrinu viđenja (monokromatskoj svjetlosti oko oštrije fokusira predmete),
- subjektivnu ocjenu kvalitete sjajnosti (luminacije) površine kolnika,
- subjektivnu ocjenu snošljivosti psihološkog blještanja,
- brzina zapažanja,

- vrijeme regeneracije oka nakon zablještenja,
- visokotlačna žarulja – zahtjeva 50% višu razinu srednje sjajnosti (luminacije) površine kolnika,
- stvarna (izmjerena) vrijednost sjajnosti (luminacije) površine kolnika kod visokotlačne Hg žarulje je približno za 35% viša od one s niskotlačnom Na žaruljom, za istu subjektivnu ocjenu kvalitete cestovne rasvjete.

2.4. Površine koje reflektiraju svjetlo

Rezultirajući izgled nekog predmeta promatraču u velikoj mjeri ovisi o vrsti površine tog predmeta. Klasificirane po načinu reflektiranja svjetla, postoje tri vrste površina vidljive na slici 2. [2]:

- difuzne
- spekularne
- retroreflektivne



Slika 2: Vrste površina prema načinu reflektiranja svjetla

Izvor:[2]

Difuzni reflektor karakterizira gruba površina koja reflektira svjetlo više ili manje ravnomjerno. Izgledat će da predmet ima istu jasnoću ako se promatra iz mnogo različitih kutova. Većina predmeta koji su važni osobi koja istražuje nesreću su difuzni reflektori, uključujući odjeću koju nose pješaci te površinu kolnika. Refleksivnost difuzne površine obično se izražava postocima ukupnog svjetla koje stigne do površine od koje se reflektira. Na primjer, bjeli papir visoke kvalitete reflektira 80-90% svjetla. Reflektivnost tamne odjeće pješaka može biti samo 3-5%. Primjer difuznog reflektora je suha cesta prikazana na slici 3 [2].

Spekularni reflektor ima mikroskopski glatku površinu. Uobičajni primjer je ogledalo. Svjetlo koje dođe do spekularnog reflektora reflektira se pod kutom jednakim od kuta pod kojim dolazi. Zbog te karakteristike, predmet koji ima spekularnu površinu može biti nevidljiv osim ako je okrenut tako da se svjetlo reflektira prema oku promatrača. Kao što je navedeno, površina ceste je difuzni reflektor. Međutim, kiša može ispuniti pukotine i stvoriti sloj vode koji se ponaša kao spekularni reflektor prikazano na slici 4. Zbog toga se površina i vidljivost ceste može drastično promijeniti tijekom kišenja [2].

Retroreflektor je površina koja ima jedinstvena i vrlo korisna svojstva. Svjetlo koje naiđe na retroreflektor reflektira se natrag prema izvoru uz minimalno raspršivanje. Kao rezultat toga, uz pretpostavku da je promatračevo oko relativno blizu izvora svjetlosti, retroreflektor izgleda mnogo svjetliji nego difuzni reflektor u istim uvjetima. Retroreflektori se nalaze u prirodi, kao na primjer u očima nekih životinja. Neki od prvih retroreflektora korištenih na autocestama su se nazivali stoga mačje oči. Radi poboljšanja sigurnosti prometa retroreflektori se uvelike koriste kako bi znakove učinili vidljivim i čitljivim noću. Također se koriste za označavanje vozila i cesta. Zbog raširene uporabe na cestama i vozilima, slaba vidljivost takvih sredstava može biti ključni problem prilikom istraživanja nesreće [2].



Slika 3: Suha cesta

Izvor: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.poslovni.hr%2Fhrvatska%2Fnova-pametna-rasvjeta-brojite-prolaznike-i-nadzirati-promet-a-imat-ce-i-videokamere-362429&psig=AOvVaw1Xmaov5MZiKoVuwnjd-VPt&ust=1597568966088000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLiDI7junOsCFQAAAAAdAAAAABAE>



Slika 4: Mokra cesta

Izvor: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdalmatinskiportal.hr%2Fvijesti%2Fvideo--kisa-potopila-vukovarsku-ulicu-u-splitu%2F54370&psig=AOvVaw2r6e2vNyedNMLK8UN0k2ac&ust=1597568529982000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCMD4mt7snOsCFQAAAAAdAAAAABAJ>.

3. ULOGA I ZNAČAJ RASVJETE CESTE I CESTOVNIH OBJEKATA U POVEĆANJU SIGURNOSTI SUDIONIKA U PROMETU

Stvarajući uvjete za bolje zapažanje, cestovna rasvjeta je bitan čimbenik sigurnosti prometa, bilo da utječe na smanjenje broja nezgoda ili ublažava posljedice kriminalnih djela. Cestovna rasvjeta treba omogućiti takve uvjete viđenja koji noću jamče vozačima motornih, zaprežnih, i drugih vozila i što sigurnju vožnju, zapažanje potencijalnih opasnosti, što bolju orijentaciju, viđenje i prepoznavanje drugih pješaka, stjecanja utiska opće sigurnosti pri kretanju prometnicom te što bolje zapažanje važnih detalja vidne okoline [7].

Sustavi cestovne rasvjete koji jamče maksimalnu sigurnu i udobnu vožnju na cesti noću te vožnju danju pri polazu kroz tunel smatraju se kvalitetnim. Kvalitetna cestovna rasvjeta [1]:

- pridonosi smanjenju prometnih nezgoda,
- umanjuje vizualne probleme pri nailasku vozača na tunel u vožnji danju ili izlazu iz tunela na nerasvjetljenu cestu u vožnji noću,
- vozaču pri prolasku kroz tunel olakšava vidnu prilagodbu,
- omogućava brže kretanje motornih vozila, a time i povećanje propusne moći,
- pridonosi većem iskorištenju cestovne mreže noću,
- jamči sigurno kretanje pješaka,
- pridonosi općem prostornom ugođaju boravka i življenja.

Budući da ni jedan sustav ne može jamčiti apsolutnu sigurnost, minimalnom kvalitetom cestovne rasvjete za motorna vozila označena je ona koja svojim tehničkim paramterima jamči da će 80% vozača moći na vrijeme uočiti i izbjeći opasnost [1].

Osnovne uloge cestovne rasvjete su [8]:

- smanjenje broja nesreća i povećanje sigurnosti na cesti sudionicima u prometu,
- povećanje zaštite i sigurnosti ljudi i objekata,
- pravovremeno uočavanje opasnih i novonastalih situacija na cesti,
- položaj svetiljaka pokazuje putanju ceste, odnosno djeluje kao „vodič“,
- omogućuje orijentaciju tj. izbor pravog puta,

- u gradovima rasvjeta naglašava rezidencijalnu vrijednost i stvara urabnu atmosferu,
- predstavlja važan element kvalitete ljudskog života.

