

# Cestovna rasvjeta u funkciji sigurnosti cestovnog prometa

---

**Poljanec, Petra**

**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:119:171122>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-22**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Petra Poljanec**

**CESTOVNA RASVJETA U FUNKCIJI SIGURNOSTI  
CESTOVNOG PROMETA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2020.**

Zagreb, 31. ožujka 2020.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 5709

Pristupnik: **Petra Poljanec (0135248482)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

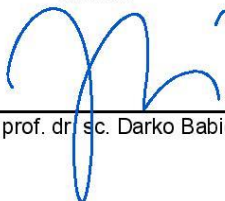
Zadatak: **Cestovna rasvjeta u funkciji sigurnosti cestovnog prometa**

### Opis zadatka:

Rasvjeta prometnica je važan aspekt sigurnosti cestovnog prometa je se zahtjevi vozača za dobrom vidljivošću znatno razlikuju od zahtjeva pješaka. Sustavi cestovne rasvjete koji jamče sigurnu i udobnu vožnju na cesti noću te vožnja danju i noću pri prolasku kroz tunel smatraju se kvalitetnim. Kvalitetna cestovna rasvjeta općenito pridonosi smanjenju prometnih nesreća, te otklanja loše posljedice efekta crnog otvora i crnog okvira pri ulasku i izlasku iz tunela danju ili noću.

Cilj završnog rada je analizirati cestovnu rasvjetu kao čimbenika sigurnosti cestovnog prometa koja može stvarati uvjete za bolje zapažanje te na taj način utjecati na smanjenje broja prometnih nesreća ili ublažavati njihove posljedice. Analiziranjem fizikalnih obilježja svjetlosti, značajki cestovne rasvjete, tehničke izvedbe te drugih bitnih pokazatelja moguće je definirati na koji način rasvjeta utječe na razinu sigurnosti cestovnog prometa.

Mentor:



izv. prof. dr. sc. Darko Babić

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

**Sveučilište u Zagrebu**

**Fakultet prometnih znanosti**

**ZAVRŠNI RAD**

**CESTOVNA RASVJETA U FUNKCIJI SIGURNOSTI  
CESTOVNOG PROMETA**

**ROAD LIGHTING IN THE FUNCTION OF ROAD SAFETY**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Darko Babić

Student: Petra Poljanec, 0135248482

Zagreb, kolovoz 2020.

# CESTOVNA RASVJETA U FUNKCIJI SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

## SAŽETAK

Cestovna rasvjeta važan je čimbenik sigurnosti tijekom vožnje noću. Osjetilom vida primamo većinu informacija prilikom vožnje. Cestovna rasvjeta povećava razinu osvjetljenja prometnice i njene okoline pa samim time vozač brže uočava prepreke i brže reagira na nepredviđene situacije, što smanjuje broj prometnih nesreća. Opisom obilježja svjetlosti i njenim utjecajem na čovjeka te analizom značajki cestovne rasvjete i novim metodama cestovne rasvjete pokazuje se na koji to način zapravo cestovna rasvjeta utječe na sigurnost cestovnog prometa.

**KLJUČNE RIJEČI:** cestovna rasvjeta, osvjetljenje, sigurnost, svjetlost, prometne nesreće

---

## SUMMARY

Road lighting is an important safety factor when driving at night. With vision we receive most of the information while driving. Road lighting has increases the illumination of roads and its environment, so a driver can faster notice obstacles and can faster react to unforeseen situations, which then reduces the number of traffic accidents. The described characteristics of light and its impact on humans, as well as the analysis of significant features of road lighting and new methods of road lighting together show how road lighting the affects road safety.

**KEY WORDS:** road lighting, illuminaton, safety, light, traffic accidents

# SADRŽAJ

1	UVOD .....	1
2	OSNOVE CESTOVNE RASVJETE .....	3
2.1	Svrha cestovne rasvjete .....	3
2.2	Fizikalna i svjetlotehnička obilježja svjetlosti .....	4
2.2.1	Svjetlosni tok .....	5
2.2.2	Jakost svjetlosti .....	6
2.2.3	Osvijetljenost .....	6
2.2.4	Luminancija .....	7
2.3	Električni izvori svjetla .....	7
3	UTJECAJ SVJETLOSTI NA VOZAČA .....	10
4	PAMETNA CESTOVNA RASVJETA .....	13
4.1	LED tehnologija .....	13
4.2	Sustavi umrežavanja uličnih svjetiljki .....	14
4.3	Primjeri sustava pametne cestovne rasvjete .....	14
5	ANALIZA RASVJETE CESTA ZA MOTORNI PROMET .....	17
5.1	Mjerila kvalitete rasvjete cesta za motorni promet .....	17
5.1.1	Razina sjajnosti površine kolnika .....	17
5.1.2	Jednolikost sjajnosti površine kolnika .....	17
5.1.3	Razina rasvijetljenosti okolice ceste .....	18
5.1.4	Ograničenje bliještanja .....	19
5.1.5	Spektralni sastav izvora svjetlosti .....	19
5.1.6	Vizualno i optičko vođenje .....	19
5.2	Raspored i visina izvora svjetlosti .....	20
5.2.1	Raspored izvora svjetlosti na cestama za motorni promet .....	20
5.2.2	Raspored izvora svjetlosti u tunelima .....	23

5.2.3	Visina postavljanja svjetiljki .....	24
5.3	Klase javne rasvjete .....	24
6	UTJECAJ CESTOVNE RASVJETE NA SIGURNOST PROMETA.....	27
6.1	Ovisnost razine luminancije i prometnih nesreća.....	28
6.2	Prometne nesreće prije i poslije postavljanja rasvjete .....	32
6.3	Utjecaj novih tehnologija cestovne rasvjete na sigurnost prometa.....	33
7	ZAKLJUČAK .....	36
	POPIS LITERATURE .....	37
	POPIS SLIKA .....	40
	POPIS TABLICA.....	41

# 1 UVOD

Tema završnog rada je cestovna rasvjeta u funkciji sigurnosti cestovnog prometa. Velik broj prometnih nesreća događa se noću zbog smanjene vidljivosti. Značajnu ulogu u smanjenju broja prometnih nesreća noću ima cestovna rasvjeta. Cestovna rasvjeta povećava vidljivost na prometnici i njejoj okolini, a jače osvjetljenje pogoduje da vozač lakše ostane budan za volanom.

Cestovna rasvjeta mora osigurati jednoliku osvjetljenost kolnika i okoline te smanjiti efekt bliještanja kada ususret vozilu nailazi drugo vozilo. Osjetilo vida je najvažnije za sigurnu vožnju, shodno tome potrebno je osigurati kvalitetnu rasvjetu prometnica. Pješaci su posebice u opasnosti noću, kreću li se uz rub kolnika ili prelaze kolik koji nije osvjetljen teže ih je uočiti te može doći do teških prometnih nesreća.

Ovaj završni rad podijeljen je u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Osnove cestovne rasvjete
3. Utjecaj svjetlosti na vozača
4. Pametna cestovna rasvjeta
5. Analiza rasvjete cesta za motorni promet
6. Utjecaj cestovne rasvjete na sigurnost prometa
7. Zaključak

U drugoj cjelini opisano je koja je svrha cestovne rasvjete. Navedena su i objašnjena fizikalna i svjetlotehnička svojstva svjetla te električni izvori svjetlosti.

U trećem poglavlju opisuje se kakav utjecaj ima svjetlost na vozača, kako svjetlost dopire u oko te je opisano vidno polje vozača.

Četvrta cjelina navodi nove tehnologije u cestovnoj rasvjeti. Pametna cestovna rasvjeta može doprinijeti smanjenju troškova i manjem zagađenju okoliša, a povećati sigurnost prometa.



U petom poglavlju analizira se cestovna rasvjeta. Navedena su mjerila kvalitete rasvjete, kakav je raspored i visina izvora svjetlosti te koje su klase javne rasvjete.

U šestom poglavlju opisuje se utjecaj cestovne rasvjete na sigurnost prometa, kako cestovna rasvjeta pospješuje smanjivanje broja prometnih nesreća koje se događaju noću.

## 2 OSNOVE CESTOVNE RASVJETE

Cestovna rasvjeta važan je preduvjet sigurnosti cestovnog prometa. Cestovna rasvjeta poboljšava vozačevo vidno polje noću te doprinosi lakšem i bržem uočavanju opasnosti na cesti. Cestovna rasvjeta postavlja se na mjestima povećane opasnosti kao što su dionice cesta i autocesta, mostovi, tuneli i galerije, prometna čvorišta, granični prijelazi i sl. [1]

### 2.1 Svrha cestovne rasvjete

Dobrom rasvjetom povećava se udobnost vožnje, ali i smanjuje umor vozača. Cestovna rasvjeta pomaže prilikom vožnje noću jer vozač mora pravovremeno uočiti opasnost na cesti kako bi mogao reagirati što brže. Cestovna rasvjeta u vožnji noću mora omogućiti:

- vozačima motornih, zaprežnih i drugih vozila te biciklistima – što sigurniju vožnju
- pješacima – uočavanje potencijalne opasnosti i stjecanje dojma opće sigurnosti pri kretanju prometnicom
- vozačima i pješacima – što bolje zapažanje cjeline i važnih detalja vidne okoline. [1]

Cestovna rasvjeta postavlja se u zonama povećane opasnosti u prometu pa se cestovnom rasvjetom opremaju: dionice cesta i autocesta, mostovi, tuneli i galerije, prometna čvorišta u dvije i više razina, granični prijelazi, prometno-uslužni objekti autocesta i brzih cesta, te prometne površine centara za održavanje i kontrolu prometa. [1]

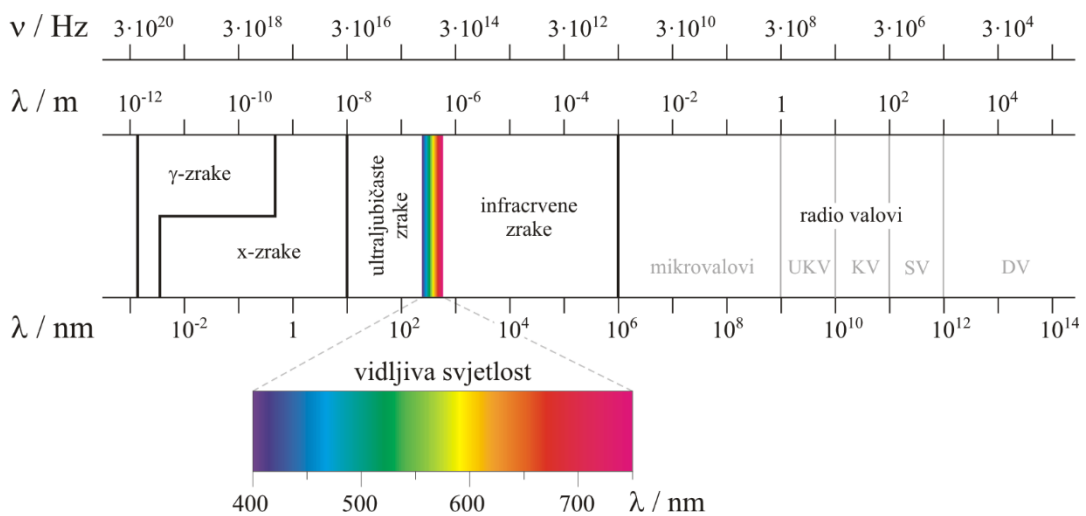
Razlikuje se vidljivost vozila i pješaka u prometu noću pa treba posvetiti pozornost rasvjeti prometnica s motornim prometom. Kvaliteta prometne rasvjete utječe na sigurnost u cestovnom prometu. Kvalitetna cestovna rasvjeta općenito: pridonosi smanjenju prometnih nezgoda, otklanja loše posljedice efekta „crnog otvora“ i „crnog okvira“ pri ulazu u tunel i izlazu iz tunela danju ili noću, olakšava prilagođavanje oka vozača na promjene svjetla pri prolasku kroz tunel, omogućuje brže kretanje motornih vozila, a time i povećanje propusne moći, pridonosi većem iskorištenju cestovne mreže noću i jamči sigurno kretanje pješaka i vozila. [1]

