

Rasvjeta cesta i cestovnih objekata u Gradu Zagrebu u funkciji sigurnosti prometa

Ovčarić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:119:174278>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-25**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka Ovčarić

**Rasvjeta cesta i cestovnih objekata u Gradu
Zagrebu u funkciji sigurnosti prometa**

**Road and Street lighting in the city of Zagreb for
traffic safety purposes**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2024

Zagreb, 21. ožujka 2024.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7485

Pristupnik: **Luka Ovčarić (0135264058)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Rasvjeta cesta i cestovnih objekata u Gradu Zagrebu u funkciji sigurnosti prometa**

Opis zadatka:

Omogućavanje dobre razina zapažanja ceste i cestovne okoline noću i u uvjetima smanjene vidljivosti važna je komponenta za povećanje sigurnosti cestovnog prometa. Pouzdanost zapažanja i poduzimanje pravovremenih radnji od strane vozača u slučaju potrebe za zaustavljanjem vozila noću i u uvjetima smanjene vidljivosti potrebno je osigurati uz pomoć kvalitetne rasvjete. U završnom radu potrebno je obaviti analizu rasvjete cesta i cestovnih objekata u Gradu Zagrebu, razine sjajnosti cesta i cestovne okoline, kao i analizu utjecaja rasvjete na razinu zapažanja cjeline i detalja vidne okoline za vozače i ostale sudionike u cestovnom prometu.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

doc. dr. sc. Rajko Horvat

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**Rasvjeta cesta i cestovnih objekata u Gradu
Zagrebu u funkciji sigurnosti prometa**

Mentor: doc.dr.sc. Rajko Horvat

Student: Luka Ovčarić

JMBAG: 0135264058

Zagreb, 2024.

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Čimbenici sigurnosti cestovnog prometa..... | 3 |
| 2.1 Čovjek kao čimbenik sigurnosti prometa | 3 |
| 2.2 Cesta kao čimbenik sigurnosti prometa | 4 |
| 2.2.1 Trasa ceste..... | 4 |
| 2.2.2 Oprema ceste..... | 4 |
| 2.2.3 Križanja..... | 4 |
| 2.2.4 Rasvjeta ceste..... | 5 |
| 3. Analiza stanja sigurnosti prometa u Gradu Zagrebu od 2021. - 2023. godine | 6 |
| 4. Analiza značaja rasvjete cesta i cestovnih objekata za sigurnost sudionika u prometu..... | 8 |
| 4.1 Značaj rasvjete ceste u noćnim uvjetima | 8 |
| 4.2 Mjerila kvalitete cestovne rasvjete..... | 9 |
| 4.2.1 Razina sjajnosti površine kolnika | 10 |
| 4.2.2 Jednolikost sjajnosti površine kolnika | 11 |
| 4.2.3 Razina rasvijetljenosti okolice ceste | 12 |
| 4.2.4 Ograničenje bliještanja..... | 12 |
| 4.2.5 Spektralni sastav izvora svjetlosti..... | 13 |
| 4.2.6 Vizualno i optičko vođenje | 13 |
| 4.3 Osnovni elementi cestovne rasvjete..... | 14 |
| 4.3.1 Električni izvori svjetlosti | 14 |
| 4.2 Svjetiljke | 15 |
| 4.3 Površina kolnika..... | 16 |
| 5. Projektiranje cestovne rasvjete | 17 |
| 5.1 Geometrija cestovne rasvjete | 17 |
| 5.2 Visina montaže..... | 18 |
| 5.3 Međurazmak | 18 |
| 5.4 Krak optičke osi | 18 |
| 5.5 Kutovi nagiba..... | 18 |
| 5.6 Raspored izvora svjetlosti na cestama | 19 |
| 5.6.1 Centralni raspored izvora svjetlosti | 19 |
| 5.6.2 Jednostrani raspored izvora svjetlosti | 20 |
| 5.6.3 Dvostrani raspored izvora svjetlosti..... | 21 |
| 5.6.4 Kombinirani raspored izvora svjetlosti..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 5.6.5 Aksijalni raspored izvora svjetlosti..... | 22 |
| 6. Analiza rasvjete i rasvijetljenosti cesta i cestovnih objekata u Gradu Zagrebu u funkciji sigurnosti prometa..... | 23 |
| 6.1 Volcraft VC-8314265 LX-10..... | 23 |
| 6.2 Rezultati provedenog mjerenja | 24 |
| 6.2.1 Zagrebačka cesta..... | 24 |
| 6.2.2 Ulica grada Vukovara | 25 |
| 6.2.3 Ulica Dragutina Golika | 26 |
| 6.2.4 Ulica Matka Baštijana..... | 27 |
| 6.2.5 Borongajska cesta | 28 |
| 6.2.6 Slavonska avenija – ogranak zelena tržnica..... | 28 |
| 6.2.7 Avenija Dubrovnik..... | 29 |
| 6.2.8 Horvaćanska cesta..... | 29 |
| 7. Prijedlog mjera za poboljšanje rasvijetljenosti cesta i cestovnih objekata | 31 |
| 8. Zaključak..... | 33 |
| Literatura..... | 34 |
| Popis slika | 35 |
| Popis tablica | 36 |
| Popis grafikona | 37 |

SAŽETAK

Ovaj rad proučava utjecaj cestovne rasvjete na sigurnost prometa. Analizirano je stanje sigurnosti prometa u Zagrebu od 2021. do 2023. godine, s posebnim naglaskom na nesreće u uvjetima smanjene vidljivosti. Istaknuta je važnost adekvatne rasvjete za smanjenje broja nesreća, osobito noću, te su prikazani tehnički zahtjevi za projektiranje rasvjete. Nakon analize trenutnog stanja rasvijetljenosti u Zagrebu, predložene su mjere za poboljšanje sigurnosti prometa kroz bolju rasvjetu cesta i objekata.

KLJUČNE RIJEČI: prometne nesreće, smanjena vidljivost, rasvjeta, poboljšanje sigurnosti prometa

SUMMARY

This paper examines the impact of road lighting on traffic safety. It analyzes the state of traffic safety in Zagreb from 2021 to 2023, with a particular focus on accidents occurring under conditions of reduced visibility. The importance of adequate lighting in reducing the number of accidents, especially at night, is highlighted, and the technical requirements for designing road lighting are presented. Following an analysis of the current state of road illumination in Zagreb, measures are proposed to improve traffic safety through enhanced lighting of roads and related structures

KEYWORDS: traffic accidents, reduced visibility, lighting, improvement of traffic safety

1. Uvod

Cestovna rasvjeta jedan je od najvažnijih čimbenika za sigurnost sudionika u prometu u noćnim uvjetima. Učinkovita cestovna rasvjeta ne odnosi se samo na jaku rasvjetu; također je važno da osvijetljenje bude jednoliko duž cijele ulice te da nema odblijeska ili treperenja reflektora. Osim osvijetljenja ceste, ključno je dobro osvijetliti i ostale cestovne objekte poput tunela, podvožnjaka, nadvožnjaka i mostova. Posebnu pažnju treba posvetiti pješačkim stazama ili pločnicima, osiguravajući da su dobro osvijetljeni radi sigurnosti pješaka. Budući da je sigurnost sudionika u prometu glavni prioritet, nužno je procijeniti cestovnu rasvjetu kako bi se poboljšali uvjeti tijekom vožnje. U završnom radu provedena je analiza rasvjete pojedinih ulica u gradu Zagrebu te je izmjerena jačina izvora svjetlosti.

Rad je podijeljen na 6 poglavlja:

1. Čimbenici sigurnosti prometa,
2. Analiza stanja sigurnosti cestovnog prometa u Gradu Zagrebu od 2021. – 2023. godine,
3. Analiza značaja rasvjete cesta i cestovnih objekata za sigurnost sudionika u prometu
4. Projektiranje cestovne rasvjete,
5. Analiza rasvjete i rasvijetljenosti cesta i cestovnih objekata u Gradu Zagrebu u funkciji sigurnosti prometa,
6. Prijedlog mjera za poboljšanje rasvijetljenosti cesta i cestovnih objekata.

U prvom poglavlju ovog rada analizirani su ključni čimbenici koji utječu na sigurnost cestovnog prometa, uključujući infrastrukturu, ponašanje vozača te tehničku ispravnost vozila. Predmet interesa je utjecaj ovih čimbenika na broj prometnih nesreća.

U drugom poglavlju analizirana je sigurnost cestovnog prometa u gradu Zagrebu u periodu od 2021. do 2023. godine, pri čemu su obrađeni statistički podaci o prometnim nesrećama i njihovim uzrocima. Predmet istraživanja bila su specifična vremenska razdoblja s povećanim brojem nesreća.

U trećem poglavlju rada analiziran je značaj rasvjete na cestama i cestovnim objektima za sigurnost sudionika u prometu, s naglaskom na ulogu kvalitetne rasvjete u sprječavanju prometnih nesreća. Predmet interesa bio je utjecaj različitih tipova rasvjete na vidljivost i reakcijsko vrijeme vozača, te kako optimizacija rasvjetnih sustava može pridonijeti sigurnijem prometovanju.

U četvrtom poglavlju ovog rada analizirani su temeljni principi projektiranja cestovne rasvjete, uključujući tehničke i svjetlo tehničke zahtjeve. Predmet istraživanja bio je utjecaj različitih rasporeda i visina postavljanja rasvjetnih tijela na osvijetljenost prometnica te njihova primjena u praksi, s ciljem povećanja sigurnosti u prometu.

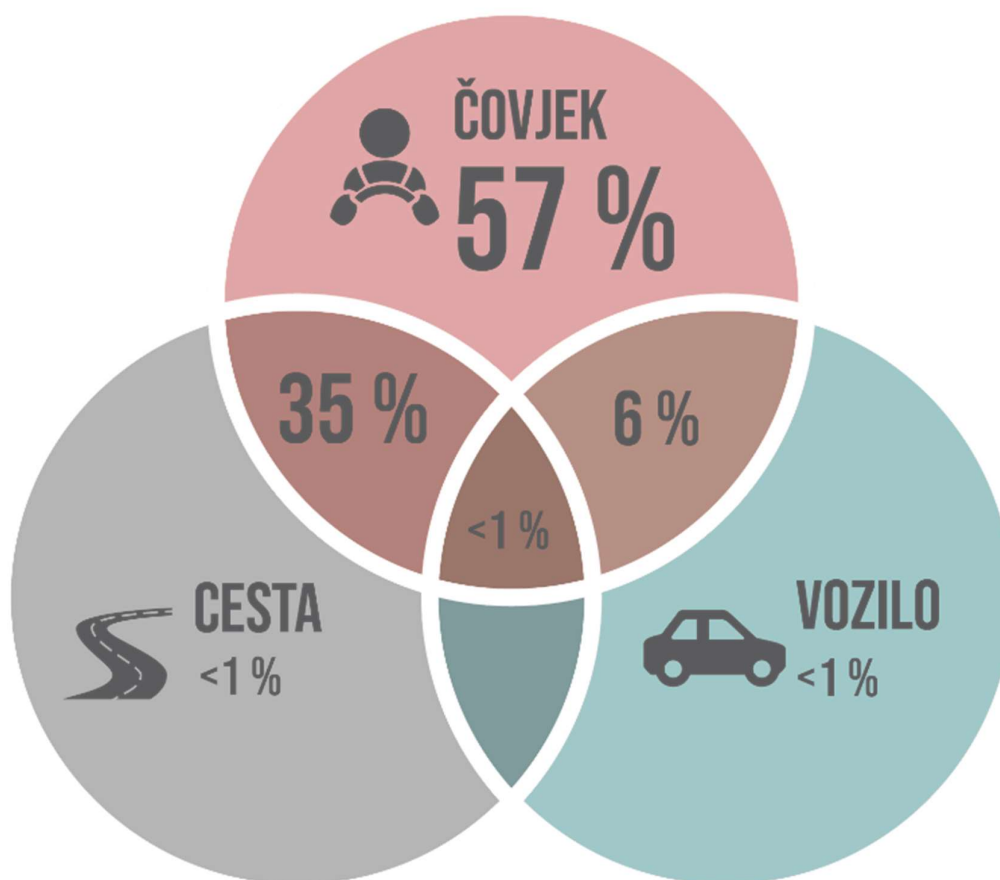
U petom poglavlju rada provedena je analiza postojećeg stanja rasvjete i rasvijetljenosti cesta i cestovnih objekata u gradu Zagrebu. Predmet ovog poglavlja bila je analiza utjecaja

tih rasvjetnih sustava na sigurnost prometa, uz identificiranje potencijalnih područja za poboljšanje osvjetljenosti i smanjenje broja prometnih nesreća.

