

Metodologija energetskega pregleda javne rasvjete

Majnarić, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:371867>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni studij

**METODOLOGIJA ENERGETSKOG PREGLEDA JAVNE
RASVJETE**

Diplomski rad

Matej Majnarić

Osijek, 2019.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 19.09.2019.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Matej Majnarić
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D 1012, 27.09.2018.
OIB studenta:	45011031220
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić
Član Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Tomislav Barić
Naslov diplomskog rada:	Metodologija energetskega pregleda javne rasvjete
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	Zadatak diplomskog rada je provesti analizu sustava javne rasvjete i detaljno opisati pojedine elemente sustava. Posebnu pažnju posvetiti usklađenost s normama i fizikalnu pozadinu funkcioniranja izvora svjetlosti. Na osnovu analize definirati slijed aktivnosti i formirati model energetskega pregleda. Na konkretnom primjeru testirati model.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	19.09.2019.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 10.10.2019.

Ime i prezime studenta:

Matej Majnarić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D 1012, 27.09.2018.

Ephorus podudaranje [%]:

23

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Metodologija energetskega pregleda javne rasvjete**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
1.1.	Zadatak diplomskog rada.....	1
2.	Opis elemenata sustava javne rasvjete.....	2
2.1.	Pojna i mjerna mjesta	2
2.1.1.	Sustavi upravljanja javnom rasvjetom	4
2.1.2.	Regulacija javne rasvjete	6
2.2.	Kabeli i vodovi.....	6
2.3.	Stupovi.....	7
2.3.1.	Temelj stupa.....	7
2.4.	Svjetiljke	7
2.4.1.	Predspojne naprave	8
2.4.2.	Izvori svjetlosti.....	8
3.	Energetski pregled javne rasvjete.....	11
3.1.	Javna rasvjeta kao građevina	11
3.1.1.	Javna rasvjeta kao dio komunalne infrastrukture.....	11
3.1.2.	Metodologija energetskog pregleda građevina	11
3.2.	Specifični elementi metodologije energetskog pregleda javne rasvjete.....	14
3.2.1.	Prikupljanje osnovnih informacija o korisniku.....	15
3.2.2.	Analiza dostupne projektne dokumentacije.....	15
3.2.3.	Opis sustava javne rasvjete s mapiranjem postojeće instalacije	15
3.2.4.	Mjerenje svjetlosnih veličina	15
3.2.5.	Mjerenje električnih veličina	16
3.2.6.	Analiza računa za preuzetu električnu energiju	16
3.2.7.	Prijedlog mjera poboljšanja energetske učinkovitosti.....	16
3.3.	Norme na području cestovne rasvjete.....	16
3.3.1.	HRI CEN/TR 13201-1:2014; Smjernice za odabir razreda rasvjete.....	17

3.3.2.	HRN EN 13201-2:2015; Zahtijevana svojstva	19
3.3.3.	HRN EN 13201-3:2015; Proračun svojstava	23
3.3.3.1	Matematičke konvencije.....	23
3.3.3.2	Proračun fotometrijskih veličina	23
3.3.4.	HRN EN 13201-4:2015; Metode mjerenja svojstava rasvjete.....	34
3.3.4.1	Uvjeti mjerenja.....	34
3.3.4.2	Fotometrijska mjerenja	36
3.3.4.3	Mjerenje ne fotometrijskih parametara	37
3.3.4.4	Izvještaj.....	38
3.3.5.	HRN EN 13201-5:2015; Pokazatelji energetske svojstava	39
3.3.5.1	Proračun pokazatelja gustoće snage	39
3.3.5.2	Pokazatelj godišnje potrošnje električne energije	40
4.	Primjena metodologije energetskog pregleda javne rasvjete	42
4.1.	Opis sustava javne rasvjete	42
4.1.1.	Mapiranje postojeće instalacije	44
4.1.1.	Pretpostavljeni razred rasvjete i zahtijevana svojstva	46
4.2.	Mjerenje svjetlosnih veličina	47
4.2.1.	Izrada modela javne rasvjete.....	48
4.2.1.	Određivanje mjernih točaka.....	55
4.2.2.	Mjerenje svjetlosnih veličina	56
4.2.3.	Usporedba rezultata mjerenja sa modelom.....	61
4.3.	Mjerenje električnih veličina	62
4.4.	Prijedlog mjera poboljšanja energetske učinkovitosti.....	62
5.	Zaključak.....	64
	Literatura.....	65

1. UVOD

Javna rasvjeta je sastavni dio svake javne površine te osigurava sigurnost ljudi i olakšano kretanje u prometu, no kako bi se provjerilo je li javna rasvjeta učinkovita potrebno je jednom u pet godina provesti energetske pregled. Za učinkovitu provedbu energetskog pregleda potrebno je pratiti određene korake koji predstavljaju metodologiju. Javna rasvjeta se smatra građevinom što znači da se opisuje zajedno sa ostalim građevinama stoga nema zasebno svoju metodologiju, a s obzirom na taj problem su sastavljeni specifični elementi za provedbu energetskog pregleda javne rasvjete koji se fokusiraju samo na javnu rasvjetu odnosno sve njene dijelove.

U ovom radu će se prikazati sastavni elementi javne rasvjete, energetske pregled javne rasvjete te njegova problematika, koraci potrebni za učinkovitu provedbu energetskog pregleda te potrebne norme za pravilnu provedbu.

Nakon upoznavanja sa navedenim dijelovima na praktičnom primjeru će se provesti energetske pregled po koracima metodologije odnosno поближе prikazati zatečeno stanje javne rasvjete pomoću mapiranja i analiziranja zatečenog stanja ceste, izraditi model u programu Relux, provesti potrebna mjerenja i usporediti rezultate te dati osvrt na moguća poboljšanja zatečenog stanja.

1.1. Zadatak diplomskog rada

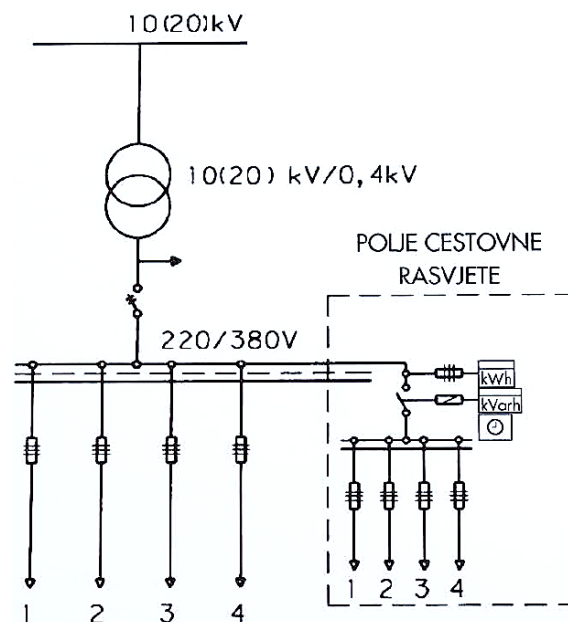
Zadatak diplomskog rada je opisati metodologiju energetskog pregleda javne rasvjete te nakon upoznavanja sa sastavnim dijelovima metodologije i sa normom HRN EN 13201 prikazati njenu primjenu na odabranom dijelu javne rasvjete uz izradu modela i provedbu mjerenja te usporedbu dobivenih rezultata.

2. OPIS ELEMENATA SUSTAVA JAVNE RASVJETE

Energetski pregled javne rasvjete obuhvaća sve elemente sustava javne rasvjete, a s obzirom da se tok energije koji se odvija od pojave u sustavu pa sve do predaje krajnjem korisniku, tim redoslijedom će biti i opisani pojedini elementi u nastavku.

2.1. Pojna i mjerna mjesta

Uređaji za napajanje i razvod su mjesta preko kojih se javna rasvjeta priključuje na niskonaponsku mrežu, a ti uređaji se mogu biti niskonaponsko razvodno polje javne rasvjete koje se nalazi u distributivnoj transformatorskoj stanici i niskonaponski razvodni uređaji javne rasvjete koji se nalazi izvan transformatorske stanice u ormaru.



Slika 2.1. Niskonaponsko polje za cestovnu rasvjetu u transformatorskoj stanici [1].

Niskonaponski razvodni uređaj u transformatorskoj stanici je odvojeno polje za napajanje strujnih krugova javne rasvjete koje se sastoji od: električnog brojila, svjetlosnog releja, uklopnog sata, mrežnog tonfrekventnog uređaja, sklopnika za upravljanje, osigurača i dodatne opreme.

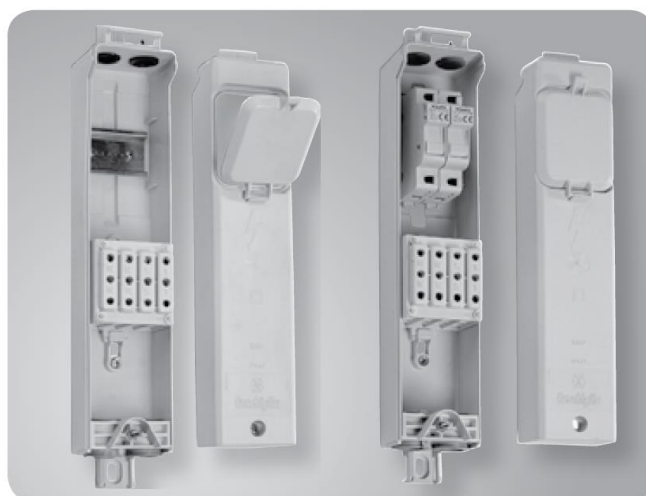
Niskonaponski razvodni uređaj izvan transformatorske stanice može biti izveden kao slobodnostojeći razvodni ormar i nadzemni ormar. Slobodnostojeći ormar se uglavnom koristi kada su krajnji korisnici na većim udaljenostima od transformatorske stanice, a oprema koja se ugrađuje u njega je ista opremi koja se nalazi u polju transformatorske stanice [1].



Slika 2.2. Slobodnostojeći razvodni ormar javne rasvjete [2].

Ormari javne rasvjete služe za mjerenje potrošnje električne energije te upravljanje javnom rasvjetom, a sadrže opremu koja je podijeljena u dvije komore, mjerni i upravljački dio, te svaka komora ima svoja vrata [2].

Razdjelnice u pojedinim stupovima služe za razvod električne energije od napojnog priključnog kabela koji dolazi u stup pa do izvora svjetlosti na stupu, a na njoj se nalaze priključne stezaljke, osigurači kao i predspojne naprave [1].

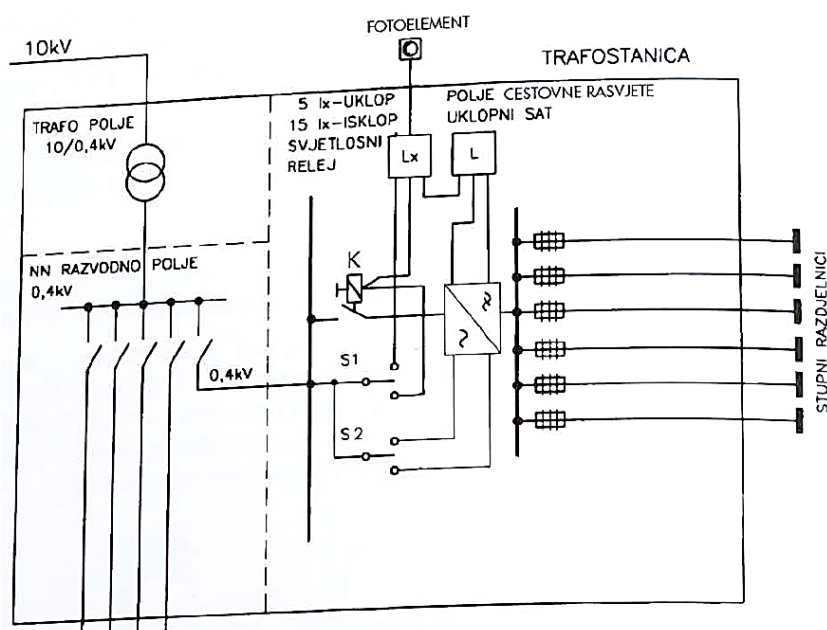


Slika 2.3. Primjer razdjelnice za ugradnju u stup [3].

2.1.1. Sustavi upravljanja javnom rasvjetom

Ovi sustavi se dijele na centralizirane i lokalne sustave upravljanja, a njihova glavna uloga je uključivanje i isključivanje javne rasvjete s pogonskim naponom.

Kod centraliziranog sustava upravljanje se odvija iz jednog centra i može se upravljati cjelokupnim sustavom javne rasvjete ili samo jednim dijelom, a lokalni sustav omogućuje upravljanje pojedinih dijelova javne rasvjete odnosno dijelova koji se uglavnom napajaju iz jedne transformatorske stanice ili jednog ormara.



Slika 2.4. Shema lokalnog sustava upravljanja javnom rasvjetom [1].

Osnovni elementi upravljačkog sustava javne rasvjete su:

- a) mjerni elementi,

Mjernim elementima pripadaju svjetlosni relej, luminancmetar i televizijska kamera. S obzirom da se luminancmetar i televizijska kamera više koriste za mjerenje sjajnosti kod tunela, biti će izostavljeni iz ovog dijela. Svjetlosni relej odnosno foto-element svjetlosnog releja mjeri osvjetljenost vodoravne površine te se na temelju izmjerenih vrijednosti upravlja rasvjetom. Na slici 2.4. se može vidjeti kako svjetlosni relej uključuje javnu rasvjetu pri vrijednosti osvjetljenja od 5 lx, a i isključuje pri vrijednosti od 15 lx.



Slika 2.5. Digitalna svjetlosna sklopka (relej) [4].

b) elementi za upravljanje

Automatsko upravljanje rasvjetom (nadziranje, upravljanje, prikupljanje podataka, obavještanje u slučaju pogrešaka javne rasvjete) se odvija posredstvom procesorskih uređaja, koji može raditi samostalno ili sa sustavom daljinskog vođenja (SDV).

c) uklopni elementi

Uklopni elementi su svi signalni, zaštitni, kontrolni uređaji i uređaji za regulaciju koji služe za uključenje i isključenje instalacije javne rasvjete.



Slika 2.6. Digitalni uklopni sat [5].

d) elementi prijenosa signala

Prijenos signala se može odvijati klasičnim putem odnosno prijenos električnih impulsa relejom i moderniji koji obuhvaća prijenos signala računalima [1].

2.1.2. Regulacija javne rasvjete

Regulacija javne rasvjete predstavlja promjenu svjetlosnog toka sustava javne rasvjete za različite režime rada. Jedan od ishoda regulacije je smanjenje svjetlosnog toka izvora svjetlosti što dovodi do smanjenja osvjetljenja, no to rješenje ponekad nije najbolje s obzirom na to da se pogoršava kvaliteta javne rasvjete. Poželjno je primjenjivati regulaciju javne rasvjete kada je gustoća prometa određene prometnice znatno smanjena što omogućuje smanjenje razine rasvjete, kada treba održati jednolikost osvjetljenja odnosno sjajnosti površine prometnice nepromijenjenom, kada je potrebno održati određenu stabilnost i kvalitetu rada izvora svjetlosti te kada je primjena regulacije ekonomski opravdana [1].

Regulacija javne rasvjete je najpogodnija kada postoje značajne razlike u opterećenju (gustoći) prometnica. Regulacija javne rasvjete, odnosno svjetlosnog toka izvora svjetlosti, se dijeli na „stariji“ i „noviji“ način. Kod starijeg načina su svjetiljke opremljene elektromagnetskim prigušnicama te se regulacija napona, svjetlosnog toka i potrošnje električne energije vršila tako da su se ugrađivali uređaji u napojni vod. Noviji način predstavlja upotrebu elektronskih prigušnica, koje ne pružaju način regulacije kao kod starijih sustava, pa postoji mogućnost ugradnje kontrolnog modula posebno u svaku svjetiljku koji regulira svjetlosni tok skupno ili u stupnjevima. Kontrolna jedinica se nalazi u razvodnom ormaru, na nju se povezuju kontrolni moduli preko napojnih vodova, radio-frekvencijskih veza ili signalnih vodova, a ona može upravljati sa više svjetiljki istovremeno [6].

2.2. Kabeli i vodovi

Za potrebe javne rasvjete se najčešće primjenjuju nadzemni vodovi odnosno samonosivi kabelski snop, instalacijski vodovi koji se koriste za razvode u stupovima javne rasvjete i kabeli sa odgovarajućom izolacijom i plaštem koji se polažu u zemlju, betonski kanal itd. Nadzemni vodovi koji služe za napajanje potrošača električne energije, imaju i svrhu napajanja javne rasvjete, a uglavnom se izvode kao kabelski snop koji se postavlja na stupove. Glavni uvjeti za odabir presjeka kabela i vodova su trajna dopuštena struja opterećenja i dopušteni pad napona, ali treba uzeti u obzir i uvjete njihovog polaganja, zaštitne faktore, osobine uređaja za zaštitu od kratkog spoja i preopterećenja i temperature spojnih mjesta. Osim vodiča u svjetiljkama, presjeci izoliranih vodova u instalacijama javne rasvjete ne smije biti manji od $1,5 \text{ mm}^2$ za bakrene i $2,5 \text{ mm}^2$ za

aluminijске vodiče odnosno 16 mm² za bakrene i 25 mm² za aluminijске kablove. Dopušteni pad napona između mjernog mjesta i nekog mjesta koje se napaja ne smije biti veći od 3 posto ako se javna rasvjeta napaja preko distributivne mreže i 5 posto ako se napaja neposredno iz transformatorske stanice [1].

2.3. Stupovi

Nosači svjetiljki javne rasvjete mogu biti: zidne konzole, nosive žice i stupovi. Zidne konzole se najčešće primjenjuju u gradovima i naseljima na zgradama koje moraju biti dovoljno visoke za postizanje optimalne geometrije instalacije javne rasvjete. Nosive žice su obične žice koje se postavljaju između dvije nasuprotne fasade ili stupa, a koriste se u užim dijelovima većih gradova.