Rasvjeta prometnih građevina mora biti takva da vozač na vrijeme uoči eventualnu zapreku, da ima dovoljnu preglednost i da je siguran u prohodnost prometnice. Pritom je potrebno osigurati jednoličnost cestovne rasvjete i istaknuti kritična mjesta (križanje, mostove, skretanje i sl.). Obzirom na vožnju, rasvjeta mora zadovoljavati ove uvjete [1] :

- tijekom vožnje svi detalji prometnice moraju biti vidljivi,
- trasa prometnice mora biti uočljiva i označena vizualno tj. opremljena različitim pomoćnim sredstvima kao što su smjerokazi, „mačje oči“, rubne crte ili sl.,
- sva opasna mjesta treba istaknuti kako bi vozač mogao na vrijeme primjetiti,
- treba osigurati jednoličnu rasvjetu cijele prometnice,
- sva tlocrtna i uspravna signalizacija i drugi uređaji moraju biti vidljivi i ne smiju zasljepljivati vozača.

Cestovna rasvjeta postavlja se u zonama povećane opasnosti pa se cestovnom rasvjetom opremaju [7]:

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

Na sigurnost prometa noću u znatnoj mjeri utječe gubitak i slabljenje vidnih funkcija u mraku ili sumraku. Opadanjem opće rasvjetljenosti postupno se smanjuje i gube gotovo sve osnove vidne funkcije kao što su [7]:

- oštrina vida,
- kontrast,
- dubinsko viđenje,

- brzina zapažanja,
- razlikovanje boje.

Kvalitetu određenog sustava cestovne rasvjete u pravilu određuje tehnička svojstva i kvaliteta njezinih elemenata i to [7]:

- izvor svjetlosti
- svjetiljke

3.1. Izvor svjetlosti cestovne rasvjete

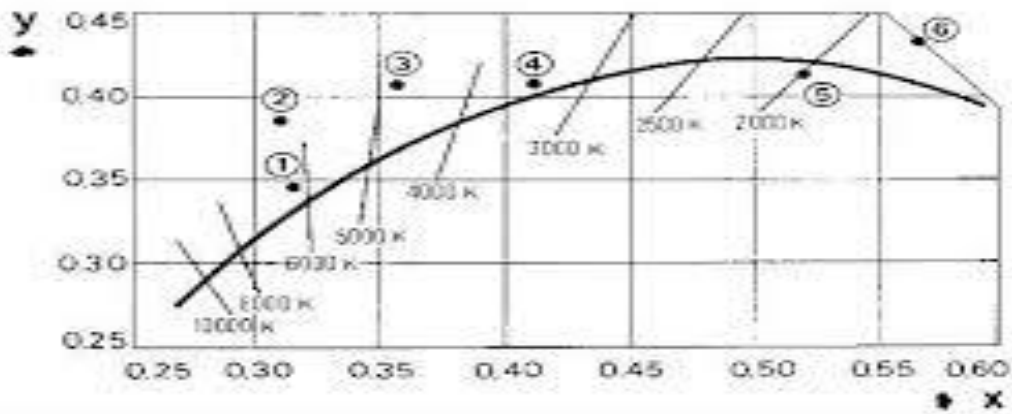
Električni izvori svjetlosti su naprave koje pretvaraju električnu u svjetlosnu energiju na jedan ili više načina i zrače ju u obliku elektromagnetskih valova koje čovjekov vid doživljava kao svjetlost. Današnji izvori svjetlosti dijele se u dvije osnovne skupine [7]:

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

Izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama nemaju metalne spirale već svjetlost proizvode uzбудom plina odnosno metalne pare između dviju elektroda. U sustavima cestovne rasvjete u pravilu se primjenjuju električni izvori svjetlosti na osnovi izbijanja kroz plinove i metalne pare prikazano na slici 5 [7]:

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

- ① Metal-halogenna žarulja
- ② Živina žarulja (bez fluorescentnog sloja)
- ③ Živina žarulja (s fluorescentnim slojem)
- ④ Živina žarulja miješanog svjetla
- ⑤ Visokotlačna natrijeva žarulja
- ⑥ Niskotlačna natrijeva žarulja



Slika 5: Dijagram položaja točaka boja od izvora svjetlosti

Izvor: https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fstudent.fpz.hr%2FPredmeti%2FV%2FVizualne_informacije_u_prometu%2FMaterijali%2F06_Prometna_rasvjeta.pdf&psiq=A_OvVaw2q90tuXogLYGAna_O6fkDt&ust=1597564556420000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLD5j_jdnOsCF_QAAAAAdAAAAABAR

Izvori svjetlosti sa užarenom niti (standardne žarulje) proizvode svjetlost dovodeći spiralu od volframove žice do visoke temperature prolaskom električne struje kroz nju [7].

3.2. Svjetiljke

Svjetiljke služe za kontrolu i razdiobu svjetlosnog toka jednog ili više izvora svjetlosti. Svjetiljka se općenito sastoji od svjetlotehničkih, mehaničkih i elektrotehnički elemenata. Svjetlotehnički elementi čini optički sustav svjetiljke kojima je svrha svjetlost usmjeriti u određenom smjeru. To su u pravilu reflektori, refraktori, difuzori i kape. Mehanički dijelovi svjetiljke služe za zaštitu izvora i ostalih dijelova svjetiljke od atmosferskih utjecaja, za njihovo pridržavanje te za pričvršćenje svjetiljke na nosače (kućište, vijci i slično). Elektrotehnički elementi služe za priključak svjetiljke i izvora svjetlosti na napon, međusobno povezivanje električnih dijelova svjetiljke, paljenje i pogon izvora svjetlosti te poboljšanje faktora snage i zaštitu od radiosmetnji [7].

Osnovne vrste svjetiljki koje se koriste u sustavima cestovne rasvjete su [7]:

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

3.3. Raspored izvora svjetlosti

U cestovnoj se rasvjeti općenito mogu koristiti sljedeće vrste rasporeda izvora svjetlosti: centralni, jednostrani, dvostrani (paraleno), dvostrani (naizmjenično), kombinirani (centralni i dvostrani), aksijalni (nosive žice poprečno na cesti), aksijalni (nosive žice uzdužno na cesti) [3].

3.3.1. Centralni raspored izvora svjetlosti

Centralni raspored izvora svjetlosti najčešće se primjenjuju na autocestama i prometnicama gdje su smjerovi razdvojeni razdjelnim pojasom s najviše dva do tri prometna traka prikazano na slici 6. Izvor svjetlosti postavljeni su na stup u opoziciji, tako da svaki od njih rasvjetljava svoj kolnik. Prednost ovog rasporeda je jednostavan i ekonomičan sustav cestovne rasvjete, koji ima jedan red stupova i jedan kabel za napajanje [3].



Slika 6: Centralni raspored izvora svjetlosti

Izvor: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Filamparas.com%2Fblog%2Filuminacion-urbana-led%2F&psiq=AOvVaw2yLJyKQ-TnRRmkCJzXknmy&ust=1597567071042000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCIj487HnnOsCFQAAAAAdAAAAABAg>.