Dobrom prometnom rasvjetom smanjuje se broj prometnih nesreća za razliku od prometnica koje su loše osvijetljene ili uopće nisu osvijetljene. Potrebno je osigurati da cestovna rasvjeta bude jednolična te da su osvijetljena sva kritična mjesta. S obzirom na vožnju, rasvjeta mora zadovoljavati ove uvjete: tijekom vožnje prometnica mora biti vidljiva u svim detaljima,

trasa prometnice mora biti uočljiva i označena vizualno, tj. opremljena različitim pomoćnim sredstvima, sva opasna mjesta treba istaknuti kako bi vozač mogao na vrijeme primijetiti opasnost, mora biti osigurana udobnost vidljivosti da se vozač ne napreže tijekom vožnje, sva horizontalna i vertikalna signalizacija i drugi uređaji moraju biti vidljivi i ne smiju zasljepljivati vozača. [2]

## 2.2 Fizikalna i svjetlotehnička obilježja svjetlosti

Svjetlost se definira kao elektromagnetsko zračenje koje je vidljivo ljudskom oku. Glavno obilježje svjetlosti je pravocrtno širenje. Fizikalne veličine odnose se na dio kada se svjetlost promatra energetski, kao elektromagnetski val ili čestica. Vidljiva svjetlost sastoji se od dijela spektra elektromagnetskih valova u rasponu od 380 do 780 nanometara koje ljudsko oko razlikuje kao boje, a to je vidljivo na slici 1. Svjetlotehničke veličine razlikuju se od fizikalnih u tome što vrjednuju svjetlost na temelju osjetilnog efekta i ograničene su samo na vidljivu svjetlost. [2]



Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja

Izvor: [13]

Među svjetlotehničke veličine ubrajaju se svjetlosni tok, jakost svjetlosti, osvjetljenje i luminancija. Osnovne svjetlotehničke veličine s odgovarajućim mjernim jedinicama i međusobnim odnosima prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Osnovne svjetlotehničke veličine s formulama i mjernim jedinicama

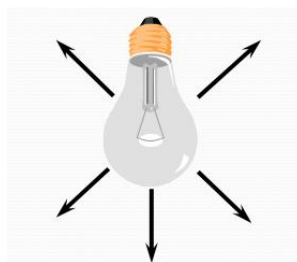
Veličina	Oznaka	Formula	Mjerna jed.
<b>Svjetlosni tok (fluks)</b>	<b><math>\Phi</math> ili F</b>	<b><math>\Phi = I \times \Omega</math></b>	Lumen (lm)
<b>Jakost svjetla</b>	<b>I</b>	<b><math>I = \Phi / \Omega</math></b>	Candela (cd)
<b>Osvjetljenje</b>	<b>E</b>	<b><math>E = \Phi / S</math></b>	Lux (lx)
<b>Sjajnost</b>	<b>L</b>	<b><math>L = I / S</math></b>	Candela po kvadratnom metru (cd/m <sup>2</sup> )

- S – osvijetljena ili svjetleća površina (m<sup>2</sup>)
- $\Omega$  – prostorni kut (steradian, sr)

Izvor: [4]

### 2.2.1 Svjetlosni tok

Svjetlosni tok ( $\Phi$ ) (slika 2) predstavlja snagu zračenja koju emitira izvor svjetla u svim smjerovima. Ljudsko oko vrjednuje svjetlosni tok kao svjetlost prema krivulji osjetljivosti oka. Jedinica za svjetlosni tok je lumen (lm), izvedena je jedinica SI sustava - točkasti izvor svjetla ima svjetlosni tok od 1 lm kada u prostorni kut od 1 sr (steradian) zrači jakošću svjetlosti od 1 cd (kandela). 1 sr je prostorni kut koji ima ishodište u centru kugle a koji na kuglinoj plohi isijeca površinu jednaku kvadratu kuglina polumjera. [3]



Slika 2. Svjetlosni tok,

Izvor: [3]

### 2.2.2 Jakost svjetlosti

Jakost svjetlosti ( $I$ ) (slika 3) predstavlja snagu zračenja koju emitira izvor svjetla u određenom smjeru. Jedinica jakosti svjetlosti je candela (cd). To je osnovna jedinica SI sustava definirana kao jakost svjetlosti koju u određenom smjeru zrači monokromatski izvor svjetla frekvencije  $540 \times 10^{12}$  Hz (herc) i snage zračenja u tom smjeru od  $1/683$  W/sr (Wat/steradian). Jakost svjetlosti može se predstaviti vektorom, spajanjem svih vrhova vektora u jednoj ravnini izvora svjetlosti dobiva se krivulja distribucije jakosti svjetlosti (fotometrijska krivulja). [3]

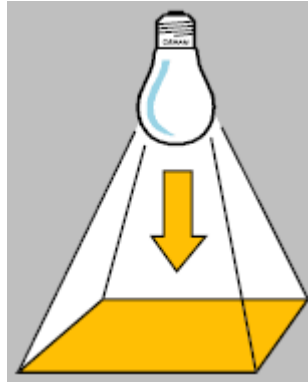


Slika 3. Jakost svjetlosti

Izvor: [3]

### 2.2.3 Osvijetljenost

Osvijetljenost ( $E$ ) (slika 4) je mjerilo za količinu svjetlosnog toka koja pada na određenu površinu. Jedinica za osvjetljenost je lux (lx). Lux je definiran kao osvjetljenost 1 kvadratnog metra na koju pada ravnomjerno raspodijeljen svjetlosni tok od 1 lm. Osvjetljenost je računaska veličina, koju naše oko ne primjećuje. Razlikuje se osvjetljenost površine i osvjetljenost u točki. Osvjetljenost površine je omjer svjetlosnog toka izvora svjetlosti koji pada na zadanu površinu. Osvjetljenost točke određene površine je omjer jakosti izvora svjetlosti koja pada na tu točku i kvadrata udaljenosti. [3]

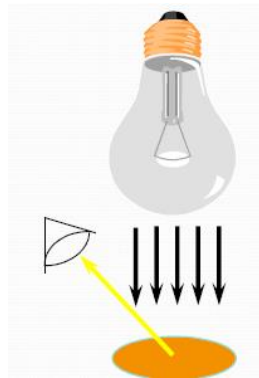


Slika 4. Osvjetljenost

Izvor: [3]

## 2.2.4 Luminancija

Luminancija ili sjajnost ( $L$ ) (slika 5) je osjećaj svjetline koji svjetleća ili rasvijetljena ploha emitira u ljudsko oko. Mjeri se u kandelama po metru kvadratnom [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]. To je jedina stvarno vidljiva svjetlotehnička veličina. [3]



Slika 5. Luminancija

Izvor: [4]

## 2.3 Električni izvori svjetla

Električni izvori svjetlosti su naprave koje pretvaraju električnu u svjetlosnu energiju na jedan ili više načina i zrače je u obliku elektromagnetskih valova koje čovjekov vid doživljava kao svjetlost. Električni izvori svjetlosti mogu se podijeliti u dvije skupine: izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama te izvori svjetlosti s užarenom niti. [6]

Kod cestovne rasvjete primjenjuju se izvori svjetlosti s izbijanjem kroz plemenite plinove i metalne pare: - visokotlačna natrijeva žarulja (NAV)

- visokotlačna živina žarulja (HQL)
- visokotlačna metalhalogena žarulja (HQI)
- niskotlačna natrijeva cijev (SOX-E)
- niskotlačna fluorescentna cijev (L)
- fluokompaktna žarulja. [1]

Izvori svjetlosti s užarenom niti koriste se sve rjeđe, samo u manjim naseljima i na sporednim cestama. Proizvode svjetlost dovodeći spiralu od volframove žice do visoke temperature prolaskom električne energije kroz nju. [1]

Danas se sve češće koristi javna LED rasvjeta zbog mnogih prednosti. Svjetleće diode (eng. light emitting diode - LED) su poluvodički uređaji koji emitiraju svjetlo temeljem pojave elektroluminiscencije na području p-n (anoda-katoda) spoja pri rekombinaciji protona i elektrona. Izumljena je 1962. godine i izumio ju je Nick Holonyak iz tvrtke General Electric. Bijelo svjetlo može se LED diodama proizvesti na nekoliko načina, a u javnoj rasvjeti se uglavnom koriste dva načina, i to korištenjem plave LED diode s fluorescentnim premazom i miješanjem svijetla plave, crvene i zelene LED diode. Postoje LED diode u javnoj rasvjeti koje svjetlosnim tijekom mogu doseći i preko 120 lm/W. Životni vijek LED dioda je preko 50 000 sati, ali to ovisi i o kvaliteti hlađenja svjetlećih dioda. Temperatura boje LED dioda je promjenjiva, ali svjetleće diode koje imaju niže temperature boje, imaju manju efikasnost od LED dioda iste snage i veće temperature boja. Uporaba LED dioda u javnoj rasvjeti dovela je do velikih promjena u dizajnu svjetiljki (slika 6). Kompaktan oblik i relativno nizak intenzitet svake LED diode zahtijevaju uporabu većeg broja LED dioda u svjetiljci te usmjeravanje svjetlosnog toka svake LED diode zasebno. Prednosti LED svjetiljki su: manja potrošnja električne energije, puno duži životni vijek, nema štetnih sastojaka, izdržljivije od običnih žarulja, manje zagađenje. [2,9]



Slika 6. LED svjetiljka u javnoj rasvjeti

Izvor: [16]



### 3 UTJECAJ SVJETLOSTI NA VOZAČA

Čovjek kao čimbenik sigurnosti prometa ima najveću ulogu. Čovjek kao vozač svojim osjetilima prima informacije iz okoline koje mu pomažu u vožnji. Najvažnije osjetilo za vožnju je osjetilo vida, a organ vida je oko. Vozač putem vida prima preko 95 % informacija.