Stupovi se najčešće koriste kao nosači svjetiljki javne rasvjete, a oni mogu biti izrađeni od različitih materijala (čelik, beton, drvo itd.), visina i oblika poprečnog presjeka (stožasti, okrugli itd.). Također stupovi mogu biti izvedeni sa krakom na kojemu je postavljena svjetiljka i bez kraka kod kojih je svjetiljka postavljena izravno na vrh stupa. Osnovni dijelovi stupa su nasadnik koji se nalazi na vrhu za pričvršćenje svjetiljke odnosno kraka, otvor za pristup njegovoj razdjelnici i temeljna ploča pomoću koje je stup pričvršćen na temelj stupa [1].

2.3.1. Temelj stupa

Temelj stupa se izrađuje od betona ili armiranog betona kao blok temelj na terenima sa dobrom nosivošću tla odnosno temelj sa proširenom osnovom na terenima sa smanjenom nosivošću tla. U temelj stupa treba pri betoniranju ugraditi sidrene vijke za pričvršćenje stupa i plastične cijevi za dovod kabela [1].

2.4. Svjetiljke

Svjetiljke, kojima je glavna uloga razdioba svjetlosnog toga izvora svjetlosti tj. osvjetljenje određenih površina, se sastoje od mehaničkih, električnih i optičkih elemenata. Mehanički elementi štite izvor svjetlosti i ostale dijelove od vanjskih utjecaja te služe za pričvršćenje svjetiljke na nosač. Svrha električnih elemenata je međusobno povezivanje električnih komponenata svjetiljke (prigušnice, grlo, izvor svjetlosti itd.) kao i povezivanje svjetiljke odnosno izvora svjetlosti na napon napajanja. Optički elementi usmjeravaju svjetlosni tok iz izvora svjetlosti u određenom smjeru [1].



Slika 2.7. Svjetiljka javne rasvjete [3].

2.4.1. Predspojne naprave

Predspojne naprave su ključan dio svjetiljke javne rasvjete koji omogućuju priključenje izvora svjetlosti na osnovi izbijanja na mrežni napon te imaju ulogu ograničenja i stabiliziranja struje izbijanja na određenu nominalnu vrijednost, odnosno sprječavanje neograničenog porasta te struje i pregaranje izvora svjetlosti [1]. Neke žarulje zahtijevaju propaljivače odnosno startere, ali jedna od najvažnijih predspojnih naprava je prigušnica koja se koristi u većini svjetiljki javne rasvjete, a dijele se na elektromagnetske i elektroničke.

2.4.2. Izvori svjetlosti

Izvori svjetlosti koji se najčešće koriste su temeljeni na elektroluminiscenciji odnosno izravnom pretvaranju električne energije u svjetlost. Ti izvori svjetlosti su: fluorescentna žarulja, kompaktna fluorescentna žarulja, visokotlačna živina žarulja, niskotlačna i visokotlačna natrijeva žarulja, metal-halogen visokotlačna žarulja i u novije vrijeme LED (engl. Light Emitting Diode) žarulje, a njihov opis slijedi u nastavku:

a) Fluorescentna žarulja

Postoji nekoliko tipova fluorescentnih žarulja ovisno o promjeru cijevi, a u primjeni su T12, T8 i T5. T12 su zastarjele pa se ne ugrađuju u moderne svjetiljke, a najčešće korištene su T8. Općenito se fluorescentne žarulje rijetko upotrebljavaju u javnoj rasvjeti zbog manjeg svjetlosnog toka i velikog područja zračenja što znači da je teže rasporediti svjetlost.

b) Kompaktna fluorescentna žarulja

Kako i sam naziv kaže to su fluorescentne žarulje kompaktnog oblika, te se koriste kada se zahtijevaju manje svjetiljke. Dije se na žarulje sa ugrađenom i sa odvojenom prigušnicom.

c) Visokotlačna živina žarulja

Visokotlačna živina žarulja je jedna od prvih žarulja sa tehnologijom izboja u plinu i u novije vrijeme se rjeđe koristi za javnu rasvjetu, a zamjenjuju ih metal halogene i natrijeve žarulje. Najčešća izvedba je ima neutralnu bijelu svjetlost te slab indeks uzvrata boje, a grlo je E27 odnosno E40 kod žarulja veće snage.

d) Niskotlačna natrijeva žarulja

Niskotlačne natrijeve žarulje su po principu rada slične živinim žaruljama, no za razliku od živinih žarulja imaju visoku svjetlosnu učinkovitost. Niskotlačne natrijeve žarulje se izbacuju iz upotrebe zbog niskog indeksa uzvrata boje i velikih dimenzija.

e) Visokotlačna natrijeva žarulja

Visokotlačna natrijeva žarulja se najčešće upotrebljava u svjetiljkama javne rasvjete s obzirom da ima veći indeks uzvrata boje od niskotlačnih natrijevih žarulja, ali nedostatak je manja svjetlosna učinkovitost.

f) Visokotlačna metal-halogen žarulja

Princip rada je sličan živinim žaruljama, ali u plinovima je dodatak živine soli što omogućuje ovim žaruljama bolji indeks uzvrata boje. Najčešće se koriste za javnu rasvjetu zatvorenih prostorija te urbanih središta jer pruža veliki raspon snage, kompaktan oblik i dobar indeks uzvrata boje.

g) LED žarulje

Svjetleća dioda (LED) je sastavni element ovih žarulja te dolaze u raznim izvedbama i bojama. Za potrebe javne rasvjete se najčešće koriste plave LED-ice sa fluorescentnim premazom, ali može biti i izvedba sa miješanjem svjetla crvene, zelene i plave LED-ice. Korištenje LED-ica je omogućilo promjene u dizajnu svjetiljki, odnosno kompaktan oblik [6].

U tablici 2.1. se mogu vidjeti karakteristike pojedinih izvora svjetlosti koji se koriste u javnoj rasvjeti.

Tablica 2.1. Karakteristike izvora svjetlosti [6].

Izvor svjetlosti	Snaga [W]	Životni vijek [h]	Temperatura boje [K]	Učinkovitost [lm/W]	Indeks uzvrata boje
Fluorescentna T8 žarulja	14 – 70	20000	2700 – 6500	90	60 – 93
Kompaktna fluorescentna žarulja	5 – 80	< 20000	2500 – 6000	60 – 75	80 – 90
Visokotlačna živina žarulja	< 1000	> 16000	3200 – 4000	< 60	20 – 55
Niskotlačna natrijeva žarulja	< 180	16000	1800	< 180	0
Visokotlačna natrijeva žarulja	50 – 1000	< 24000	2000	< 130	20 – 65
Metal-halogen žarulja	20 – 1000	12000 – 24000	2700 – 4200	67 – 95	< 95
LED žarulja	1 - 3	50000	2700 – 6000	50 - 70	60 - 80

3. ENERGETSKI PREGLED JAVNE RASVJETE

Sukladno Pravilniku o energetske pregledima građevina i energetske certificiranju zgrada energetske pregled javne rasvjete je „*sustavan postupak za stjecanje odgovarajućeg znanja o postojećoj potrošnji energije i energetske svojstvima*“. Pravilnik također ističe da je energetske pregled potreban „*za utvrđivanje i određivanje isplativosti primjene mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti te izradu izvješća s prikupljenim informacijama i predloženim mjerama, a obavlja ga ovlaštena osoba*“ [7].

3.1. Javna rasvjeta kao građevina

Prema *Metodologiji energetske pregleda građevina* javna rasvjeta je građevina pa je isto tako i opisana u toj metodologiji. Kako se tom metodologijom opisuju svi sustavi koji pripadaju građevini, kao npr. grijanje, hlađenje, ventilacija, voda, opisuje se i sustav električne energije kojemu pripada javna rasvjeta pa će se pažnja posvetiti javnoj rasveti dok su ostali sustavi zanemareni, a više o tome u odjeljku 3.1.2. [8].

3.1.1. Javna rasvjeta kao dio komunalne infrastrukture

Zakon o komunalnom gospodarstvu NN 110/18 ističe kako je pravni status javne rasvjete „*građevine i uređaji za rasvjetljavanje nerazvrstanih cesta, javnih prometnih površina na kojima nije dopušten promet motornim vozilima, javnih cesta koje prolaze kroz naselje, javnih parkirališta, javnih zelenih površina te drugih javnih površina školskog, zdravstvenog i drugog društvenog značaja u vlasništvu jedinice lokalne samouprave*“. Također prema tome zakonu javna rasvjeta je jedan od dijelova komunalne infrastrukture i pripada jednom od komunalnih djelatnosti kojima se osigurava održavanje komunalne infrastrukture, a pod održavanjem javne rasvjete „*podrazumijeva se upravljanje i održavanje instalacija javne rasvjete, uključujući podmirivanje troškova električne energije, za rasvjetljavanje površina javne namjene*.“ [9].

3.1.2. Metodologija energetske pregleda građevina

Energetske pregled zgrade je važan za analizu učinkovitosti potrošnje energije i vode, kontrolu potrošnje kao i za smanjenje troškova i potrošnje energije, energenata i vode u zgradama. Pod energetske pregledom zgrade se podrazumijeva analiza tehničkih i energetske svojstava zgrade i analiza svih tehničkih sustava u zgradi koji troše energiju i vodu kako bi se utvrdila učinkovitost i/ili neučinkovitost potrošnje energije i vode te iznošenje zaključaka i preporuka za poboljšanje energetske učinkovitosti.

Metodologija za energetske pregled građevina definira koncept i korake za provedbu analize i proračuna kao i izgled i sadržaj konačnog izvješća o energetskom pregledu, a sastavni dio te metodologije je algoritam za izračun energetske svojstava zgrada koji propisuje način proračuna svih potrebnih vrijednosti za izračun energetske svojstva zgrade te način izrade energetskog certifikata. Jedan od sastavnih dijelova cjelokupnog algoritma je algoritam za određivanje energetske učinkovitosti sustava javne rasvjete u zgradama odnosno koji su energetske zahtjevi za rasvjetu.

Pri pripremi energetskog pregleda sve aktivnosti koje će se obavljati tijekom samog energetskog pregleda se moraju na vrijeme isplanirati i predstaviti naručitelju energetskog pregleda, a pri početku energetskog pregleda se obavlja radni sastanak na kojem se naručitelju pregleda predstavljaju aktivnosti koje će se izvršavati tijekom energetskog pregleda. Na prvom sastanku se donosi upitnik koji je alat za prikupljanje podataka o potrošnji energije i vode kao i aktivnosti koje će se obavljati u zgradi. U tome upitniku javna rasvjeta uključuje samo sustave potrošnje od mjesta preuzimanja električne energije do krajnjeg potrošača.

Također, podatke koji su prikupljeni u upitniku je potrebno provjeriti pri obilasku zgrade, ali je potrebno i prikupiti sve ostale bitne informacije koje nisu prikupljene upitnikom ili koje se mogu prikupiti isključivo na terenu. Pri pregledu postojećeg stanja zgrade, odnosno sustava potrošnje električne energije, osim podataka o: mjestu preuzimanja energije prema podacima iz računa, opisu i stanju tehničkih karakteristika trošila, karakteristikama elektroenergetskog priključka, modelu preuzimanja, tarifnom modelu i cijeni električne energije, vlastitim električnim agregatima, radu i opterećenju pojedinih sustava, potrebno je prikupiti i podatke o značajnim pojedinačnim trošilima ili grupama trošila u koje pripada javna rasvjeta.

Mjerenja tehničkih parametara rada sustava se sastoje od kontrolnih i opcionalnih mjerenja. Kontrolna mjerenja pojedinih parametara rada sustava grijanja, hlađenja i klimatizacije mogu provoditi samo ovlaštene osobe. Prije pregleda zgrade i prije izvođenja mjerenja potrebno je izraditi plan aktivnosti i mjerenja te se sadržaj tog plana prilaže i izvješću o energetskom pregledu. Opcionalna mjerenja pripadaju analizi energetskog pregleda te se mogu sastojati od osnovnih mjerenja električnih veličina, mjerenja temperature grijanih i hlađenih prostorija te od mjerenja osvijetljenosti određenih prostorija zgrade.

Prikupljeni podaci o tehničkim i energetskim svojstvima zgrade se analiziraju kako bi se prepoznala nepotrebna i neučinkovita potrošnja energije, izradio prijedlog i analiza mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti kao i izračun i priprema podataka za energetsko certificiranje.

Jedan od sustava koji se analizira je sustav javne rasvjete, a analiza njenih tehničkih i energetskih karakteristika se sastoji od:

- Analize mjesta preuzimanja električne energije, razvoda, razvodnih ormara i transformatorskih stanica
- Analize specifičnih zona javne rasvjete
- Analize tipova izvora svjetlosti koji se koriste
- Analize svjetiljki u kojima se nalaze izvori svjetlosti
- Analiza sustava regulacije i upravljanja javne rasvjete.

Isto tako potrebno je prikupiti podatke za javnu rasvjetu prilikom analize sustava opskrbe i potrošnje električne energije te je potrebno analizirati sve njene elemente, a to su: svjetiljke, predspojne naprave, izvori svjetlosti, stanje sustava, energetsku učinkovitost, održavanje te vođenje i regulaciju sustava.

Analiza se provodi na temelju prikupljenih podataka o sustavu:

- Opis sustava
 - Potrebno je navesti tip i nazivnu snagu izvora svjetlosti
 - Potrebno je navesti vrste svjetiljki odnosno armature u kojima se nalaze izvori svjetlosti prema tipu i učinkovitosti
 - Potrebno je opisati regulaciju sustava sa svim njenim karakteristikama
- Namjena i uvjeti uporabe pojedinih tipova rasvjete
- Popis električne rasvjete kao što su izvori svjetlosti, broj izvora svjetlosti i slično
- Radno vrijeme pojedinih elemenata javne rasvjete
- Opće stanje i učinkovitost sustava
- Stanje osvjetljenosti određenih prostorija prema njihovoj namjeni
- Izračun godišnje potrebne električne energije za rasvjetu u referentnom režimu rada.

Pri analizi sustava upravljanja i regulacije potrebno je opisati sustav upravljanja unutarnjom i vanjskom rasvjetom te je preporučljivo reguliranje sustava rasvjete, tj. dimabilna odnosno fotoosjetljiva regulacija.

Energetskom bilancom se predstavlja potrošnja pojedinih energenata u ukupnoj potrošnji energije dok se troškovnom bilancom predstavljaju troškovi energije, energenata i vode. Energetska i troškovna bilanca se izrađuju na temelju potrošene energije i vode, a analiza tih troškova se provodi kako bi se napravila usporedba stvarne potrošnje sa izračunatim troškovima.

Zajedno sa analizom potrebno je i predložiti mjere poboljšanja energetske učinkovitosti kojima je cilj ušteda energije i/ili vode što se također odnosi i na poboljšanje energetske svojstava sustava javne rasvjete. Potencijalne mjere za poboljšanje energetske svojstava javne rasvjete je rekonstrukcija njenog sustava, a tu se podrazumijeva:

- Čišćenje, poboljšanje ili zamjena svjetiljki
- Zamjena predspojnih naprava
- Zamjena izvora svjetlosti
- Regulacija rada sustava javne rasvjete [8].

Iz ove metodologije se može zaključiti kako ona nije konkretno vezana za javnu rasvjetu odnosno nisu detaljno obrađeni svi elementi javne rasvjete pa će se pažnja tome posvetiti u sljedećem poglavlju.

3.2. Specifični elementi metodologije energetske pregleda javne rasvjete

Pri energetske pregledu javne rasvjete treba se koristiti metodologijom, a to podrazumijeva analizu sustava javne rasvjete od mjesta preuzimanja električne energije do krajnjeg potrošača. Tehnička i energetska svojstva javne rasvjete koja treba analizirati su:

- Mjesto preuzimanja električne energije zajedno sa razvodima, razvodnim ormarima i transformatorskim stanicama
- Specifične zone javne rasvjete
- Tipove korištenih izvora svjetlosti
- Svjetiljke u kojima se nalaze izvori svjetlosti
- Sustav regulacije i upravljanja javnom rasvjetom [10].

Metodologija energetske pregleda predstavlja određene korake za provedbu energetske pregleda. Sastoji se od 7 koraka koje je nužno poštivati, a ti koraci su:

1. Prikupljanje osnovnih informacija o korisniku
2. Analiza dostupne projektne dokumentacije
3. Opis sustava javne rasvjete s mapiranjem postojeće instalacije
4. Mjerenje svjetlosnih veličina
5. Mjerenje električnih veličina
6. Analiza računa za preuzetu električnu energiju

7. Prijedlog mjera poboljšanja energetske učinkovitosti.

3.2.1. Prikupljanje osnovnih informacija o korisniku

Osnovne informacije o korisniku trebaju sadržavati podatke o naručitelju energetskog pregleda kao i o odgovornoj osobi koja provodi energetski pregled. Osnovni podaci o sustavu javne rasvjete se trebaju sastojati od površine naselja, dužine sustava, broja rasvjetnih tijela i broja pojnih mjesta te prosječne udaljenosti između stupova, instalirane snage sustava, prosječnog osvjetljenja i broja korisnika. Osim površine naselja, bitni su i podaci o korisnicima javne rasvjete u određenom naselju, kao što je njihova starosna dob, te podaci o prometnoj povezanosti naselja. Isto tako potrebno je prikazati podatke i o godišnjoj potrošnje električne energije i o opskrbljivaču električne energije. Važno je obraditi pokazatelje energetske učinkovitosti javne rasvjete, koji mogu biti: potrošnja električne energije i instalirana snaga ovisni o kilometru instalacije javne rasvjete, potrošnja električne energije i instalirana snaga ovisni o kvadratnom kilometru, instalirana snaga po stanovniku te potrebna energija i trošak električne energije javne rasvjete po stanovniku godišnje.

3.2.2. Analiza dostupne projektne dokumentacije

Zadatak odgovorne osobe koja provodi energetski pregled je da prije izvođenja pregleda, od naručitelja, prikupi dostupnu dokumentaciju te da ju prouči i napravi sažetak koji će služiti kao smjernice tijekom provedbe energetskog pregleda.

3.2.3. Opis sustava javne rasvjete s mapiranjem postojeće instalacije

Za potrebe detaljne analize sustava potrebno je opisati sve elemente sustava, a to se odnosi na: broj i dužinu promatrane dionice određene ulice, tipove svjetiljki, snagu, tip i broj određenih žarulja, vrstu i visinu stupova na kojima se nalaze svjetiljke javne rasvjete, način napajanja koji može biti zračni ili kabelski, pojne točke i prostorni smještaj pojedinih elemenata sustava. Također je potrebno provesti mapiranje pojedinih elemenata sustava pri energetskom pregledu, a pri tome i fotodokumentaciju. Mapiranje je važno jer se, pri izradi izvješća o provedenom energetskom pregledu, može lako odrediti položaj pojedinih onečišćenih rasvjetnih tijela.