3.3.2. Jednostrani raspored izvora svjetlosti

Jednostrani raspored izvora svjetlosti najčešće se primjenjuje na svim vrstama prometnica s najviše tri prometna traka, kod kojih ukupna širina kolnika nije veća od visine montaže izvora svjetlosti prikazano na slici 7. Radi dobre poprečne rasvjetljenosti neophodno je maksimum zračenja jakosti svjetlosti svjetiljke usmjeriti na najudaljeniji prometni trak [3].



Slika 7: Jednostrani raspored izvora svjetlosti

Izvor: <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.kalelarqainfo.hr%2Fzasvijetlilo-od-virskog-mosta-do-centra-rasvjeta-uz-cestu-d-306%2F&psiq=AOvVaw17tr1h972lbiOtVYGI5RmB&ust=1597567586775000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCOjZxqzpnOsCFQAAAAAdAAAAABAF>.

3.3.3. Dvostrani raspored izvora svjetlosti

Dvostrani raspored izvora svjetlosti je općenito primjenjiv za sve relativno široke prometnice s najmanje četiri prometna traka, tako da svaki red preuzima ulogu rasvjetljenja polovice širine kolnika prikazano na slici 8. Dvostrani raspored može biti s izvorima jedna nasuprot drugome, odnosno s naizmjenično postavljenim izvorima. Oba rasporeda daju dobre

svjetlotehničke vrijednosti, posebno jednolikost sjajnosti odnosno rasvjetljenosti, no ipak prednost ima raspored s paralelnim izvorima [3].



Slika 8: Dvostrana raspodjela izvora svjetlosti

Izvor:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frepozitorij.etfos.hr%2Fislandora%2Fobject%2Fetfos%253A1440%2Fdatastream%2FPDF%2Fview&psig=AOvVaw2yLjyKQ-TnRRmkCjzXknmy&ust=1597567071042000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCIj487HnnOsCFQAAAAAdAAAAABAg>

3.3.4. Kombinirani raspored izvora svjetlosti

Kombinirani raspored izvora svjetlosti primjenjuje se kod relativno širokih prometnica s dva prometna kolnika, gdje svaki od njih ima najmanje četiri prometna traka s obostranim pješačkim stazama uz kolnik prikazano na slici 9 [3].



Slika 9: Kombinirani raspored izvora svjetlosti

Izvor:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fzir.nsk.hr%2Fislandora%2Fobject%2Fefos%253A2536%2Fdatastream%2FPDF%2Fview&psig=AOvVaw3UcYyliEazkMqGeEjIOEcY&ust=1597567741790000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCMCaxfHpnOsCFQAAAAAdAAAAABAK>

3.3.5. Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu

Aksijalni ili osni rasporede izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu prikladan je i često se koristi za rasvjetu ulica u središnjem dijelu grada prikazano na slici 10. Izvori svjetlosti postavljaju se po sredini ulice, odnosno na širim ulicama po sredini svakog prometnog traka i to na čelične žice razapete između zgrada [3].



Slika 10: Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu

Izvor:

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.lipapromet.hr%2FUsluge%2FProjektiranjiesvjetlotehnike%2FPojm%2Fovnik%2Ftabid%2F73%2Fct%2Fdetails%2Fitemid%2F137%2Fmid%2F526%2Fsvjetiljke-za-cestovnu-rasvjetu.aspx&psig=AOvVaw3FL_1SqLldTreEEjPPn4Ng&ust=1597568620072000&source=images&cd=vfe&ved=OCAIQjRxqFwoTCJDQ8I3tnOsCFQAAAAAdAAAAABAD

3.3.6. Aksijalni raspored izvora svjetla s nosivim žicama uzdužno na os ceste

Aksijalna ili osni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama uzdužno na os ceste primjenjiv je najčešće pri rasvjeti autocetsa s relativno širokim kolnicima prikazano na slici 11. Svjetiljke se postavljaju na čeličnu nosivu žicu uz uzdužnu os ceste, a moraju biti pričvršćene na žice tako da se spriječi njihano uzrokovano vjetrom [3].



Slika 11: Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama uzdužno na os ceste

Izvor: [3]

4. PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE RASVJETE CESTA I CESTOVNE INFRASTRUKTURE

Planiranje cestovne prometne infrastrukture izrazito je složen proces. Jedan od najvećih problema je određivanje projektnih elemenata cestovne infrastrukture u kojoj pripadaju kategorija i značaj ceste, broj prometnih traka, poprečnih i uzdužni profil i niz drugih elemenata s kojima se određuje razina usluge ceste. Suvremene metode prometnog planiranja moraju biti usmjerene na odnose, odnosno uzajamnu interakciju između prometnog sustava i njegova okruženja, što određuje veličinu i razmještaj buduće prijevozne potražnje kao i način njezina podmirenja. Planiranje i projektiranje se temelji na određivanju parametra prometnog toka i njihovoj distribuciji u promatranom području u smislu prostora i vremena. U svrhu odabira optimalnog rješenja za planirano razdoblje potrebno je obaviti istraživanja relevantnih parametara prometnog toka u karakterističnim uvjetima na promatranj cestovnoj mreži. Koncept modeliranja prometnog toka podrazumijeva definiranje odnosa između: brzine(v), gustoće(g) i volumena(q). Određivanje vrijednosti prometnih parametara temelji se na anketiranju uzoraka prometnog toka. Pored pokazatelja toka prometa ključni čimbenik u svim fazama izrade i evaluacije je cestovni kapacitet. Kapacitet je osnovni pokazatelj racionalne politike izgradnje, održavanja i rada ceste. Kapacitet ne samo da izravno utječe na izbor elemenata ceste i njegovog poprečnog presjeka, nego utječe i na operativne troškove vozila primjenom odgovarajućih nacrti pristupnih cesta. Cestovni kapacitet je značajan alat za planiranje pronalaženja adekvatnih kriterija za određivanje optimalnog volumena prometnog sata koji je relevantan za izradu cestovnog presjeka na temelju programiranih količina prometa. Parametri opisanih kapaciteta iz međunarodne literature služe za potrebe cestogradnje, a vrijednosti izvedene empirijskim metodama iz lokalnih podataka u toku prometa (npr. HCM) [4].

Pri projektiranju cestovne rasvjete najvažniji je pojam *luminacije* (osjećaj svjetloće koji stvara osvijetljenja ili svjetleća površina). Mnogo češći slučaj je osvijetljena površina tj. slučaj kada svjetlost iz svjetiljke pada na cestu te se reflektira od njene površine u oko promatrača koji je doživljava kao svjetloću. To se naziva Luminacija ceste – L (cd/m^2) [8].