U šestom poglavlju rada analizirano je postojeće stanje rasvjetljenosti cesta i cestovnih objekata, s posebnim osvrtom na problematična područja u kojima osvjetljenost nije zadovoljavajuća. Iskazani su prijedlozi konkretnih mjera za poboljšanje rasvjetljenosti, s naglaskom na tehnička rješenja, unapređenje normi i zakonskih okvira, te primjenu energetski učinkovitih rasvjetnih tijela poput LED tehnologije.

2. Čimbenici sigurnosti cestovnog prometa

Sigurnost cestovnog prometa od temeljne je važnosti za zaštitu ljudskih života i ona ovisi o različitim čimbenicima koji su ključni za sprječavanje nesreća i smanjenje ozljeda sudionika u prometu. Svi temeljni čimbenici koji se pojavljuju u cestovnom prometu međusobno su zavisni jedan od drugoga, pa samim time se očituje sinergija infrastrukture, vozila i vozača koja je prikazana na Slika 1. Analiza tih čimbenika presudna je za planski razvoj strategija, instrumenata i mjera čija je primarna zadaća smanjenje broja prometnih nesreća i ublažavanje istih. Osviještenost o sigurnosti i poštivanje prometnih pravila ključni su u smanjenju rizika na cestama. [1]



Slika 1. Međusobna zavisnost temeljnih čimbenika sigurnosti cestovnog prometa
Izvor: [10]

2.1 Čovjek kao čimbenik sigurnosti prometa

Čovjek kao vozač prima informacije o stanju na cesti putem svojih osjetila, a zatim, uzimajući u obzir vozilo i prometne propise, odlučuje kako će vozilo kretati. Među svim čimbenicima koji utječu na sigurnost prometa, faktor "čovjek" je najvažniji. Kada se analizira ponašanje vozača u cestovnom prometu, važno je polaziti od toga da je vozač dio sustava koji na temelju primljenih informacija donosi odluke i upravlja kretanjem vozila.

2.2 Cesta kao čimbenik sigurnosti prometa

Tehnički nedostaci cesta proizlaze iz nedostataka u projektiranju ili izgradnji te iz nepravilnog održavanja cesta. Kada se analizira sigurnost prometa, cesta uključuje širok pojam elemenata. To uključuje karakteristike trase, kvalitetu tehničkih elemenata, stanje kolnika, prisutnost odgovarajuće opreme, učinkovitu rasvjetu, utjecaj bočnih zaštitnih ograda te redovito održavanje. [1]

2.2.1 Trasa ceste

Trasom ceste određuju se visinski položaj i smjer ceste. Trasa ceste sastoji se od pravaca, kružnih lukova i prijelaznih krivina. Ti elementi trebaju biti izabrani na način da omogućuju sigurno kretanje vozila pri najvećoj očekivanoj brzini koju vozilo u slobodnom prometnom toku može ostvariti uz dovoljnu sigurnost vožnje na određenom dijelu ceste, odnosno računskoj brzini. Treba uzeti u obzir i konfiguraciju terena koja može predstavljati brojne izazove, te sukladno tome treba odabirati i najoptimalnije radijuse zavoja i duljine prijelaznih krivina. Uz to, ukoliko se cesta nalazi u brdskom, znatan izazov predstavlja nagla promjena nadmorske visine, te je u toj situaciji potrebno graditi ceste u usjeku, zasjeku ili nasipu, a ukoliko se cesta nalazi u planinskom reljefu koji pruža znatna ograničenja, te nasipi ili usjeci ceste postaju tehnički neizvedivi, odnosno preskupi za izgradnju i održavanje te uvelike nesigurni, kao rješenje primjenjuju se mostovi, vijadukti i tuneli. [1]

2.2.2 Oprema ceste

Moderni promet zahtijeva sigurno kretanje vozila u normalnim uvjetima, pri smanjenoj vidljivosti (magla, kiša, itd.) i noću. Odgovarajuća oprema ceste povećava sigurnost vozača, što je ključno pri velikim brzinama i gustim prometom. Oprema ceste uključuje prometne znakove, stupiće, ograde, živice, smjerokaze, mačje oči, kilometarske oznake, snjegobrane i vjetrobrane. Prometni znakovi su najvažnija oprema ceste i moraju biti postavljeni prema planu opreme i signalizacije. Pretjeran broj znakova s nepotrebnim ograničenjima može navesti vozače da voze brže jer opasnost doživljavaju manjom. Svaki znak treba odražavati stvarnu situaciju i upozoravati na moguće opasnosti. Stupići, koji se često nalaze na starijim cestama, zamijenjeni su elastičnim ogradama koje ublažavaju udarce. Te ograde su obojene radi bolje vidljivosti, ali mogu odbiti vozilo natrag na cestu, uzrokujući dodatne nesreće. Živice se sade tako da ne smanjuju vidljivost, dok smjerokazi pomažu u označavanju smjera ceste, osobito u zavojima. Mačje oči, reflektirajuća stakla ugrađena u cestu, poboljšavaju vidljivost noću i u magli, pružajući vozaču svjetlosne linije koje označavaju rub ceste i njezinu os. Kilometarske oznake pokazuju položaj vozača na cesti, ali na brzim cestama je bolje postaviti veće ploče s informacijama o smjerovima i udaljenostima do najbližih gradova. [1]

2.2.3 Križanja

Velik broj prometnih nezgoda događa se na križanjima i priključnim cestama, pri čemu križanja u gradu čine 40-50% svih nezgoda. Istraživanja su pokazala da tri puta smanjena preglednost na križanjima može smanjiti sigurnost prometa za do deset puta. Zbog toga je poželjno rješavati križanja u više razina, a ako to nije moguće, potrebno je osigurati dobru preglednost i pravilnu regulaciju prometa. Posebno su rizična vozila koja skreću ulijevo,

stoga ih treba posebno regulirati. Križanja sa željezničkom prugom najbolje je riješiti nadvožnjacima ili podvožnjacima, a ako to nije izvedivo, automatskim branicima. Na nezaštićenim prijelazima treba osigurati dobru preglednost i postaviti odgovarajuće prometne znakove. [1]

2.2.4 Rasvjeta ceste

Kvalitetna rasvjeta ključna je za sigurnost prometa, jer se velik dio prometa odvija noću. Istraživanja iz Engleske pokazuju da je broj poginulih pješaka noću 2,8 puta veći, vozača 2,3 puta, motociklista 1,5 puta, a biciklista 1,2 puta u odnosu na dnevne uvjete. Dobrom rasvjetom na duljim dionicama ceste broj prometnih nesreća smanjuje se za 30 do 35 posto u usporedbi s cestama koje su slabo ili nisu osvijetljene.

Izvan naselja, rasvjeta je potrebna samo na kritičnim mjestima kao što su prijelazi za pješake i križanja. Posebnu pažnju treba posvetiti rasvjeti ulaza u tunele zbog prilagodbe oka vozača. U naseljima je nužna rasvjeta kada broj vozila noću prelazi 200 vozila na sat.

Za poboljšanje sigurnosti na opasnim dijelovima ceste noću, cesta treba biti osvijetljena prema sljedećim načelima:

- viša razina svjetlosti poboljšava vidljivost;
- ravnomjerna svjetlosna razina poboljšava preglednost;
- izvori svjetlosti trebaju biti izvan vidnog polja vozača;
- izbjegavati svjetiljke koje bliješte;
- svjetiljke treba postaviti visoko iznad kolnika na odgovarajućim razmacima kako bi se izbjegle sjene.

Dobra rasvjeta osigurava sigurnu vožnju svim sudionicima u prometu noću, povećava udobnost vožnje, smanjuje umor vozača i ravnomjerno raspoređuje prometno opterećenje tijekom 24 sata. [1]

3. Analiza stanja sigurnosti prometa u Gradu Zagrebu od 2021. - 2023. godine

Sigurnost prometa u urbanim sredinama predstavlja jedno od ključnih područja za osiguranje kvalitete života građana, očuvanje javnog zdravlja, te održivi razvoj gradova. Grad Zagreb kao najveći i najprometniji grad u Hrvatskoj suočava se s nizom izazova u ovom području. Razdoblje od 2021. do 2023. godine obilježeno je nizom promjena i događaja koji su imali značajan utjecaj na prometnu sigurnost. Pandemija COVID-19, uvođenje novih prometnih pravila i regulacija, kao i promjene u infrastrukturi, samo su neki od faktora koji su oblikovali prometnu situaciju u Zagrebu tijekom ovog razdoblja.

Godina 2021. bila je obilježena posebnim izazovima i promjenama u sigurnosti prometa na području Grada Zagreba. U tom razdoblju na pojedinim mjestima unaprijeđen je sustav prometnih i oblikovnih elemenata cesta i načina vođenja i upravljanja prometom te su proglašena nova prometna pravila od strane zakonodavnih ustanova.

Godina 2022. donijela je nove izazove i prilike za unapređenje sigurnosti prometa u Gradu Zagrebu. Nakon dviju godina obilježenih pandemijom COVID-19, koja je značajno utjecala na prometne situacije i ponašanje sudionika u prometu, 2022. godina donosi stabilizaciju, ali i određene promjene u dinamici gradskog prometa.

2023. godina predstavlja značajno razdoblje u analizi stanja sigurnosti prometa u Gradu Zagrebu. Tijekom ove godine, Grad Zagreb suočava se s dinamičnim rastom prometa, povećanjem stupnja motorizacije te pojavom relativno novih prijevoznih sredstava – električnih romobila. Uz to, sve veća urbanizacija i promjene u navikama kretanja građana dodatno su utjecale na sigurnost u prometu.

Iz podataka prikazanih u Tablica 1 koja sadrži podatke o broju prometnih nesreća jasno je vidljivo da unatoč provedenim pozitivnim promjenama u prometnoj infrastrukturi, broj prometnih nesreća i dalje bilježi porast. Iako su mjere poput bolje signalizacije i prilagodbe prometnih pravila trebale doprinijeti smanjenju broja nesreća, podaci pokazuju suprotan trend. Ovaj zabrinjavajući porast sugerira da dosadašnje intervencije, premda korisne, nisu bile dovoljne za značajno povećanje sigurnosti u prometu. Potrebno je nastaviti s dodatnim analizama i ulaganjima kako bi se identificirali preostali uzroci nesreća i proveli daljnji strateški koraci za njihovo smanjenje.