3.2.4. Mjerenje svjetlosnih veličina

Mjerenje svjetlosnih veličina, koje je potrebno provesti za sve tipove svjetiljki, je jedan od najvažnijih koraka energetskog pregleda jer daje konkretno stanje postojećeg sustava. Mjerne točke je potrebno odabrati u skladu s dijelom norme HRN EN 13201-3:2015; Proračun svojstava koja propisuje koordinate uzorkovanja, a mjerenje je potrebno provesti prema dijelu norme HRN

EN 13201-4:2015; Metode mjerenja svojstava rasvjete. Rezultati mjerenja odnosno iznosi i krivulje izmjerenih veličina služe za izradu modela koji će predstavljati analizirano rasvjetno tijelo.

3.2.5. Mjerenje električnih veličina

Pored mjerenja svjetlosnih veličina, važno je i mjerenje električnih veličina jer daje uvid u potrošnju električne energije javne rasvjete. Bitno je da se, pri provedbi mjerenja, nakon uključanja sustava javne rasvjete ostavi dovoljno vremena da se sustav dovede u stacionarno stanje kako bi se ustalile električne veličine (6 do 12 min) odnosno kako bi mjerenje bilo bez velikih odstupanja. Izmjerene vrijednosti bi trebale odgovarati popisanim prilikom prikupljanja dokumentacije, a osim potrošnje izvora svjetlosti, potrebno je i izmjeriti potrošnju predspojnih naprava. Ako postoje značajna odstupanja potrošnje i snage od mapirane instalacije, potrebno je provesti mjerenje za pojedinačna rasvjetna tijela.

3.2.6. Analiza računa za preuzetu električnu energiju

Pri analizi računa za električnu energiju nužno je pridržavati se vremena rada sustava javne rasvjete te bi analizirani podaci trebali odgovarati podacima za proteklu godinu.

3.2.7. Prijedlog mjera poboljšanja energetske učinkovitosti

Svrha prijedloga mjera poboljšanja je iznošenje mogućih ušteda, a kako bi njegova primjena bila ekonomski opravdana potrebno je pomno analizirati troškove električne energije i održavanja sustava javne rasvjete. Neke od predloženih mjera poboljšanja, koje moraju biti sukladne normi HRN EN 13201 i *Zakonu o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja NN 114/11*, su smještaj mjernih mjesta izvan sustava niskonaponske distribucije, rekonstrukcija sustava javne rasvjete odnosno prijedlog zamijene neučinkovitih ili predimenzioniranih svjetiljki. Još jedna od mjera poboljšanja je snimka postojećeg stanja, odnosno analiza zatečenog stanja sa pripadajućim opisom, koja daje uvid u moguće razlike između projektiranog i zatečenog stanja uslijed grešaka prilikom izrade [10].

3.3. Norme na području cestovne rasvjete

Pri provedbi energetskog pregleda nužno je koristiti se normama kako bi se uskladila postojeća infrastruktura javne rasvjete sa zadanim propisima. U ovome radu će biti posvećena pažnja na cestovnu rasvjetu te će se koristiti norma EN 13201. Ova norma je potvrđena od strane Europskog odbora za normizaciju te se primjenjuje i u Republici Hrvatskoj. Norma se sastoji od pet dijelova:

- HRI CEN/TR 13201-1:2014; Smjernice za odabir razreda rasvjete
- HRN EN 13201-2:2015; Zahtijevana svojstva
- HRN EN 13201-3:2015; Proračun svojstava
- HRN EN 13201-4:2015; Metode mjerenja svojstava rasvjete
- HRN EN 13201-5:2015; Pokazatelji energetske svojstava [11].

3.3.1. HRI CEN/TR 13201-1:2014; Smjernice za odabir razreda rasvjete

Ovaj dokument pruža smjernice za odabir razreda rasvjete i srodnih aspekata te objedinjuje razrede rasvjete za motorizirani promet, sukobljena područja te za pješake i područja niske brzine. Posebna pozornost je na dijelu dokumenta za motorizirani promet s obzirom da će se mjerenja provesti za taj dio. Primjenjiv je na instalacije javne rasvjete kojima je svrha omogućiti korisnicima dobru vidljivost na javnim cestovnim područjima u noćnim satima kako bi se osigurala sigurnost u prometu, protok prometa te sigurnost ljudi.

Razred rasvjete M je namijenjen vozačima motornih vozila na prometnicama, ali i u nekim zemljama i na cestama u naseljima koji postižu umjerene do visoke brzine. Potrebno je odabrati odgovarajući razred rasvjete s obzirom na ulogu ceste, projektiranu brzinu, izgled ceste, gustoću prometa, sastav prometa te okoliše uvjete. Kako bi se razred rasvjete M mogao primijeniti na dani slučaj, potrebno je odabrati i dodati prikladne težinske vrijednosti kako bi se dobila suma težinskih vrijednosti (VWS), pa se zatim razred rasvjete M računa prema sljedećoj formuli:

$$M = 6 - VWS \quad (3-1)$$

Ključan je odabir prikladne težinske vrijednosti iz tablice 3.1. koja će doprinijeti broju razreda između 1 i 6. Ako je suma težinskih vrijednosti (VWS) < 0 treba odabrati vrijednost 0, a ako je rezultat razreda $M \leq 0$ treba odabrati razred M1.

Tablica 3.1. Parametri za odabir razreda rasvjete M [11].

Parametar	Opcije	Opis ^a		Težinska vrijednost V_W^a
Projektirana brzina ili ograničenje brzine	Vrlo visoka	$v \geq 100$ km/h		2
	Visoka	$70 < v < 100$ km/h		1
	Umjerena	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Niska	$v \leq 40$ km/h		-2
Gustoća prometa		Autoceste, više tračne ceste	Dvotračne ceste	
	Visoka	> 65 % maksimalnog kapaciteta	> 45 % maksimalnog kapaciteta	1
	Umjerena	35 % - 65 % maksimalnog kapaciteta	15 % - 45 % maksimalnog kapaciteta	0
	Niska	< 35 % maksimalnog kapaciteta	< 15 % maksimalnog kapaciteta	-1
Sastav prometa	Miješani sa malim postotkom motornih vozila			2
	Miješani			1
	Samo motorna vozila			0
Odvajanje kolnika	Ne			1
	Da			0
Gustoća raskrižja		Raskrižje/km	Čvorišta, udaljenost između mostova, km	
	Visoka	> 3	< 3	1
	Umjerena	≤ 3	≥ 3	0
Parkirana vozila	Prisutna			1
	Ne prisutna			0
Svjetlost okoline	Visoka	Izlozi, reklamni panoi, sportski tereni, stanice, skladišta		1
	Umjerena	Normalna situacija		0
	Niska			-1
Mogućnosti orijentacije	Vrlo teški			2
	Teški			1
	Lagani			0

^a - Vrijednosti navedene u stupcu su primjer. Moguće je koristiti prikladnije težinske vrijednosti koje vrijede na nacionalnoj razini.

3.3.2. HRN EN 13201-2:2015; Zahtijevana svojstva

Razred rasvjete definiran je skupom fotometrijskih zahtjeva kojima je cilj vizualna potreba određenih sudionika u prometu na određenim vrstama cestovnih područja i okoliša. Potrebe mogu varirati u različitim razdobljima tijekom noći, a također i u različitim godišnjim dobima, tako da preporuke mogu varirati tijekom tih razdoblja.

Svrha uvođenja razreda rasvjete je olakšati razvoj i uporabu elemenata javne rasvjete i usluga za osvjjetljenje cesta u zemljama članicama CEN-a. Razredi rasvjete definirani su uzimajući u obzir standarde cestovne rasvjete u tim zemljama s ciljem usklađivanja zahtjeva tamo gdje je to moguće.

M razredi rasvjete namijenjeni su vozačima motornih vozila koja se koriste na prometnicama, a u nekim zemljama i naseljenim cestama, omogućujući srednju do visoku brzinu vožnje. Glavni kriteriji osvjjetljenja ovog razreda temelje se na sjajnosti površine ceste i uključuju prosječnu sjajnost, ukupnu ujednačenost i uzdužnu ujednačenost za stanje suhe ceste. Dodatni kriteriji odnose se na bliještanje kvantificirano porastom praga (engl. Threshold Increment) TI i osvjjetljenje okolnih područja kvantificirano omjerom osvjjetljenja ruba (engl. Edge Illuminance Ratio) EIR. Dodatni kriterij, koji se koristi u nekim zemljama, je ukupna jednolikost sjajnosti u vlažnim uvjetima.

Treba uzeti u obzir da je svjetlost nekih izvora svjetlosti osjetljiva na temperaturu. Kako se fotometrijski podaci obično objavljuju uzimajući u obzir referentnu temperaturu od 25 °C, za ove izvore svjetla treba uzeti u obzir korekcijski faktor, ako su temperature okoline različite.

Za potrebe ovog dijela normi koristit će se slijedeći pojmovi i definicije:

Prosječna sjajnost površine ceste

\bar{L} – mjerna jedinica je kandela po metru kvadratnom [$cd \cdot m^2$].

Longitudinalna jednolikost

U_l – najmanji omjer određen za svaku voznu traku prometnice kao omjer najniže i najviše sjajnosti površine ceste u središtu svake vozne trake.

Porast praga (Threshold increment TI)

f_{TI} – postotni porast kontrasta objekta za kojeg je nužno da ostane unutar praga vidljivosti uz prisustvo bliještanja rasvjetnog tijela rasvjetne cestovne instalacije.

Omjer rubnog osvjjetljenja

R_{EI} – prosječno horizontalno osvjetljenje na traci odmah izvan ruba prometnice razmjerno sa prosječnim horizontalnim osvjetljenjem na traci unutar ruba, gdje je širina trake jednaka širini vozne trake prometnice.

Prosječno osvjetljenje

\bar{E} – prosječno horizontalno osvjetljenje prometnice, mjerna jedinica je lux [lx].

Minimalno osvjetljenje

E_{min} – najmanje osvjetljenje prometnice, mjerna jedinica je lux [lx].

Polukružno osvjetljenje

E_{hs} – svjetlosni tok malog polukruga sa horizontalnom bazom podijeljenom sa površinom polukruga, mjerna jedinica je lux [lx].

Prosječno polukružno osvjetljenje

\bar{E}_{hs} – prosječno polukružno osvjetljenje prometnice, mjerna jedinica je lux [lx].

Ukupna jednolikost

U_o – omjer najniže i srednje vrijednosti.

Održavana razina (prosječne sjajnosti površine ceste, prosječno ili minimalno osvjetljenje prometnice, prosječno polukružno osvjetljenje, minimalno polu-cilindrično osvjetljenje ili minimalno osvjetljenje vertikalne plohe)

Razina dizajna umanjena za faktor održavanja kako bi se osigurala deprecijacija.

Polu-cilindrično osvjetljenje

E_{sc} – ukupni svjetlosni tok koji pada na zaobljenu površinu vrlo malog polu-cilindra podijeljena sa zaobljenom površinom polu-cilindra, mjerna jedinica je lux [lx].

Minimalna polu-cilindrično osvjetljenje

$E_{sc,min}$ – najniže polu-cilindrično osvjetljenje plohe na određenoj visini iznad površine ceste, mjerna jedinica je lux [lx].

Osvjetljenje vertikalne plohe

E_v – osvjetljenje u točki na vertikalnoj plohi, mjerna jedinica je lux [lx].

Minimalno osvjetljenje vertikalne plohe

$E_{v,min}$ – najniže osvjetljenje vertikalne plohe na plohu koja je na određenoj visini iznad površine ceste, mjerna jedinica je lux [lx].

U tablici 3.2. su prikazani M razredi namijenjeni vozačima motornih vozila koji ostvaruju umjerene do visoke brzine na prometnicama.

Tablica 3.2. M razredi rasvjete [12].

Razred	Sjajnost ceste pri uvjetima suhe i mokre površine ceste			Bliještanje		Okolna rasvjeta
	Suhi uvjeti		Mokri	Suhi uvjeti	Suhi uvjeti	
	\bar{L} (održavan min.) [$cd \cdot m^{-2}$]	U_o (min.)	U_l^a (min.)	U_{ow}^b (min.)	f_{TI}^c (maks.)	R_{EI}^d (min.)
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

^a Longitudinalna jednolikost (UI) pruža mjeru uočljivosti ponovljenog uzorka svijetlih i tamnih slojeva na površini ceste i kao takva je bitna samo za vizualne uvjete na dugačkim neprekinutim dijelovima ceste pa bi se i trebala primijeniti na te uvjete. U stupcu su navedene minimalne preporučene vrijednosti za određeni razred rasvjete, ali mogu biti izmijenjene za određene pripadajuće uvjete rasporeda ceste ili kad je korištenje određeno analizom ili za određene nacionalne zahtjeve.

^b Ovo je jedini kriterij za mokre uvjete na cesti. Može se primijeniti sa kriterijima za suhe uvjete na cesti sukladno sa određenim nacionalnim zahtjevima. Vrijednosti navedene u stupcu se mogu izmijeniti za određene nacionalne zahtjeve.

^c U stupcu f_{TI} su navedene maksimalne preporučene vrijednosti za određeni razred rasvjete koje se mogu izmijeniti za određene nacionalne zahtjeve.

^d Ovaj kriterij bi trebalo primijeniti samo u slučaju kada ne postoje prometna područja sa vlastitim zahtjevima za rasvjetu uz prometnice. Prikazane vrijednosti su privremene i mogu se izmijeniti gdje postoje određeni nacionalni ili projektni zahtjevi. Vrijednosti mogu biti veće ili manje od prikazanih, ali treba obratiti pažnju da se osigura zadovoljavajuće osvjetljenje područja.

Dizajn i postav instalacije cestovne rasvjete i opreme mogu uvelike promijeniti izgled ceste i cestovnog okruženja, danju i noću. Ovo se ne odnosi samo na korisnika ceste, nego i na promatrača koji instalaciju promatraju s neke udaljenosti od ceste.

Razmatranja su u skladu sa sljedećim pitanjima koja se odnose na:

Dnevni izgled:

- a) izbor načina potpore, na primjer stupovi sa ili bez nosača, nosive žice ili izravno postavljanje na zgrade;
- b) dizajn i boja rasvjetnih stupova;
- c) razmjer i visina stupova rasvjete ili drugih nosivih elemenata u odnosu na visinu susjednih zgrada, drveća i drugih vidljivih objekata u vidnom polju;
- d) položaj rasvjetnih stupova u odnosu na scenske prikaze;
- e) dizajn, duljina i nagib nosača na stupovima;
- f) nagib svjetiljke;
- g) izbor svjetiljke.

Noćni izgled i udobnost:

- h) boja svjetlosti;
- i) indeks uzvrata boje;
- j) visina ugradnje svjetiljke;
- k) osvijetljeni izgled svjetiljke;
- l) osvijetljeni izgled cjelokupne instalacije;
- m) osvijetljeni izgled izgrađenog gradskog okoliša;
- n) optičko navođenje izravnom svjetlošću iz svjetiljke;
- o) smanjenje razine svjetlosti u određenim razdobljima.

Smanjivanje svjetlosti emitirane u pravcima u kojima nije potrebno ili poželjno:

- p) u ruralnim ili prigradskim naseljima, nametljivi pogled iz daljine na instalacije cestovne rasvjete;
- q) neugodnost zbog prodiranja svjetlosti u posjede;
- r) svjetlost iznad horizontale koja, kada se raspršuje u atmosferu, ometa prirodni pogled na zvijezde i narušava astronomska promatranja;
- s) svjetlost može povećati razinu sjajnosti u prirodnom području što može utjecati na ekološke funkcije [12].

3.3.3. HRN EN 13201-3:2015; Proračun svojstava

Metode proračuna opisane u ovome dijelu omogućuje da se proračunaju karakteristike kvalitete cestovne rasvjete, na temelju dogovorenih procedura, kako bi rezultati pojedinih proizvođača bili podjednaki.

3.3.3.1 Matematičke konvencije

Osnovne konvencije korištene u matematičkim postupcima u ovome dijelu su:

- a) izvor svjetlosti se promatra kao točka
- b) zanemaruje se svjetlost reflektirana od okoline kao i isprepletana svjetlost
- c) zanemaruju se prepreke svjetlosti od drveća i drugih objekata
- d) atmosferska apsorpcija je jednaka nuli
- e) površina ceste je ravna i nivelirana i ima jednolika reflektirajuća svojstva na promatranoj površini
- f) vrednovanje u I-tablicama i r-tablicama treba ostvariti pomoću linearne interpolacije.

U slučaju svjetiljki postavljenih na nižoj razini preporuča se provjeriti je li udaljenosti između optičke osi svake svjetiljke i najbliže točke mjerene površine veća ili jednaka pet puta duljini svjetlosnog područja jedne svjetiljke. Ako taj uvjet nije ispunjen, možda će biti potrebno simulirati fotometriju u blizini polja dijeljenjem svjetiljke u virtualne točkaste izvore svjetlosti jednake raspodjele svjetlosti kao i cijela svjetiljka. Omjer svjetlosnog toka svakog virtualnog izvora svjetlosti i ukupnog izvora svjetlosti svjetiljke je jednak.

Rezultati proračuna se moraju prikazati sa odgovarajućim brojem decimalnih mjesta i u obliku tablice 3.3.

Tablica 3.3. Broj decimalnih mjesta za pojedine parametre [13].