Na sigurnost prometa u noćnim uvjetima u znatnoj mjeri utječe gubitak ili slabljenje osnovnih vidnih funkcija u mraku ili u sumraku. Opadanjem opće osvjetljenosti postupno se smanjuju i gube skoro sve osnovne vidne funkcije: oštrina vida, kontrastna osjetljivost, dubinsko viđenje, brzina zapažanja i razlikovanje boja. Smanjenjem ili gubitkom vida povećava se rizik nastanka prometnih nesreća. [6]

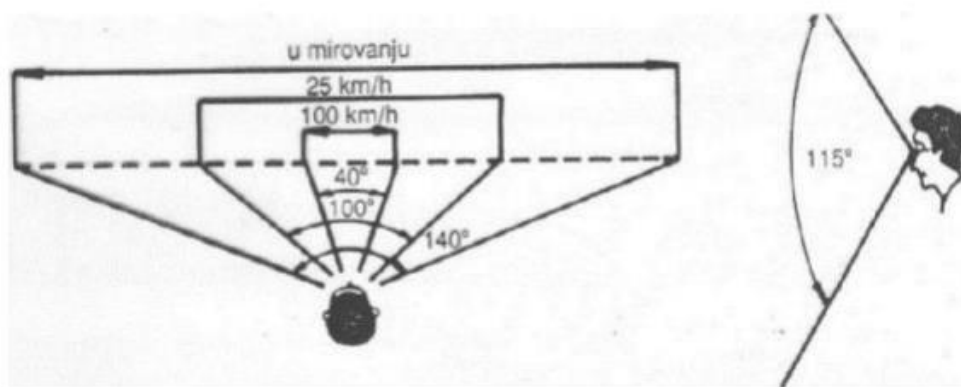
Na stražnjem dijelu oka nalazi se mrežnica koja u sebi sadrži fotoosjetljive receptore, štapiće i čunjiće. Čunjića postoji oko 6-7 milijuna, osjetljivi su na boju te omogućavaju oštru i detaljnu sliku na jakom svjetlu. Štapići su receptori kojih ima oko 75-100 milijuna, oni daju generalnu, široku sliku scene. Nisu osjetljivi na boju, već služe uglavnom pri slabom svjetlu i vrlo su osjetljivi za percepciju kretanja objekata u vidnom polju i za registriranje pojave treperenja. [5]

S obzirom na čunjiće i štapiće te njihovu ulogu razlikujemo tri osnovne vrste viđenja, a to su: skotopsko viđenje, fotopsko viđenje i mezopsko viđenje. Razlikuju se u prilagodbi oka na određene sjajnosti. Skotopsko viđenje je viđenje ljudskog oka koje je prilagođeno na sjajnosti ispod  $0.05 \text{ cd/m}^2$ , također se zove i noćni vid. Štapići su najvažniji element pa se ne pojavljuje se osjećaj boja stoga svi objekti izgledaju sivi, periferno zapažanje je bolje. O fotopskom viđenju ili takozvanom dnevnom vidu radi se kada je oko adaptirano na sjajnosti veće od  $3 \text{ cd/m}^2$ . Ovdje su čunjići najvažniji elementi te oni omogućuju oštre slike u boji. Mezopsko viđenje ili viđenje u sumraku je viđenje pri sjajnostima koje su između skotopske i fotopske granične razine. Sposobnost raspoznavanja boja opada smanjenjem rasvijetljenosti. [5]

Prilikom vožnje kroz tunel ili vožnje noću kada može doći do zasljepljivanja svjetlima iz suprotnog smjera, bitna je sposobnost prilagođavanja oka na svjetlo i tamu (adaptacija oka). To je sposobnost brzog zamjećivanja prilikom promjene intenziteta svjetla. Adaptacija oka na mrak sporija je od adaptacije na svjetlost. Prilagođavanje oka na tamu traje 40-60 minuta, a na svjetlo oko 5 minuta. Prilagođavanje oka na bljesak nije jednoliko. U normalnim uvjetima promjer zjenice je 2,5-3 mm, proširena ima promjer 7-8 mm dok je promjer stisnute zjenice 1-2 mm. Zjenici treba 5-6 sekundi da se stisne, a 30-35 sekundi da se ponovno vrate na početnu širinu.

U toj vremenskoj razlici vozilo se kreće bez potpune kontrole. Starosna dob vozača i individualna razlika u svezi su sa sposobnosti prilagođavanja oka. [1]

Vidno polje je prostor u kojem čovjek uočava predmete bez da pokreće glavu ili oči. U tom prostoru se zamjećuju predmeti i pojave izvan točke fiksacije. Vidno polje može se podijeliti na vertikalno i horizontalno. Širina horizontalnog vidnog polja je  $40^\circ$  do  $140^\circ$  te ovisi o brzini vozila. Na slici 7 vidljiva je ovisnost širine horizontalnog vidnog polja od brzine, tako u mirovanju širina iznosi  $140^\circ$ , pri brzini od 25 km/h  $100^\circ$ , a kod brzine 100 km/h  $40^\circ$ . Širina vertikalnog vidnog polja je otprilike  $115^\circ$ , što je također prikazano na slici 7. [1]



Slika 7. Horizontalno i vertikalno vidno polje

Izvor: [1]

Vidno polje dijeli se na oštro, jasno, dovoljno jasno i periferno vidno polje. Oštro vidno polje leži do  $3^\circ$  sa svake strane simetrale (točke fiksiranja) te se u njemu uočavaju svi predmeti, oblici, boje, materijali, brzina i pravac kretanja. Jasno vidno polje je do  $10^\circ$  od simetrale. U dovoljno jasnom vidnom polju mogu se postaviti prometni znakovi, a njegova širina je do  $20^\circ$  od simetrale. Periferno vidno polje leži preko  $20^\circ$  od simetrale i u njemu vozač periferno uočava različite događaje i predmete. [1]

S obzirom na to da oštro vidno polje obuhvaća kut od samo  $6^\circ$ , potrebno je povećati taj prostor. Povećanje oštrog vidnog polja postiže se pomoću vanjskih i unutarnjih retrovizora te pokreta vozača. Pokreti vozača mogu se podijeliti na pokrete oka, glave i tijela. Pokreti oka dijele se u tri faze: prebacivanje pogleda na drugi predmet u prostoru (do  $20^\circ$  traje 0,1 s, a više od  $20^\circ$  0,15 s), fiksiranje predmeta (0,15 s) i binokluarna koordinacija (usklađivanje oba oka na isti predmet i akomodacija leće; 0,4 s). Zbrojem te tri faze vrijeme pokreta oka iznosi 0,7 s, u

tom vremenu vozač prelazi određeni put pa se može zaključiti da se lakše može pratiti tlocrtna od uspravne signalizacije. [1]

Sa stajališta sigurnosti prometa, može se izdvojiti izoštreno i periferno područje vidljivosti. U području izoštrene vidljivosti vizura vozača se usmjerava na određenu daljinu u smjeru kretanja. Za vrijeme vožnje vozač mijenja svoju vizuru preglednosti kako bi u slučaju potrebe na vrijeme mogao reagirati i donijeti potrebnu odluku. Najveće značenje za sigurnost prometa ima dubina akomodacije oka. Istraživanja su otkrila da se duljina vizure kod slobodnih uvjeta vožnje mijenja po jednadžbi:

$$L_{\alpha} = 4 * V$$

gdje je: V – brzina u km/h. [1]

Najveća dubina vidnog polja je krajnja točka mjerenja vizure vozača, u normalnim uvjetima vidljivosti iznosi 1,5 do 2 km. Vozač usmjeruje područje najveće oštine vida na objekte koji su mu od najveće važnosti da bi se vozilo sigurno kretalo. [1]

Razina vidljivosti (visibility level - VL) je indeks kvalitete u dizajnu rasvjete na cestama, a služi i za ocjenu performansi automobilske rasvjete. Za razliku od razine osvijetljenja, VL pruža vezu između dizajna rasvjete i performansi vožnje. Referentna izvedba VL je otkrivanje male ujednačene prepreke koja stoji na jednoličnoj pozadini (cestovna površina). Brémond i suradnici (2013) proveli su terenski eksperiment kako bi istražili performanse otkrivanja prepreka i usporedili uvjete vozača i putnika. U eksperimentu su sudjelovale 34 osobe koje su testirale 16 različitih VL-a. U dizajnu eksperimenta, sudionici su morali pritisnuti tipku čim su otkrili ciljni podražaj postavljen na osvijetljeni eksperimentalni dio u uvjetima jednakim za vozača i putnika. Rezultati pokazuju da su performanse (udaljenosti otkrivanja) putnika veće od performansi vozača. Može se reći da je osobi teže detektirati prepreke dok vozi, nego kada je putnik, čak i ako ima vrlo jednostavnu zadaću vožnje (bez prometa, ravna traka). Nadalje, što je VL veći, to su veće udaljenosti otkrivanja, a time je povećana i sigurnost. [24]

## 4 PAMETNA CESTOVNA RASVJETA

Sustav pametne rasvjete prometnica radi na principu komunikacijskog sustava baze podataka i prati kompletan sustav 24 sata na dan te je spojen na geografsko informatički sustav podataka. Cilj pametne rasvjete je smanjiti broj prometnih nesreća noću, posebice onih koje uključuju pješake i smanjiti stopu kriminala. Isto tako, nastoji se smanjiti potrošnja električne energije te troškovi održavanja. Ne zahtijevaju sve prometnice tijekom noći jednaku rasvijetljenost, a sustavom inteligentnog upravljanja razinom osvjetljenja prometnica i pješačkih površina moguće je prilagoditi rasvjetu prema zahtjevima vremena i lokacije na kojoj se rasvjeta nalazi. [10]

### 4.1 LED tehnologija

LED tehnologija je napravila revoluciju u vanjskoj rasvjeti, pretvarajući se iz uobičajenog rasvjetnog tijela u učinkovitu i inteligentnu točku svjetlosti. Kontinuirano poboljšavanje LED dioda poboljšalo je performanse svjetiljki u pogledu lm/W. Konstantno unapređenje optike omogućilo je upravljanje svjetlom do mjesta gdje se želi osvjetljivati, iskorištavajući većinu svjetlosnog toka i ostvarujući značajne uštede energije i povećanje sigurnosti. Uzimajući u obzir dugi vijek trajanja cijelog sustava, može se pronaći optimalno rješenje za javnu rasvjetu koja može biti ekološki prihvatljivija.

LED tehnologija daje 100% potrebnog svjetlosnog toka od prvog trenutka uključivanja, izbjegavajući da se nekoliko minuta ranije upali ulično svjetlo. LED se može zatamniti do 1%, što ima mogućnost prigušiti svjetlost u željenom rasponu i spustiti se na postotak vrlo nizak u potrebnim situacijama, na primjer, parkirališta kada prisutnost automobila nije otkrivena (parking funkcija).

Ovisno o potrebama, svaka se svjetlosna točka može konfigurirati tako da se dinamički prilagođava noćnoj duljini (SMI sustav), rukovanjem s komandama linija (AC, DC ili Touch sustavi) ili čak da zatamni skup svjetiljki ovisno o detekciji prisutnosti prometa pomoću senzora.