Tablica 1. Podaci o broju prometnih nesreća u gradu Zagrebu u razdoblju od 2021. - 2023. godine

| Godina | Policijske postaje | Prometne nesreće | | | | | Nastradale osobe | | |
|--------------|--------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | Ukupno | S materijalnom štetom | S nastradalim osobama | | | Poginule | Teško ozlijeđene | Lakše ozlijeđene |
| | | | | Ukupno | S poginulim osobama | S ozlijeđenim osobama | | | |
| 2023. | Ukupno | 5436 | 4017 | 1419 | 20 | 1399 | 22 | 368 | 1437 |
| | I PPP | 3228 | 2470 | 758 | 7 | 751 | 8 | 197 | 752 |
| | II PPP | 2208 | 1547 | 661 | 13 | 648 | 14 | 171 | 685 |
| 2022. | Ukupno | 5678 | 4052 | 1626 | 21 | 1605 | 22 | 392 | 1691 |
| | I PPP | 3478 | 2571 | 907 | 14 | 893 | 14 | 226 | 955 |
| | II PPP | 2200 | 1481 | 719 | 7 | 712 | 8 | 166 | 736 |
| 2021. | Ukupno | 6164 | 4427 | 1737 | 18 | 1719 | 18 | 366 | 1878 |
| | I PPP | 3726 | 2745 | 981 | 9 | 972 | 9 | 200 | 1068 |
| | II PPP | 2438 | 1682 | 756 | 9 | 747 | 9 | 166 | 810 |

Izvor: [2]

4. Analiza značaja rasvjete cesta i cestovnih objekata za sigurnost sudionika u prometu

Rasvjeta cesta i cestovnih objekata igra ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti svih sudionika u prometu, posebno u noćnim uvjetima i pri smanjenoj vidljivosti. Kvalitetna rasvjeta ne samo da poboljšava vidljivost vozača, pješaka i biciklista, već doprinosi smanjenju broja i posljedica prometnih nesreća i povećava opću sigurnost na cestama. Nedostatak ili neadekvatna rasvjeta može ozbiljno ugroziti sigurnost, uzrokujući povećan rizik od sudara, posebno na kritičnim točkama kao što su raskrižja i pješački prijelazi. [1]

4.1 Značaj rasvjete ceste u noćnim uvjetima

Trećina svih prometnih nesreća s ozlijeđenima događa se noću. S obzirom na smanjenu gustoću prometa u noćnim satima, broj ozlijeđenih i smrtno stradalih u prometnim nesrećama je približno za trećinu veći nego tijekom dana. Uglavnom se veći broj nesreća događa u urbanim područjima, gdje su pješaci najugroženiji. Noćne nesreće su općenito ozbiljnije i imaju znatno veću stopu smrtnosti. [1] Prema Tablica 2 razvidno je u koje se vremenu u toku dana i sata događa najveći broj nesreća u vremenskom razdoblju od 2012. – 2021. godine. [1]

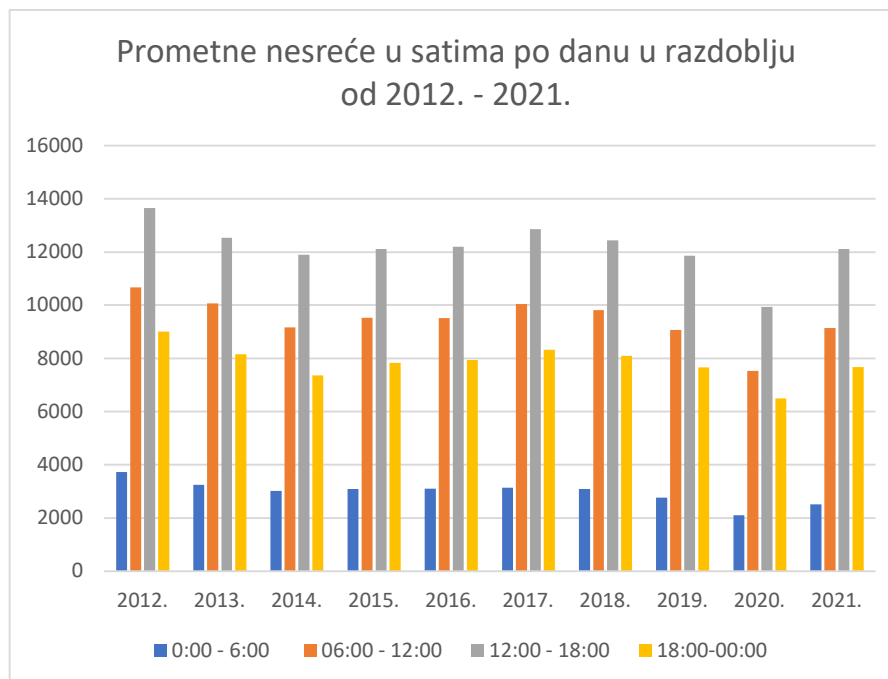
Prema grafikonu Grafikon 1. Prometne nesreće u satima po danu u razdoblju od 2012. - 2021. moguće je uočiti vremensko događanje nesreća prema 6 satnom intervalu u toku 24 - sata. Iz grafikona i tablice nedvojbeno proizlazi da broj prometnih nesreća noću nije znatno manji od broja prometnih nesreća po danu, pogotovo ako se uzme u obzir da je danju prometno opterećenje znatno veće nego noću. Jednako tako a ne manje važna je i činjenica da je tokom dana prometno opterećenje podijeljeno na dva vršna sata gdje su kapaciteti gradskih prometnica pri maksimumu iskorištenja, dok noću nije zabilježena pojava vršnog sata. U urbanim sredinama prometne nesreće noću uglavnom uključuju pješake, bicikliste te unatrag tri godine i električne romobile čije kretanje nije regulirano zakonom te se vozači istih provlače kroz razne rupe u zakonu, dok u ruralnim područjima prometne nesreće se događaju prilikom naleta na neosvijetljeni poljoprivredni radni stroj ili pak najčešće prilikom naleta na uglavnom krupnu divljač koja obitava u tom podneblju.

Tablica 2. Prometne nesreće prema satima u danu u razdoblju od 2012. - 2021.

| Vrijeme/sat | 2012. | 2013. | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. | 2019. | 2020. | 2021. |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0:00 - 2:00 | 1345 | 1159 | 1070 | 1116 | 1134 | 1154 | 1181 | 1102 | 942 | 1179 |
| 02:00 - 04:00 | 1093 | 915 | 888 | 903 | 885 | 922 | 863 | 783 | 558 | 606 |
| 04:00 - 06:00 | 1285 | 1183 | 1052 | 1075 | 1082 | 1067 | 1049 | 884 | 600 | 732 |
| 06:00 - 08:00 | 2621 | 2521 | 2257 | 2298 | 2260 | 2414 | 2372 | 2158 | 1771 | 2095 |
| 08:00 - 10:00 | 3653 | 3394 | 3015 | 3225 | 3159 | 3403 | 3280 | 3100 | 2564 | 3092 |
| 10:00 - 12:00 | 4398 | 4159 | 3896 | 4005 | 4103 | 4232 | 4161 | 3812 | 3194 | 3958 |
| 12:00 - 14:00 | 4521 | 4162 | 3946 | 4033 | 4131 | 4319 | 4225 | 3923 | 3367 | 4112 |
| 14:00 - 16:00 | 4600 | 4293 | 4057 | 4080 | 4092 | 4314 | 4194 | 4046 | 3362 | 4131 |
| 16:00 - 18:00 | 4539 | 4088 | 3893 | 4004 | 3972 | 4219 | 4019 | 3891 | 3213 | 3876 |
| 18:00 - 20:00 | 4017 | 3637 | 3302 | 3506 | 3585 | 3738 | 3713 | 3403 | 2871 | 3458 |
| 20:00 - 22:00 | 2960 | 2623 | 2440 | 2539 | 2524 | 2683 | 2597 | 2513 | 2157 | 2517 |
| 22:00 - 00:00 | 2033 | 1887 | 1616 | 1787 | 1830 | 1903 | 1786 | 1752 | 1475 | 1697 |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| UKUPNO | 37065 | 34021 | 31432 | 32571 | 32757 | 34368 | 33440 | 31367 | 26074 | 31453 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|

Izvor: [2]



Grafikon 1. Prometne nesreće u satima po danu u razdoblju od 2012. - 2021.

4.2 Mjerila kvalitete cestovne rasvjete

Mjerila kvalitete rasvjete cesta s motornim prometom temelje se na konceptu luminacije koja se definira kao osvjetljenje plohe od četvornog metra na kojoj je jednoliko raspoređen svjetlosni tok jačine jednog lumena. Primjena ovog koncepta omogućuje zapažanje predmeta kao obris ili siluetu, što se postiže kvalitetnom rasvjetom površine kolnika. Različite prometnice imaju različite klase rasvjete. Te klase i njihova pojašnjenja prikazana su u

Tablica 3. Adekvatna iluminacija ključna je za osiguranje dobre vidljivosti i sigurnosti u prometu jer omogućuje vozačima pravovremeno uočavanje prepreka i drugih sudionika na cesti, vrijednosti preporučene minimalne kvalitete cestovne rasvjete cesta s motornim prometom prikazane su u Tablica 4. Mjerila kvalitete sustava cestovne rasvjete su:

- razina sjajnosti površine kolnika,
- jednolikost sjajnosti površine kolnika,
- razina rasvijetljenosti okolice ceste,
- ograničenje bliještanja,
- spektralni sustav izvora svjetlosti,
- vizualno i optičko vođenje. [1]

Tablica 3. Klase rasvjete za cestovni promet

| Čimbenici klasifikacije | Klasa cestovne rasvjete | |
|---|-------------------------|----|
| Ceste s velikom dopuštenom brzinom i jednosmjernim prometom; u pravilu s razdjelnim pojasom između prometnih traka, s križanjima u dvije i više razina, stroga kontrola pristupa cesti, u pravilu su to autoceste i ceste namijenjene isključivo za promet motornih vozila. | Velika | M1 |
| | Srednja | M2 |
| | Mala | M3 |
| Ceste s velikom dopuštenom brzinom i dvosmjernim prometom, u pravilu ceste s kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima za pojedine sudionike u prometu. Kontrola prometa i razdvojenost kolnika dijeli se na dobru i lošu. | Dobra | M2 |
| | Loša | M1 |
| Ceste sa srednjom brzinom prometa, u pravilu ceste s kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima za pojedine sudionike u prometu. | Dobra | M3 |
| | Loša | M2 |
| Ceste za relativno slabiji i lokalni promet sa malom brzinom prometa; spojne ceste, prometno važnije ceste u stambenim naseljima i slično, u pravilu ceste s kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima za različite sudionike u prometu. | Dobra | M4 |
| | Loša | M5 |

Izvor: [3]

Tablica 4. Preporučene minimalne vrijednosti kvalitete cestovne rasvjete cesta s motornim prometom za suhu površinu kolnika

| Klasa | Minimalne vrijednosti luminacije za suhu prometnu površinu | | | Fiziološko bliještanje | Osvjetljavanje okoline |
|-------|--|--|---|------------------------|------------------------|
| | $L(cd/m^2)$ | $jL(cd/m^2)$ – Minimalna opća jednolikost luminacije | $jL_u(cd/m^2)$ – Minimalna uzdužna jednolikost luminacije | TI (%) | SR (%) |
| M1 | 2 | 0,4 | 0,7 | 10 | 0,5 |
| M2 | 1,5 | 0,4 | 0,7 | 10 | 0,5 |
| M3 | 1 | 0,4 | 0,6 | 15 | 0,5 |
| M4 | 0,75 | 0,4 | 0,5 | 15 | 0,5 |
| M5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 15 | 0,5 |

Izvor: [3]

4.2.1 Razina sjajnosti površine kolnika

Sjajnost određene točke osvijetljene površine kolnika uvelike ovisi o svjetlotehničkim karakteristikama svjetiljki, geometriji postavljene javne rasvjete te reflektivnim svojstvima osvijetljene površine kolnika. Razina sjajnosti kolnika treba biti takva da osigura odgovarajuću vidljivost koja pruža udobnost i sigurnost tijekom vožnje. Srednja sjajnost (luminacija) površine kolnika definirana je izrazom:

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

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 pokazala se u praksi najprihvatljivijim rješenjem između zahtjeva dobre vidljivosti i ekonomičnosti instalacije cestovne rasvjete. [1]

4.2.2 Jednolikost sjajnosti površine kolnika

Jednolikost sjajnosti površine kolnika ima značajan utjecaj na vidljivost i vizualnu udobnost vozača. Kako bi se osigurala dobra vidljivost, ključna je ukupna jednolikost sjajnosti kolnika, koja se određuje pomoću formule:

$$jL = \frac{L_{min}}{L_m} \cdot 100\% [\%]$$

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 sjajnosti uvelike ovisi o svjetlotehničkim karakteristikama svjetiljki, svjetlosnom toku izvora svjetlosti, reflektivnim svojstvima osvijetljene površine kolnika te o geometriji postavljene cestovne rasvjete. Smanjena opća jednolikost sjajnosti negativno utječe na sposobnost detekcije objekata uz pomoć cestovne rasvjete. Uzdužna jednolikost sjajnosti površine kolnika važna je za vizualnu udobnost tijekom vožnje, a izračunava se pomoću formule:

$$jL_u = \frac{L_{min}(u)}{L_{max}(u)} \cdot 100\% [\%]$$

gdje je:

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

$L_m(u)$ – najveća vrijednost sjajnosti po sredini svakog prometnog traka promatrana iz sredine samog traka

Uzdužna jednolikost ovisi o svjetlotehničkim karakteristikama svjetiljki, geometriji postavljene cestovne rasvjete, svjetlosnom toku izvora svjetlosti i reflektivnim svojstvima osvijetljene površine kolnika. Ona je ključni kriterij za procjenu kvalitete osvijetljenosti kolničke površine. Minimalno prihvatljive vrijednosti uzdužne jednolikosti određene su razinom prosječne sjajnosti i razmakom između izvora svjetlosti. Poprečna jednolikost sjajnosti (jL_p) omogućuje sigurno uočavanje objekata na cesti. Određuje se formulom:

$$jL_p = \frac{L_{min}(p)}{L_{max}(p)} \cdot 100\% [\%]$$

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

Iz ekonomskih je razloga katkada nužno prihvatiti nešto nize vrijednosti jednolikosti rasvjete.