Pri projektiranju sustava cestovne rasvjete uzimaju se sljedeći kriteriji [1]:

- razina i jednolikost luminacije,
- razina rasvjetljenosti,
- ograničenje blještenja,
- spektralni sustav izvora svjetlosti,
- vizualno i optičko vođenje

Postoje i zahtjevi cestovne rasvjete koji su bitni za unaprijeđenje sigurnosti na prometnicama pružajući brzu, preciznu i ugodnu vidljivost za vozače i pješake. Ona je također bitna i za unaprijeđenje protoka prometa noću jer vozačima pomaže da se orijentiraju, prepoznaju geometriju prometnice te prosude uvjete na prometnici. Svrha cestovne rasvjete je doseći stupanj vidljivosti koji omogućava vozačima i pješacima brz, jasan i pouzdan prikaz svih bitnih detalja ceste i sve prepreke koje se nalaze na cesti i oko nje. Kod projektiranja cestovne rasvjete treba uzeti pet bitnih stavki u obzir: osvjetljava li adekvatno željenu površinu, cijenu, koliko je štetna za okoliš te pozicija i izgled same rasvjete. Odabir rasvjete temeljit će se na pretpostavkama koje najbolje opisuju zadanu situaciju. Kod situacija u ovom radu odabir klasa rasvjete temelji se na pretpostavci o gustoći i kompoziciji prometa te svjetlini okoline. Kada je odabrana klasa rasvjete potrebno je odabrati svjetiljku, a odabir treba biti takav da se može primjeniti na željenoj površini uz što manju štetnost na okoliš. Projektiranje cestovne rasvjete jednostavnije je izvan naselja, u prvom redu zbog toga što se stupovi bez problema mogu postavljati na željene pozicije te zbog toga što najčešće nema dodatnih površina [6].

4.1. Razina i jednolikost luminacije

Sjajnosti neke određene točke rasvjetljene površine kolnika općenito ovisi o svjetlotehničkim značajkama svjetiljki, geometriji instalacije javne rasvjete i refleksijskim svojstvima rasvjetljene površine kolnika. Razina sjajnosti površine kolnika mora biti takva da se ostvari vidljivost koja osigurava dovoljnu udobnost vidljivosti i sigurnost vožnje. Srednja sjajnost (luminacija) površine kolnika definirana je formulom (1) [1]:

$$L_m = \frac{\sum L_T}{N} \text{ [cd m}^2\text{]}$$

gdje je:

L_T – sjajnost neke „točke“ (male površine) s približno konstantnom vrijednošću sjajnosti promatrane površine kolnika

N – broj „točaka“ promatrane površine

Srednja razina sjajnosti suhe površine kolnika L_m od 2 cd/m² pokazala se u praksi najprihvatljivijim rješenjem između zahtjeva dobre vidljivosti i ekonomičnosti instalacije cestovne rasvjete [1].

Jednolikost sjajnosti površine kolnika znatno utječe na vidnost i na vidnu udobnost zapažanja vozača. Za osiguranje dobre vidljivosti odlučujuća je opća jednolikost sjajnosti kolničke površine koja se definira formulom (2) [1]:

$$j_L = \frac{L_{min}}{L_m} * 100 \text{ [%]}$$

gdje je:

L_{min} – minimalna vrijednost sjajnosti površine kolnika unutar određenoga proračunskog polja

L_m – srednja vrijednost sjajnosti površine kolnika unutar određenoga proračunskog polja

Opća jednolikost općenito ovisi o svjetlotehničkim značajkama zračenja svjetiljki, svjetlosnim toku izvora svjetlosti, refleksijskim svojstvima rasvjetljene površine kolnika te o geometriji instalacije cestovne rasvjete. Smanjene opće jednolikosti sjajnosti znatno utječe na smanjenje snage detekcije cestovne rasvjete. Uzdužna jednolikost sjajnosti površine kolnika važna je zbog opće udobnosti zapažanja pri vožnji cestom. Uzdužna jednolikost sjajnosti definirana je formulom (3) [1]:

$$j_L = \frac{L_{min(u)}}{L_{max(u)}} * 100 \text{ [%]}$$

gdje je:

$L_{min(u)}$ – najmanja vrijednost sjajnosti po sredini svakog prometnog traka promatrana iz sredine samog prometnog traka

$L_{max}(u)$ – najveća vrijednost sjajnosti po sredini svakog prometnog traka promatrana iz sredine samog traka

Uzdužna jednolikost općenito ovisi i svjetlotehničkim značajkama zračenja svjetiljki, geometriji instalacije cestovne rasvjete, svjetlosnom toku izvora svjetlosti te o refleksijskim svojstvima rasvjetljenje površine kolnika. Uzdužna jednolikost odlučujuće je mjerilo ocjene kvalitete rasvjetljenosti neke površine kolnika. Najmanje prihvatljive vrijednosti uzdužne jednolikosti ovise o razini srednje sjajnosti i o razmaku izvora svjetlosti. Poprečna jednolikost sjajnosti j_{Lp} površine omogućuje sigurno zamjećivanje, a određena je formulom (4) [1]:

$$j_{Lp} = \frac{L_{min}(p)}{L_{max}(p)} * 100 \quad [\%]$$

gdje je:

$L_{min}(p)$ – najmanja vrijednost sjajnosti u bilo kojoj poprečnoj osi prometne površine kolnika

$L_{max}(p)$ – najveća vrijednost sjajnosti u bilo kojoj poprečnoj osi prometne površine kolnika

4.2. Razina rasvjetljenosti

Dobra cestovna rasvjeta jamči da će se kvalitetno rasvjetljenoj kolničkoj površini, kao pozadini, zapaziti prepreka efektom pozitivne siluete. Problem može nastati kod relativno visoke prepreke pri vožnji u zavoju ili u usponu gdje se dio prepreke ne može uočiti zbog tamne pozadine ili nerasvjetljene okolice ceste. Stoga je neophodno rasvjetliti i neposrednu okolicu ceste radi sigurnijeg i udobnijeg zamjećivanja. U naseljima, gdje se uz prometnice kreću pješaci, rasvjeta okolice je posebno važna kako bi vozač na vrijeme uočio kretanje pješaka. Pri svjetlijoj okolini prometnica treba kvalitetnom rasvjetom (povisiti razinu srednje sjajnosti) istaknuti površinu kolnika kako bi se zajamčila ista razina pouzdanosti zapažanja, a pri tamnoj okolini treba veću pozornost obratiti na rasvjetu okolice. Pritom se na kolniku može zadržati i niža razina. Smatra se ispravnim u vidu sigurnosti da pojas koji se nalazi pet metara od ruba kolnika rasvjetliti do razine koja iznosi oko 50% razine sjajnosti susjednih pet metara površine kolnika [1].

4.3. Ograničenje blještanja

Blještanje nastaje kad se u vidnom polju vozača pojavi neki izvor svjetla čija je jakost u pravcu promatranja veća od one u drugim okolnim pravcima. Blještanje smanjuje vidljivost, a samim tim i smanjuje sigurnost vožnje. Osnovni pokazatelji vidnosti koji smanjuju povećanje blještenja jesu [1]:

- osjetljivost na kontrast (osjetljivost zapažanja razlike u osvjetljenosti),
- oštrina vida (sposobnost zapažanja detalja) i
- brzina zapažanja.