Jedan korak dalje u tehnološkoj ljestvici jesu bežični rasvjetni sustavi. Bežično upravljanje omogućava sudjelovanje na dvosmjernom komunikacijskom kanalu za kontrolu svake točke svjetla i dobivanje informacija o njemu kao statusu LED modula, mreža, potrošnje i sličnog u stvarnom vremenu. Bežično upravljanje od točke do točke pruža nam šansu za potpunu kontrolu

nad instalacijom kako bismo uštedjeli energiju i troškove održavanja te povećali svjetlost na opasnim mjestima gdje je to potrebno. [11]

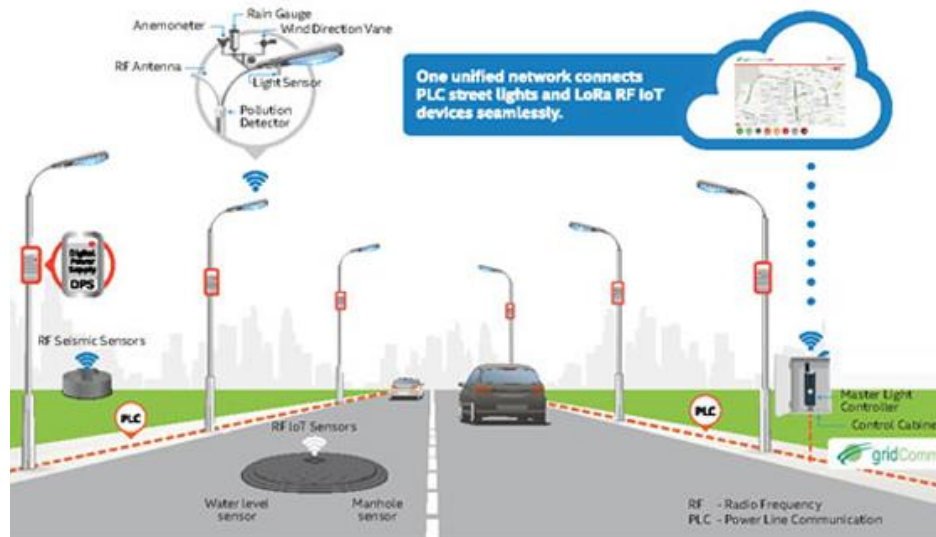
## 4.2 Sustavi umrežavanja uličnih svjetiljki

Internet stvari (The Internet of things - IoT) znači da gotovo svaki elektronički uređaj može komunicirati s drugim sredstvima, komunalnim ili općinskim upravljanjem. Uvođenje pametnog mjerenja predstavlja primjer moderne mreže gdje se podaci o potrošnji dijele bežično i trenutno zahvaljujući tehnologijama stanične i radio tehnologije poput Sigfoxa, LoRa i Wi-fi.

Prema istraživačima Navigant Research, četvrtina od 221 grada širom svijeta koja prati njihov Smart City Tracker pokreće inicijative za pametnu uličnu rasvjetu. Oceanija, uglavnom Australija i Novi Zeland, identificirani su kao jedna od regija koja se najbrže razvija u smislu uvođenja pametne ulične rasvjete i srodnih komunikacijskih tehnologija. Očekuje se da će Novi Zeland i Australija uložiti do 780 milijuna dolara do sredine 2020. godine kako bi pretvorili do 95% postojećih uličnih svjetala u LED od kojih će 70% biti umreženo do 2027. godine. Takvim uvođenjem pametne ulične rasvjete očekuju da će se smanjiti broj prometnih nesreća koje se događaju noću jer će bolje moći kontrolirati osvjetljenost na određenim dijelovima prometnica i prilagoditi se potrebama prometnice. [12]

## 4.3 Primjeri sustava pametne cestovne rasvjete

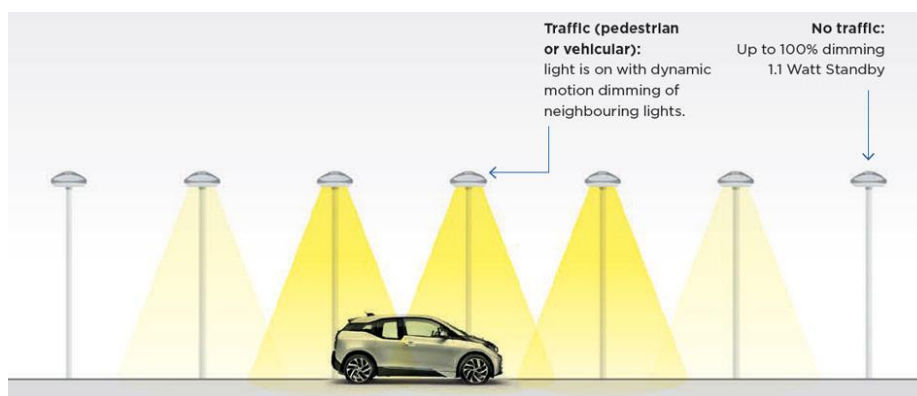
GridComm (slika 8) pruža cjelovito pametno svjetlosno rješenje koje stvara mrežu preko gradskih dalekovoda. To uključuje komunikacijske uređaje, koncentratore i softver za upravljanje uličnim svjetlima. Omogućuje podatkovnu komunikaciju između tisuća IoT senzora. To je cjelovit sustav upravljanja uličnim svjetlima koji automatski zatamnjuje i reagira na podatke o vremenskim prilikama i prometu na cestama. Gradovi mogu nadzirati infrastrukturu uličnih svjetala u stvarnom vremenu, proaktivno reagirajući na kvarove i lomove te potrebu prilagođavanja svjetlosti uvjetima na cesti. [14]



Slika 8. GridComm pametna rasvjeta

Izvor: [14]

slControl (slika 9) nudi inteligentno rješenje za uličnu rasvjetu. Potrošnja energije i samim tim tekući operativni troškovi mogu se značajno smanjiti, bez narušavanja udobnosti i sigurnosti, ciljanim prigušivanjem LED svjetla. Ulična svjetla mogu se automatski zatamniti putem slControl-a sve dok nije potrebno ili je potrebno samo malo svjetla što smanjuje svjetlosno zagađenje. Ako senzori otkriju pješake, bicikliste ili automobile, intenzitet rasvjete povećava se i prilagođava određenom dijelu ulice. Time se značajno utječe na sigurnost prometa, povećanjem intenziteta rasvjete na mjestima gdje se kreću pješaci ili vozila smanjuje se vrijeme reagiranja vozača povećanjem preglednosti. Pored standardne ugrađene bežične komunikacije, po potrebi se mogu povezati i razni senzori. Sustav se uvijek može prilagoditi novim uvjetima, tako da je zajamčeno savršeno osvjetljenje ceste. Ulična svjetla koja su opremljena SmartBoxom automatski se povezuju putem bežične mreže. [15]



Slika 9. slControl sustav

Izvor: [15]

Jedan od prvih prilagodljivih sustava ulične rasvjete, koji ovisi o protoku prometa u kombinaciji s centraliziranom upravljačkom jedinicom, postavljen je 2002. godine na autoputu M65 u okrugu Lancashire u Velikoj Britaniji. Dio autoceste dugačak 11 km bio je opremljen novim svjetiljkama i novom komunikacijskom opremom. Sustav je dinamičan za zatamnivanje ovisno o količini protoka prometa. Stoga se protok prometa kontinuirano nadgleda i u roku od pola sata razina rasvjete prilagođava se unaprijed postavljenim razinama što uvjetuje sigurnost prometa. Razina osvjjetljenja određena je najprometnijom dionicom autoceste i primjenjuje se na cijeli dio. (Collins i sur., 2002.) [24]

Na nizozemskoj autocesti A16 između raskrižja Galder i Klaverpolder na duljini od 23 km postavljene su nove svjetlosne tehnologije i centar za kontrolu prometa koji nadgleda i kontrolira sve pojedine svjetlosne točke. Stvarno stanje u prometu na cesti kontinuirano se prati i razina rasvjete automatski se podešava. Također se mogu uzeti u obzir sudari, gustoća prometa i vremenski uvjeti. Komunikacijska mreža sastoji se od kombiniranih optičkih vlakana i bakrenih žica Ethernet/IP mrežne tehnike za olakšavanje daljinske povezanosti. Instalirano je ukupno 1500 svjetlosnih točaka s HPS žaruljama (Lonmark, 2008.). [24]

## 5 ANALIZA RASVJETE CESTA ZA MOTORNI PROMET

### 5.1 Mjerila kvalitete rasvjete cesta za motorni promet

U mjerila kvalitete rasvjete cesta za motorni promet ubrajaju se razina sjajnosti površine kolnika, jednolikost sjajnosti površine kolnika, razina rasvijetljenosti okolice ceste, ograničenje bliještanja, spektralni sastav izvora svjetlosti te vizualno i optičko vođenje.

#### 5.1.1 Razina sjajnosti površine kolnika

Sjajnost (luminancija) neke točke osvijetljene površine kolnika ovisi o svjetlotehničkim značajkama zračenja svjetiljki, geometriji instalacije javne rasvjete i refleksijskim svojstvima rasvijetljene površine kolnika. Kod razine sjajnosti površine kolnika bitno je ostvariti vidljivost koja osigurava dovoljnu udobnost vidljivosti i sigurnost vožnje. [1]

Srednja sjajnost površine kolnika definirana je formulom:

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

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

$N$  – broj „točaka“ promatrane površine

Srednja razina sjajnosti suhe točke površine kolnika  $L_m$  od 2 cd/m<sup>2</sup> u praksi je pokazala najprihvatljivijom za zahtjeve dobre vidljivosti i ekonomičnosti instalacije cestovne rasvjete. [1]

#### 5.1.2 Jednolikost sjajnosti površine kolnika

Jednolikost sjajnosti površine kolnika znatno utječe na vidljivost i vidnu udobnost zapažanja vozača. Za osiguranje vidljivosti odlučujuća je opća jednolikost sjajnosti površine kolnika, a koja se definira:

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

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



$L_m$  – srednja vrijednost sjajnosti površine kolnika unutar određenog proračunskog polja [1]

Opća jednolikost sjajnosti površine kolnika ovisi o svjetlotehničkim značajkama zračenja svjetiljki, refleksijskim svojstvima rasvijetljene površine kolnika, svjetlosnom toku izvora svjetla i o geometriji instalacije cestovne rasvjete. Smanjenjem opće jednolikosti smanjuje se snaga detekcije cestovne rasvjete. [1]

Razlikuje se uzdužna i poprečna jednolikost sjajnosti površine kolnika. Uzdužna jednolikost sjajnosti važna je za opću udobnost zapažanja kod vožnje cestom. Uzdužna jednolikost odlučujuće je mjerilo ocjene kvalitete rasvijetljenosti površine kolnika. Najmanje vrijednosti koje su prihvatljive za uzdužnu jednolikost ovise o razini srednje sjajnosti i razmaku izvora svjetlosti. Poprečna jednolikost sjajnosti omogućuje sigurno zamjećivanje. [1]

Uzdužna jednolikost definira se:

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

$L_{min}(u)$  – 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 prometnog traka [1]

Poprečna jednolikost definira se izrazom:

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

$L_{min}(p)$  – 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 [1]

### 5.1.3 Razina rasvijetljenosti okolice ceste

Dobra cestovna rasvjeta uvjetuje da se na kvalitetno rasvijetljenom kolniku, kao pozadini opazi prepreka efektom pozitivne siluete. Do problema može doći kod visokih

prepreka kod vožnje u zavoju ili usponu kada se dio prepreka ne može uočiti zbog tamne pozadine ili okolice ceste koja nije rasvijetljena. Posebno je važna rasvjeta okolice u naseljima, uz prometnice kojima se kreću pješaci. Pri svjetlijoj okolini prometnice treba istaknuti površinu kolnika da se zajamči ista razina pouzdanosti zapažanja, dok kod tamnije okolice više pozornosti treba obratiti na rasvjetu okolice. Ispravno je pojas koji je pet metara od ruba kolnika rasvijetliti do razine koja je oko 50% razine sjajnosti susjednih pet metara površine kolnika. [1]