U tom je slučaju bolje zadržati vrijednosti za srednju jednolikost koja jamči dobru vidljivost, a za uzdužnu jednolikost uzeti nešto nize vrijednosti odnosno smanjiti udobnost promatranja.

[1]

4.2.3 Razina rasvijetljenosti okolice ceste

Kvalitetna cestovna rasvjeta osigurava da će se prepreke na dobro osvijetljenoj kolničkoj površini primijetiti kroz efekt pozitivne siluete. Međutim, problemi mogu nastati kod pojave prepreka tijekom vožnje u zavoju ili uzbrdo, kada se dio prepreke ne može uočiti zbog tamne pozadine ili neosvijetljenog okruženja ceste. Zbog toga je ključno osvijetliti i neposredno područje uz cestu kako bi se osigurala veća sigurnost i udobnost pri zapažanju. U naseljenim područjima, gdje su prisutni pješaci uz prometnice, rasvjeta okolice postaje posebno važna kako bi vozači pravovremeno uočili pješake. Ako je okolina prometnice svjetlija, potrebno je dodatno naglasiti kolničku površinu poboljšanjem rasvjete (povećanjem razine prosječne sjajnosti) kako bi se osigurala ista razina vidljivosti. U tamnijoj okolini treba posvetiti veću pažnju rasvjeti okolice, dok se na kolniku može održavati niža razina sjajnosti. Preporučuje se osvijetliti pojas od pet metara uz rub kolnika do razine koja iznosi otprilike 50% sjajnosti susjednog dijela kolničke površine. [1]

4.2.4 Ograničenje bliještanja

Bliještanje se događa kada se u vozačevom vidnom polju pojavi izvor svjetla čija je jakost u smjeru gledanja znatno veća od one u okolnim smjerovima. Povećanje bliještanja smanjuje ključne pokazatelje vidljivosti, uključujući:

- osjetljivost na kontrast (sposobnost primjećivanja razlika u osvijetljenosti),
- oštrinu vida (mogućnost uočavanja detalja),
- brzinu zapažanja.

Postoje dvije vrste bliještanja:

- fiziološko bliještanje, koje trenutno smanjuje sposobnost sigurnog opažanja,
- psihološko bliještanje, koje trajno smanjuje udobnost opažanja.

Smanjenje bliještanja postiže se korištenjem zasjenjenih svjetiljki prilagođenih određenoj klasi javne rasvjete. [1]

4.2.5 Spektralni sastav izvora svjetlosti

Spektralni sastav izvora svjetlosti određuje njegovu boju te boju osvijetljenih objekata, a ima značajan utjecaj na:

- oštrinu viđenja (oko fokusira predmete oštrije pri monokromatskoj svjetlosti),
- subjektivnu procjenu kvalitete sjajnosti kolničke površine,
- subjektivnu procjenu podnošljivosti psihološkog bliještanja,
- brzinu uočavanja objekata,
- vrijeme oporavka vida nakon bliještanja.

Uspoređujući kvantitativne utjecaje spektralnog sastava dvaju tipičnih izvora svjetlosti, poput niskotlačne natrijeve cijevi i visokotlačne živine žarulje, može se zaključiti:

- instalacije s visokotlačnom živinom žaruljom zahtijevaju 50% veću razinu prosječne sjajnosti kolnika za postizanje iste razine oštine vida,
- izmjerena sjajnost kolnika u sustavima s visokotlačnom živinom žaruljom je otprilike 35% viša u usporedbi s onom u sustavima s niskotlačnom natrijevom cijevi, pri jednakoj subjektivnoj ocjeni kvalitete rasvjete,
- za postizanje iste razine podnošljivosti psihološkog bliještanja, dopuštena jakost svjetlosti svjetiljki pri upadnom kutu od 80° u instalacijama s niskotlačnom natrijevom cijevi može biti približno 40% veća.
- - za istu sjajnost površine kolnika brzina zapažanja u instalacijama s niskotlačnom natrijevom cijevi je približno 40 posto veća;
- - potrebno vrijeme regeneracije oka je za oko 25 posto kraće u instalacijama s niskotlačnom natrijevom cijevi.
- Općenito se može zaključiti da su izvori svjetlosti na temelju natrijevih para oko 30 posto učinkovitiji od živinih visokotlačnih izvora. Pri tomu su nešto lošiji rezultati za natrijeve visokotlačne žarulje od onih niskotlačnih natrijevih cijevi. [1]

4.2.6 Vizualno i optičko vođenje

Vizualno vođenje podrazumijeva skup mjera koje vozaču pružaju jasnu sliku smjera ceste, omogućujući mu da u svakom trenutku prepozna putanju ceste na udaljenosti dovoljnoj za sigurno zaustavljanje. Cestovna rasvjeta mora naglasiti kolničku površinu u odnosu na okolinu te učiniti vidljivom cestovnu opremu, poput oznaka i branika. Na neosvijetljenim cestama, vizualno vođenje noću ograničeno je na područje unutar dosega svjetala vozila.

Dobro postavljena javna rasvjeta osigurava ugodnu vožnju, a pravilnim rasporedom stupova postiže se sklad u perspektivi cestovnih pravaca. Pritom je važno razmještaj stupova planirati iz vozačeve perspektive. Također:

- prometnica na istom dijelu treba biti dosljedno osvijetljena u pogledu izvora svjetlosti, razine i jednolikosti rasvjete, kao i svih drugih elemenata javne rasvjete;
- na raskrižju dviju prometnica, načelo kontinuiteta rasvjete treba zadržati na cesti koja ima prednost ili pripada višem razredu rasvjete;
- prometnice iste važnosti trebaju biti jednako osvijetljene. [1]

4.3 Osnovni elementi cestovne rasvjete

Kvaliteta sustava cestovne rasvjete obično se definira tehničkim karakteristikama i kvalitetom njegovih ključnih komponenti, uključujući izvor svjetlosti, svjetiljku i površinu kolnika. [3]

4.3.1 Električni izvori svjetlosti

Električni izvori svjetlosti su uređaji koji pretvaraju električnu energiju u svjetlosnu energiju kroz različite procese, a rezultirajuće zračenje u obliku elektromagnetskih valova duljine između 380 i 780 nanometara percipira se ljudskim okom kao vidljiva svjetlost. Ovi izvori svjetlosti ključni su za osiguravanje adekvatne rasvjete u različitim okruženjima, uključujući cestovnu rasvjetu, industrijske prostore i domove. Današnji električni izvori svjetlosti svrstavaju se u dvije glavne kategorije:

- Izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama - koriste principe izbijanja elektrona u plinovima ili parama metala kako bi generirali svjetlost. Primjeri uključuju fluorescentne svjetiljke i natrijeve ili žive žarulje koje se često koriste za javnu rasvjetu.
- Izvori svjetlosti s užarenom niti - proizvode svjetlost zagrijavanjem tanke niti, najčešće od volframa, do visokih temperatura, što rezultira emitiranjem svjetla. Klasične žarulje sa žarnom niti predstavljaju ovu skupinu izvora.

Razvoj tehnologije rasvjete doveo je do povećane energetske učinkovitosti i dugovječnosti izvora svjetlosti, a moderni sustavi rasvjete sve više koriste kombinaciju različitih tehnologija kako bi se postigla optimalna kvaliteta osvjjetljenja uz minimalnu potrošnju energije. [3]

4.3.1.1 Izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama

Izvori svjetlosti koji koriste izbijanje u plemenitim plinovima i metalnim parama ne sadrže metalne spirale, već proizvode svjetlost putem pobude plina ili metalnih para između elektroda. U cestovnoj rasvjeti se uglavnom koriste električni izvori svjetlosti koji funkcioniraju na principu izbijanja kroz plinove i metalne pare, a to uključuje:

- visokotlačne natrijeve žarulje (NAV),
- visokotlačne živine žarulje (HQL),
- visokotlačne metal halogene žarulje (HQI),
- niskotlačne natrijeve cijevi (SOX-E),
- niskotlačne fluorescentne cijevi (L),
- fluokompaktne žarulje. [3]

4.3.1.2 Izvori svjetlosti s žarnom niti

Izvori svjetlosti s užarenom niti (poznati kao standardne žarulje) stvaraju svjetlost zagrijavanjem spirale izrađene od volframove žice do visoke temperature, što se postiže prolaskom električne struje kroz nju. Izvor svjetlosti s žarnom niti prikazan je na Slika 2.

Glavne svjetlo tehničke karakteristike električnih izvora svjetlosti uključuju:

- svjetlosni tok izražen u lumenima,
- svjetlosnu iskoristivost koja se mjeri u lumenima po vatu,
- dugovječnost,

- faktor smanjenja svjetlosnog toka,
- luminanciju izraženu u kandelama po četvornom centimetru,
- boju svjetlosti,
- temperaturu boje,
- sposobnost reprodukcije boja. [3]



*Slika 2. Izvor svjetlosti s žarnom niti
Izvor: [4]*

Osim toga, fizikalne, električne i druge karakteristike izvora svjetlosti obuhvaćaju:

- izgled izvora, uključujući njegove dimenzije i oblik,
- nominalnu snagu izraženu u vatima,
- nominalni napon u voltima,
- preporučeni položaj rada,
- minimalnu temperaturu okoline potrebnu za ispravno funkcioniranje izvora, izraženu u stupnjevima Celzija,
- vrijeme potrebno za paljenje, izraženo u minutama. [3]

4.2 Svjetiljke

Svjetiljka prvenstveno služi za usmjeravanje i distribuciju svjetlosnog toka jednog ili više izvora svjetlosti unutar svjetiljke. Svjetiljke se općenito sastoje od svjetlotehničkih, mehaničkih i elektrotehničkih komponenti. Svjetlotehnički dio uključuje optički sustav čija je funkcija usmjeravanje svjetlosti u željenom pravcu, što se postiže pomoću reflektora, refraktora, difuzora ili zaštitnih pokrova. Mehanički dijelovi svjetiljke imaju funkciju zaštite

izvora svjetlosti i ostalih komponenti svjetiljke od vanjskih utjecaja, osiguravaju njihovo držanje na mjestu te omogućuju pričvršćivanje svjetiljke na nosače, poput kućišta, vijaka i sličnih elemenata. Elektrotehnički dijelovi omogućuju povezivanje svjetiljke i izvora svjetlosti na električnu mrežu, povezivanje električnih komponenti unutar svjetiljke, te osiguravaju paljenje i rad izvora svjetlosti. Također, ovi elementi služe za poboljšanje faktora snage i zaštitu od smetnji u radijskom spektru. To uključuje izvor svjetlosti, grlo, predspojne naprave, stezaljke i vodiče. Osnovne vrste svjetiljki koje se koriste u sustavima cestovne rasvjete uključuju:

- Standardne svjetiljke za cestovnu rasvjetu, koje se montiraju na stupove, zidove ili nosive žice, a karakterizira ih rotacijski simetrična distribucija svjetlosti, odnosno simetričnost u odnosu na poprečnu os ceste, s dominantnim usmjerenjem duž uzdužne osi ceste.
- Svjetiljke za osvjetljavanje tunela, koje imaju simetrične ili asimetrične karakteristike distribucije svjetlosti.
- Reflektori – svjetiljke s posebnim optičkim sustavima za precizno usmjeravanje svjetlosnog toka unutar definiranog prostornog kuta. [3]

4.3 Površina kolnika

Refleksijska svojstva novog kolnika značajno se razlikuju od onih na površinama koje su već neko vrijeme u upotrebi. Reflektivna svojstva kolnika ovise o vrsti materijala i tehnologiji izrade, kao i o stupnju habanja i zagađenosti same površine. Postoje četiri osnovna tipa površina kolnika:

- a) hrapava - hrapava (hrapavost prisutna i u makro i mikrostrukтури),
- b) hrapava - glatka (hrapavost u makrostrukтури, glatkoća u mikrostrukтури),
- c) glatka - hrapava (glatkoća u mikrostrukтури, hrapavost u makrostrukтури),
- d) glatka - glatka (glatkoća u obje strukture, i makro i mikro). [3]