	\bar{L}	U_o	U_I	f_{TI}	R_{EI}	$\bar{E} < 10 \text{ lx}$	$10 \text{ lx} \leq \bar{E} \leq 20 \text{ lx}$	$\bar{E} > 20 \text{ lx}$
Broj decimalnih mjesta	2	2	2	0	2	2	1	0

3.3.3.2 Proračun fotometrijskih veličina

Sjajnost:

Sjajnost u točki

Sjajnost u točki je potrebno odrediti primjenom sljedeće formule:

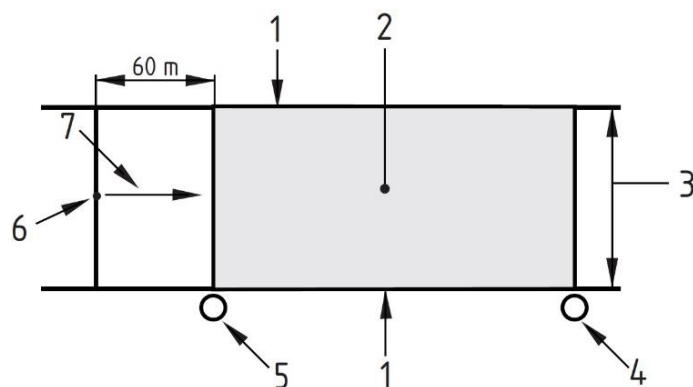
$$L = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C, \gamma) \cdot f_M \cdot r_k(\tan \varepsilon, \beta)}{H_k^2} \quad (3-2)$$

Gdje je:

- L sjajnost [$cd \cdot m^{-2}$];
- K indeks trenutne svjetiljke u sumi;
- n_{LU} broj svjetiljki korištenih u proračunu;
- $I_k(C, \gamma)$ jakost svjetla k-te svjetiljke [cd];
- f_M ukupni faktor održavanja koji ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
- $r_k(\tan \varepsilon, \beta)$ smanjeni koeficijent sjajnosti za trenutni put svjetlosti sa kutnim koordinatama u steradianima;
- H_k visina k-te svjetiljke od površine ceste u metrima [13].

Područje za izračunavanje sjajnosti

U uzdužnom smjeru određenog područja, polje proračuna mora sadržavati dvije svjetiljke u istom redu. Ako postoji više redaka svjetiljki, a razmak svjetiljki se razlikuje između redova, polje proračuna leži između dviju svjetiljki u nizu s većim ili najvećim razmakom, ali to možda neće dati točne vrijednosti sjajnosti za cijelu instalaciju, jer će se sjajnosti površina razlikovati u različitim rasponima između susjednih svjetiljki.

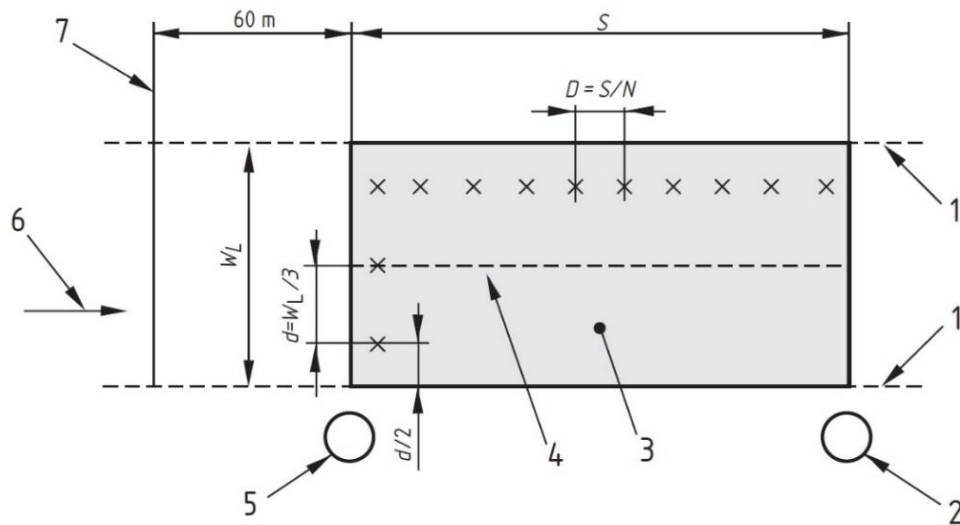


Slika 3.1. Podaci o području za mjerenje sjajnosti [13].

- 2 mjerno područje
- 3 širina mjernog područja W_r
- 4 posljednja svjetiljka u mjernom području
- 5 prva svjetiljka u mjernom području
- 6 promatrač
- 7 smjer promatranja.

Položaj mjernih točaka

Položaj mjernih točaka treba biti ravnomjerno raspoređen u polju kao što je prikazano na slici 3.2.



Slika 3.2. Podaci o položaju mjernih točaka za mjerenje sjajnosti [13].

- 1 rub trake
 - 2 posljednja svjetiljka u mjernom području
 - 3 mjerno područje
 - 4 središnja linija trake
 - 5 prva svjetiljka u mjernom području
 - 6 smjer promatrača
 - 7 promatračev uzdužni položaj
- X X označava crte mjernih točaka u poprečnom i uzdužnom smjeru.

Razmak između mjernih točaka u uzdužnom smjeru se određuje prema:

$$D = \frac{S}{N} \quad (3-3)$$

gdje je

- D razmak između mjernih točaka u uzdužnom smjeru [m]
- S razmak između svjetiljki u istom redu [m]
- N broj mjernih točaka u uzdužnom smjeru; za $S \leq 30$ m, $N = 10$, a za $S > 30$ m najmanji cijeli broj koji daje $D \leq 3$ m.

Prvi red poprečnih mjernih točaka bi trebao biti smješten na razmaku $D/2$ ispred prve svjetiljke.

Razmak između mjernih točaka u poprečnom smjeru se određuje prema:

$$d = \frac{W_L}{3} \quad (3-4)$$

gdje je

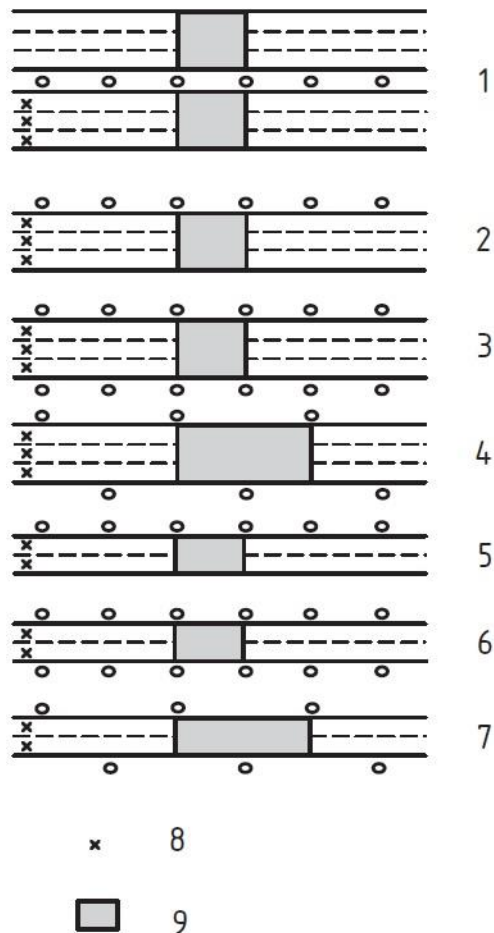
- d razmak između mjernih točaka u poprečnom smjeru [m]
- W_L širina trake [m].

Vanjske mjerne točke su smještene na razmaku $d/2$ od ruba trake.

Položaj promatrača

Za proračun sjajnosti, promatračevo oko nalazi se 1,5 m iznad površine ceste i 60 m ispred polja proračuna mjerodavnog područja.

U poprečnom smjeru promatrač se mora nalaziti u središtu svake trake. Prosječna sjajnost, ukupna ujednačenost sjajnosti i porast praga izračunavaju se za cijelu cestu za svaki položaj promatrača. Za svaku središnju traku izračunava se uzdužna jednolikost sjajnosti.



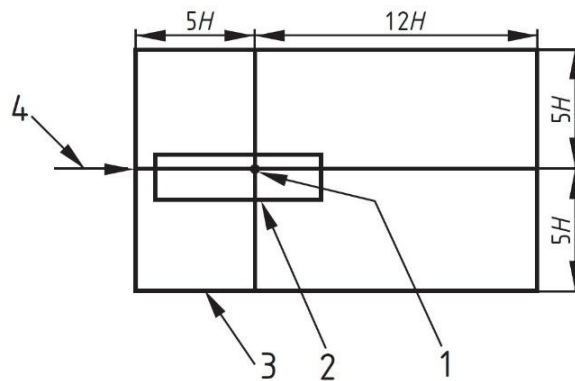
Slika 3.3. Primjeri položaja promatrača u odnosu na polje izračuna [13].

- 1 cesta sa šest traka sa centralnim rasporedom svjetiljki
- 2 cesta sa tri trake sa jednostranim rasporedom svjetiljki
- 3 cesta sa tri trake sa dvostranim rasporedom svjetiljki
- 4 cesta sa tri trake sa naizmjeničnim rasporedom svjetiljki
- 5 cesta sa dvije trake sa jednostranim rasporedom svjetiljki
- 6 cesta sa dvije trake sa dvostranim rasporedom svjetiljki
- 7 cesta sa dvije trake sa naizmjeničnim rasporedom svjetiljki
- 8 položaj promatrača
- 9 mjerno područje

Svjetiljke koje se promatraju

Granica područja za pozicioniranje svjetiljki koje će se koristiti u proračunu sjajnosti u točki određuje se na sljedeći način:

- granica sa obje strane promatrača: najmanje pet puta veća od visine postavljanja svjetiljke H sa obje strane mjernih točaka;
- granica najudaljenija od promatrača: najmanje $12 \cdot H$ od mjerne točke u smjeru udaljenom od promatrača;
- granica koja je najbliža promatraču: najmanje $5 \cdot H$ od mjerne točke u smjeru prema promatraču.



Slika 3.4. Granice područja za pozicioniranje svjetiljki [13].

- 1 mjerna točka
- 2 granica mjernog područja
- 3 granica područja za pozicioniranje svjetiljki
- 4 smjer promatrača.

Osvjetljenje:

Općenito

U ovom dijelu možda će biti potrebno izračunati bilo koju od četiri različite vrste osvjetljenja, ovisno o projektiranim kriterijima odabranim u dijelu EN 13201-2, a to mogu biti: horizontalno osvjetljenje; b) polukružno osvjetljenje; c) polu-cilindrično osvjetljenje; d) okomito osvjetljenje.

Horizontalno osvjetljenje u točki

Mjerne točke moraju biti smještene u razini tla u mjernom području. Horizontalno osvjetljenje u točki izračunava se iz formule:

$$E_h = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C, \gamma) \cdot f_M \cdot \cos^2 \epsilon_k}{H_k^2} \quad (3-5)$$

gdje je

E_h	horizontalno osvjetljenje u točki [lx];
k	indeks trenutne svjetiljke u sumi;
n_{LU}	broj svjetiljki korištenih u proračunu;
$I_k(C, \gamma)$	jakost svjetla k-te svjetiljke [cd];
f_M	ukupni faktor održavanja koji ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
ε_k	kut upada svjetlosti u točki [°];
H_k	visina postavljanja k-te svjetiljke [m].

Polukružno osvjetljenje u točki

Mjerne točke moraju biti smještene u razini tla u mjernom području. Polukružno osvjetljenje u točki izračunava se iz formule:

$$E_{hs} = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C, \gamma) \cdot f_M \cdot [\cos^3 \varepsilon_k + \cos^2 \varepsilon_k]}{4H_k^2} \quad (3-6)$$

gdje je

E_{hs}	polukružno osvjetljenje u točki [lx];
k	indeks trenutne svjetiljke u sumi;
n_{LU}	broj svjetiljki korištenih u proračunu;
$I_k(C, \gamma)$	jakost svjetla k-te svjetiljke [cd];
f_M	ukupni faktor održavanja koji ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
ε_k	kut upada svjetlosti u točki [°];
H_k	visina postavljanja k-te svjetiljke [m].

Polu-cilindrično osvjetljenje u točki

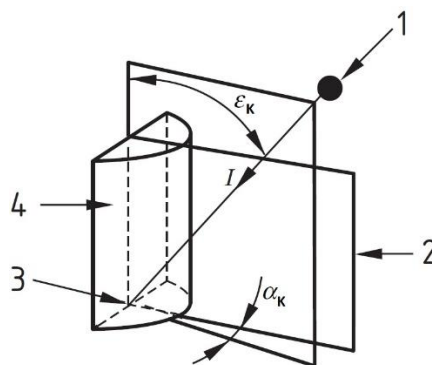
Mjerne točke moraju biti smještene na visini od 1,5 m iznad razine tla u mjernom području. Polu-cilindrično osvjetljenje varira ovisno promatranom smjeru. Okomita ravnina na slici 3.5., pod pravim kutom prema stražnjoj ravnoj površini, trebala bi biti orijentirana paralelno s kretnjama

pješaka, koje su za cestu obično uzdužne. Polu-cilindrično osvjetljenje u točki izračunava se iz formule:

$$E_{sc} = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C, \gamma) \cdot f_M \cdot \sin \varepsilon_k \cdot (1 + \cos \alpha_k)}{\pi \cdot d_{LkP}^2} \quad (3-7)$$

gdje je

- E_{sc} polu-cilindrično osvjetljenje u točki [lx];
- k indeks trenutne svjetiljke u sumi;
- n_{LU} broj svjetiljki korištenih u proračunu;
- $I_k(C, \gamma)$ jakost svjetla k-te svjetiljke [cd];
- f_M ukupni faktor održavanja koji ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
- α_k je kut između okomite ravnine koja sadrži put upadne svjetlosti i okomite ravnine pod pravim kutom na ravnu površinu polu-cilindra, kao što je prikazano na slici 3.5 [°];
- ε_k kut upada svjetlosti u točki [°];
- d_{LkP} je udaljenost između svjetiljke, L_k i točke P u središtu pravokutne baze polucilindra.



Slika 3.5. Kutovi za proračun polu-cilindričnog osvjetljenja [13].

- 1 svjetiljka k
- 2 okomita ravnina pod pravim kutom na ravnu površinu polu-cilindra
- 3 mjerna točka

4 ravna površina polu-cilindra.

Okomito osvjetljenje u točki

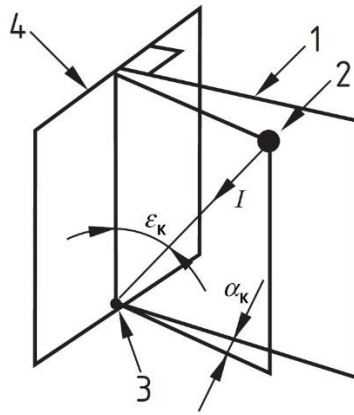
Mjerne točke moraju biti smještene na visini od 1,5 m iznad razine tla u mjernom području. Okomito osvjetljenje varira ovisno promatranom smjeru. Okomita ravnina osvjetljenja na slici 3.6. mora biti usmjerena pod pravim kutom prema glavnim smjerovima kretanja pješaka, koji su obično gore i dolje po cesti. Okomito osvjetljenje u točki izračunava se iz formule:

$$E_v = \sum_{k=1}^{n_{LU}} \frac{I_k(C, \gamma) \cdot f_M \cdot \sin \varepsilon_k \cdot (1 + \cos \alpha_k)}{d_{LkP}^2} \quad (3-8)$$

gdje je

E_v	okomito osvjetljenje u točki [lx];
k	indeks trenutne svjetiljke u sumi;
n_{LU}	broj svjetiljki korištenih u proračunu;
$I_k(C, \gamma)$	jakost svjetla k-te svjetiljke [cd];
f_M	ukupni faktor održavanja koji ovisi o faktoru održavanja izvora svjetlosti i faktoru održavanja svjetiljke;
α_k	je kut između okomite ravnine koja sadrži put upadne svjetlosti i okomite ravnine pod pravim kutom na okomitu ravninu osvjetljenja, kao što je prikazano na slici 3.6. [°];
ε_k	kut upada svjetlosti u točki [°];
d_{LkP}	je udaljenost između svjetiljke, L_k i točke u središtu baze pravokutnika u vertikalnoj ravnini osvjetljenja [m].

Ova formula vrijedi samo za $\varepsilon < 90^\circ$ i $\alpha < 90^\circ$.



Slika 3.6. Kutovi za proračun okomitog osvjetljenja [13].

- 1 okomita ravnina pod pravim kutom na okomitu ravninu osvjetljenja
- 2 svjetiljka
- 3 mjerna točka
- 4 okomitu ravninu osvjetljenja.

Područje izračunavanja osvjetljenja

Područje izračuna mora biti isto kao što je prikazano na slici 3.3.

Položaj mjernih točaka

Položaj mjernih točaka treba biti ravnomjerno raspoređen u području kao što je prikazano na slici 3.7.

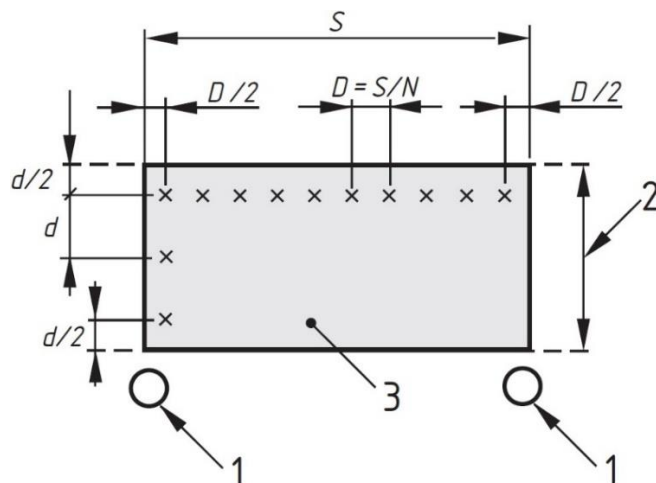
Razmak između mjernih točaka u uzdužnom smjeru se određuje prema:

$$D = \frac{S}{N} \quad (3-9)$$

gdje je

- D razmak između mjernih točaka u uzdužnom smjeru [m]
- S razmak između svjetiljki u istom redu [m]
- N broj mjernih točaka u uzdužnom smjeru; za $S \leq 30$ m, $N = 10$, a za $S > 30$ m najmanji cijeli broj koji daje $D \leq 3$ m.

Prvi red mjernih točaka bi trebao biti smješten na razmaku $D/2$ ispred prve svjetiljke.



Slika 3.7. Podaci o položaju mjernih točaka za mjerenje osvjetljenja [13].

- 1 svjetiljke
- 2 širina mjernog područja W_r
- 3 mjesto područje
- X X označava crte mjernih točaka u poprečnom i uzdužnom smjeru.