#### 5.1.4 Ograničenje bliještanja

Bliještanje nastaje kada se u vidnom polju vozača pojavi izvor svjetla čija je jakost u pravcu promatranja znatno veća od one u drugim okolnim pravcima. Bliještanje izaziva vidnu nelagodu te ga je zbog toga potrebno ograničiti. Postoje dvije vrste bliještanja: psihološko i fiziološko bliještanje. Psihološko bliještanje smanjuje vidnu sposobnost vozača jer dolazi do zamora oka uzrokovanog trajno prisutnim bliještanjem izvora svjetlosti. Fiziološko bliještanje smanjuje vidnu sposobnost zbog trenutnog upada izvora bliještanja u vidno polje vozača. Osnovni pokazatelji vidnosti koji se smanjuju povećanjem bliještanja su: oštrina vida, osjetljivost na kontrast i brzina zapažanja. Bliještanje se pojavljuje prilikom nailaska drugog vozila prema vozilu ili kada je morak kolnik, a u tim trenucima vozač teže reagira na nepredviđene opasnosti na cesti.[1, 7]

#### 5.1.5 Spektralni sastav izvora svjetlosti

Spektralnim sastavom izvora svjetlosti određuje se njegova boja i boja rasvijetljenih predmeta, a znatno utječe na: oštrinu viđenja, subjektivnu ocjenu kvalitete sjajnosti površine kolnika, subjektivnu ocjenu snošljivosti psihološkog bliještanja, brzinu zapažanja i vrijeme regeneracije oka nakon zablještenja. Uspoređuju li se kvantitativne vrijednosti utjecaja spektralnog sastava niskotlačne natrijeve cijevi i visokotlačne živine žarulje, općenito su izvori svjetlosti na temelju natrijevih para oko 30% učinkovitiji od onih sa živinim visokotlačnim izvorima. [1]

#### 5.1.6 Vizualno i optičko vođenje

Vizualno vođenje označuje skup mjera koje vozaču pružaju trenutno jasnu sliku smjera pružanja ceste preko udaljenosti koja jamči sigurno zaustavljanje. Na cestama koje nisu rasvijetljene vizualno vođenje noću je ograničeno na prostor u kojem su vidljiva automobilska

svjetla. Dobro optičko vođenje kod javne rasvjete jamči udobnost vožnje. Rasporedom stupova treba ostvariti sklad ukupnih cestovnih pravaca u perspektivnoj slici prometnice. Prometnice bi trebale biti kontinuirano rasvijetljene na cijelom potezu te bi prometnice iste važnosti trebale biti jednako osvijetljene, a na križanjima prometnica kontinuirano osvjetljenje treba zadržati na prometnici koja ima prednost ili je u višem razredu javne rasvjete. [1]

## 5.2 Raspored i visina izvora svjetlosti

Raspored i visina postavljanja izvora svjetlosti uvjetuju kako će cesta biti rasvijetljena. Pravilnim rasporedom postiže se jednolika rasvijetljenost i time veća sigurnost prometa.

### 5.2.1 Raspored izvora svjetlosti na cestama za motorni promet

Ovisno o vrsti prometnice i o broju traka, treba odrediti koji način postavljanja izvora svjetlosti je najpogodniji kako bi se što kvalitetnije osvijetlila prometnica. Postoji nekoliko rasporeda postavljanja izvora svjetlosti: centralni, jednostrani, dvostrani (izvori paralelno), dvostrani (izvori naizmjenično), kombinirani (centralni i dvostrani), osni (nosive žice poprečno na cestu), osni (nosive žice uzdužno na cestu).

Centralni raspored (slika 10 ) uglavnom se primjenjuje na autocestama i cestama kod kojih su smjerovi razdvojeni razdjelnim pojasom i svaki ima najviše dva ili tri prometna traka. Izvori svjetlosti postavljeni su na jednom stupu tako da je svaki na jednoj strani i osvjetljava „svoj“ kolnik. [1]



Slika 10. Centralni raspored

Izvor: [17]

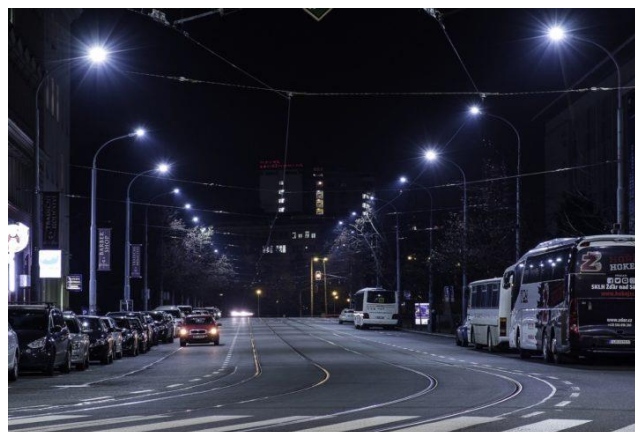
Jednostrani raspored izvora svjetlosti (slika 11) najčešće se koristi na prometnicama koje imaju najviše tri prometna traka, a kojima ukupna širina kolnika nije veća od visine na kojoj su montirani izvori svjetlosti. Da bi se postigla dobra poprečna rasvijetljenost potrebno je maksimum zračenja jakosti svjetlosti svjetiljke usmjeriti na kolnik koji je najudaljeniji. [1]



Slika 11. Jednostrani raspored

Izvor: [17]

Dvostrani raspored (Slika 12) općenito se primjenjuje na prometnicama s najmanje četiri prometna traka koje su relativno široke. Svaki red svjetiljki rasvjetljava polovicu širine kolnika. Postoje dva oblika dvostranog rasporeda, kod prvog su izvori svjetlosti postavljeni paralelno, a kod drugog naizmjenično. Oba rasporeda pružaju dobre svjetlotehničke vrijednosti, ali prednost ima raspored s paralelnim izvorima. [1]



Slika 12. Dvostrani raspored

Izvor: [17]

Kombinirani raspored (slika 13) se općenito primjenjuje kod relativno širokih prometnica s dva kolnika koji svaki ima barem četiri prometna traka te obostranim pješačkim stazama uz kolnik. To je kombinacija centralnog i dvostranog rasporeda. [1]



Slika 13. Kombinirani raspored

Izvor: [18]

Osni raspored (slika 14) s nosivim žicama poprečno na cestu često se primjenjuje za rasvjetu ulica u središnjim dijelovima gradova. Izvori svjetlosti su postavljeni na čelične žice koje su razapete između zgrada, a svjetiljke su postavljene po sredini ulice ili ako su šire ulice, onda po sredini svakog prometnog traka. Kod osnog rasporeda s nosivim žicama uzdužno na os ceste svjetiljke su postavljene na čelične nosive žice uzdužno na os ceste, a bitno je da se žice ne njišu kada puše vjetar. Ovaj način postavljanja se koristi se najčešće na autocestama s relativno širokim kolnicima. [1]



Slika 14. Osni raspored

Izvor: [23]

## 5.2.2 Raspored izvora svjetlosti u tunelima

Kod tunela, izbor odgovarajućeg rasporeda izvora svjetlosti u poprečnom i uzdužnom profilu ovisi o: svjetlotehničkim zahtjevima rasvjete tunela, vrsti odabranog izvora svjetlosti i svjetiljke, strogosti zahtjeva za sprječavanje smetnji treperenja, broju režima pogona, konstruktivnim ograničenjima, mogućnostima uspješnog održavanja i zahtjevima za ekonomičnost sustava rasvjete. [6]

Za dva uobičajena standardna poprečna profila tunela preporučuju se sljedeće vrste rasporeda: centralni, polucentralni, centralno dvostrani, bočno jednostrani, bočno dvostrani i kombinirani. Postoji razlika kod centralnog i bočnog postavljanja svjetiljki u tunelu. Pri centralnom rasporedu svjetiljke su postavljene na strop, a u bočnom na zid tunela. [1]

Raspored izvora svjetlosti duž tunela izvodi se u: neprekinutom (kontinuiranom) nizu, isprekidanom (diskontinuiranom) i kombiniranom nizu. Sa stajališta zahtjeva sprječavanja smetnji od treperenja povoljniji je raspored izvora svjetlosti u neprekinutom nizu, dok je sa stajališta iskorištenja i ekonomičnosti sustava rasvjete povoljniji onaj u isprekidanom nizu. U praksi je vrlo česta uporaba kombiniranog niza jer se njime koriste prednosti neprekinutog i isprekidanog niza. Na slici 15 prikazan je kontinuirani, bočno dvostrani raspored svjetiljki u tunelu. Kvalitetna rasvjeta u tunelu važnija je tijekom dana kako bi se oko što prije prilagodilo na tamnije uvjete i da bi vozač što sigurnije mogao nastaviti vožnju. [6]



Slika 15. Kontinuirani bočni raspored svjetiljki

Izvor: [17]

### 5.2.3 Visina postavljanja svjetiljki

Važnu ulogu u kvaliteti osvijetljenosti prometnica ima i visina rasvjetnih tijela. Visina ovješanih svjetiljki je od 8 do 10 metara, a svjetiljke koje se postavljaju uz rub kolnika širokih prometnica s velikim izvorom snage moraju biti na visini od 12 metara. Svjetiljke koje su niže od 8 metara mogu se postavljati samo u stambenim naseljima, ali ako su u drvodredima. Svjetiljke više od 12 metara mogu se koristiti za rasvjetu velikih raskrižja u jednoj ili više razina. Razmak između svjetiljaka ne smije biti veći od 3 do 5 visina stupa svjetiljke. Rasvjeta nije dovoljno jaka na rubovima pločnika ako je prevelik izdanak, a izdanak preko ruba kolnika ne bi smio biti veći od četvrtine visine svjetiljke. [8]

### 5.3 Klase javne rasvjete

Ceste se općenito razlikuju po prometnom značenju, lokaciji, količini prometa na njima, dopuštenoj brzini i slično pa se i rasvjeta na njima razlikuje. Postoji nekoliko klasa cestovne rasvjete koje ovise o sljedećim utjecajnim čimbenicima: prometnoj razini ceste, količini i gustoći prometa, razini prometnog opterećenja ceste, radi li se o jednosmjernom i dvosmjernom prometu te o razini opremljenosti cesta prometnom signalizacijom. Kod odabira odgovarajuće klase treba uzeti u obzir i sve sudionike u prometu uključujući motoriste, bicikliste i pješake. U tablici 2 su prikazane utvrđene klase cestovne rasvjete i čimbenici klasifikacije. [1]

Klase rasvjete za različite ceste podrazumijevaju:

- M1 - velika brzina prometa preko 130 km/h, srednja brzina 100 km/h i mala brzina 60 km/h,
- M2 - konfiguracija ceste uključuje njenu opremu, vrstu, smjer i količinu prometa, ali i vidljivu okolicu. Čimbenici su: broj prometnih traka, prometnih znakova, ugibališta,
- M3 - kontrola prometa uključuje prometne znakove u skladu s prometnim propisima, prometnu signalizaciju, semafor i obavezan smjer,
- M4 - razdvojeni kolnici, odvojeni prometni traci za pješake, bicikliste i motorna vozila,
- M5 - različiti sudionici: vozači automobila, sporih motornih vozila, kamiona, bicikala i pješaci. [8]