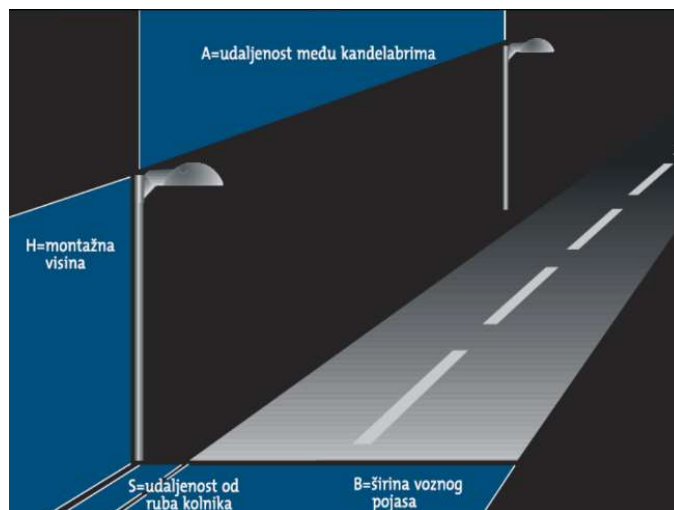
5. Projektiranje cestovne rasvjete

Projektiranje cestovne rasvjete ključan je dio suvremene prometne infrastrukture koji izravno utječe na sigurnost svih sudionika u prometu, uključujući vozače, pješake i bicikliste. Dobro osmišljena cestovna rasvjeta ne samo da poboljšava vidljivost u noćnim uvjetima, već pridonosi smanjenju broja prometnih nesreća, povećava sigurnost na raskrižjima i pješačkim prijelazima, te smanjuje rizik od kriminalnih aktivnosti na slabo osvijetljenim područjima. U današnje vrijeme, projektiranje rasvjete uključuje ne samo tehničke aspekte, već i energetska učinkovita rješenja koja smanjuju utjecaj na okoliš, a istovremeno osiguravaju adekvatnu rasvjetu. Ovaj proces obuhvaća analizu niza čimbenika kao što su karakteristike prometnice, intenzitet prometa, okoliš, vrsta rasvjetnih tijela, njihova visina i položaj, te refleksijska svojstva površine kolnika. Cilj je osigurati ravnomjernu raspodjelu svjetlosti uz minimalno svjetlosno zagađenje, istovremeno poštujući sve važeće norme i standarde. S obzirom na sve veću potrebu za optimizacijom potrošnje energije, projektiranje cestovne rasvjete također uključuje primjenu naprednih tehnologija poput LED rasvjete i sustava za pametno upravljanje rasvjetom.

5.1 Geometrija cestovne rasvjete

Pod geometrijom sustava cestovne rasvjete (Slika 3) podrazumijeva se raspored izvora svjetlosti, njihov geometrijski odnos i međusobno prema osnovnim elementima ceste:

- Geometrija cestovne rasvjete utvrđena je sljedećim veličinama:
- h (m) – visina montaže izvora svjetlosti,
- a (m) – među razmak izvora svjetlosti,
- a/h – odnos među razmaka i visine montaže izvora svjetlosti,
- k (m) – krak optičke osi izvora svjetlosti,
- δ ($^\circ$) – kut nagiba montirane svjetiljke,
- s (m) – udaljenost optičke osi od ruba kolnika,
- b (m) – širina kolnika. [3]



Slika 3. Prikaz geometrije sustava cestovne rasvjete

Izvor: [3]

5.2 Visina montaže

Visina postavljanja izvora svjetlosti obično ovisi o širini kolnika koji taj izvor treba osvjetliti. Kod jednostranog rasporeda, svaki izvor svjetlosti mora pokriti cijelu širinu kolnika, pa bi optimalna visina trebala odgovarati ukupnoj širini kolnika. U slučaju dvostranog rasporeda, visina postavljanja usklađena je s polovicom širine kolnika, jer svaki izvor osvjetljava samo polovicu kolnika. [3]

5.3 Međurazmak

Međurazmak između izvora svjetlosti prvenstveno je važan pokazatelj ekonomičnosti sustava cestovne rasvjete. Veći među razmak između svjetiljki obično smanjuje troškove izgradnje i održavanja, dok manji razmak povećava te troškove. Međurazmak također ima ključnu ulogu u određivanju jednolikosti osvjetljenosti ili luminancije kolničke površine, što izravno utječe na kvalitetu rasvjete i sigurnost vožnje. Općenito, postoje načela za određivanje optimalnog međurazmaka između izvora svjetlosti, no precizno određivanje zahtijeva korištenje svjetlotehničkih proračuna. Ti proračuni uzimaju u obzir različite faktore, poput vrste svjetiljki, visine stupova, kutova osvjetljenja, refleksijskih svojstava kolnika te specifičnih potreba prometne infrastrukture. Optimalan među razmak omogućuje postizanje ravnoteže između efikasnosti sustava i osiguravanja adekvatne razine vidljivosti za sudionike u prometu. [3]

5.4 Krak optičke osi

Za postizanje optimalne rasvijetljenosti poželjno je da optički centar izvora svjetlosti bude što bliže središnjoj osi kolnika. Ovaj položaj omogućuje ravnomjernu distribuciju svjetla na cijelu širinu ceste. Da bi se to postiglo, potrebna je odgovarajuća duljina kraka optičke osi izvora svjetlosti, koja u praksi obično ne prelazi jednu petinu širine kolnika. Međutim, zahvaljujući napretku u modernim optičkim sustavima svjetiljki, krivulje jakosti zračenja svjetiljki su postale toliko efikasne da krak optičke osi često više nije potreban. Umjesto toga, svjetiljke se sada mogu postavljati izravno na stupove, čime se pojednostavljuje instalacija i smanjuju troškovi. Ovakva rješenja također omogućuju fleksibilnost u postavljanju rasvjete, čineći sustave učinkovitijima i prilagodljivijima različitim uvjetima na cestama. [3]

5.5 Kutovi nagiba

Kutovi nagiba pri postavljanju svjetiljki standardizirani su i obično iznose 5, 10 i 15 stupnjeva. Kutovi od 15 stupnjeva doprinose boljoj poprečnoj osvjetljenosti kolnika, no istovremeno mogu uzrokovati povećano bliještanje, osobito vozačima koji dolaze iz bočnih smjerova ili prilikom vožnje u zavojima. Ovaj efekt bliještanja može negativno utjecati na sigurnost i udobnost vožnje, osobito u složenijim prometnim uvjetima. Za prometnice s velikim prometnim opterećenjem i one koje pripadaju višim klasama cestovne rasvjete, preporučuje se nagib svjetiljki od 5 stupnjeva, čime se smanjuje rizik od bliještanja i povećava sigurnost. S druge strane, za sporedne ceste ili one nižih klasa, nagib od 10

stupnjeva može biti optimalan, a u posebnim slučajevima može se koristiti i nagib od 15 stupnjeva kako bi se postigla bolja rasvijetljenost. Pravilno odabran kut nagiba svjetiljki omogućava uravnoteženje između učinkovite rasvjete i smanjenja negativnih učinaka na vozače. [3]

5.6 Raspored izvora svjetlosti na cestama

Raspored izvora svjetlosti na prometnicama ključan je za osiguranje optimalne vidljivosti, sigurnosti i udobnosti vozača. Pravilno planiranje i implementacija ovog rasporeda mogu značajno utjecati na kvalitetu cestovne rasvjete i učinkovitost prometne infrastrukture. Općenito se razlikuje sedam vrsta izvora svjetlosti na cestama i to:

- centralni raspored,
- jednostrani raspored,
- dvostrani raspored,
- kombinirani raspored i
- aksijalni raspored. [3]

5.6.1 Centralni raspored izvora svjetlosti

Centralni raspored izvora svjetlosti prikazano na Slika 4 često se koristi na autocestama i prometnicama koje imaju razdjelni pojas i sastoje se od dva fizički odvojena kolnička traka, pri čemu se svaka kolnička traka sastoji od po dvije do tri prometne trake. Ovaj raspored podrazumijeva postavljanje izvora svjetlosti na središnje nosače smještene između kolničkih traka, pri čemu su svjetiljke usmjerene prema svakoj strani kolnika, tako da svaka svjetiljka osvjetljava svoj kolnik. Ova metoda omogućava ravnomjernu i efikasnu rasvjetu na širokim prometnicama, pružajući dobro osvjetljenje za oba smjera vožnje. Centralni raspored je posebno koristan na autocestama i velikim prometnim arterijama gdje je potrebno osigurati visoku razinu osvjetljenja radi sigurnosti vozača koji se kreću velikim brzinama. Postavljanjem svjetiljki u središtu između kolničkih traka, svjetlost se može ravnomjerno distribuirati, minimizirajući sjene i osiguravajući bolju vidljivost za vozače. Osim što poboljšava sigurnost i udobnost vožnje, centralni raspored svjetlosti može biti ekonomičniji u smislu održavanja, jer se svjetiljke nalaze na manje brojnih nosača, smanjujući potrebu za velikim brojem stupova i kablova. Također, ovaj raspored može smanjiti vizualno zagađenje i ometanje prometa jer je infrastruktura manje raspršena. Međutim, pravilna instalacija i održavanje su ključni kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost sustava. Visina montaže i kut nagiba svjetiljki moraju biti precizno postavljeni kako bi se izbjeglo stvaranje tamnih zona ili neželjenog bliještanja. [3]



*Slika 4. Centralni raspored izvora svjetlosti
Izvor: [5]*

5.6.2 Jednostrani raspored izvora svjetlosti

Jednostrani raspored izvora svjetlosti (Slika 5) je učinkovit i ekonomičan pristup koji se često koristi na prometnicama s maksimalno tri prometne trake. Ova metoda omogućava ravnomjernu distribuciju svjetlosti s jedne strane ceste, što smanjuje troškove instalacije i održavanja u usporedbi s dvostranim rasporedom. Jednostrani raspored je koristan na ulicama s manjim prometnim opterećenjem, kao što su sporedne ulice ili lokalne prometnice, gdje visoki troškovi izgradnje i održavanja sustava rasvjete znaju biti ekonomski neisplativi. Ovaj raspored omogućuje učinkovitu rasvjetu kolnika koristeći manji broj svjetiljki, čime se smanjuju početni troškovi i dugoročni troškovi održavanja. Pri primjeni jednostranog rasporeda važno je osigurati da svjetlosni tok pokrije cijelu širinu kolnika i da ne dođe do stvaranja tamnih zona ili nesigurnih uvjeta vožnje. U nekim slučajevima, dodatna rasvjeta ili posebne prilagodbe mogu biti potrebni za osiguranje optimalne vidljivosti, posebno u područjima kao što su križanja i prijelazi. [3]



Slika 5. Jednostrani raspored izvora svjetlosti

5.6.3 Dvostrani raspored izvora svjetlosti

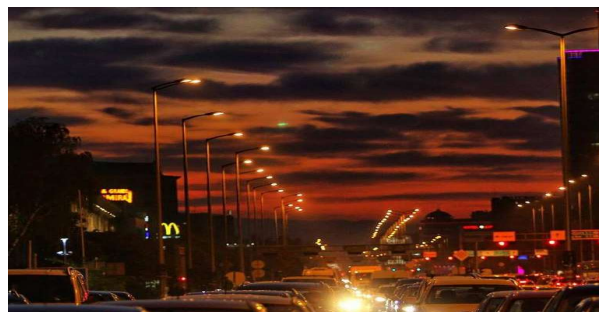
Dvostrani raspored izvora svjetlosti (Slika 6) na cestovnim prometnicama koristi se kada je potrebno ravnomjerno osvijetliti prometnice širih profila, obično one s više prometnih traka. Ovaj raspored podrazumijeva postavljanje svjetiljki na stupove s obje strane ceste, čime se osigurava bolja pokrivenost rasvjetom i smanjuje mogućnost stvaranja sjena. Dvostrani raspored posebno je pogodan za glavne gradske prometnice, avenije i prometnice s većim prometnim opterećenjem u čijem se razdjelnom pojasu nalazi tramvajska pruga. Razlikujemo dva različita dvostrana rasporeda izvora svjetlosti – dvostrani sa paralelnim izvorima koji je prikazan na i dvostrani sa naizmjeničnim izvorima svjetlosti. [3]