Razmak između mjernih točaka u poprečnom smjeru se određuje prema:

$$d = \frac{W_r}{n} \quad (3-10)$$

gdje je

- d razmak između mjernih točaka u poprečnom smjeru [m]
- W_r širina trake [m]
- n je broj točaka u poprečnom smjeru čija je vrijednost veća od ili jednaka 3 i najmanji cijeli broj koji daje $d \leq 1,5 m$.

Razmak mjernih točaka od rubova mjernog područja je $D/2$ u uzdužnom smjeru i $d/2$ u poprečnom smjeru kao što se vidi na slici 3.7.

Svjetiljke koje se promatraju

U izračunu bi trebalo koristiti svjetiljke koje se nalaze unutar udaljenosti od pet puta visine postavljanja svjetiljke od točke mjerenja.

Osvjetljenje područja nepravilnog oblika

Za ta će područja možda biti potrebno odabrati pravokutno polje za izračun koje se zatvara i zbog toga je veće od odgovarajućeg područja. Mjerne točke korištene za izračun karakteristika kvalitete se trebaju odabrati od onih točaka koje se nalaze unutar granice relevantnog područja. Ako razmak svjetiljki nije jednolik, možda neće biti moguće povezati razmak mjernih točaka s razmakom svjetiljki, ali razmak u oba smjera ne smije biti veći od 1,5 m. Glavni smjerovi prometnog toka za izračun vertikalnog osvjetljenja i polu-cilindričnog osvjetljenja odlučuju se nakon razmatranja uporabe ili vjerojatne uporabe područja [13].

3.3.4. HRN EN 13201-4:2015; Metode mjerenja svojstava rasvjete

Svrha ovog dijela norme je:

- a) ustanoviti konvencije i procedure za karakterizaciju na temelju mjerenja instalacija javne rasvjete uzimajući u obzir parametre fotometrijske kvalitete;
- b) pružiti savjete za korištenje i odabir instrumenata za mjerenje sjajnosti i osvjetljenja za određenu primjenu;
- c) odrediti zahtjeve mjerenja s obzirom na cilj mjerenja i očekivanu točnost;
- d) ustanoviti konvencije za procjenu mjerne nesigurnosti korištenih parametara;
- e) pružiti informacije o primjeni analize tolerancije u konstrukciji instalacije rasvjete.

Popis mogućih ciljeva mjerenja:

- f) provjera usklađenosti sa zahtjevima norme;
- g) provjera usklađenosti sa projektiranim očekivanjima;
- h) nadzor instalacije cestovne rasvjete;
- i) upravljanje instalacijom cestovne rasvjete;
- j) ispitivanje razlika između stvarnih uvjeta osvjetljenja i projektiranih očekivanja.

3.3.4.1 Uvjeti mjerenja

Starenje svjetiljki prije mjerenja

Mjerenja bi se trebala provesti nakon nekog perioda starenja izvora svjetlosti ugrađenih u svjetiljke, a ne manje od zadanog razdoblja za određenu vrstu svjetiljke.

Stabilizacija nakon uključanja

Svjetiljke zahtijevaju određeni vremenski period da se stabilizira svjetlost, a sva mjerenja bi se trebala provesti nakon tog perioda. Treba uzeti mjerna očitavanja ako postoji zabrinutost za stabilnost instalacije javne rasvjete tijekom perioda mjerenja.

Klimatski uvjeti:

Općenito

Klimatski uvjeti bi trebali biti takvi da ne utječu znatno na mjerenje, osim ako je to namjera. Ako klimatski uvjeti za vrijeme mjerenja nisu zadovoljavajući, odgovorna osoba za mjerenje treba odlučiti hoće li se odgoditi mjerenje.

Instrumenti

Visoke ili niske temperature mogu utjecati na kalibraciju i točnost instrumenata za mjerenje svjetlosti. Kondenzacija ili vlaga na površinama mjernog instrumenta za prijenos svjetla ili na strujnim krugovima mogu također utjecati na točnost. Visoke brzine vjetra mogu prouzrokovati vibracije ili oscilacije instrumenata. Utjecaj klimatskih uvjeta na performanse instrumenata treba korigirati koristeći korekcijske faktore. Te nesigurnosti treba uzeti u obzir pri procjeni mjerne nesigurnosti. Ako su klimatski uvjeti izvan raspona poznatih korekcijskih faktora, osoba odgovorna za provedbu mjerenja treba odgoditi mjerenje.

Instalacije cestovne rasvjete

Visoke ili niske temperature ili visoke brzine vjetra mogu utjecati na svjetlosni tok termalno osjetljivih lampi ili svjetiljki. Visoke brzine vjetra mogu uzrokovati oscilacije svjetiljki. Svjetlost iz atmosfere može utjecati na dopiranje željene svjetlosti za mjerenje. Klimatski uvjeti bi trebali biti takvi da ne utječu znatno na mjerenje, osim ako je to namjera. Mjerenja sjajnosti treba provesti dok je cesta suha kada se uzimaju u obzir zahtjevi M razreda za suhe uvjete. Ako klimatski uvjeti za vrijeme mjerenja nisu zadovoljavajući, odgovorna osoba za mjerenje treba odlučiti hoće li se odgoditi mjerenje.

Uvjeti na cesti

Fotometrijske karakteristike površine ceste se mogu znatno razviti tijekom vremena, pogotovo tijekom prve tri godine starosti materijala. U slučaju mjerenja sjajnosti na novoj površini ceste, mjerne vrijednosti mogu biti drugačije od očekivanih jer je stvarni smanjeni koeficijent sjajnosti drugačiji od koeficijenta korištenog pri projektiranju.

Vanjska svjetlost i prepreka svjetlosti

Prilikom provedbe mjerenja svjetlosnih performansi samo instalacije javne rasvjete, direktno ili reflektirajuće svjetlo iz okoline bi se trebalo spriječiti ili uračunati te bi se to trebalo zabilježiti u izvještaju. Prilikom provedbe mjerenja svjetlosti iz instalacije bez prepreka, potrebno je ako je

moguće odabrati mjesta za provedbu mjerenja na kojima nema prepreka koje bi mogle stvoriti sjene. Ove prepreke mogu biti drveće, parkirani auti ili prometni znakovi. Prisutnost prepreka treba zabilježiti u izvješčaju. Svaku sjenu ili smetnju koju proizvode mjerni instrumenti ili osoblje treba svesti na minimum. Treba obratiti pozornost da osoblje koje vrši mjerenje ili oprema koju koriste ne ometa svjetlost koja treba dosegnuti glavu fotometra (mjerenje osvjetljenja) ili mjerenu površinu ceste (mjerenje sjajnosti) ili reflektirajuću svjetlost. Pri mjerenja za vrijeme životnog vijeka instalacije, vanjska ili nametljiva svjetlost se može izbjeći ili smatrati dijelom svjetlosnih performansi u skladu sa postupcima opisanim tijekom projektiranja [14].

3.3.4.2 Fotometrijska mjerenja

Položaj mjernih točaka

Nominalni položaj mjernih točaka mora biti u skladu s onim danim u HRN EN 13201-3. Ako je u skladu sa metodom, može se smanjiti broj točaka, koristeći najmanje 50 % od ukupnog broja standardnih mjernih točaka ili se mogu koristiti alternativne mreže mjernih točaka. Ova pojednostavljena mreža mjernih točaka ili alternativna mreža trebala bi sadržavati značajnu raspodjelu točaka po površini koja se koristi za definiranje pune mreže (HRN EN 13201-3). Točnost položaja mjernih točaka treba uzeti u obzir pri procjeni mjerne nesigurnosti. Prilikom mjerenja tijekom životnog vijeka instalacije cestovne rasvjete mogu se uzeti različite točke mjerenja u odnosu na standardnu mrežu (HRN EN 13201-3). U tom se slučaju može smanjiti ili povećati skup mjernih točaka ili predložiti u završnoj fazi, a točnost se procjenjuje na temelju prethodno izmjerenih ili projektnih podataka. U nekim situacijama mogu biti dovoljne provjere na licu mjesta, ali se prilikom mjerenja mora se uzeti u obzir duljina instalacije za osvjetljenje ceste i svi njezini razredi rasvjete.

Mjerenje sjajnosti:

Položaj promatrača (mjerač sjajnosti)

Za mjerenje sjajnosti, položaji promatrača moraju biti u skladu s onima navedenim u HRN EN 13201-3. Točnost položaja promatrača treba uzeti u obzir pri procjeni mjerne nesigurnosti. Mjerenje se može provesti na bližem razmaku i na proporcionalno nižoj visini tako da bi kut orijentacije mjernog instrumenta trebao biti $(89 \pm 0,5)^\circ$ od normale površine ceste.

Odabir mjernih točaka

Ako su neke točke mreže smještene na oznakama na cesti (zebra, cestovni prijelaz), one se ne uzimaju u obzir pri određivanju prosječne vrijednosti sjajnosti i ujednačenosti. Te se točke bilježe

u izvješću. Neke se točke mreže mogu smjestiti u sjeni predmeta (npr. stabala) ili mrlji od ulja itd., te se u takvim slučajevima preporučuje da se te točke ne uzimaju u obzir pri određivanju prosječne vrijednosti sjajnosti i ujednačenosti te da se zabilježe točke u izvještaju.

Mjerenje prosječne sjajnosti

Prosječna sjajnosti dobiva se kao srednja vrijednost sjajnosti izmjerenih u mjernim točkama ili pomoću jednog očitavanja relevantnog područja površine ceste za čije mjerenje se treba koristiti ILMD mjerač (engl. Image Luminance Measuring Device).

Mjerenje osvjetljenja:

Općenito

Potrebno je izmjeriti bilo koja od četiri različite vrste osvjetljenja, ovisno o razredu rasvjete ili razredima instalacije za cestovne rasvjete, a to su: horizontalno osvjetljenje, polukružno osvjetljenje, polu-cilindrično osvjetljenje, vertikalno osvjetljenje.

Odabir mjernih točaka

Neke se mjerne točke mogu nalaziti u sjeni predmeta (npr. stabala) pa se u takvim slučajevima preporučuje da se te točke ne uzimaju u obzir pri određivanju prosječne i/ili minimalne vrijednosti osvjetljenja i ujednačenosti te da se zabilježe točke u izvještaju.

Mjerenje horizontalnog osvjetljenja

Za mjerenje horizontalnog osvjetljenja svjetlosno osjetljiva površina glave fotometra mora biti vodoravna ili paralelna s ravninom površine ceste, a njena nominalna visina (visina mjerenja) mora biti navedena u izvješću. Teoretski, svjetlosno osjetljiva površina glave fotometra treba biti postavljena u razini tla, ali općenito to nije moguće zbog debljine detektora i drugih nosača. Potrebno je procijeniti utjecaj mjerne visine u mjernoj nesigurnosti i odrediti korekcijski faktor za visinu ako je moguće.

Mjerenje okomitog osvjetljenja

Sredina svjetlosno osjetljive površine glave fotometra mora biti smještena na 1,5 m iznad površine tla s obzirom na mjerne točke definirane u HRN EN 13201-3, te ona mora biti vertikalna i ispravno orijentirana, obično pod pravim kutom u odnosu na glavne smjerove kretanja pješaka. Smjernice su dane u HRN EN 13201-3 [14].

3.3.4.3 Mjerenje ne fotometrijskih parametara

Općenito

Odabir ne fotometrijskih mjerenja treba biti u skladu sa svrhom mjerenja. Detaljna ne fotometrijska mjerenja bi trebalo provesti u slučaju kada se uspoređuju sa zahtjevima, a manje detaljna su dovoljna kada se provode za nadziranje stanja instalacije.

Napon napajanja

Ako je potrebno, za vrijeme mjerenja napon napajanja bi se trebao konstantno mjeriti ili barem na početku mjerenja u određenoj točki električne instalacije te samo promatrati.

Temperatura i vlaga

Ako je potrebno, temperatura i vlaga bi se trebali izmjeriti na visini od 1 m iznad površine tla i zabilježiti barem na početku mjerenja, a poželjno je i tijekom razdoblja mjerenja.

Geometrijski podaci

Ako je potrebno, provesti mjerenja geometrije instalacije sustava rasvjete, odnosno mjerenja u ravnini instalacije, visina stupova i duljina doseg. No osim toga može se izmjeriti i nagib, orijentacija i rotacija svjetiljke, ali samo ako su ti podaci potrebni za ispunjenje cilja mjerenja.

Instrumenti za ne fotometrijska mjerenja

Mjerenje ne fotometrijskih parametara koji su bitni za ispunjenje cilja mjerenja treba biti provedeno sa kalibriranim instrumentima, a u izvještaju treba zabilježiti korištenje ne kalibriranih instrumenata za određene ne fotometrijske parametre.

3.3.4.4 Izvještaj

Izvještaj bi se trebao sastojati od:

- a) ciljeva mjerenja;
- b) svih podataka prikupljenih prilikom mjerenja ako su potrebni za ispunjenje cilja mjerenja;
- c) detalja korištenih instrumenata, njihovih brojeva za identifikaciju, te stanje kalibracije (datum, valjanost i mjerna sljedivost);
- d) detalja od vremenu, okolišu te stanju sustava za napajanje;
- e) referenci ili kratkog opisa postupaka primijenjenih na mjerenje i obradu podataka, uključujući i procjenu mjerne nesigurnosti;
- f) mjernih rezultata sa pripadajućim mjernim nesigurnostima;

- g) razloga, opravdanja i posljedica odabira određenih zona instalacije rasvjete ako ne koristi u ukupnoj duljini;
- h) mjera poduzetih za sprječavanje ili uzimanje u obzir izravne ili reflektirane okolne svjetlosti;
- i) svih ostalih informacija spomenutih u prethodnim odredbama [14].

3.3.5. HRN EN 13201-5:2015; Pokazatelji energetske svojstava

Svrha ovog dijela norme je definiranje pokazatelja energetske učinkovitosti za instalacije cestovne rasvjete. Standard uvodi dva pokazatelja, pokazatelj gustoće snage (engl. Power Density Indicator - PDI) D_P i godišnji pokazatelj potrošnje energije (engl. Annual Energy Consumption Indicator - AECE) D_E koji bi se uvijek trebali zajedno koristiti.

Za određivanje potencijalnih ušteda dobivenih od poboljšanih energetske performansi i smanjenog utjecaja na okoliš, bitno je izračunati i pokazatelje gustoće snage (D_P) i godišnje pokazatelje potrošnje energije (D_E).

Pažljivim odabirom razreda rasvjete tijekom projektiranja pomoći će povećati uštedu energije osiguravajući samo potrebne razine osvjetljenja koje se pružaju u točno vrijeme i za minimalno potrebno razdoblje.

3.3.5.1 Proračun pokazatelja gustoće snage

Pokazatelj gustoće snage (PDI) za područje koje je podijeljeno na pod-područja za određeno stanje rada se računa prema slijedećoj formuli:

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \cdot A_i)} \quad (3-11)$$

gdje je

- D_P pokazatelj gustoće snage [$W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$]
- P snaga sustava koja se koristi za rasvjetu određenih područja [W]
- \bar{E}_i srednje horizontalno osvjetljenje pod-područja „i“ [lx]
- A_i površina osvjetljenog pod-područja „i“ [m^2]
- n broj pod-područja koje treba osvijetliti.

Ako se potrebni razred rasvjete mijenja tijekom noći i/ili tijekom godišnjih doba (npr. smanjenje razreda rasvjete zbog smanjene gustoće prometa, promjene vizualnog okruženja ili drugih

relevantnih parametara), gustoću snage (D_p) treba izračunati odvojeno za svaki od razreda rasvjete. Međutim ako se koristi više razreda rasvjete tijekom noći ili godine, gustoća snage (D_p) može se izračunati kao prosjek za ta razdoblja. U proračunu moraju biti jasno navedene pretpostavke korištene za proračun gustoće snage (D_p) te kako je ta vrijednost procijenjena [15].

3.3.5.2 Pokazatelj godišnje potrošnje električne energije

Godišnja potrošnja električne energije za instalaciju cestovne rasvjete ovisi o:

- vremenskom razdoblju za koje je osigurana rasvjeta,
- razredu rasvjete koji je određen odgovarajućom normom za rasvjetu za svako razdoblje rada rasvjete,
- učinkovitosti instalacije cestovne rasvjete kada pruža potrebnu rasvjetu za svako razdoblje,
- načinu na koji sustav upravljanja rasvjetom prati promjene vizualnih potreba korisnika ceste,
- parazitskoj potrošnji energije rasvjetnih uređaja tijekom razdoblja kada rasvjeta nije potrebna.

Za usporedbu i praćenje energetske performansi instalacije rasvjete, pokazatelj potrošnje energije uzima u obzir godišnju potrošnju električne energije za cestovnu rasvjetu, ali stvarne potrebe za rasvjetom mogu varirati tijekom godine zbog:

- sezonskih varijacija dnevnih/noćnih perioda,
- promjena vremenskih uvjeta koji utječu na vid (npr. mokra ili suha cesta),
- promjena gustoće prometa na ulicama ili javnim područjima tijekom noći ili promjena uzorkovanim povećanim ili smanjenim brojem ljudi,
- promjena funkcija ulica ili javnih prostora (npr. zatvorene ceste na određeno vrijeme).

Godišnja potrošnja električne energije (AECE) se računa prema:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \quad (3-12)$$

gdje je

D_E pokazatelj godišnje potrošnje električne energije za instalaciju cestovne rasvjete
[Wh · m⁻²];

P_j radna snaga poveza na j-tim razdobljem rada [W]

t_j trajanje j-tog razdoblja rada kada se koristi snaga P_j , za jednu godinu [h]

- A površina područja osvijetljena istim raspored rasvjete [m^2]
- m broj razdoblja sa različitom radnom snagom $P_j \cdot m$ kao i razdoblje potrošnje snage za vrijeme kada je rasvjeta isključena.