Tablica 2. Klasifikacija rasvjete cesta za motorni promet

Čimbenici klasifikacije	Klasa cestovne rasvjete
Ceste s velikom dopuštenom brzinom i jednosmjernim prometom; u pravilu s razdjelnim pojasom između prometnih trakova; s križanjima u dvije i više razina; stroga kontrola pristupa cesti; u pravilu su to autoceste i ceste namijenjene isključivo za promet motornih vozila. Opseg i gustoća prometa te složenost konfiguracije mogu biti: - velika - srednja - mala	M1 M2 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 mogu biti: - loša - dobra	M1 M2
Ceste sa srednjom brzinom prometa; u pravilu ceste s kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima za pojedine sudionike u prometu. Kontrola prometa i razdvojenost kolnika mogu biti: - loša - dobra	M2 M3
Ceste za relativno slabiji i lokalni promet s 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: - loša - dobra	M5 M4

Izvor: [1]

Osnovni pristup klasifikacije rasvjete tunela temelji se na zahtjevu dobre vidne performance i udobnosti u vožnji tunelom danju pa je u tunelima s težim uvjetima prometa potrebno pripisati i veću razinu kvalitete rasvjete. Zahtjevi kvalitete rasvjete tunela danju su stroži od onih noću zbog brzine prilagodbe oka s uvjeta većeg vanjskog osvjetljenja na ono slabije u tunelu. [1]

Određena klasifikacija rasvjete u tunelu određuje se prometnim i prostornim čimbenicima. U prometne čimbenike ubrajaju se brzina kretanja vozila i gustoća motornog prometa, dok je prostorni čimbenik luminancija prilazne zone. Temeljem prometnih utjecajnih čimbenika utvrđuju se tri prometne klase A, B i C, a temeljem prostornog čimbenika utvrđuju se po tri skupine svake osnovne skupine (A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3) što je vidljivo u tablici 3. [1]



Tablica 3. Klasifikacija rasvjete u tunelima

Klasa	Utjecajni čimbenici klasifikacije	Stupnjevi		
		velika	srednja	mala
A	Brzina (km/h)	•		
	Gustoća prometa (vozila/24 sata)	•	•	
	A1	Luminancija prilazne točke L (cd/m <sup>2</sup> )		
	A2		•	
A3			•	
B	Brzina (km/h)		•	
	Gustoća prometa (vozila/24 sata)	•	•	
	B1	Luminancija prilazne točke L (cd/m <sup>2</sup> )	•	
	B2			•
B3				•
C	Brzina (km/h)			•
	Gustoća prometa (vozila/24 sata)		•	•
	C1	Luminancija prilazne točke L (cd/m <sup>2</sup> )	•	
	C2			•
C3				•

Izvor: [1]

## 6 UTJECAJ CESTOVNE RASVJETE NA SIGURNOST PROMETA

Već je ranije u radu spomenuto da je vid najvažnije osjetilo prilikom vožnje. Tijekom vožnje noću smanjena je vidljivost pa samim time povećava se mogućnost nastanka prometnih nesreća. Cestovna rasvjeta dokazala se kao učinkovita mjera suzbijanja prometnih nesreća i smanjenju njihovih posljedica i u ruralnim i u gradskim područjima. Cestovna rasvjeta osvjetljuje prometnice i povećava vidno polje vozačima što utječe na sigurnost prometa u noćnim uvjetima. Na osvijetljenim prometnicama vozači će prije uočiti prepreke na cesti ili pješake uz cestu i brže će reagirati nego u slučaju neosvijetljene prometnice.

Cestovne prometne nesreće velik su problem u svijetu, posebno u zemljama s niskim i srednjim dohotkom. Indeks stopa i ozbiljnost prometnih nesreća gotovo je 2-3 puta veći noću nego pri dnevnom svjetlu, unatoč tome što se noću odvija samo 20% prometa. Ukupni rezultati na svim vrstama nesreća, sudionicima u prometu i vrstama cesta pokazuju smanjenje smrtnih nesreća i ozljeda za 60%, a nezgoda samo s oštećenjima za 15% zbog rasvjete kolnika. [22]

Na nastanak prometnih nezgoda noću utječu vizualni i nevizualni čimbenici. Na sigurnost prometa uvelike utječe gubitak ili slabljenje elementarnih vidnih funkcija u vrijeme sumraka i mraka. Opadanjem osvijetljenosti smanjuju se i gube skoro sve elementarne vidne funkcije, a kako vozač gotovo sve informacije dobiva osjetilom vida, taj vizualni čimbenik prilično utječe na sigurnost prometa noću. U nevizualne čimbenike pripadaju umor, alkoholiziranost, populacija sudionika u prometu, prometni tijek te godišnje doba i vremenske prilike. [19]

Dosadašnja istraživanja ukazuju na to da postoji veći rizik u prometu noću, što znači i veći učinak cestovne rasvjete, za određene skupine sudionika u prometu i uvjete:

- pješaci više nego putnici u vozilu
- stražnji i pojedinačni sudari više nego frontalni i bočni
- ruralne ceste više nego gradske
- kišno vrijeme više od normalnog suhog vremena
- stariji pješaci, mladi i neiskusni vozači.

Švicarsko godišnje izvješće pokazuje da je broj smrtnih slučajeva pješaka noću 60 do 70% veći. Američko izvješće o pješačkim nesrećama istraživalo je podatke od 1997. do 2006. i

utvrdilo da se u periodu od 18:00 do 06:00 sati dogodilo 66% smrtnih slučajeva. CIE (The International Commission on Illumination) izvršilo je metaanalizu 62 studije rasvjete i nesreća iz 15 zemalja. 85% rezultata pokazalo je da je cestovna rasvjeta korisna protumjera. Ovisno o klasi ceste i korištenoj klasifikaciji nesreća, rezultati pokazuju smanjenje između 13% i 75%, uz ukupno smanjenje nesreća od 30%. Studija u Nizozemskoj analizirala je nezgode s ozljedama i materijalne štete u nizozemskom cestovnom prometu u razdoblju od 1987. do 2006. godine. Omjer koeficijentata stopa nesreća korišten je za procjenu učinka na osvjetljenje kolnika na različitim vrstama cesta. Ukupni učinak na sve ceste bio je -49% na smrtnim posljedicama i -46% na nesreće s ozljedama. Prethodno spomenuta studija koja se temelji na nizozemskoj statistici o sudarima također je uključivala sigurnosne efekte rasvjete na cesti za pješake i bicikliste. Rezultati pokazuju 70% smanjenja u ozljedama pješaka i 60% sudara s biciklima. [22]

## 6.1 Ovisnost razine luminancije i prometnih nesreća

Priručnik mjera za sigurnost na cestama (Elvik i sur., 2009.) također prikazuje metaanalizu 9 studija u kojima je smanjena postojeća rasvjeta na prometnicama. U većini studija, posebno starih, uobičajeni način smanjenja svjetla bio je isključivanje svake druge svjetiljke (svake druge ili treće), što u većini slučajeva znači prepoloviti količinu osvjetljenja. Unutar tih studija procijenjeno povećanje od 17% na nesrećama s ozljedama i 27% na nesrećama s materijalnom štetom moglo se naći samo u satima mraka.

Monsere i Fischer (2008) proveli su studiju smanjujući količinu svjetlosti na 9 km dugoj dionici na međudržavnoj autocesti i uspoređivali je s podacima o sudaru Ministarstva prometa u Ohio (Ohio Department of Transportation - ODOT). Korištena su četiri testna mjesta, dva na kojima je svjetlost u potpunosti isključena i dva sa samo jednim osvjetljenim smjerom. Izvršena je analiza promjena u sigurnosnim performansama na osnovi sudara pomoću empirijske Bayesove metodologije promatranja. Studija je utvrdila porast prijavljenih sudara, kada je linijska rasvjeta smanjena, kako u ukupnim sudarima za 29%, tako i u noćnim sudarima s ozljedama za 39%. [24]

Ministarstvo prometa u Oregonu smanjilo je osvjetljenje kolnika na međudržavnim autocestama Oregona kao odgovor na smjernicu guvernera o štednji energije. Yin (2005) je izveo jednostavnu prije i poslije analizu podataka o nesrećama od 1996. do 2003. kako bi kvantificirao učinak smanjenja osvjetljenja na različitim petljama i linearnim dionicama

autocesta od listopada 2001. do ožujka 2002. Korišteni su različiti primjeri smanjenja, poput smanjenja svjetlosti na petljama od potpunog osvjetljenja do djelomičnog i glavnih osvjetljenja isključenih samo u jednom smjeru ili u potpunosti. Rezultati pokazuju da će porast sudara na projektnim mjestima vjerojatno pasti između otprilike 7% i 22%. [24]

Projekt „Kako razina cestovne rasvjete utječe na sudare na Novom Zelandu“ koji su pripremili Michael Jackett, Jackett Consulting i William Frith na 'Opus International Consultants Central Laboratories' [20] ima za cilj poboljšati razumijevanje kako količina i kvaliteta cestovne rasvjete utječe na učestalost noćnih sudara. Studije prije i poslije ukazuju na smanjenje sudara za oko 30% na mjestima gdje je osvjetljenje poboljšano.

Generalizirani linearni modeli (GLM) ispituju podatke iz svake ulice kako bi pronašli odnos između varijabli osvjetljenja i omjera sudara noć-dan. Prosječno osvjetljenje bila je jedina varijabla čiji je utjecaj na sudare noću bio nedvosmislen i statistički značajan u svim modelima. Možda je to prikladno jer je u novozelandskom dizajnu prosječna osvjetljenost jedini parametar koji se povećava kako se razina osvjetljenja povećava. Nadalje, krivulja za prosječnu jačinu svjetla sugerira da se sigurnost povećava na osvjetljenim cestama s porastom prosječnog osvjetljenja od  $0,25 \text{ cd/m}^2$  do vrijednosti od  $2 \text{ cd/m}^2$ . Vrijednosti parametara za prosječno osvjetljenje sugeriraju da se može očekivati smanjenje noćnih sudara za oko 19% za svaki prirast  $0,5 \text{ cd/m}^2$  u prosjeku, što je vidljivo u tablici 4.

Odsjaj je bila druga najjača prediktivna varijabla nakon prosječnog osvjetljenja. Regresijski modeli procjenjuju da bi smanjenje odsjaja za nekih 10 postotnih bodova (npr. s 20% na 10%) rezultiralo smanjenjem sudara noću između 5% i 9%.

Ni ukupna ni uzdužna jednolikost rasvijetljenosti kolnika u modelima ispitivanja nisu identificirane kao značajne varijable. Poboljšanja uzdužne jednolikosti slabo su povezana s manjim brojevima noćnih sudara, ali to bi moglo biti slučajno. Nadalje, cjelokupni koncept osvjetljenja zasniva se na pružanju vozačima jednolično osvjetljenog pozadinskog osvjetljenja pomoću kojeg se predmeti na cesti mogu lako i brzo prepoznati po silueti. Blagi stupanj neravnomjernosti rasvjete na cesti može poboljšati sigurnost na cestama jer može pomoći u percepciji na daljinu i pružiti dodatnu dinamiku.