Slika 6. Dvostrani raspored izvora svjetlosti

5.6.4 Kombinirani raspored izvora svjetlosti

Kombinirani raspored izvora svjetlosti na cestovnim prometnicama prikazan na Slika 7 predstavlja kombinaciju centralnog i dvostranog rasporeda svjetiljki. Ovaj sustav koristi se na prometnicama s razdjelnim pojasom i većim brojem prometnih traka, gdje je cilj osigurati optimalnu ravnomjernost osvijetljenja i smanjiti pojavu sjena na kolniku. Svjetiljke su raspoređene duž obje strane prometnice, kao i na razdjelnom pojasu, što omogućuje učinkovito osvijetljenje širokih prometnica. Ovaj raspored često se primjenjuje na glavnim gradskim prometnicama, gdje je potrebna visoka razina sigurnosti i udobnosti vožnje, posebno u uvjetima povećanog prometa i složenijih prometnih raskrižja. [3]



*Slika 7. Kombinirani raspored izvora svjetlosti
Izvor: [6]*

5.6.5 Aksijalni raspored izvora svjetlosti

Aksijalni raspored izvora svjetlosti koristi se na prometnicama gdje je potrebno postići ravnomjerno i kontinuirano osvjetljenje duž središnje osi ceste. U ovom rasporedu svjetiljke se postavljaju poprečno na os ceste ili uzdužno na os ceste. Ovaj sustav je učinkovit na širokim prometnicama, kao što su neke ulice sa mješovitim prometom gdje je potrebno osvijetliti velike površine uz minimalno ometanje vizualnog polja vozača. Aksijalni raspored omogućava optimalnu pokrivenost rasvjetom, smanjujući potrebu za dodatnim stupovima sa strane ceste. Prednost ovog rasporeda je ujednačeno osvjetljenje i bolja vizualna kontrola za vozače, ali zahtijeva pažljivo projektiranje kako bi se izbjeglo stvaranje sjena i bliještanja, osobito pri vožnji u zavoju ili u složenijim prometnim situacijama. Primjer aksijalnog rasporeda izvora svjetlosti prikazan je na Slika 8. [3]



*Slika 8. Aksijalni raspored izvora svjetlosti
Izvor: [7]*

6. Analiza rasvjete i rasvijetljenosti cesta i cestovnih objekata u Gradu Zagrebu u funkciji sigurnosti prometa

U završnom radu obavljena je analiza postojećeg stanja rasvjete cesta i cestovnih objekata u Gradu Zagrebu, te istražiti će se u kojoj mjeri postojeći sustavi rasvjete pridonose sigurnosti prometa. Posebna pažnja bit će posvećena procjeni učinkovitosti rasvjetnih sustava na ključnim prometnicama, kao i u blizini kritičnih prometnih točaka poput raskrižja, pješačkih prijelaza i cestovnih mostova. Cilj analize je utvrditi eventualne nedostatke u rasvjeti, te predložiti poboljšanja koja bi mogla dodatno osigurati sigurnost svih sudionika u prometu na cestama Zagreba.

6.1 Voltcraft VC-8314265 LX-10

Voltcraft VC-8314265 LX-10 je digitalni uređaj koji se koristi za mjerenje jačine osvjetljenja u luxima (lx). Ovaj uređaj namijenjen je profesionalnim i hobi korisnicima koji trebaju precizna mjerenja svjetlosti u različitim okruženjima, kao što su industrijski objekti, radni prostori, uredi, ceste i drugi prostori gdje je kontrola rasvijetljenosti ključna za sigurnost i učinkovitost. Mjerno područje uređaja pokriva širok raspon mjerenja osvjetljenja od 0 do 199,900 luxa, omogućujući korisnicima precizna mjerenja u različitim uvjetima osvjetljenja, od slabih do vrlo jakih izvora svjetlosti. Uređaj je opremljen jasnim LCD zaslonom koji prikazuje izmjerene vrijednosti, a jednostavan dizajn omogućava korisniku lako rukovanje. Funkcionalnost uređaja obuhvaća osnovne funkcije kao što su zadržavanje podataka (Data Hold) i automatsko isključivanje radi uštede energije. Uređaj koristi visokokvalitetni silicijski fotodetektor s filtrom, koji osigurava točnost mjerenja i minimalno odstupanje od stvarnih vrijednosti osvjetljenja. LX-10 je lagan i kompaktan, što ga čini prikladnim za mobilne aplikacije i terenska mjerenja. Zahvaljujući ergonomskom dizajnu, jednostavno ga je nositi i koristiti u različitim uvjetima. Ovaj luksmetar može se koristiti u raznim područjima, uključujući kontrolu kvalitete rasvjete u urbanim sredinama, provjeru uvjeta osvjetljenja na radnim mjestima, kao i pri projektiranju rasvjete u cestovnom prometu. To ga čini korisnim alatom u analizama poput sigurnosne procjene cestovne rasvjete u urbanim sredinama, kao što je Grad Zagreb. Na Slika 9 prikazan je mjerni uređaj Voltcraft LX-10. [8]



Slika 9. Voltcraft LX - 10

6.2 Rezultati provedenog mjerenja

Mjerenja jačine osvjetljenja provedena su po ključnim prometnicama Grada Zagreba. Mjerenja su izvođena na način da su se na svakoj dionici mjerila minimalno dva rasvjetna tijela, a ukoliko je bilo moguće golim okom uočiti neke anomalije, ta rasvjetna tijela i ostala tijela oko njih dodatno su se provjeravala i mjerila. Mjerenja su se izvela na 8 različitih lokacija. Na svakoj lokaciji mjerenje je provedeno direktno ispod samog rasvjetnog tijela te između 2 različita rasvjetna tijela. Na Slika 10 je prikazano makro područje na kojem je provedeno mjerenje.



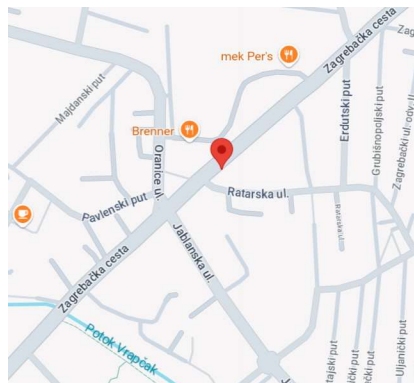
Slika 10. Makro područje - Grad Zagreb
Izvor: [9]

6.2.1 Zagrebačka cesta

Zagrebačka cesta nalazi se u gradu Zagrebu, u naselju Trešnjevka. Zagrebačka cesta spaja Slavonsku aveniju te ulicu Ilicu, a njena duljina iznosi 3,5 kilometara. Duž Zagrebačke ceste postavljena je jednostrana LED rasvjeta. Vrijednosti LED rasvjete ujednačene su duž cijele dionice i kreću se između 25 i 30 lx. Pad jačine osvjetljenja između stupova je minimalan, rasvjeta je moderna te dobro pozicionirana. Cesta nema crnih točaka. Iz Tablica 5 moguće je iščitati rezultate mjerenja, a na Slika 11 i Slika 12 prikazana je lokacija i izgled mjerenog područja.

Tablica 5. Rezultati mjerenja Zagrebačke ceste

| Zagrebačka cesta | Vrijednost 1 | Vrijednost 2 | Vrijednost 3 | Vrijednost 4 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ispod rasvjetnog tijela | 25lx | 30lx | 28lx | 27lx |
| Između dva rasvjetna tijela | 14lx | 16lx | 15lx | 16lx |



Slika 11. Mikro lokacija mjerenja Zagrebačke ceste
Izvor: [9]



Slika 12. Rasvjeta Zagrebačke ceste

6.2.2 Ulica grada Vukovara

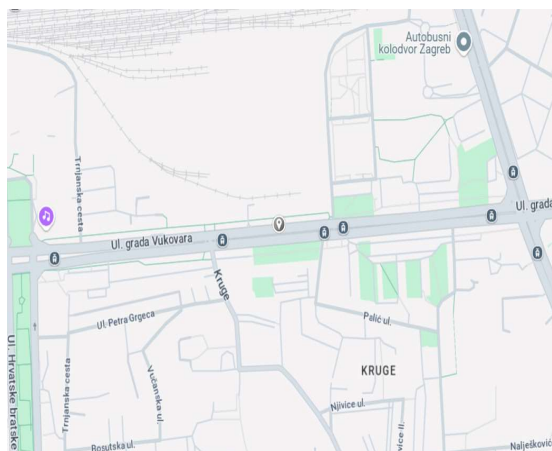
Ulica grada Vukovara spaja naselja Trešnjevka i Volovčica, a razdvaja gradske četvrti Martinovku i Vrbič, a prolazi i sjevernim dijelom Trnja i Kruga. Ulica grada Vukovara zbog svojeg smještaja u gradu Zagrebu dodiruje se sa mnogim važnim Zagrebačkim pravcima, kao što su Savska cesta, ulica hrvatske bratske zajednice, aveniju Marina Držića i Heinzelovu ulicu. Sastoji se od 2 različita načina postavljanja rasvjete te od različitih rasvjetnih tijela. Na dijelu od križanja sa Savskom do križanja sa ulicom Hrvatske bratske zajednice koristi se „žuta“ rasvjeta pozicionirana jednostrano u oba smjera, sa po dva rasvjetna tijela po nosaču, dok se na dijelu od križanja sa ulicom Hrvatske bratske zajednice pa do križanja sa Heinzelovom ulicom koristi LED rasvjeta. Ulicom grada Vukovara prometuju i tramvajske linije koje se nalaze u razdjelnom pojasu ulice.

6.2.2.1 Ulica grada Vukovara – LED

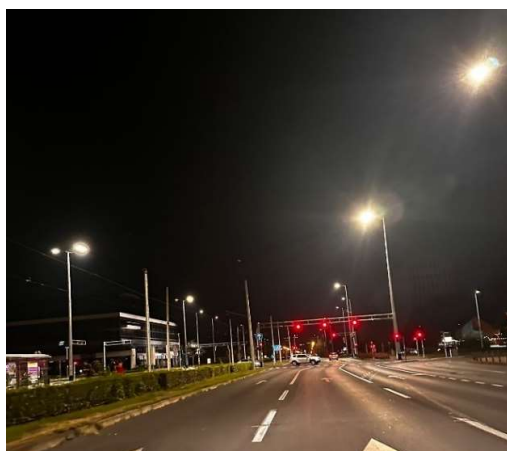
U Tablica 6 prikazane su izmjerene vrijednosti za dio ulice grada Vukovara od križanja sa ulicom Hrvatske bratske zajednice do križanja sa Heinzelovom ulicom gdje je u upotrebi suvremena LED rasvjeta, a na Slika 14 prikazana je rasvjeta ulice grada Vukovara.

Tablica 6. Rezultati mjerenja ulice grada Vukovara od križanja sa ulicom Hrvatske bratske zajednice do križanja sa Heinzelovom ulicom

| Ulica grada Vukovara | Vrijednost 1 | Vrijednost 2 | Vrijednost 3 | Vrijednost 4 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ispod rasvjetnog tijela | 32lx | 35lx | 33lx | 36lx |
| Između dva rasvjetna tijela | 20lx | 18lx | 17lx | 21lx |



Slika 13. Mikro lokacija mjerenja Ulice grada Vukovara
Izvor: [9]



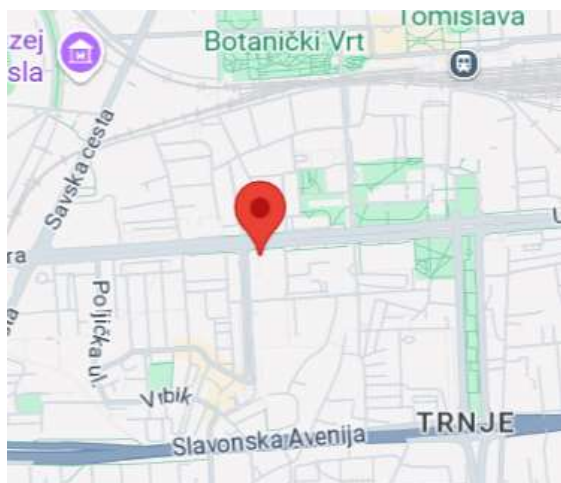
Slika 14. Rasvjeta ulice grada Vukovara

6.2.2.2 Ulica grada Vukovara – halogena rasvjetna tijela

U Tablica 7 prikazane su izmjerene vrijednosti između križanja sa ulicom Hrvatske bratske zajednice do križanja sa Heinzelovom ulicom gdje su upotrijebljena halogena rasvjetna tijela. Prikaz mikro lokacije vidljiv je na Slika 15, dok je izgled ulice grada Vukovara prikazan na Slika 16.