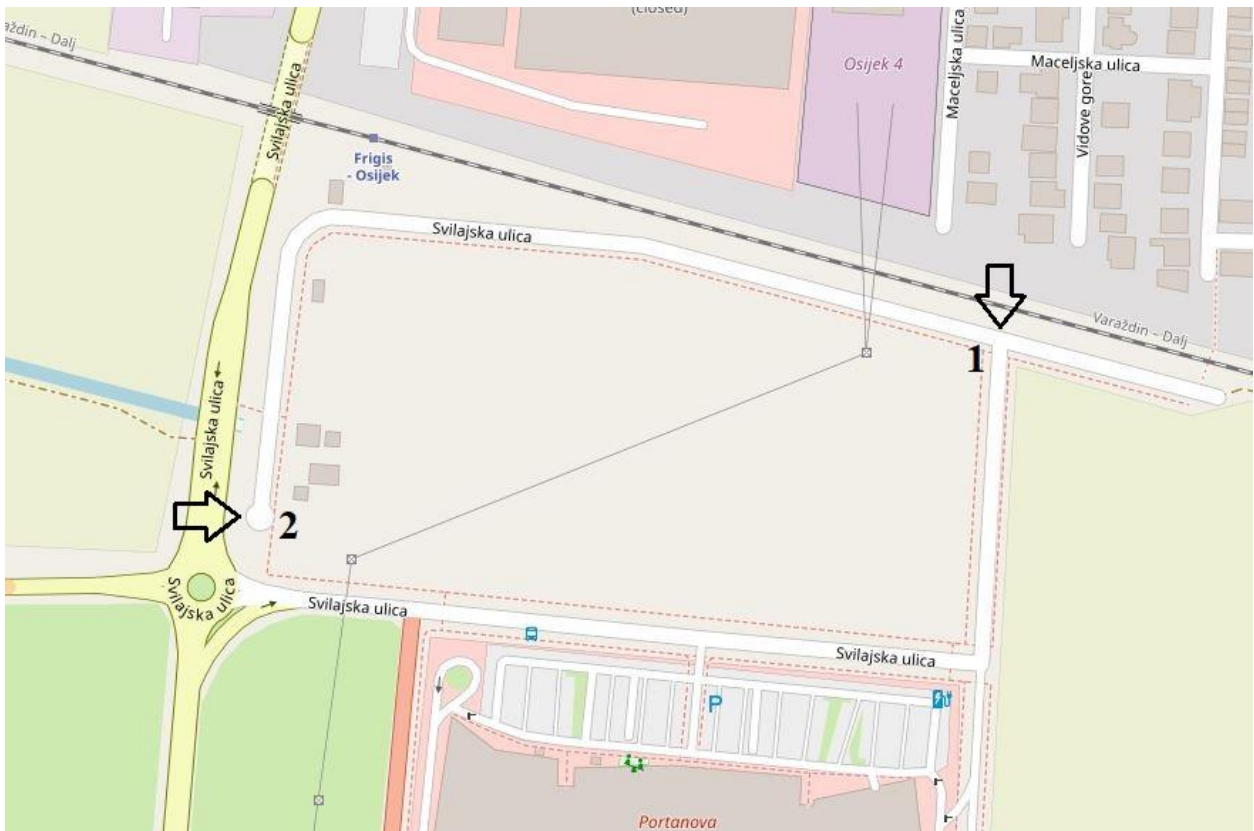
Ako je predviđeno da izvor svjetlosti daje konstantnu svjetlost, a potrošnja električne energije varira tijekom vremena, u proračun treba uzeti prosječnu potrošnju za predviđeni životni vijek [15].

4. PRIMJENA METODOLOGIJE ENERGETSKOG PREGLEDA JAVNE RASVJETE

Energetski pregled javne rasvjete će se izraditi prema koracima metodologije iz potpoglavlja 3.2., ali s obzirom na to da nije bilo moguće prikupiti određene podatke za odgovarajuće korake, kao ni ostvariti pristup određenim elementima javne rasvjete, oni se će izostaviti. Promatrana cesta je Svilajska ulica u naselju Retfala Jug u Osijeku, odnosno područje pored trgovačkog centra Portanova.

4.1. Opis sustava javne rasvjete

Javna rasvjeta se prostire cijelom Svilajskom ulicom. Od kružnog toka do križanja označenog brojem 1, vidljivo na slici 4.1., je cesta sa dvije trake sa naizmjeničnim rasporedom svjetiljki gdje se na svakom stupu nalaze po dvije svjetiljke (za cestu i pješačku stazu), a od križanja označenog brojem 1 pa do kraja Svilajske ulice označenog brojem 2 je cesta sa dvije trake sa jednostranim rasporedom svjetiljki te će se taj dio promatrati.



Slika 4.1. Označene točke na Svilajskoj ulici.

Na dijelu ceste sa jednostranim rasporedom svjetiljki se nalaze stupovi proizvođača Dalekovid tipa SRS 2B, visine 10 m, na čijim se vrhovima nalaze ravni nosači svjetiljki te koji se postavljaju na betonske temelje pomoću sidrenih vijaka [16].



Slika 4.2. Jednostrani raspored svjetiljki sa SRS 2B stupovima.

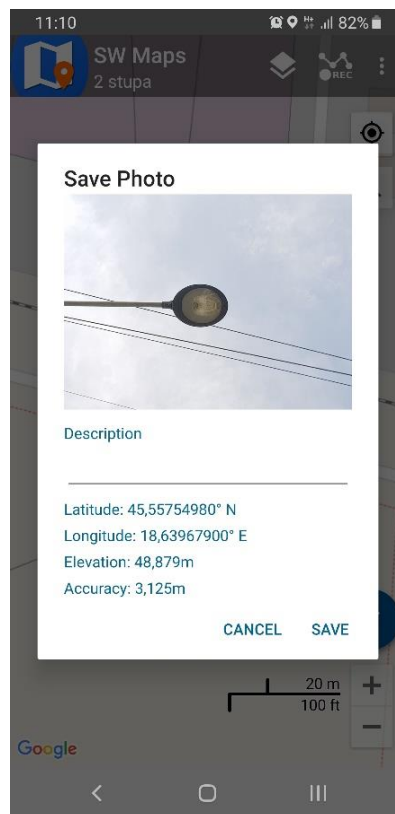
Na rasvjetnim stupovima su postavljene svjetiljke proizvođača Philips tipa CitySoul CGP431 sa visokotlačnim natrijevim žaruljama snage 150 W [17].



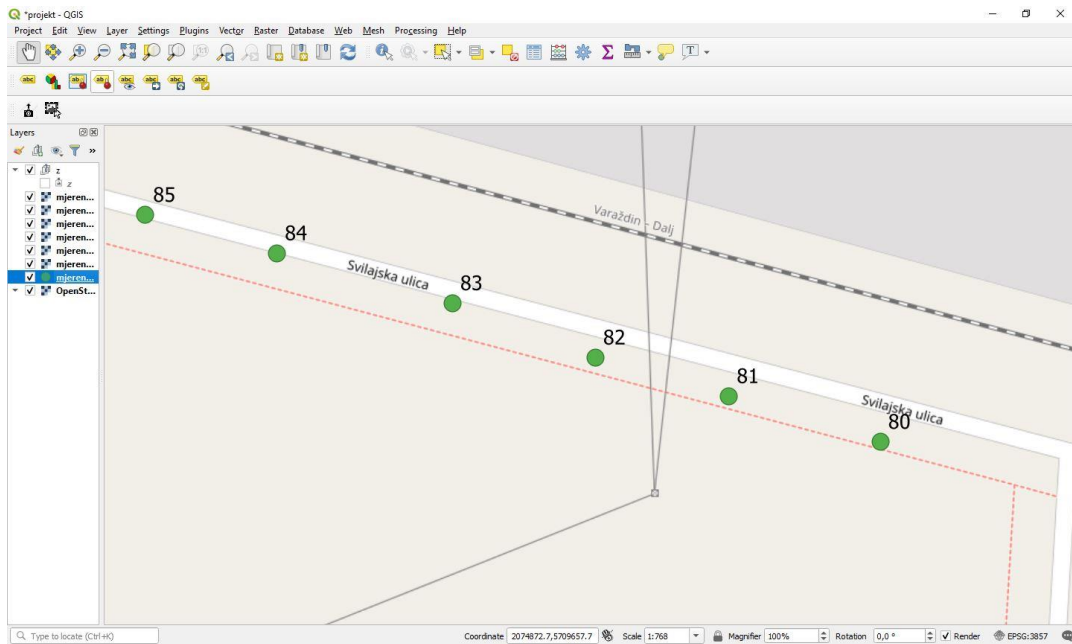
Slika 4.3. Philips CitySoul svjetiljka.

4.1.1. Mapiranje postojeće instalacije

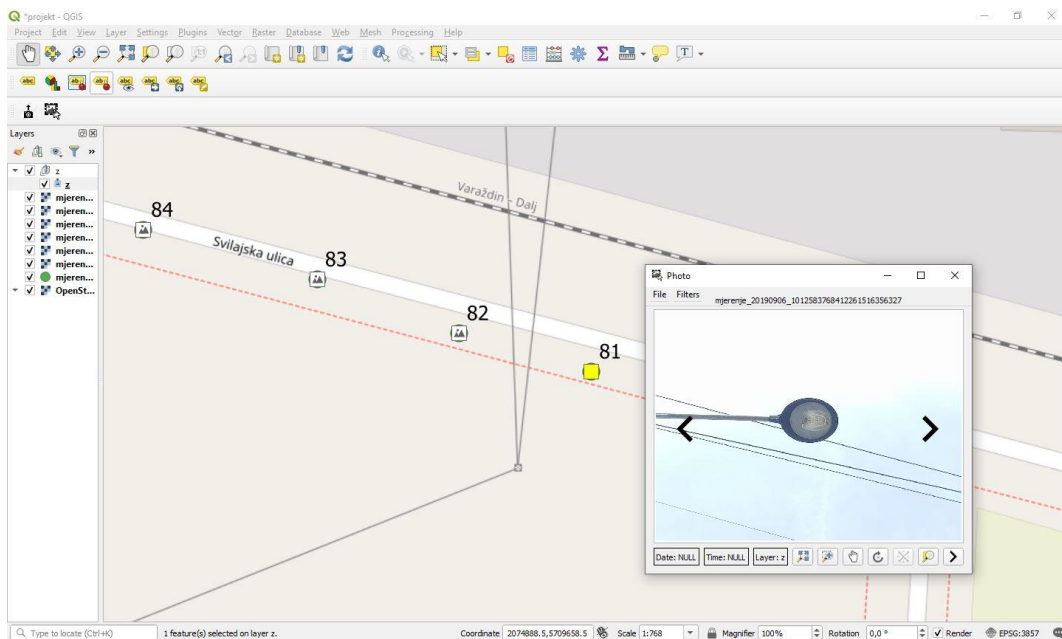
Mapiranje javne rasvjete je izvedeno pomoću mobilne aplikacije SW Maps [18]. Mapirano je šest svjetiljki na dijelu ceste sa jednostranim rasporedom svjetiljki, na način da se išlo od svjetiljke do svjetiljke te se, nalazeći na otprilike vertikalnoj osi svjetiljke, slikala pojedina svjetiljka. Slikanjem svjetiljke bi se označila njena lokacija sa koordinatama i odgovarajućom točnošću što se može vidjeti na slici 4.4. Nakon provedenog mapiranja svih svjetiljki, podaci iz mobilne aplikacije su se unijeli u računalni program QGIS [19]. U programu QGIS je instaliran dodatak za OpenStreetMap kartu i dodatak za uvoz slika. Obradom podataka se dobije prikaz svih mapiranih svjetiljki kao na slici 4.5., a dvostrukim klikom na određenu mapiranu točku na karti se dobije prikaz slikane svjetiljke kao na slici 4.6. Mapiranje u računalnom programu dolazi do izražaja kada je potrebno zabilježiti više razvodnih ormara, transformatorskih stanica ili više tipova svjetiljki itd., te se može prikazati stanje određenih elemenata javne rasvjete, npr. uključene ili isključene svjetiljke, te može olakšati provedbu energetskog pregleda.



Slika 4.4. Koordinacije i točnost svjetiljke.



Slika 4.5. Mapirane svjetiljke u programu QGIS.



Slika 4.6. Prikaz slikane svjetiljke.

Na slici 4.5. brojevi 80 – 85 prikazuju stvarne oznake na stupovima javne rasvjete. Pomoću instrumenta Bosch GLM 80, slika 4.7., su izmjerene udaljenosti između stupova dane u tablici 4.1. i visine pojedinih svjetiljki dane u tablici 4.2. Prosječna udaljenost između stupova i prosječna visina svjetiljke će se koristiti pri izradi modela u programu Relux.



Slika 4.7. Instrument Bosch GLM 80.

Tablica 4.1. Udaljenosti između stupova.

Oznake stupova	Udaljenost između stupova [m]	Prosječna udaljenost [m]
80 – 81	30,04	30
81 – 82	30,07	
82 – 83	29,86	
83 – 84	30,07	
84 – 85	29,98	

Tablica 4.2. Visine svjetiljki.

Oznaka stupa	Visina svjetiljke [m]	Prosječna visina svjetiljke [m]
80	10,53	10,53
81	10,54	
82	10,56	
83	10,49	
84	10,52	
85	10,53	

4.1.1. Pretpostavljeni razred rasvjete i zahtijevana svojstva

Pretpostavljeni razred rasvjete za zatečeno stanje se odabire tako da se prvo odaberu vrijednosti parametara iz dijela norme HRN EN 13201-1, što se vidi u tablici 4.3.

Tablica 4.3. Odabrane vrijednosti parametara.

Parametar	Opcije	Opis	Težinska vrijednost V_W^a
Projektirana brzina ili ograničenje brzine	Umjerena	$40 < v \leq 70$ km/h	-1
Gustoća prometa		Dvotračne ceste	
	Niska	< 15 % maksimalnog kapaciteta	-1
Sastav prometa	Miješani		1
Odvajanje kolnika	Ne		1
Gustoća raskrižja		Raskrižje/km	
	Umjerena	≤ 3	0
Parkirana vozila	Ne prisutna		0
Svjetlost okoline	Umjerena	Normalna situacija	0
Mogućnosti orijentacije	Lagani		0

Zbrajanjem odabranih vrijednosti se dobije da je suma težinskih vrijednosti $VWS = 0$. Uvrštavanjem u formulu $M = 6 - VWS$ se dobije $M = 6 - 0 = 6$. Nakon izračuna razreda rasvjete, prema drugom dijelu norme HRN EN 13201-2, se odabiru zahtijevana svojstva za razred rasvjete M6.

Tablica 4.4. Zahtijevana svojstva za razred rasvjete M6.

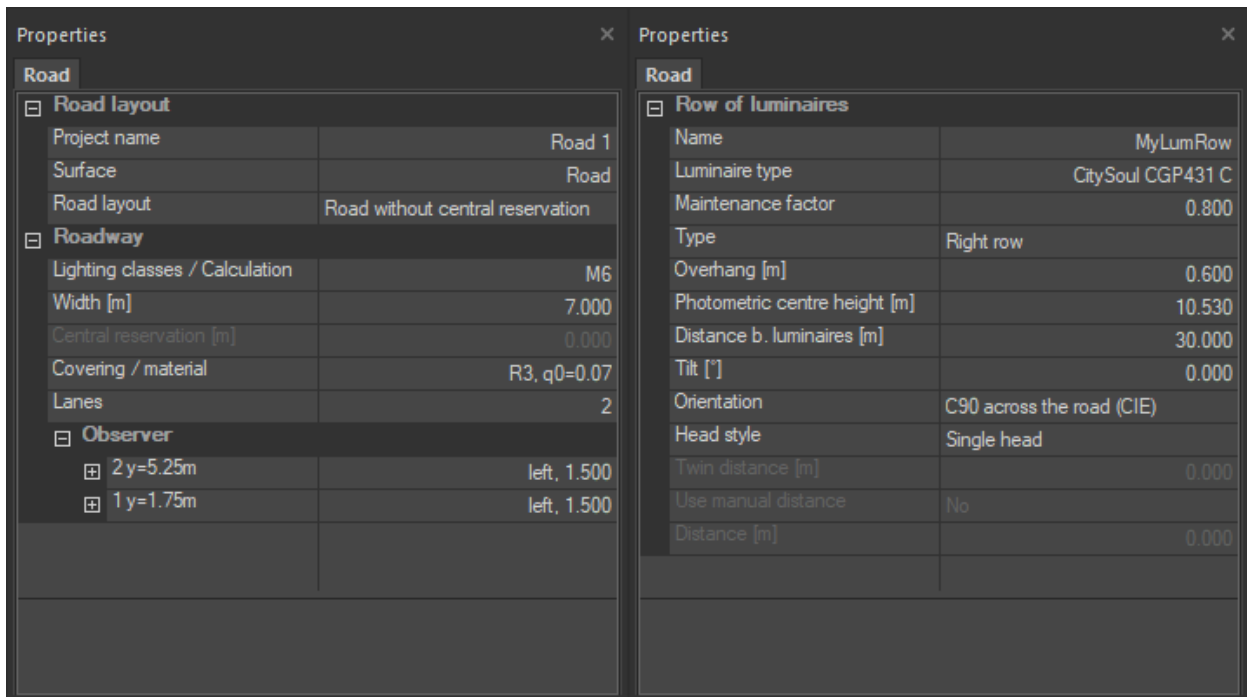
Razred	Sjajnost ceste pri uvjetima suhe i mokre površine ceste			Bliještanje		Okolna rasvjeta
	Suhi uvjeti		Mokri	Suhi uvjeti	Suhi uvjeti	
	\bar{L} (održavan min.) [$cd \cdot m^{-2}$]	U_o (min.)	U_l (min.)	U_{ow} (min.)	f_{TI} (maks.)	R_{EI} (min.)
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

4.2. Mjerenje svjetlosnih veličina

Mjerenju svjetlosnih veličina će se pristupiti tako da će se prvo odrediti položaj mjernih točaka sukladno normi, zatim napraviti model javne rasvjete u programu Relux, provesti stvarno mjerenje te usporediti rezultate mjerenja i modela.

4.2.1. Izrada modela javne rasvjete

Model javne rasvjete će se izraditi u računalnom programu Relux. Izrada modela javne rasvjete započinje tako da se unesu parametri ceste i svjetiljki kao što se vidi na slici 4.8. S obzirom na to da se nije mogla prikupiti projektna dokumentacija za promatrano područje, odabrane su pretpostavljene vrijednosti parametara za cestu i svjetiljke, te je odabrana svjetiljka koja najbolje odgovara zatečenom stanju.