Tablica 4. Postotci smanjenja broja nesreća povećanjem luminancije

Opis grupa prometnih nesreća	% smanjenja broja prometnih nesreća noću za svako povećanje luminancije za 0.5 cd/m <sup>2</sup>
Sve prijavljene nesreće	19%
Nesreće prije ponoći	17%
Nesreće poslije ponoći	25%
Nesreće na gradskim cestama	33%
Ozbiljne i fatalne nesreće na gradskim cestama	50%
Nesreće na gradskim cestama s pješacima	56%
Nesreće na velikim raskrižjima	13%
Nesreće na malim raskrižjima	28%

Izvor: [20]

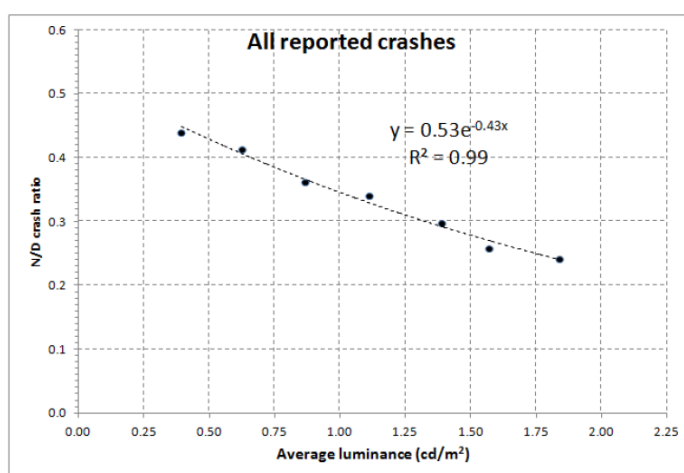
Grupirani podaci kombiniraju ulice slične prosječne osvjetljenosti da bi se pronašli odnosi između prosječnog osvjetljenja i omjera sudara noć-dan. Regresijski modeli identificirali su prosječno osvjetljenje kao najvažniju varijablu sigurnosti na cestama. Korištenje prosječnog osvjetljenja kao jedinih mjernih podataka grupirano je u sedam grupa prosječnih osvjetljenja 0,25 cd/m<sup>2</sup> za detaljniju analizu. Tablica 5 sažima podatke.

Tablica 5. Zbroj svih grupiranih podataka

Prosječna osvjetljenost (cd/m <sup>2</sup> )	Kategorija svjetla	Broj mjesta u skupini	Broj nesreća noću	Broj nesreća danju	Ukupan broj nesreća
0.25-0.5	Ispod V4	31	248	562	813
0.5-0.75	V4	38	463	1121	1584
0.75-1.0	V3	40	724	1998	2722
1.0-1.25	V2	27	379	1113	1492
1.25-1.5		13	161	542	703
1.5-1.75	V1	5	80	310	390
1.75-2.25		4	54	223	277
Sve grupe		158	2109	5872	7981

Izvor: [20]

Podaci za dosljednost nisu prikazani ako nije izračunat omjer noći i dana na 20 ili više nesreća. Ako se ta vrijednost ne postigne, dvije susjedne skupine bi se objedinile, a broj podatkovnih točaka smanjio za jednu. Dvije skupine najviših osvjetljenja (1,5 - 1,75 i 1,75 - 2,25) obično bi se spajale s malim podskupovima podataka.



Slika 16. Veza prosječnog osvjetljenja i omjera sudara noću i danju

Izvor: [20]

Na slici 16 prikazan je odnos između prosječnog osvjetljenja i omjera sudara noću i danju za sve prijavljene sudare. Nagib linije prema dolje ukazuje na smanjenje noćnih sudara s povećanjem prosječnog osvjetljenja. Prosječno osvjetljenje i količina prometa su povezani. Na prometnicama s 3000 - 9000 voz/dan povećanjem osvjetljenosti smanjio se broj sudara za 25%, na prometnicama s 9000 - 12 000 voz/dan za 21%, a na prometnicama s 12 000 - 30 000 voz/dan za 17%.

Ova studija je pokazala da cestovna rasvjeta osigurava trend smanjenja broja prometnih nesreća noću, i to kada je prosječna osvjetljenost veća i kada je smanjeno blještanje. Kada se poveća prosječna razina svjetlosti smanjuju se nesreće za ceste s bilo kojom količinom prometa, neovisno o tome je li površina kolnika morka ili suha i više utječe na nesreće s kobnim posljedicama te smanjuje ozbiljnost ozlijeda. [20]

## 6.2 Prometne nesreće prije i poslije postavljanja rasvjete

Unatoč činjenici da osvjjetljenje kolnika ima pozitivan utjecaj na smanjene stope sudara i brojke kobnih i teških sudara, primijećeno je da vozači prilagođavaju svoje ponašanje u vožnji nakon postavljanja rasvjete na kolniku. Sljedeće studije pokazuju da se zbog poboljšane vidljivosti na cestama povećava brzina, a razina koncentracije smanjuje.

Kako bi otkrio prilagođavanje ponašanja vozača na postavljanje rasvjete kolnika, Institut za ekonomiju prometa u Norveškoj (ITE) proveo je empirijsko istraživanje 1994. godine. [24] Na 25 km glavne ceste (E18) u južnom dijelu Norveške, gdje prije nije bila instalirana rasvjeta. Brzina je zabilježena stacionarnim radarskim mjerenjem 3 tjedna prije i 4 tjedna nakon što je postavljena rasvjeta na cesti. Razina koncentracije vozača mjerena je na dva načina. Prvo, varijabilnost bočnog položaja vozila istražena je skrivenim video kamerama. Pretpostavljalo se da niža varijabilnost bočnog položaja dovodi do veće pozornosti vozača. Zbog ograničenja mjerne tehnologije, izmjerene su samo varijacije u bočnim položajima većim od 13 cm na ravnom dijelu ceste od 200 metara. Računa se svaki automobil koji je premašio ovu inačicu od najmanje 13 cm. Drugi pristup mjerenju razine koncentracije bio je da su vozači zaustavljeni i zamoljeni da na licu mjesta ispune upitnik kako bi dobili informacije o percipiranoj koncentraciji na semantičkoj skali od sedam bodova.

Tablica 6. Rezultati ITE studije prilagođavanja ponašanja kod postavljanja rasvjete kolnika

	Prosječna brzina (km/h)		Promatrani prosječni indeks koncentracije	Percipirani prosječni indeks koncentracije
	Ravna cesta	Zakrivljena cesta		
Prije rasvjete	77,8	70,8	0,59	5,0
Poslije rasvjete	81,4	71,3	0,94	4,9

Izvor: [24]

Rezultati ITE studije zbrojeni su u tablici 6 i prikazuju porast prosječne brzine nakon postavljanja cestovne rasvjete na ravnim dijelovima ceste za 5%, a na zakrivljenom dijelu 1%. Promatrani indeks koncentracije vozača nakon instalacije rasvjete pokazuje značajan pad koncentracije vozača.

Elvik i suradnici (2009.) ilustrativno su prikazali potencijalne efekte smanjenja sudara bez naknadnih rizika. Prema Ketvirtisu (1977.) udaljenost s koje se u noćnim uvjetima može

uočiti neka prepreka na prometnicama koje su osvijetljene samo svjetlima s automobila je između 50 i 75 m. Nakon postavljanja cestovne rasvjete, jačine sjajnosti  $1-2 \text{ cd/m}^2$  prema zahtjevima Norveških nacionalnih autocesta, udaljenost uočavanja povećala se na 250 m. Pri brzini vožnje od 78 km/h, s vremenom reagiranja od 1 s i koeficijentom trenja 0,8 zaustavni put iznosi oko 52 m. Rasvjeta na cesti tako osigurava povećanje sigurnosnog puta zaustavljanja s  $75 - 52 = 23$  m prije nego što je postavljena na  $250 - 52 = 198$  m nakon što je postavljena. Drugim riječima, inženjerski učinak rasvjete ceste odgovara potencijalnom smanjenju sudara u mraku za najmanje 80%. Budući da je stvarni pad sudara oko 30% (prema metaanalizama u Elvikovoj knjizi), to ukazuje da osvijetljenje ceste dovodi do značajne prilagodbe u ponašanju. Iako je prikazano smanjenje, učinak sudara nije u potpunosti uklonjen. [24]

Istraživanje u Japanu 1990-ih godina analiziralo je utječe li cestovna rasvjeta na broj prometnih nesreća tijekom noći. Instalacije rasvjete dijele se na stalnu rasvjetu i lokalnu, tj. rasvjetu koja se postavlja na raskrižja i pješačke prijelaze kako bi pomogla korisnicima te prometnice lakše pratiti situaciju u prometu. Uspoređivali su se podaci o prometnim nesrećama prije i poslije postavljanja cestovne rasvjete. Podaci o prometnim nesrećama preuzeti su od Nacionalne policijske agencije Japana. Podaci o broju prometnih nesreća prije postavljanja rasvjete uzeti su 1990. godine, a nakon postavljanja rasvjete razdoblje od 1992. do 1995. godine.

Rezultati provedenog istraživanja pokazuju da se postavljanjem cestovne rasvjete smanjio broj prometnih nesreća noću za 40%. Razine osvijetljenja raskrižja podijeljene su u tri grupe. Prva grupa 30 lx ili više pokazuje pozitivnu razliku u smanjenju prometnih nesreća od 1%. Grupa 20 lx do 30 lx nije pokazala neke značajne promjene u usporedbi nesreća prije i poslije, dok zadnja grupa 20 lx i manje nije pokazala nikakve promjene u broju prometnih nesreća. Iz ovoga se može zaključiti da će se povećanjem osvijetljenja raskrižja na 20 lx i više možda dogoditi smanjenje prometnih nesreća, a povećanjem na 30 lx i više od toga pozitivno će djelovati na reduciranje prometnih nesreća noću. [21]

### 6.3 Utjecaj novih tehnologija cestovne rasvjete na sigurnost prometa

Iako nove tehnologije ulične rasvjete nude širok spektar jedinstvenih potencijalnih prednosti (uglavnom u smislu uštede energije), potrebno je procijeniti sigurnosni utjecaj ove tehnologije na korisnike ceste. Jedan potencijalni pristup za procjenu njihovih sigurnosnih utjecaja u odnosu na uobičajene sustave rasvjete cesta jest provođenje studije prije i poslije na



istom dijelu ceste ili autoceste ili raskrižja. Provođenje prije/poslije ispitivanja na istom dijelu označene ceste pomoći će kontrolirati lokalne čimbenike koji također mogu doprinijeti razini sigurnosti. No, s obzirom na to da je nova generacija cestovne rasvjete rana tehnologija, broj nesreća je još premali za studiju prije i poslije pa se koriste zamjenska istraživanja.

Četiri su zamjenska pristupa za istraživanja sigurnosnih mjera kod novih tehnologija ulične rasvjete: prosječna brzina i sigurnost, tehnika prometnih sukoba, naturalistička i riskantna vožnja te vidljivost pješaka od strane vozača.

Prosječna brzina ili profil prebrze vožnje mogu se smatrati bitnom mjerom sigurnosti. Solomon je pružio neke krivulje koje prikazuju odnos brzine kretanja vozila tijekom noći i dana, s vjerojatnošću nesreće u pogledu stope sudjelovanja u nesreći. Što je veća varijacija brzine bilo kojeg vozila od prosječne brzine cjelokupnog prometa, veća je i mogućnost da sudjeluje u nesreći.