Tablica 7. Rezultati mjerenja ulice grada Vukovara od križanja sa Savskom cestom pa do križanja sa ulicom Hrvatske bratske zajednice

| Ulica grada Vukovara | Vrijednost 1 | Vrijednost 2 | Vrijednost 3 | Vrijednost 4 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ispod rasvjetnog tijela | 22lx | 23lx | 24lx | 22lx |
| Između dva rasvjetna tijela | 8lx | 9lx | 7lx | 8lx |



Slika 15. Mikro lokacija mjerenja Ulice grada Vukovara
Izvor: [9]



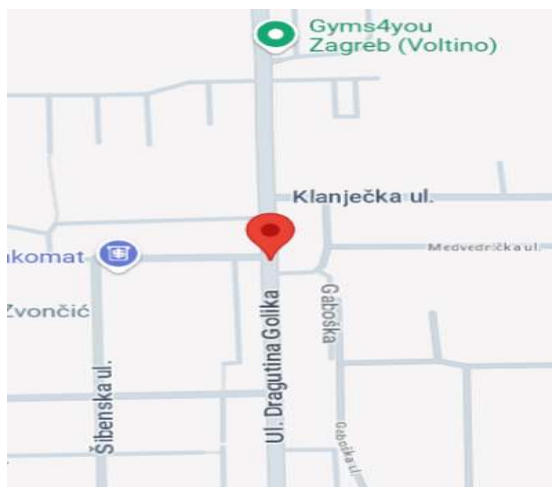
Slika 16. Rasvjeta ulice grada Vukovara

6.2.3 Ulica Dragutina Golika

Ulica Dragutina Golika nalazi se između gradskih četvrti Rudeš i Trešnjevka. Ulica Dragutina Golika ima duljinu od 1,7 kilometara. Ulica Dragutina Golika spaja Slavonsku aveniju i Zagrebačku cestu. Sastoji se od jednostrane cestovne rasvjete koja je dijelom LED, a dijelom halogena. Vrijednosti izmjerene u ulici Dragutina Golika prikazane su u Tablica 8. Rezultati mjerenja ulice Dragutina Golika, a na Slika 17 i Slika 18 prikazane su mikro lokacija te rasvjeta ulice.

Tablica 8. Rezultati mjerenja ulice Dragutina Golika

| Ulica Dragutina Golika | Vrijednost 1 - LED | Vrijednost 2 - LED | Vrijednost 3 - halogena | Vrijednost 4 - halogena |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ispod rasvjetnog tijela | 38lx | 36lx | 18lx | 19lx |
| Između dva rasvjetna tijela | 22lx | 25lx | 8lx | 7lx |



Slika 17. Mikro prikaz lokacije ulice Dragutina Golika
Izvor: [9]



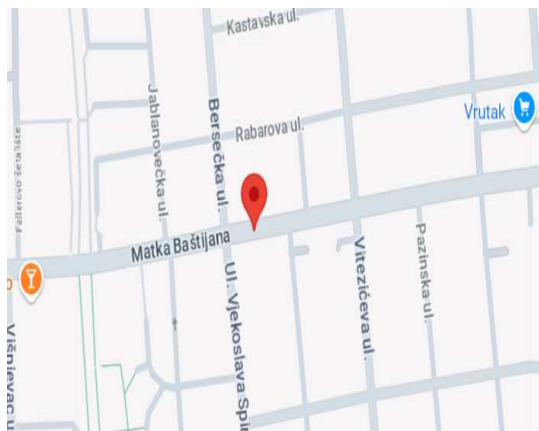
Slika 18. Rasvjeta ulice Dragutina Golika

6.2.4 Ulica Matka Baštijana

Ulica Matka Baštijana povezuje ulicu Dragutina Golika i Selsku cestu. Njena duljina iznosi 1,4 kilometra, a cesta je smještena u gradskim četvrtima Rudeš i Trešnjevka. Sastoji se od jednostranog tipa cestovne rasvjete, a rasvjetna tijela su halogena. Vrijednosti izmjerene u ulici Matka Baštijana prikazane su u Tablica 9, a detaljniji prikaz lokacije te izgled rasvjete u ulici Matka Baštijana vidljiv je iz slika Slika 199 i Slika 200.

Tablica 9. Rezultati mjerenja ulice Matka Baštijana

| Ulica Matka Baštijana | Vrijednost 1 | Vrijednost 2 | Vrijednost 3 | Vrijednost 4 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ispod rasvjetnog tijela | 43lx | 44lx | 42lx | 43lx |
| Između dva rasvjetna tijela | 18lx | 20lx | 19lx | 18lx |



Slika 19. Mikro prikaz lokacije ulice Matka Baštijana
Izvor: [9]



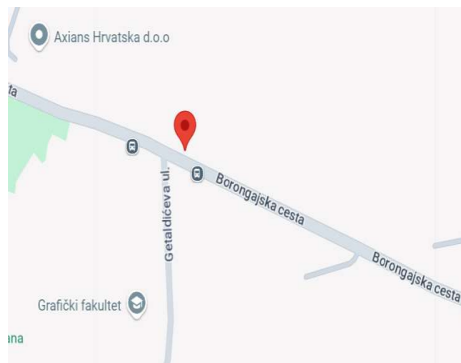
Slika 20. Rasvjeta ulice Matka Baštijana

6.2.5 Borongajska cesta

Borongajska cesta povezuje trg Volovčicu sa križanjem ulice Marijana Čavića i ulice Vukomerec. Duljina joj iznosi 2 kilometra, a nalazi se u gradskoj četvrti Borongaj. sastoji se od jednostrane cestovne rasvjete koja se rabi halogenim rasvjetnim tijelima. Iz Tablica 10. Rezultati mjerenja Borongajske ceste moguće je uvidjeti da halogena rasvjeta tokom cijele ceste nije ujednačena. Na Slika 21 prikazano je mikro područje mjerenja, a Slika 22 prikazuje izgled rasvjete na Borongajskoj cesti.

Tablica 10. Rezultati mjerenja Borongajske ceste

| Borongajska cesta | Vrijednost 1 | Vrijednost 2 | Vrijednost 3 | Vrijednost 4 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ispod rasvjetnog tijela | 21lx | 17lx | 48lx | 51lx |
| Između dva rasvjetna tijela | 8lx | 10lx | 19lx | 20lx |



Slika 21. Mikro prikaz lokacije Borongajske ceste
Izvor: [9]



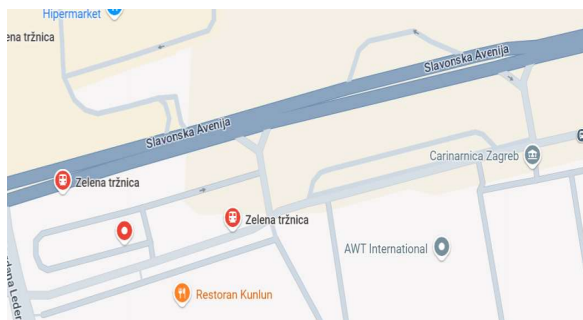
Slika 22. Rasvjeta Borongajske ceste

6.2.6 Slavonska avenija – ogranak zelena tržnica

Ogranak Slavonske avenije koji se nalazi kod zelene tržnice u gradskoj četvrti Žitnjak. Sastoji se od jednostrane halogene rasvjete. Rezultati mjerenja prikazani su u Tablica 11, a točna lokacija prikazana je na Slika 23 **Error! Reference source not found.**te Slika 24 prikazuje izgled rasvjete na toj dionici.

Tablica 11. rezultati mjerenja Slavonske avenije

| Slavonska avenija - ogranak | Vrijednost 1 | Vrijednost 2 | Vrijednost 3 | Vrijednost 4 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ispod rasvjetnog tijela | 21lx | 23lx | 22lx | 20lx |
| Između dva rasvjetna tijela | 10lx | 11lx | 9lx | 10lx |



Slika 23. Mikro prikaz lokacije ogranka Slavonske Avenije
Izvor: [9]



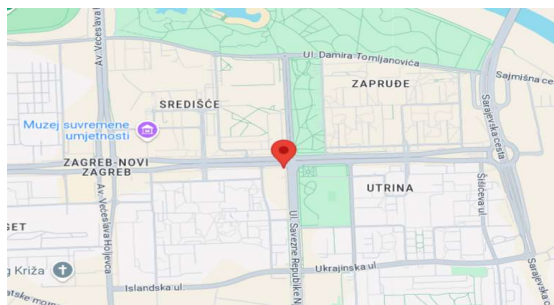
Slika 24. Rasvjeta Slavonska avenija - ogranak

6.2.7 Avenija Dubrovnik

Na aveniji Dubrovnik postavljena je centralno orijentirana cestovna rasvjeta sa po 3 rasvjetna tijela na svakom nosaču. Podaci dobiveni mjerenjem vidljivi su u Tablica 12, a razlog zbog relativno visokih rezultata su upravo po tri rasvjetna tijela na jednom nosaču, unatoč tome što rasvjetna tijela sadržavaju žarnu nit. Mikro prikaz lokacije prikazan je na Slika 25, a izgled rasvjete prikazan je na Slika 26.

Tablica 12. Rezultati mjerenja na aveniji Dubrovnik

| Avenija Dubrovnik | Vrijednost 1 | Vrijednost 2 | Vrijednost 3 | Vrijednost 4 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ispod rasvjetnog tijela | 42lx | 41lx | 40lx | 41lx |
| Između dva rasvjetna tijela | 24lx | 23lx | 21lx | 22lx |



Slika 25. Mikro prikaz lokacije mjerenja na aveniji Dubrovnik
Izvor: [9]



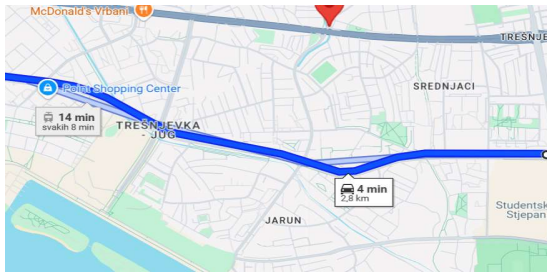
Slika 26. Rasvjeta avenija Dubrovnik

6.2.8 Horvaćanska cesta

Horvaćanska cesta proteže se kroz gradske četvrti Srednjaci, Jarun te Prečko. Duljina joj iznosi 4,2 kilometra. U sklopu Horvaćanske ceste, uz cestovna vozila prometuju i tramvaji. Na Horvaćanskoj cesti rasvjeta je centralno orijentirana te se sastoji od dva rasvjetna tijela po smjeru prometa što čini ukupno po četiri halogena rasvjetna tijela na jednom nosaču. Podaci dobiveni mjerenjem prikazani su u Tablica 13, a na Slika 27 i Slika 28 prikazana je mikro lokacija Horvaćanske ceste te izgled iste.

Tablica 13. Rezultati mjerenja na Horvaćanskoj cesti

| Avenija Dubrovnik | Vrijednost 1 | Vrijednost 2 | Vrijednost 3 | Vrijednost 4 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ispod rasvjetnog tijela | 31lx | 32lx | 31lx | 30lx |
| Između dva rasvjetna tijela | 14lx | 16lx | 15lx | 14lx |



Slika 27. Mikro prikaz lokacije mjerenja Horvaćanske ceste
Izvor: [9]



Slika 28. Rasvjeta Horvaćanske ceste

7. Prijedlog mjera za poboljšanje rasvijetljenosti cesta i cestovnih objekata

Učinkovita cestovna rasvjeta ključna je za osiguravanje sigurnosti i vidljivosti u cestovnom prometu, posebno u noćnim uvjetima i nepovoljnim vremenskim prilikama. Kvalitetna rasvjeta ne samo da omogućuje vozačima i pješacima jasno prepoznavanje prepreka i prometne signalizacije, već također doprinosi smanjenju broja prometnih nesreća. Međutim mnoge ceste i cestovni objekti, kao što su mostovi, tuneli i raskrižja, i dalje ne ispunjavaju potrebne standarde rasvijetljenosti.