Dvije su vrste blještanja:

- fiziološko blještanje, koje trenutno smanjuje sposobnosti sigurnog zamjećivanja,
- psihološko blještanje, koje trajno smanjuje sposobnost udobnog zamjećivanja.

Smanjenje blještanja postiže se primjenom zasjenjenih svjetiljaka za odgovarajuće definiranu klasu javne rasvjete [1].

4.4. Spektralni sustav izvora svjetlosti

Spektralni sastav izvora svjetlosti određuje njegovu boju i boju rasvjetljenih predmeta, a osjetno utječe [1]:

- na oštrinu viđenja (pri monokromatskoj svjetlosti oko oštrije fokusira predmet),
- na subjektivnu ocjenu kvalitete sjajnosti kolnika,
- na subjektivnu ocjenu psihološkog blještanja,
- na brzinu zapažanja,
- na vrijeme regeneracije oka nakon zablještenja.

Uspoređujući kvantitativne vrijednosti utjecaja spektralnog sustava dvaju karakterističnih izvora svjetlosti (niskotlačna natrijeva cijev, visokotlačna živina žarulja), može se zaključiti [1]:

- kod instalacija s visokotlačnom živinom žaruljom, ista razina oštine vida zahtjeva 50% višu razinu srednje sjajnosti površine kolnika,
- izmjerena vrijednosti sjajnosti površine kolnika u sustavu s visokotlačnom živinom žaruljom približno je za 35% viša od one u sustavu s niskotlačnom natrijevom cijevi, za istu subjektivnu ocjenu kvalitete cestovne rasvjete,
- za istu ocjenu snošljivosti psihološkog blještanja dopuštena vrijednost jakosti svjetlosti svjetiljke za upadni kut $\gamma = 80^\circ$ u instalacijama s niskotlačnom natrijevom cijevi približno je za 40% veća,
- za istu sjajnost površine kolnika brzina zapažanja u instalacijama s niskotlačnom natrijevom cijevi je približno 40% veća,
- potrebno vrijeme regeneracije oka je za oko 25% kraća u instalacijama niskotlačnom natrijevom cijevi.

Općenito se može zaključiti da su izvori svjetlosti na temelju natrijevih para oko 30% učinkovitiji od živinih visokotlačnih izvora. Pri tome su nešto lošiji rezultati za natrijeve visokotlačne žarulje od onih niskotlačnih natrijevih cijevi [1].

4.5. Vizualno i optičko viđenje prometa

Vizualno vođenje prometa predstavlja sklop mjera koje vozaču omogućavaju trenutačno jasnu sliku smijera pružanja ceste, i to više od udaljenosti koja jamči sigurno zaustavljanje. Geometrija rasvjete i primijenjeni izvor svjetlosti za osvjetljavanje ceste mora biti projektiran da istakne površinu kolnika u odnosu na okolinu te opremu ceste (oznake na cesti, branike i sl.). Na nerasvjetljenoj cesti, vizualno je vođenje noću ograničeno na prostor unutar dometa automobilskih svjetala. Dobro optičko vođenje u instalacijama javne rasvjete jamči udobnost vožnje. Dobrim rasporedom stupova treba ostaviti sklad ukupnih cestovnih pravaca u perspektivnoj slici prometnica. Razmještaj stupova valja sagledati iz perspektivnog položaja vozača. Osim navedenog prema [1]:

- prometnice na istom dijelu treba kontinuirano rasvijetliti u smislu primjene izvora svjetlosti, razine i jednolikosti rasvjete, tako i smislu svih ostalih elemenata javne rasvjete,

- na raskrižju dviju prometnica, načelo kontinuiteta se treba zadržati na prometnici koja ima prednost ili pripada u viši razred javne rasvjete,
- prometnice iste važnosti moraju biti jednako rasvjetljenje.

5. ANALIZA RASVJETE I RASVJETLJENOSTI CESTA I CESTOVNIH OBJEKATA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA

U cilju određivanja kvalitete rasvjete cesta i cestovnih objekata na pojedinim lokacijama u Gradu Zagrebu, obavljena su mjerenja. Mjerenja su obavljena na dionicama cesta i raskrižjima i to: Slavonska avenija, Ulica grada Vukovara, Ilica, križanje Čavićeve ulice sa Slavonskom avenijom, Slavonska avenija (Zelena tržnica). Svrha mjerenja bila je usporedba kvalitete rasvijetljenosti cesta u odnosu na primijenjene žute i bijele izvore svjetlosti te rasporeda izvora svjetlosti.

5.1. Uređaj za mjerenje jačine izvora svjetlosti

U postupku analize kvalitete rasvjete i rasvijetljenosti cesta, upotrebljen je uređaj za mjerenje razine svjetla (luxmetar) Voltcraft Lx-10. Mjerna jedinica mjerača je Lux / Fc. Sadrži 4-znamenasti LCD zaslon s bijelim pozadanskim osvjetljenjem, MIN / MAX mjerenje, automatsko isključivanje. Mjerno područje jačine osvjetljenja 0 – 199900 lx, a preziznost mjerenja jačine svjetla je 4% (slika 12).



Slika 12: Voltcraft Lx-10

Izvor: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ftrgovina.ags71.ba%2Fproduct%2Fluksmetar-voltcraft-lx-10-0-199900-lx-kalibriran-po-tvornicki-standard-vlastiti&psig=AOvVaw3hLwOVrpkmBna2QR6LHFg&ust=1599256300286000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCNIt4pP8zesCFQAAAAAdAAAAABAD>

U postupku mjerenja uređaj je postavljen na visinu oka vozača, a razina svjetlosti mjerena je u četiri točke i to u liniji rasvjetnog stupa u oba smijera prometnih traka te u liniji između dva rasvjetna stupa. Na taj način izmjerene su četiri karakteristične točke koje se izmjenično ponavljaju duž izmjerenih dionica.

5.2. Podaci o mjerenju

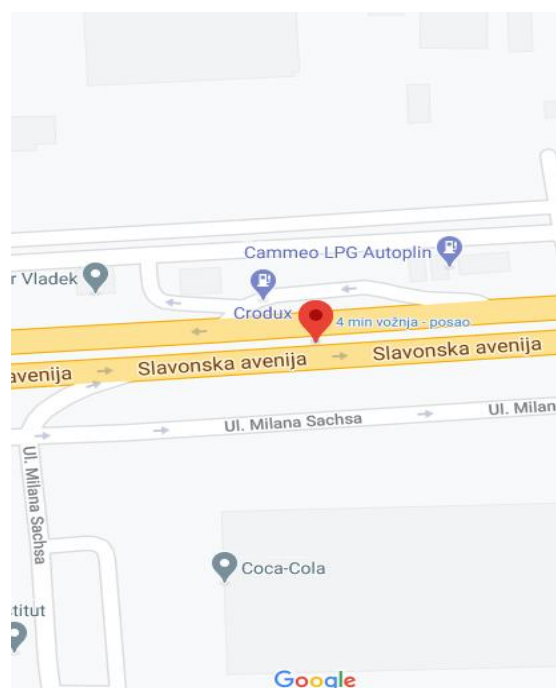
Kao što je navedeno mjerenja su obavljena na području Grada Zagreba i to na sljedećim na dionicama cesta i raskrižjima: Slavonska avenija, Ulica grada Vukovara, Ilica, križanje Čavićeve ulice sa Slavonskom avenijom, Slavonska avenija (Zelena tržnica).