Jedan od najvećih problema za analizu ponašanja vozača u nesrećama je taj što su nesreće rijetki događaji i stoga su povezane i sa slučajnim promjenama. Studije prometnih sukoba mogu pružiti zamjenske mjere prometne sigurnosti kada stope nesreća nisu dostupne. Sukob je definiran kao: „vidljiva situacija u kojoj se dva ili više sudionika u prometu približavaju jedni drugima u vremenu i prostoru do te mjere da postoji rizik od sudara ako njihovi pokreti ostanu nepromijenjeni“. Ipak, još uvijek postoje neke rasprave oko veze između mjera sukoba i predviđanja nesreća.

Naturalistička vožnja jedna je od najnovijih i široko rasprostranjenih istraživačkih metoda za promatranje svakodnevnog ponašanja vozača u prometu. Takva se opažanja događaju tijekom uobičajene svakodnevne vožnje, po mogućnosti u vlastitom vozilu, koje se ažurira raznim instrumentima. Različiti senzori prikupljaju precizne kinematičke podatke o vozilu, ponašanje i performanse vozača ili vanjske uvjete poput karakteristika ceste, prometa ili vremenske situacije. Moguće je prikupiti podatke (profil ubrzanja/usporavanja) kako bi se proučavala riskantna vožnja, a oni su zapravo pokazali koliko je količina kritičnih trzaja izravno povezana s rizikom sudjelovanja u nesreći. Stoga, analiza trzaja može biti učinkovit način za otkrivanje sigurnosno kritičnog ponašanja u vozilu, koje se naziva i „sklonost nesrećama“. Neprikladna vožnja također je povezana sa sklonošću da se čine prekršaji u vožnji.

Na pješačkom prijelazu vrlo je važno da pješaka koji želi prijeći cestu vidi vozač motornog vozila koji se približava pješačkom prijelazu. Stoga će se u narednoj terenskoj studiji

raspravljati o odgovarajućem pitanju: Kada i gdje vozač traži informacije kada prilazi pješačkom prijelazu? Sustav kamere u automobilu omogućuje praćenje oka putem video zapisa ceste ispred i kretanja očiju vozača. Ovo će omogućiti utvrđivanje mjesta na koje je vozač gledao i ponašanje vozača, na primjer, kada se približava pješačkom prijelazu s različitim razinama svjetlosti i sustavima. [21]

## 7 ZAKLJUČAK

Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje je vidljivo ljudskim okom, a svjetlost je bitna jer je vid najvažnije ljudsko osjetilo tijekom vožnje. Cestovna rasvjeta ima veliki utjecaj na sigurnost cestovnog prometa. Na prometnicama koje nisu osvijetljene cestovnom rasvjetom događa se više prometnih nesreća nego na onim osvijetljenima.

Bitno je postaviti cestovnu rasvjetu na opasnim točkama poput raskrižja, tunela, mostova i galerija ili autocesti. Na tim mjestima je povećana mogućnost nastanka prometnih nesreća pa je u cilju povećanja sigurnosti važno da prometnica bude kvalitetno osvijetljena.

Bolje vizualne performace na cesti smanjuju broj sudara, ali povećavaju brzinu vožnje koja može dovesti do većeg broja sudara. Zato je bitno pobliže proučiti ponašanje vozača u različitim uvjetima osvijetljenja. Primjenom novih tehnologija poput LED rasvjete smanjuju se posljedice prometnih nesreća i broj prometnih nesreća jer je luminancija kvalitetnija nego kod starih svjetiljki, no kao što je rečeno postoji opasnost od povećanja brzine koje automatski povlače mogućnost nastanka nesreća.

Novim sustavima umrežavanja cestovne rasvjete olakšava se upravljanje cestovnom rasvjetom. Senzori na rasvjetnim tijelima prate količinu prometa na cesti ili vremenske uvjete pa sukladno tome se mijenja količina svjetlosnog toka. Uočavanjem pješaka na prometnici i automatskim povećanjem osvijetljenja na tom mjestu smanjuje se mogućnost nastanka sudara s pješakom jer će biti uočljiviji.

Analiziranjem studija diljem svijeta o broju prometnih nesreća prije i nakon postavljanja prometne rasvjete dovodi do spoznaje da cestovna rasvjeta utječe na sigurnost prometa smanjenjem prometnih nesreća. Dokazano je da je broj prometnih nesreća smanjen na prometnicama nakon postavljanja cestovne rasvjete. Povećana je preglednost koja je bitan čimbenik sigurnosti. Povećanom preglednošću vozač lakše i brže uočava prepreke na cesti i brže reagira na njih.

Zaključak ovo završnog rada je da cestovna rasvjeta ima velikog utjecaja na sigurnost cestovnog prometa. Postavljanjem cestovne rasvjete smanjuje se broj prometnih nesreća i povećavaju uvjeti sigurnije vožnje. Nove tehnologije kako povećanjem sigurnosti, tako i smanjenjem troškova i svjetlosne zagađenosti utječu na kvalitetu života ljudi.

## POPIS LITERATURE

- [1] Cerovac, V. **Tehnika i sigurnost prometa**, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [2] Krajnović, I. **Analiza utjecaja rasvjete na sigurnost cestovnog prometa**, završni rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2016., URL:  
<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A659/datastream/PDF/view> (kolovoz 2020.)
- [3] Krajcar, S., Šribar, A. **Svjetlotehničke veličine i jedinice**, materijali s predavanja, URL:  
<https://pdfslide.net/documents/eleraspredavanje21pdf.html?h=document.onl> (kolovoz 2020.)
- [4] Fotometrija i kolorimetrija, materijali s predavanja Vizualne informacije u prometu, URL:  
[http://e-student.fpz.hr/Predmeti/V/Vizualne\\_informacije\\_u\\_prometu/Materijali/05\\_Fotometrija\\_i\\_Kolorimetrija.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/V/Vizualne_informacije_u_prometu/Materijali/05_Fotometrija_i_Kolorimetrija.pdf) (kolovoz 2020.)
- [5] Skansi, R. Parametri svjetla u kontekstu javne rasvjete, URL:  
<https://mandrilo.com/data/knjige/zdravlje/ParametriSvjetlaUKontekstuJavneRasvjete.pdf> (kolovoz 2020.)
- [6] Priometna rasvjeta, materijali s predavanja Vizualne informacije u prometu, URL: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/V/Vizualne\\_informacije\\_u\\_prometu/Materijali/06\\_Priometna\\_rasvjeta.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/V/Vizualne_informacije_u_prometu/Materijali/06_Priometna_rasvjeta.pdf) (kolovoz 2020.)
- [7] Telektra, URL: <https://www.telektra.hr/site/cestovna-rasvjeta/> (kolovoz 2020.)
- [8] Staklarević, N. **Analiza utjecaja rasvjete na sigurnost cestovnog prometa**, završni rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2018. URL:  
<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1585/datastream/PDF/view> (kolovoz 2020.)
- [9] Gavran, M. **Primjena LED tehnologije u javnoj rasvjeti velikih gradova**, završni rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek 2017., URL:  
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos%3A1499/datastream/PDF/view> (kolovoz 2020.)
- [10] Ljubić, M. **Inteligentna rasvjeta prometnica**, završni rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2017. URL:

- <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A812/datastream/PDF/view> (kolovoz 2020.)
- [11] LED professional, URL: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/street-lighting-evolution-through-led-technology> (kolovoz 2020.)
- [12] Smart energy international, URL: <https://www.smart-energy.com/magazine-article/smart-street-lights-communication-and-the-road-to-smart-cities/> (kolovoz 2020.)
- [13] Kemijski riječnik, URL: <https://glossary.periodni.com/rjecnik.php?hr=elektromagnetski+spektar> (kolovoz 2020.)
- [14] gridComm, URL: <http://www.gridcomm-plc.com/streetlightsolution.htm> (kolovoz 2020.)
- [15] Lumenova, URL: <https://www.lumenova.net/sales-products/street-light-control-system.html> (kolovoz 2020.)
- [16] Ideal led, URL: <https://led-zarulje.com/led-ulicna-rasvjeta-100w-ip65-5700k/> (kolovoz 2020.)
- [17] Luma energy, URL: <https://lumaenergy.com/products/vanjska-rasvjeta/> (kolovoz 2020.)
- [18] Lux may, URL: <https://www.lux-may.com/es/catalogo/alumbrado-publico/c-6-0-0/> (kolovoz 2020.)
- [19] E. Širola, Cestovna rasvjeta kao element sigurnosti prometa, URL: <https://docplayer.net/86321151-Cestovna-rasvjeta-kao-element-sigurnosti-prometa.html> (kolovoz 2020.)
- [20] How does the level of road lighting affect crashes in New Zealand, URL: <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/how-does-the-level-of-road-lighting-affect-crashes-in-nz/docs/how-does-the-level-of-road-lighting-affect-crashes-in-nz.pdf> (kolovoz 2020.)
- [21] A Research on Interrelation between Illuminance at Intersections and Reduction in Traffic Accidents, URL: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jlve/26/1/26\\_1\\_1\\_29/\\_pdf/\\_char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jlve/26/1/26_1_1_29/_pdf/_char/en) (kolovoz 2020.)
- [22] The Impact of New Street Lighting Technologies on Traffic Safety, URL: <http://www.jtle.net/uploadfile/2014/0604/20140604035012103.pdf> (kolovoz 2020.)

[23] Traffic Safety Evaluation of Future Road Lighting Systems. URL:  
<https://www.lipapromet.hr/Usluge/ProjektiranjeSvjetlotehnike/Pojmovnik/tabid/73/ctl/details/itemid/137/mid/526/svjetiljke-za-cestovnu-rasvjetu.aspx> (kolovoz 2020.)

[24] Dully, M. Traffic Safety Evaluation of Future Road Lighting Systems, URL:  
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:667217/FULLTEXT01.pdf> (kolovoz 2020.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja.....	4
Slika 2. Svjetlosni tok,.....	5
Slika 3. Jakost svjetlosti .....	6
Slika 4. Osvjetljenost .....	7
Slika 5. Luminancija .....	7
Slika 6. LED svjetiljka u javnoj rasvjeti .....	9
Slika 7. Horizontalno i vertikalno vidno polje .....	11
Slika 8. GridComm pametna rasvjeta .....	15
Slika 9. slControl sustav.....	15
Slika 10. Centralni raspored .....	20
Slika 11. Jednostrani raspored.....	21
Slika 12. Dvostrani raspored .....	21
Slika 13. Kombinirani raspored .....	22
Slika 14. Osni raspored .....	22
Slika 15. Kontinuirani bočni raspored svjetiljki.....	23
Slika 16. Veza prosječnog osvjetljenja i omjera sudara noću i danju .....	31

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovne svjetlotehničke veličine s formulama i mjernim jedinicama .....	5
Tablica 2. Klasifikacija rasvjete cesta za motorni promet.....	25
Tablica 3. Klasifikacija rasvjete u tunelima .....	26
Tablica 4. Postotci smanjenja broja nesreća povećanjem luminancije .....	30
Tablica 5. Zbroj svih grupiranih podataka .....	30
Tablica 6. Rezultati ITE studije prilagođavanja ponašanja kod postavljanja rasvjete kolnika	32





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  
objavlvenu 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 **Cestovna rasvjeta u funkciji sigurnosti cestovnog prometa**

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

U Zagrebu, 8/26/2020 \_\_\_\_\_

Student/ica:

*Petra Poljanec*  
\_\_\_\_\_  
(potpis)