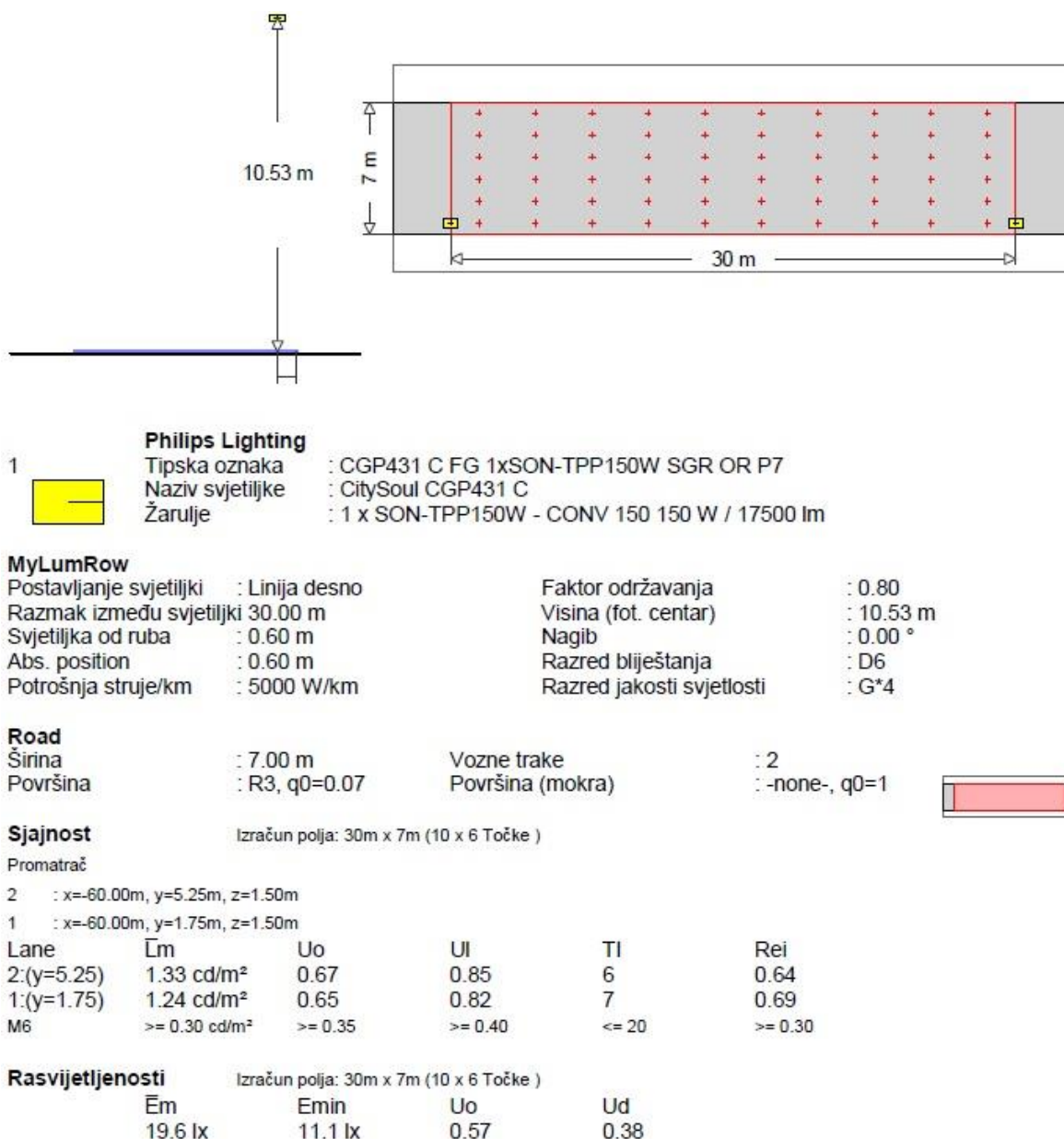
Slika 4.8. Parametri ceste i svjetiljki.

Nakon unošenja parametara se dobije prikaz mjernog područja kao na slici 4.9. Strelice prikazuju smjer kretanja promatrača, gornja traka ceste je traka broj 2, a donja je traka broj 1.



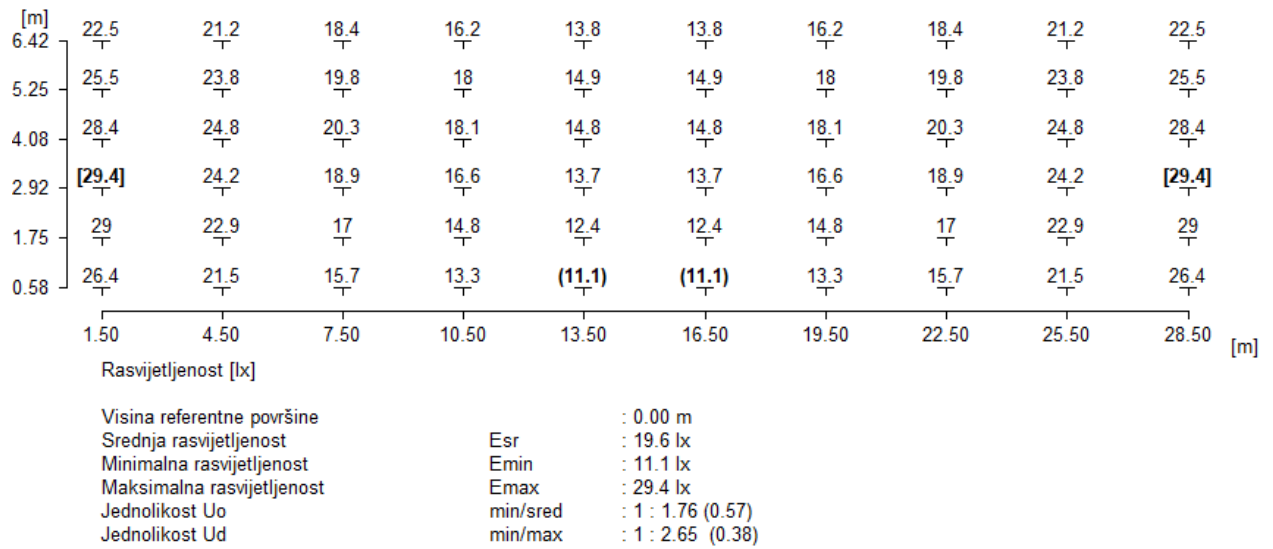
Slika 4.9. Mjerno područje.

Nakon pokretanja simulacije dobije se prikaz rezultata kao na slici 4.10. gdje se mogu vidjeti mjerne točke, podaci o cesti i svjetiljkama te prikaz rezultata sjajnosti i osvjetljenja (rasvjetljenosti).

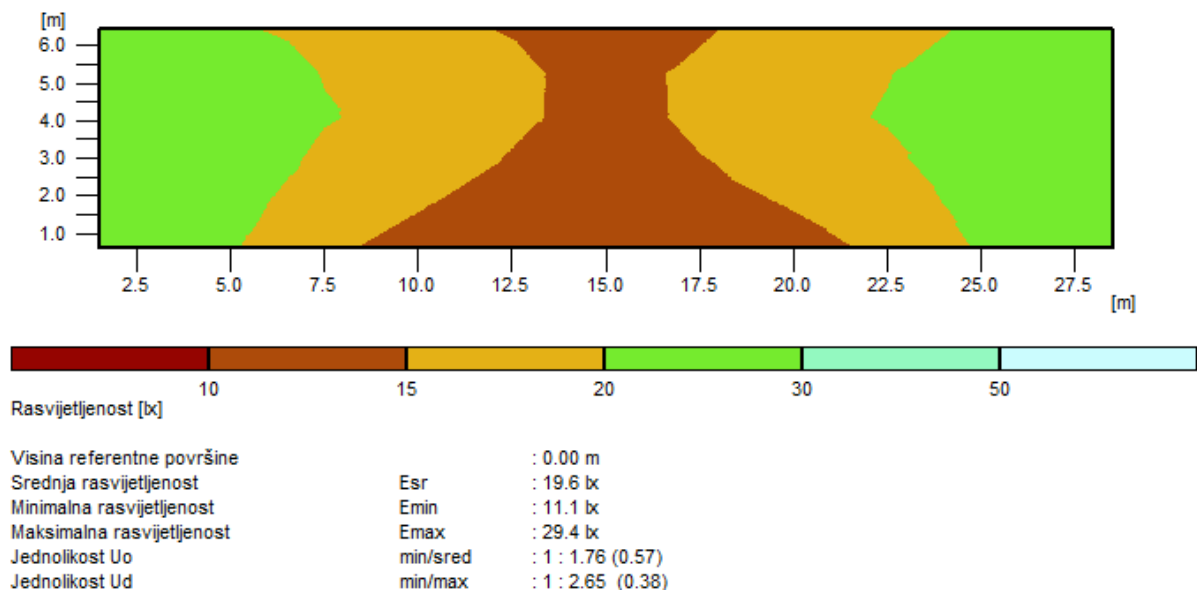


Slika 4.10. Rezultati simulacije.

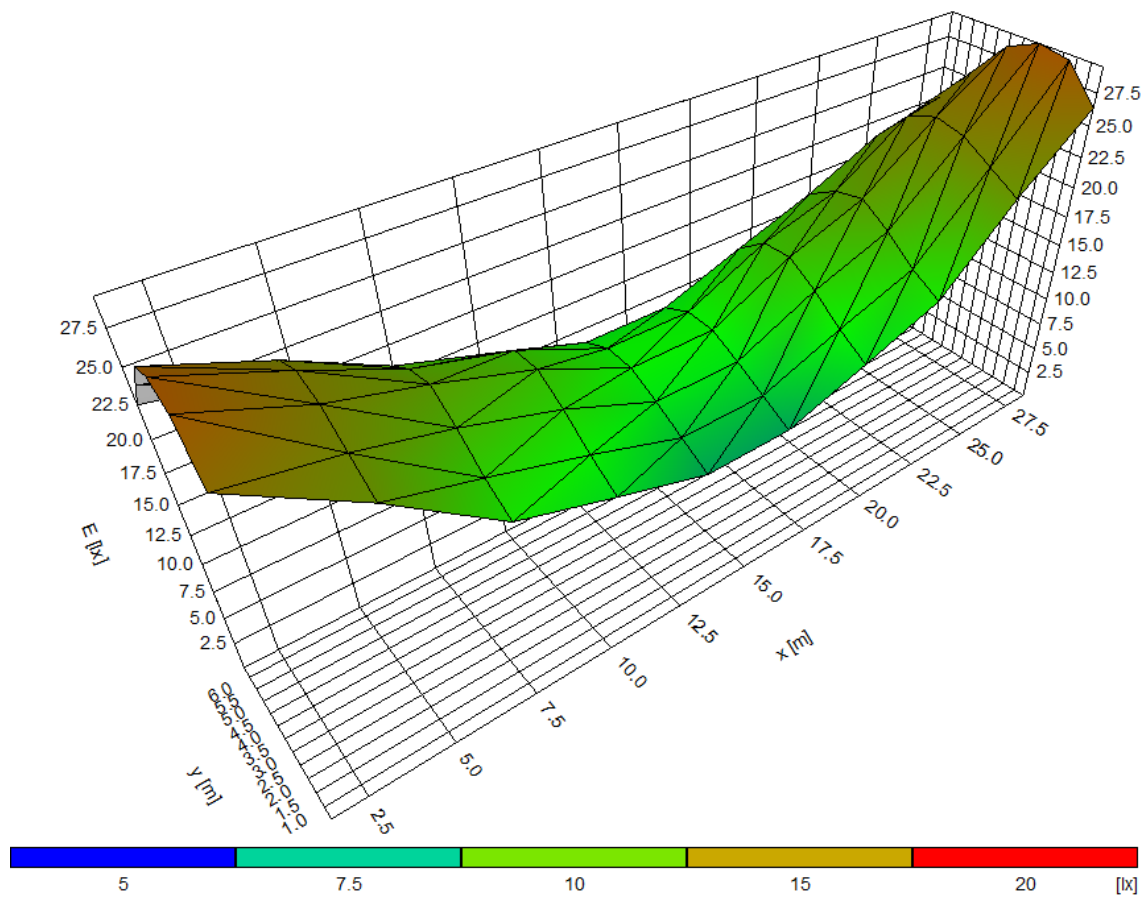
Na slikama 4.11., 4.12. i 4.13. se mogu vidjeti rezultati osvjetljenja prikazani tablično, preko pseudo boja i pomoću 3D dijagrama.



Slika 4.11. Tablični prikaz osvjetljenja mjernog područja.



Slika 4.12. Prikaz osvjetljenja pseudo bojama.



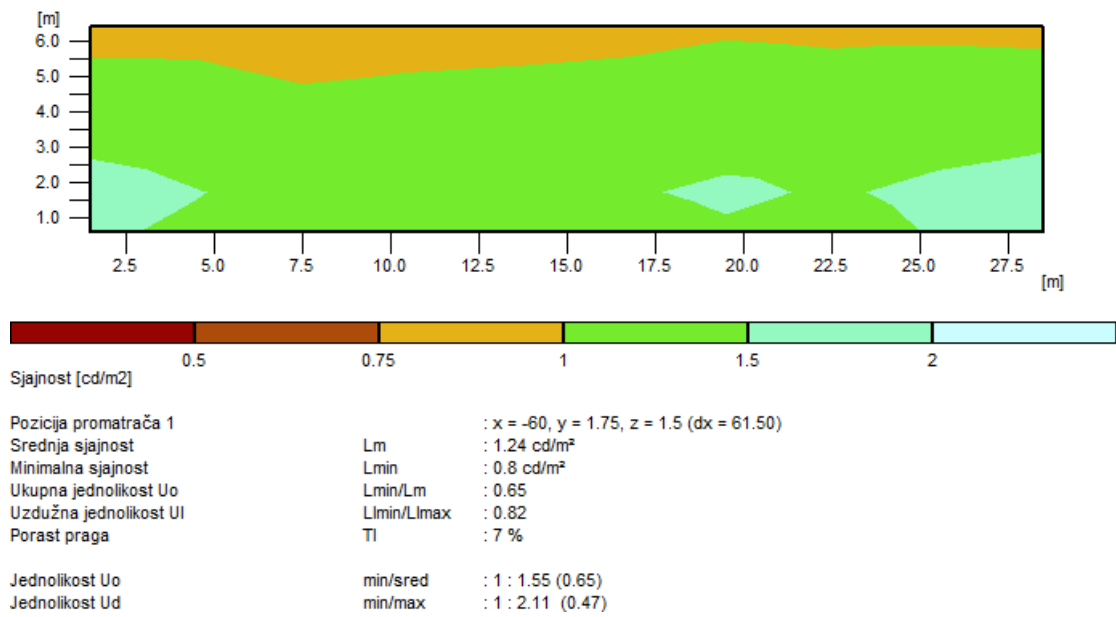
Slika 4.13. Prikaz osvjetljenja 3D dijagramom.

Na slikama 4.14., 4.15. i 4.16. je prikaz rezultata sjajnosti iz trake 1 (bliže svjetiljkama), a na slikama 4.17., 4.18. i 4.19. prikaz rezultata sjajnosti iz trake 2.

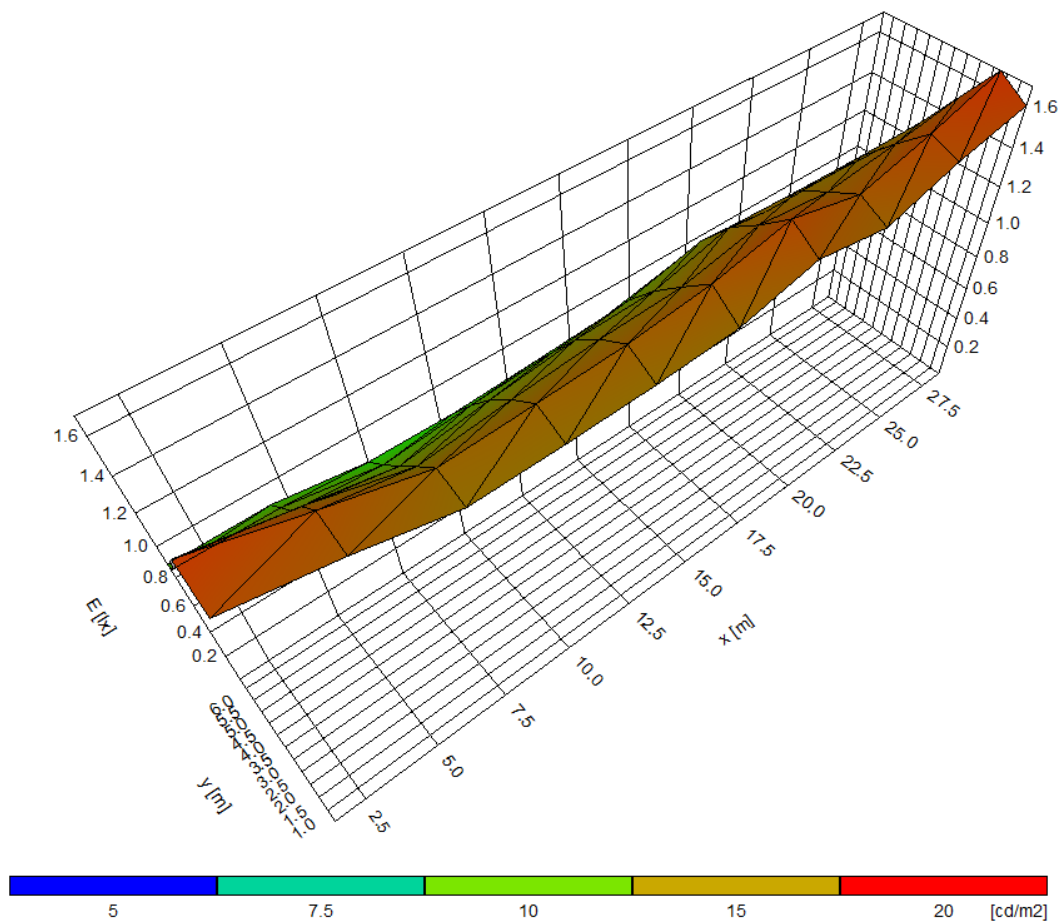
[m]	0.88	0.88	0.81	(0.8)	0.82	0.85	0.93	0.89	0.92	0.91
6.42	1.04	1.03	0.94	0.98	1.01	1.05	1.15	1.1	1.1	1.08
5.25	1.23	1.18	1.09	1.15	1.2	1.21	1.32	1.3	1.29	1.29
4.08	1.46	1.37	1.24	1.29	1.32	1.34	1.43	1.39	1.44	1.49
2.92	1.65	1.51	1.38	1.4	1.42	1.46	1.55	1.47	1.57	[1.69]
1.75	1.54	1.45	1.33	1.33	1.34	1.36	1.46	1.4	1.52	1.6
0.58										
	1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50

Pozicija promatrača 1 : x = -60, y = 1.75, z = 1.5 (dx = 61.50)
 Srednja sjajnost Lm : 1.24 cd/m²
 Minimalna sjajnost Lmin : 0.8 cd/m²
 Ukupna jednolikost Uo Lmin/Lm : 0.65
 Uzdužna jednolikost Ul Lmin/Lmax : 0.82
 Porast praga TI : 7 %
 Jednolikost Uo min/sred : 1 : 1.55 (0.65)
 Jednolikost Ud min/max : 1 : 2.11 (0.47)

Slika 4.14. Tablični prikaz sjajnosti trake 1 mjernog područja.