5.2.1. Slavonska avenija

U Slavonskoj aveniji primijenjen je centralni raspored izvora svjetlosti, a na rekonstruiranoj dionici ceste svjetiljke su opremljene LED izvorom svjetlosti (slika 13, 14).



Slika 13: Rasvjeta Slavonske avenije



Slika 14: Lokacija mjerenja u Slavonskoj aveniji

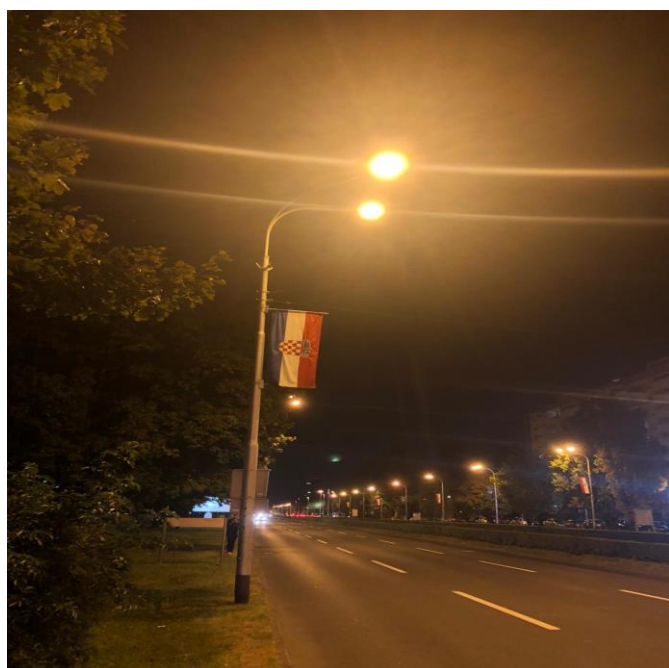
Prema rezultatima mjerenja uočeno je da izvor svjetlosti u centralnom dijelu rasvjetljenosti kolnika ima najveću jačinu i nižu jačinu između susjednih stupova rasvjete. Međutim, važno je naglasiti da smanjenje razine jačine rasvjetljenosti kolnika između stupova, ne utječe na razinu vidljivosti koja doprinosu psihološkom zamoru vozača u smislu prilagodbe oka jačini izvora svjetlosti (tablica 1).

Tablica 1: Rezultati mjerenja Slavonske avenije

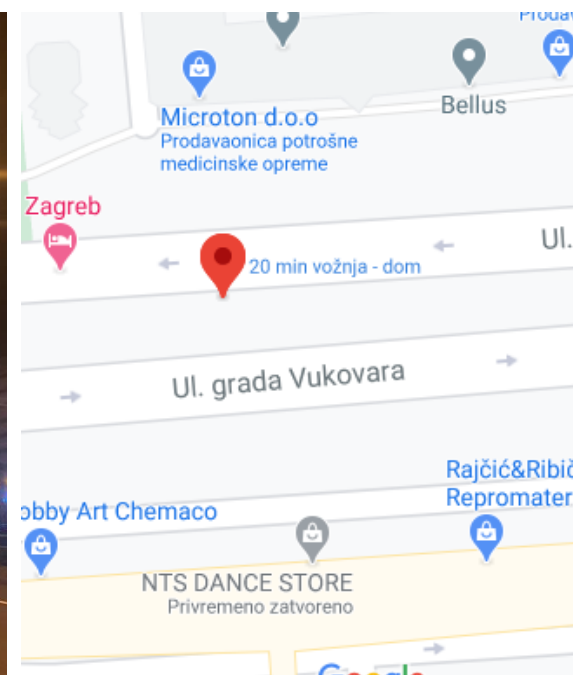
| Slavonska avenija | Centralno područje rasvjetljenosti | Rasvjetljenost okoline cestovnog pojasa |
|-------------------------|------------------------------------|---|
| U razini stupa rasvjete | 67 Lux | 26 Lux |
| Između stupova rasvjete | 32 Lux | 26 Lux |

5.2.2. Vukovarska ulica

U Vukovarskoj ulici primijenjen je jednostrani raspored izvora svjetlosti za svaki smjer prometa između kojih se nalazi pojas po kojem prometuje tramvaj. Na svjetiljkama je primijenjena balonska optika, a izvor svjetla je žute boje (slika 15, 16).



Slika 15: Rasvjeta Ulice grada Vukovara



Slika 16: Lokacija mjerenja u Ulici grada Vukovara

Prema izmjerenoj jačini rasvijetljenosti ceste i njezine okoline razvidan je niži stupanj jačine rasvijetljenosti u odnosu na LED rasvjetu (tablica 2).

Tablica 2: Rezultati mjerenja Vukovarske ulice

| Ulica grada Vukovara | Na poprečnom kraju kolnika | Na razdjelnom pojasu |
|-------------------------|----------------------------|----------------------|
| U razini stupa rasvjete | 44 Lux | 28 Lux |
| Između stupova rasvjete | 24 Lux | 15 Lux |

5.2.3. Ulica Ilica

U ulici Ilica je primijenjen je aksijalni raspored izvora svjetlosti. Svjetiljke su opremljene, žutim rasvjetnim tijelima (slika 17, 18).