Zbog navedenog potrebno je obaviti opsežna ispitivanja luminancije svih rasvjetnih tijela s žarnom niti kako bi se utvrdile nepravilnosti u njihovom radu, budući da su na više prometnih dionica uočeni slučajevi u kojima jedno rasvjetno tijelo emitira svjetlost znatno slabije od drugih na istoj dionici. Primjer takvog problema može se vidjeti na Borongajskoj cesti, gdje slaba luminancija može ozbiljno ugroziti sigurnost u prometu, smanjujući vidljivost noću. Nadalje, na dionicama uz koje se nalazi drveće i ostala vegetacija potrebno je redovito održavati i uređivati tu istu vegetaciju. U ulici grada Vukovara se događa da grane drveća vise ispod rasvjetnih tijela, što zaklanja svjetlost koju ona emitiraju. Budući da se na tom dijelu ulice koriste rasvjetna tijela s žarnom niti, koja postižu visoke temperature, postoji i povećan rizik od zapaljenja, osobito u jesenskom razdoblju kada je lišće suho. Također, preporuča se da sva rasvjetna tijela s žarnom niti budu opremljena odgovarajućim poklopcima koji će maksimalno usmjeriti svjetlost prema prometnici i njenoj okolini. Navedeni pristup omogućava bolje usmjeravanje korisnog snopa svjetlosti ne samo za poboljšanje osvjetljenost korisnih površina, već i za smanjenje rasipanje svjetlosti prema nepoželjnim zonama. Time se znatno smanjuje svjetlosno onečišćenje, koje je postalo rastući problem u urbanim područjima. Racionalno upravljanje rasvjetom ključno je za postizanje balansa između sigurnosti, energetske učinkovitosti i zaštite okoliša. Potrebno je ozbiljno razmotriti zamjenu svih postojećih rasvjetnih tijela s žarnom niti modernim LED rasvjetnim sustavima. LED rasvjeta nudi niz prednosti koje je čine idealnim rješenjem za cestovnu rasvjetu. Prije svega, LED tehnologija omogućuje znatno veću energetska učinkovitost u usporedbi s tradicionalnim žaruljama, što rezultira značajnim smanjenjem potrošnje električne energije. Dugoročno, ovakav sustav omogućava uštedu na troškovima održavanja i zamjene, budući da LED svjetiljke imaju mnogo dulji vijek trajanja, često i do petnaest puta dulji od klasičnih žarulja sa žarnom niti. Osim energetske učinkovitosti, LED rasvjeta pruža bolju kvalitetu svjetlosti, s mogućnošću preciznog upravljanja temperaturom boje i svjetlosnim tokovima. To omogućuje bolju vidljivost na cestama, smanjujući rizik od nesreća, dok se istovremeno minimizira neugodno bliještanje koje može ometati vozače. LED rasvjetni sustavi također nude bolju otpornost na vanjske uvjete poput vlage, ekstremnih temperatura i vibracija, čime se dodatno smanjuju troškovi održavanja i povećava pouzdanost rasvjetnog sustava. Unaprjeđenje rasvjete na našim cestama zahtijeva sustavni pristup, pri čemu je ključno postaviti jasne zakonske okvire. Trenutno ne postoji zakonom propisana norma koja regulira postavljanje cestovne rasvjete, već se to izvodi prema EN normama, što može dovesti do neujednačenosti u primjeni. Usvajanjem zakonskih propisa koji bi precizno

definirali minimalne standarde i kriterije za postavljanje rasvjete osiguralo bi se kvalitetnije osvjetljenje, povećala sigurnost na cestama te smanjili troškovi održavanja i energetska potrošnja. Uz to, izuzetno je važno da se cestovna rasvjeta postavlja tako da učinkovito osvjetljava prometne znakove. Pravilan raspored i intenzitet rasvjete osiguravaju da vozači i pješaci jasno uoče znakove, što omogućuje pravovremeno reagiranje na prometne upute i pravila. Ako prometni znakovi nisu adekvatno osvjetljeni, postoji rizik od neprepoznavanja važnih informacija, što može dovesti do nesreća ili prometnih zastoja.

8. Zaključak

Cestovna rasvjeta je izuzetno važna zbog svoje ključne uloge u sigurnosti i kvaliteti života. Dobro osvijetljeni putevi značajno smanjuju rizik od nesreća jer vozači i pješaci bolje vide prepreke, znakove i druge sudionike u prometu. Time se povećava vidljivost i omogućuje bolje orijentiranje, što smanjuje mogućnost nesreća. Osim toga, osvijetljena područja smanjuju mogućnost počinjenja kriminalnih djela, jer su vidljivija i stoga manje privlačna za počinitelje. Kvaliteta života također se poboljšava jer osvijetljene ulice stvaraju ugodnije okruženje za kretanje i obavljanje svakodnevnih aktivnosti i nakon zalaska sunca. U Gradu Zagrebu provedena je analiza javne rasvjete na osam različitih lokacija. Istraživanje je obuhvatilo mjerenje svjetlosne učinkovitosti na način da se mjerni uređaj postavljao ispod rasvjetnih tijela – četiri mjerenja po rasvjetnom tijelu na svakoj lokaciji, te dodatna četiri mjerenja između dva susjedna rasvjetna tijela. Ovaj pristup omogućio je detaljno sagledavanje učinkovitosti na analiziranim lokacijama. Potrebno je provesti opsežna ispitivanja luminancije svih rasvjetnih tijela s žarnom niti u gradu Zagrebu kako bi se utvrdile nepravilnosti, jer su zabilježeni slučajevi neujednačenog svjetlosnog zračenja na prometnicama, primjerice na Borongajskoj cesti. Loša luminancija može ozbiljno ugroziti sigurnost, smanjujući noćnu vidljivost. Također, na lokacijama s vegetacijom, kao u ulici Grada Vukovara, potrebno je održavati drveće koje zaklanja svjetlost i povećava rizik od požara zbog visokih temperatura žarulja. Preporučuje se zamjena žarulja sa žarnom niti LED rasvjetom zbog njihove energetske učinkovitosti, dugog vijeka trajanja i bolje kvalitete svjetlosti. LED rasvjeta smanjuje troškove održavanja i poboljšava sigurnost uz manje svjetlosno onečišćenje. Potrebno je i uspostaviti zakonske okvire za standardizaciju postavljanja rasvjete radi veće sigurnosti, uštede energije i optimalnog osvijetljenja prometnih znakova.

Literatura

- [1] Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [2] Ministarstvo unutarnjih poslova – bilteni o sigurnosti cestovnog prometa, <https://mup.gov.hr/otvoreni-podaci/287522> [Pristupljeno 28.08.2024]
- [3] Babić, D. Osnove prometne rasvjete, [Prezentacija] Vizualne informacije u prometu. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. 3. travanj 2019. [Pristupljeno 30.08.2024]
- [4] Mapiranje Trešnjevke, ulična rasvjeta Trešnjevke. <https://mapiranje-tresnjevke.com/aktivnosti/javna-rasvjeta/>
- [5] Večernji list, zbog biciklističke utrke za sav se promet u nedjelju zatvara važna prometnica na istoku Zagreba, <https://www.vecernji.hr/zagreb/zbog-biciklisticke-utrke-za-sav-se-promet-u-nedjelju-zatvara-vazna-prometnica-na-istoku-zagreba-1712947> [Pristupljeno 02.09.2024]
- [6] Večernji list, radi li tu itko išta zaboravite aute budućnost su bicikli, <https://www.vecernji.hr/zagreb/radi-li-tu-itko-ista-zaboravite-aute-buducnost-su-bicikli-1234105> [Pristupljeno 02.09.2024]
- [7] Journal, događanja u Zagrebu Veljača 2020, <https://www.journal.hr/lifestyle/dogadanja-u-zagrebu-veljaca-2020/> [Pristupljeno 02.09.2024]
- [8] RapidOnline, <https://www.rapidonline.com/voltcraft-1662853-lx-10-luxmeter-65-2937> [Pristupljeno 04.09.2024]
- [9] Google maps, <https://www.google.com/maps> [Pristupljeno 05.09.2024]
- [10] Hrvatski zavod za javno zdravstvo, <https://www.hzjz.hr/sluzba-epidemiologija-prevenција-nezaraznih-bolesti/nacionalni-dan-sigurnosti-cestovnog-prometa-3/> [Pristupljeno 06.09.2024]

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. Međusobna zavisnost temeljnih čimbenika sigurnosti cestovnog prometa..... | 3 |
| Slika 2. Izvor svjetlosti s žarnom niti..... | 15 |
| Slika 3. Prikaz geometrije sustava cestovne rasvjete..... | 17 |
| Slika 4. Centralni raspored izvora svjetlosti | 20 |
| Slika 5. Jednostrani raspored izvora svjetlosti..... | 20 |
| Slika 6. Dvostrani raspored izvora svjetlosti | 21 |
| Slika 7. Kombinirani raspored izvora svjetlosti..... | 21 |
| Slika 8. Aksijalni raspored izvora svjetlosti | 22 |
| Slika 9. Voltcraft LX - 10 | 23 |
| Slika 10. Makro područje - Grad Zagreb..... | 24 |
| Slika 11. Mikro lokacija mjerenja Zagrebačke ceste | 24 |
| Slika 12. Rasvjeta Zagrebačke ceste | 24 |
| Slika 13. Mikro lokacija mjerenja Ulice grada Vukovara | 25 |
| Slika 14. Rasvjeta ulice grada Vukovara | 25 |
| Slika 15. Mikro lokacija mjerenja Ulice grada Vukovara | 26 |
| Slika 16. Rasvjeta ulice grada Vukovara | 26 |
| Slika 17. Mikro prikaz lokacije ulice Dragutina Golika | 27 |
| Slika 18. Rasvjeta ulice Dragutina Golika..... | 27 |
| Slika 19. Mikro prikaz lokacije ulice Matka Baštijana..... | 27 |
| Slika 20. Rasvjeta ulice Matka Baštijana..... | 27 |
| Slika 21. Mikro prikaz lokacije Borongajske ceste | 28 |
| Slika 22. Rasvjeta Borongajske ceste | 28 |
| Slika 23. Mikro prikaz lokacije ogranka Slavonske Avenije..... | 29 |
| Slika 24. Rasvjeta Slavonska avenija - ogranak | 29 |
| Slika 25. Mikro prikaz lokacije mjerenja na aveniji Dubrovnik..... | 29 |
| Slika 26. Rasvjeta avenija Dubrovnik..... | 29 |
| Slika 27. Mikro prikaz lokacije mjerenja Horvaćanske ceste..... | 30 |
| Slika 28. Rasvjeta Horvaćanske ceste..... | 30 |

Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Podaci o broju prometnih nesreća u gradu Zagrebu u razdoblju od 2021. - 2023. godine..... | 7 |
| Tablica 2. Prometne nesreće prema satima u danu u razdoblju od 2012. - 2021..... | 8 |
| Tablica 3. Klase rasvjete za cestovni promet..... | 10 |
| Tablica 4. Preporučene minimalne vrijednosti kvalitete cestovne rasvjete cesta s motornim prometom za suhu površinu kolnika | 10 |
| Tablica 5. Rezultati mjerenja Zagrebačke ceste | 24 |
| Tablica 6. Rezultati mjerenja ulice grada Vukovara od križanja sa ulicom Hrvatske bratske zajednice do križanja sa Heinzelovom ulicom..... | 25 |
| Tablica 7. Rezultati mjerenja ulice grada Vukovara od križanja sa Savskom cestom pa do križanja sa ulicom Hrvatske bratske zajednice | 26 |
| Tablica 8. Rezultati mjerenja ulice Dragutina Golika | 26 |
| Tablica 9. Rezultati mjerenja ulice Matka Baštijana | 27 |
| Tablica 10. Rezultati mjerenja Borongajske ceste..... | 28 |
| Tablica 11. rezultati mjerenja Slavonske avenije | 28 |
| Tablica 12. Rezultati mjerenja na aveniji Dubrovnik | 29 |
| Tablica 13. Rezultati mjerenja na Horvaćanskoj cesti..... | 29 |

Popis grafikona

Grafikon 1. Prometne nesreće u satima po danu u razdoblju od 2012. - 2021.9

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je ZAVRŠNI RAD

(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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/diplomskog rada pod naslovom RASKVETA ČESTA I ČESTOVNIH OBJEKATA, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR. U GRADU ZAGREBU U FUNKCIJI SIGURNOSTI I PROMETA

Student/ica:

U Zagrebu, 09.09.2024

LUKA OVČARIĆ, Ovčarić
(ime i prezime, potpis)