Slika 17: Rasvjeta Ilice



Slika 18: Lokacija mjerenja u Ilici

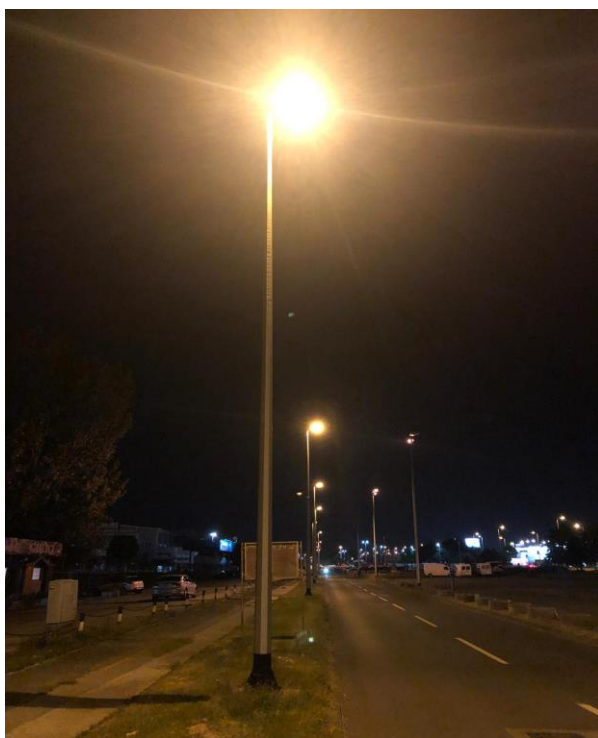
Prema rezultatima mjerenja uočeno je da izvor svjetlosti u aksijalnom dijelu rasvijetljenosti kolnika ima puno nižu jačinu rasvijetljenosti u odnosu na Vukovarsku ulicu. Što dovodi u opasnost uočavanje pješaka i drugih sudionika u prometu (tablica 3).

Tablica 3: Rezultati mjerenja Ilice

| Ilica | Centralno područje rasvjetljenosti | Rasvjetljenost okoline cestovnog pojasa |
|-------------------------|------------------------------------|---|
| U razini stupa rasvjete | 32 Lux | 32 Lux |
| Između stupova rasvjete | 14 Lux | 14 Lux |

5.2.4. Slavonska avenija (Zelena tržnica)

U Slavonskoj aveniji (Zelena tržnica) korišten je jednostrani raspored izvora svjetlosti. U rasvjetnim stupovima u točkama mjerenja korištena je žuta rasvjeta (slika 19, 20).



Slika 19: Rasvjeta Slavonske avenije (Zelena tržnica)



Slika 20: Lokacija mjerenja Slavonske avenije (Zelena tržnica)

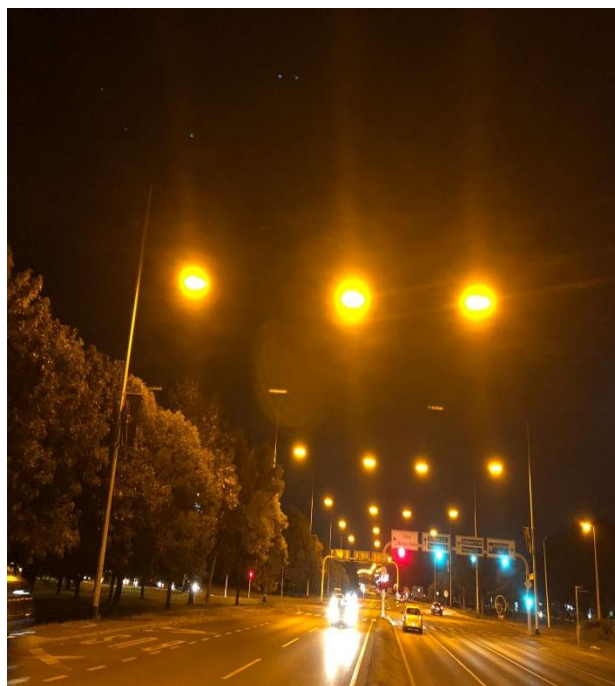
Prema izmjerenoj jačini rasvjetljenosti ceste i njezine okoline uočeno je da Slavonska avenija (Zelena tržnica) ima puno nižu jačinu rasvjetljenosti u odnosu na LED rasvjetu. Što izaziva efekt slabijeg uočavanja pješaka i drugih sudionika u prometu (tablica 4).

Tablica 4: Rezultati mjerenja Slavonske avenije (Zelena tržnica)

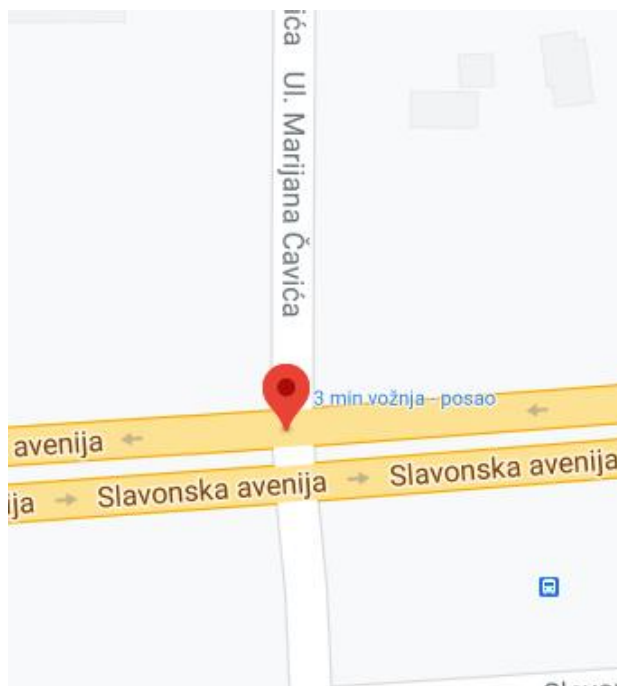
| Slavonska avenija (Zelena tržnica) | Na poprečnom kraju kolnika | Rasvijetljenost okoline cestovnog pojasa |
|------------------------------------|----------------------------|--|
| U razini stupa rasvjete | 34 Lux | 15 Lux |
| Između stupova rasvjete | 19 Lux | 11 Lux |

5.2.5. Križanje Čavićeve ulice sa Slavskom avenijom

Na križanju Čavićeve ulice sa Slavskom avenijom primijenjen je aksijalni raspored izvora svjetlosti. Na navedenom raskrižju primijenjene su polu zasjenjenje svjetiljke opremljene žutim izvorom svjetlosti (slika 21, 22).



Slika 21: Rasvjeta križanja Čavićeve ulice sa Slavskom avenijom



Slika 22: Lokacija mjerenja u križanju Čavićeve ulice sa Slavskom avenijom

Prema rezultatima mjerenja uočeno je da aksijalni raspored izvora svjetlosti na križanju Čavićeve ulice i Slavonske avenije ima neznatno višu jačinu rasvijetljenosti u odnosu na Ilicu koja ima isti raspored izvora svjetlosti (tablica 5).

Tablica 5: Rezultati mjerenja križanja Čavićeve ulice sa Slavonskom avenijom

| Križanje Čavićeve ulice sa Slavonskom avenijom | Na razdjelnom pojasu | Na poprečnom kraju kolnika |
|--|----------------------|----------------------------|
| U razini stupa rasvjete | 35 Lux | 20 Lux |
| Između stupova rasvjete | 23 Lux | 16 Lux |

5.3. Rezultati analize

Nakon obavljenog mjerenja razine rasvijetljenosti navedenih dionica i raskrižje može se zaključiti da nova geometrija rasvjete odnosno rasvjetnih tijela i primijenjena LED rasvjeta ima višu razinu svjetlosti u odnosu na izvor svjetlosti žute boje za 50% do 100%. Jednako tako, osim visoke razine sjajnosti, uočeno je da nova LED rasvjeta povećava jednolikost sjajnosti površine kolnika i njegovu okolinu, omogućava znatno bolje vizualno i optičko vođenje odnosno određivanje smjera pružanja ceste, kao i bolji spektralni sastav izvora svjetlosti.

Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu se iz dobijenih rezultata vidi da očigledno omogućava jednoliko osvjetljenje, ali s obzirom na slabu jačinu osvjetljenosti, žutu rasvjetu bi bilo dobro zamjeniti LED rasvjetom. Iz rezultata mjerenja može se zaključiti da rasvjeta Slavonske avenije (Zelena tržnica) što se tiče razine jačine svjetla nije na zavidnom nivou pa bi bilo dobro zamjeniti žutu za novu LED rasvjetu.

Na pojedinim dijelovima ceste i raskrižjima zamjećeno je da je vidljivost smanjena zbog raslinja. Suprotan primjer koji ima sličnu posljedicu u vidu smanjenja jednolikosti osvjetljenja je i primjer rasvjete od strane trgovačkih centara i sličnih objekata jer svojom svjetlošću dodatno obasjavaju pojedine dijelove ulice. Ovakve pojave utiče na promjenu u jednolikosti osvjetljenja ulice, a samim tim smanjuje se sigurnost vozača i otalih sudionika u prometu. Također, spomenuto dodatno obasjavanje ulice, kod vozača može utjecati negativno na sigurnost vožnje zbog pojave blještanja.

6. ZAKLJUČAK

Rasvjeta ceste i cestovnih objekata noću i u vrijeme smanjenja vidljivosti dokazano znatno doprinosi povećanju kvalitete prometovanja i sigurnosti svih sudionika u prometu. Pravovremeno vidno zapažanje promjena i detalja u vidnom polju vozača noću, smanjuje mogućnost za nastanak prometne nesreće. Obavljenom analizom cestovne rasvjete na pojedinim dionicama cesta u Grad Zagrebu potvrđena je postavljena hipoteza o značaju rasvjete u cestovnom prometu.

Kvalitetna rasvjeta kod projektiranja javne rasvjete treba uzeti bitne elemente u obzir: cijenu, kolika je šteta za okoliš, pozicija, izgled same rasvjete i da li adekvatno osvjetljava željenu površinu. Projektiranje javne rasvjete jednostavnije je na cestama izvan naselja u prvom redu zbog toga što se stupovi bez problema mogu postavljati na željene pozicije te zbog toga što najčešće nema dodatnih površina, a kompleksnost raste sa gustoćom prometa i velikim brojem građevina i ostalih objekata unutar naselja. U gradovima nastaje cjeli niz problema pogotovo u konfliktnim zonama gdje nije moguće postaviti svjetiljke ravnomjerno zbog nedostatka adekvatnog prostora te zbog učestalih promjena konfiguracije prometnica što u konačnici najviše utječe na jednolikost rasvjete.

Prema rezultatima analize uočeno je da LED rasvjeta ima najbolje osvjetljenje kolnika i okoline te ne dolazi do crnih okvira između stupova. Također je uočeno da Slavonska avenija nakon rekonstrukcije na jednom dijelu ceste, gdje je postavljena LED rasvjeta, zadovoljava dovoljnu razinu osvjetljenja, dok ostali dio avenije ne zadovoljava.

LITERATURA

- [1] Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [2] Dr. sc. Pašagić, S.: Vizualne informacije u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2004.
- [3] Softić, E.: Rasvjeta prometnica u funkciji sigurnosti prometa: magistarski stručni rad, Zagreb, 2000.
- [4] Kežman, D.: Prijedlog mjera za povećanje propusne moći i sigurnosti prometa na raskrižju ulica D3, Kaliničke i Ulice Josipa Bajkovca u Čakovcu, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.
- [5] Rašić, D.: Analiza osnovnih svjetlotehničkih veličina, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.
- [6] [https://bib.irb.hr/datoteka/911234.Primjena CAD/CAM alata u projektiranju cestovne.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/911234.Primjena_CADCAM_alata_u_projektiranju_cestovne.pdf), pregledano 30.7.2020.
- [7] [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/V/Vizualne informacije u prometu/Materijali/06 Promet na rasvjeta.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/V/Vizualne_informacije_u_prometu/Materijali/06_Promet_na_rasvjeta.pdf), pregledano 4.8.2020.
- [8] <https://www.prometna-signalizacija.com/oprema-cesta/cestovna-rasvjeta/>, pregledano 27.8.2020.

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1: Spektar elektromagnetskog zračenja | 2 |
| Slika 2: Vrste površina prema načinu reflektiranja svjetla | 4 |
| Slika 3: Suha cesta | 5 |
| Slika 4: Mokra cesta | 6 |
| Slika 5: Dijagram položaja točaka boja od izvora svjetlosti..... | 10 |
| Slika 6: Centralni raspored izvora svjetlosti | 12 |
| Slika 7: Jednostrani raspored izvora svjetlosti | 13 |
| Slika 8: Dvostrana raspodjela izvora svjetlosti | 14 |
| Slika 9: Kombinirani raspored izvora svjetlosti | 15 |
| Slika 10: Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu..... | 16 |
| Slika 11: Aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama uzdužno na os ceste | 17 |
| Slika 12: Voltcraft Lx-10..... | 25 |
| Slika 13: Rasvjeta Slavonske avenije | 26 |
| Slika 14: Lokacija mjerenja u Slavonskoj aveniji | 26 |
| Slika 15: Rasvjeta Ulice grada Vukovara | 27 |
| Slika 16: Lokacija mjerenja u Ulici grada Vukovara | 27 |
| Slika 17: Rasvjeta Ilice | 28 |
| Slika 18: Lokacija mjerenja u Ilici..... | 28 |
| Slika 19: Rasvjeta Slavonske avenije (Zelena tržnica) | 29 |
| Slika 20: Lokacija mjerenja Slavonske avenije (Zelena tržnica)..... | 29 |
| Slika 21: Rasvjeta križanja Čavićeve ulice sa Slavonskom avenijom | 30 |
| Slika 22: Lokacija mjerenja u križanju Čavićeve ulice sa Slavonskom avenijom | 30 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1: Rezultati mjerenja Slavonske avenije..... | 27 |
| Tablica 2: Rezultati mjerenja Vukovarske ulice..... | 28 |
| Tablica 3: Rezultati mjerenja Ilice..... | 29 |
| Tablica 4: Rezultati mjerenja Slavonske avenije (Zelena tržnica) | 30 |
| Tablica 5: Rezultati mjerenja križanja Čavićeve ulice sa Slavonskom avenijom | 31 |



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **Analiza rasvjete ceste i cestovnih objekata u funkciji sigurnosti**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 9/4/2020

Franjo Čeko
(potpis)