Slika 4.15. Prikaz sjajnosti trake 1 pseudo bojama.



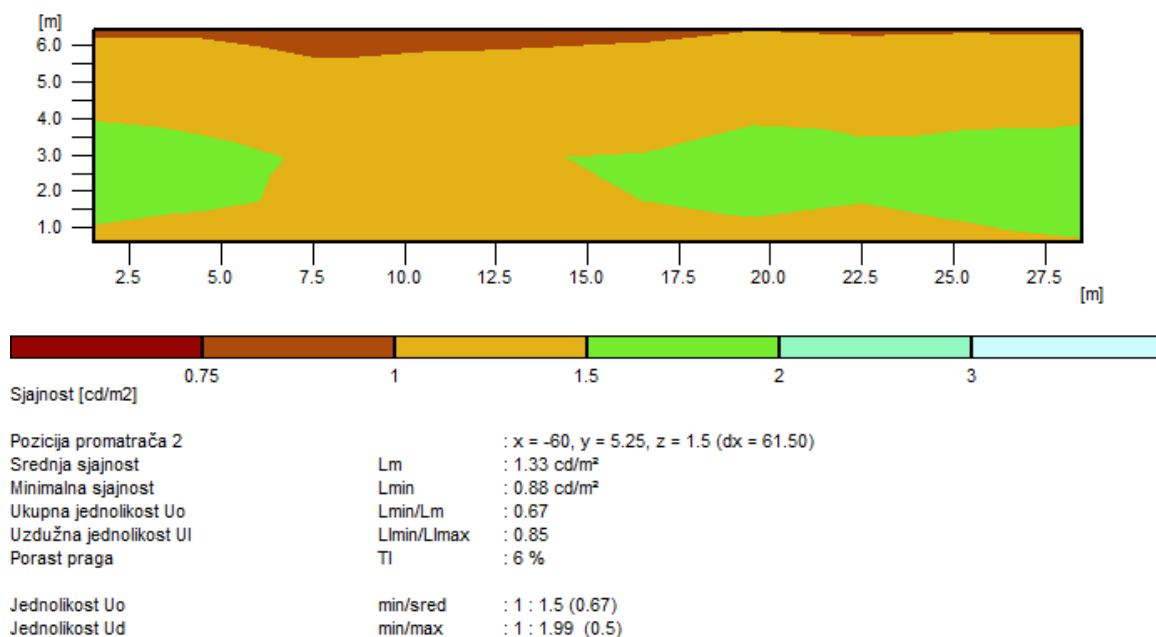
Slika 4.16. Prikaz sjajnosti trake 1 3D dijagramom.

[m]	0.96	0.96	0.89	(0.88)	0.9	0.93	1	0.97	0.98	0.97
6.42	1.17	1.15	1.06	1.11	1.14	1.16	1.25	1.21	1.21	1.19
5.25	1.46	1.4	1.27	1.31	1.36	1.36	1.46	1.43	1.44	1.45
4.08	1.73	1.61	1.46	1.49	1.49	1.52	1.64	1.56	1.63	1.69
2.92	1.71	1.57	1.43	1.46	1.48	1.5	1.6	1.51	1.63	[1.76]
1.75	1.35	1.29	1.21	1.23	1.25	1.28	1.35	1.28	1.39	1.47
0.58										
	1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50

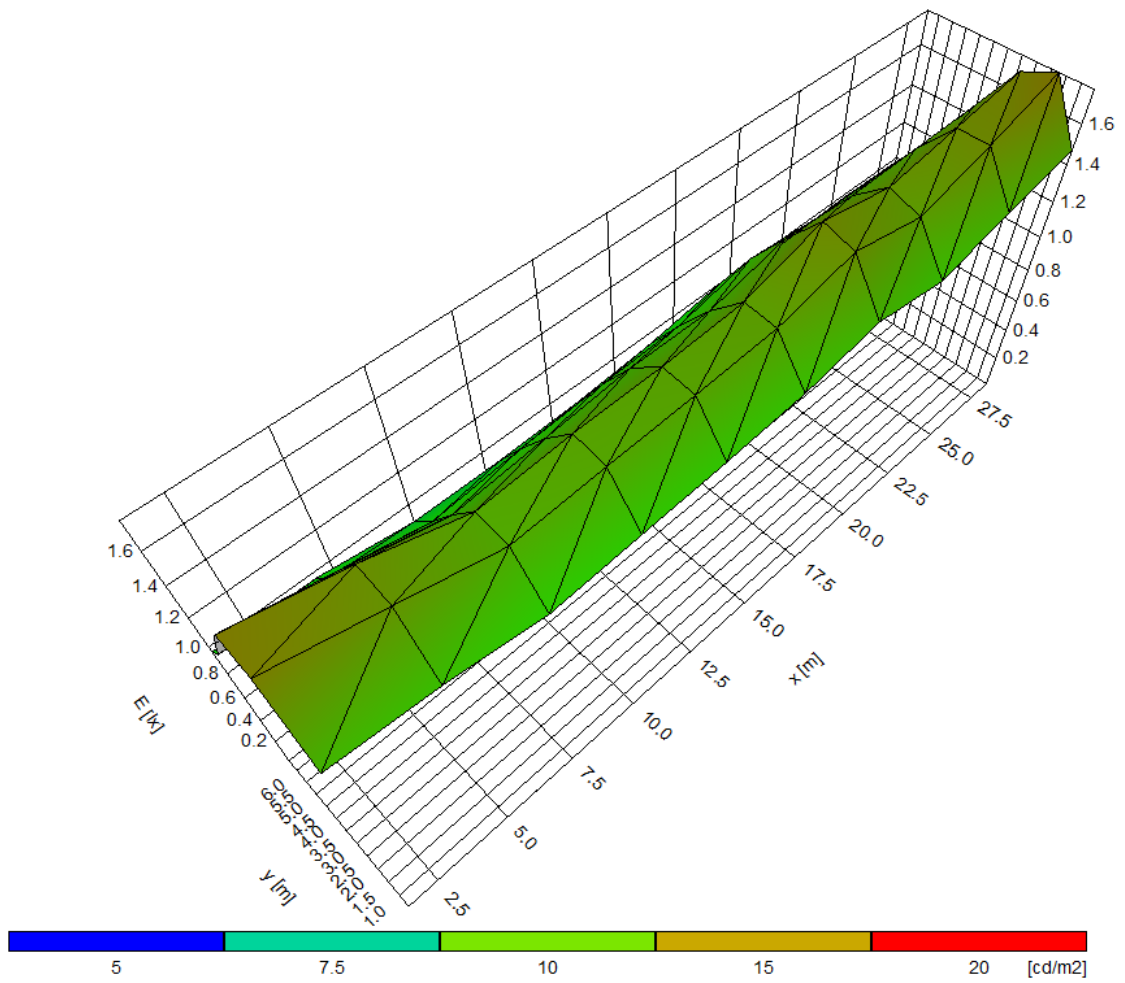
Pozicija promatrača 2 : x = -60, y = 5.25, z = 1.5 (dx = 61.50)
 Srednja sjajnost Lm : 1.33 cd/m²
 Minimalna sjajnost Lmin : 0.88 cd/m²
 Ukupna jednolikost Uo Lmin/Lm : 0.67
 Uzdužna jednolikost Ul Lmin/Lmax : 0.85
 Porast praga TI : 6 %

Jednolikost Uo min/sred : 1 : 1.5 (0.67)
 Jednolikost Ud min/max : 1 : 1.99 (0.5)

Slika 4.17. Tablični prikaz sjajnosti trake 2 mjernog područja.



Slika 4.18. Prikaz sjajnosti trake 2 pseudo bojama.



Slika 4.19. Prikaz sjajnosti trake 2 3D dijagramom.

Results

Output Results

Results

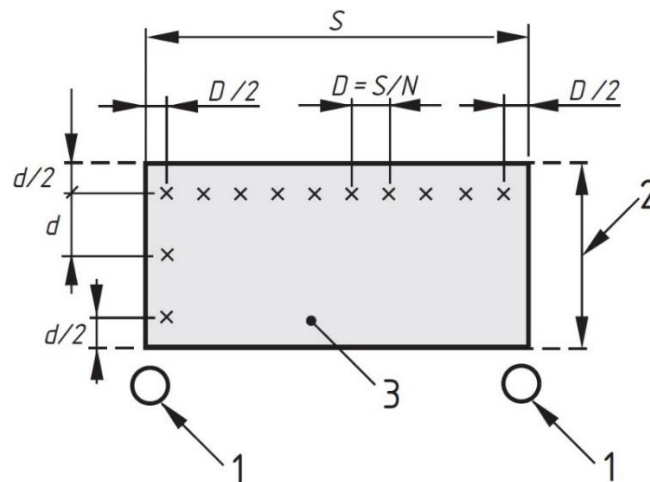
Result	Value	Nominal value
MyLumRow		
CitySoul CGP431 C, CGP431 C FG 1xSON-TPP150W...		
Lum. intensity class	G*4	-
Glare index class	D6	-
Load/km	5000 W/km	-
Road		
L(1), M6		
E_m	1.24 cd/m^2	≥ 0.30 cd/m^2
U_o	0.65	≥ 0.35
U_l	0.82	≥ 0.40
T_l	7	≤ 20
Re_i	0.64	≥ 0.30
L(2), M6		
E_m	1.33 cd/m^2	≥ 0.30 cd/m^2
U_o	0.67	≥ 0.35
U_l	0.85	≥ 0.40
T_l	6	≤ 20
Re_i	0.64	≥ 0.30

Slika 4.20. Rezultati simulacije.

Na slici 4.20. se vidi prikaz rezultat simulacije odnosno može se vidjeti kako modelirana javna rasvjeta zadovoljava uvjete norme za sve parametre.

4.2.1. Određivanje mjernih točaka

Mjerne točke će se odrediti sukladno normi HRN EN 13201-3:2015 prateći sliku 4.21. te uvrštavanjem u odgovarajuće formule.



Slika 4.21. Podaci o položaju mjernih točaka [13].

Prosječna udaljenosti između stupova je $S = 30 \text{ m}$. S obzirom na prosječnu udaljenost između stupova, uvažavanje uvjeta iz norme ($S \leq 30 \text{ m}$) uzet će se da je $N = 10$. Uvrštavanjem u formulu $D = \frac{S}{N} = \frac{30}{10} = 3 \text{ m}$ dobije se da je razmak između mjernih točaka u uzdužnom smjeru jednak 3 m. Sa slike 4.21. se također vidi da bi prvi red mjernih točaka trebao biti na razmaku $D/2$ odnosno 1,5 m. Izmjerena širina promatrane ceste je 7 m. Vrijednost $n = 5$ jer uvažava uvjeti iz norme da mora biti veća ili jedna 3 i da je najmanji cijeli broj koji daje $d \leq 1,5 \text{ m}$. Razmak između mjernih točaka u poprečnom smjeru se dobije uvrštavanjem u formulu $d = \frac{W_r}{n} = \frac{7}{5} = 1,4 \text{ m}$. Razmak između mjernih točaka i ruba ceste mora biti $d/2$ odnosno 0,7 m. Na temelju izračunatih vrijednosti za razmak između mjernih točaka u uzdužnom i poprečnom smjeru u sljedećem odjeljku je napravljena tablica 4.7. u kojoj se može vidjeti položaj, odnosno koordinate (uzdužna udaljenost, poprečna udaljenost), svih mjernih točaka u mjernom području, te će tablica poslužiti kao predložak za upisivanje rezultata mjerenja.

4.2.2. Mjerenje svjetlosnih veličina

Mjerenje svjetlosnih veličina se odvijalo 11.9.2019. na mapiranom dijelu javne rasvjete s početkom u 21:40 i završetkom u 22:55. Korišteni mjerni instrument je Gossen Mavolux 5032 C koji je prikazan na slici 4.22.



Slika 4.22. Gossen Mavolux 5032 C [20].

Mjerenje je započelo tako da se izmjerilo osvjetljenje u vertikalnoj osi ispod pojedine svjetiljke, prikaz primjera mjerenja osvjetljenja jedne svjetiljke, je kao na slici 4.23. Glava mjernog instrumenta je bila postavljena na površinu ceste. Zatim su se vrijednosti osvjetljenja unijele u tablicu 4.5. te se izračunala ukupna srednja vrijednost osvjetljenja svih svjetiljki.



Slika 4.23. Mjerenje osvjetljenja.

Tablica 4.5. Vrijednosti osvjetljenja pojedine svjetiljke i ukupna srednja vrijednost.

Oznaka stupa	80	81	82	83	84	85
Vrijednost osvjetljenja [lx]	25,6	13,3	26,6	31,5	33,2	32,3
Srednja vrijednost osvjetljenja [lx]	27,08					

U tablici 4.5. se može vidjeti kako postoje značajnija odstupanja od srednje vrijednosti pa su se zbog toga izračunale srednje vrijednosti osvjetljenja između pojedinih svjetiljki što je prikazano u tablici 4.6.

Tablica 4.6. Srednje vrijednosti osvjetljenja između svjetiljki.

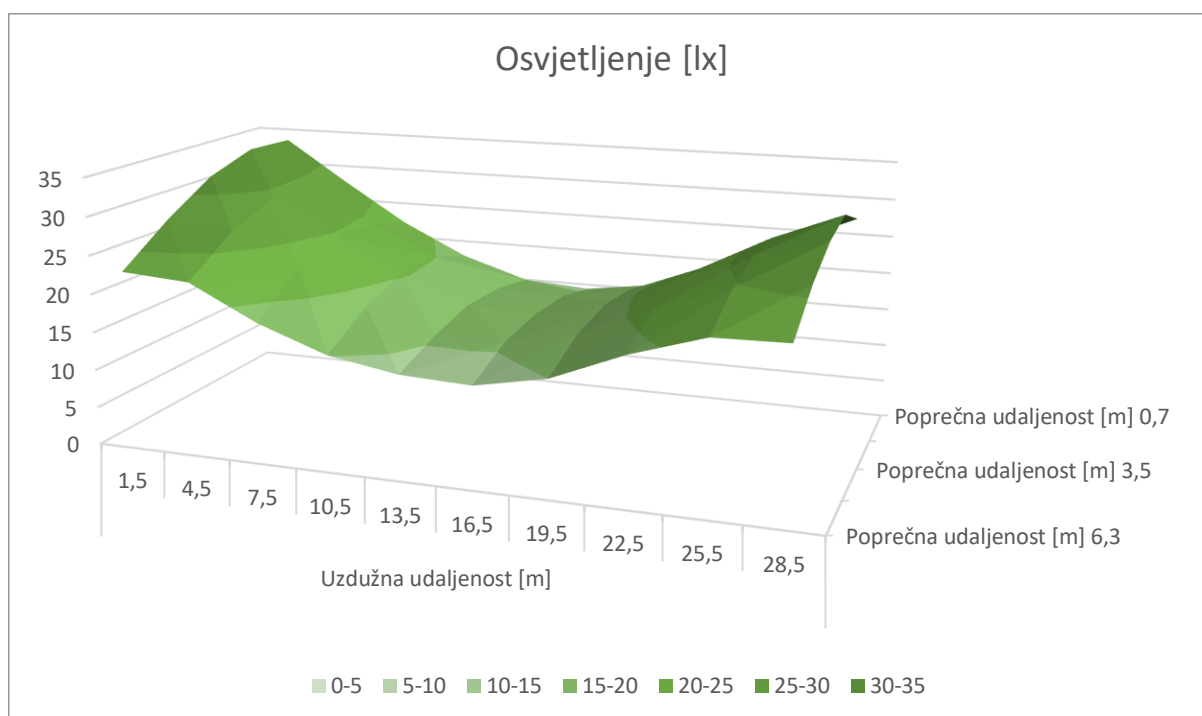
Oznaka stupa	80 - 81	81 - 82	82 - 83	83 - 84	84 - 85
Srednja vrijednost osvjetljenja [lx]	19,45	19,95	29,05	32,35	32,75

Iz tablice 4.6. možemo vidjeti da je srednja vrijednost između svjetiljki 82 i 83 najbliža ukupnoj srednjoj vrijednosti svih svjetiljki pa će mjerno područje odnosno mjerenja osvjjetljenja i sjajnosti biti izvedeno upravo između te dvije svjetiljke.

Nakon odabira mjernog područja i mjerenja osvjjetljenja na svim mjernim točkama, izmjerene vrijednosti su prikazane u tablici 4.7., a grafički prikaz (pogled na dijagram je sa strane ceste suprotne svjetiljkama) je na slici 4.24.

Tablica 4.7. Izmjerene vrijednosti osvjjetljenja.

		Uzdužna udaljenost [m]									
		1,5	4,5	7,5	10,5	13,5	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5
Poprečna udaljenost [m]	6,3	23,3	22,7	18,3	15,1	13,6	13,2	15	18,8	21,7	21,9
	4,9	27,9	26,9	22,7	18,4	15,5	15,6	17,5	21,4	24,7	26
	3,5	31,7	29,3	24,7	20,4	16,7	16,3	18,4	22,4	26,2	28,7
	2,1	33,7	29,1	24,2	20,1	16,3	16	17,7	21,3	26,1	29,8
	0,7	33,4	27,6	22,1	17,8	15	14,4	15,7	18,9	23,1	27,1



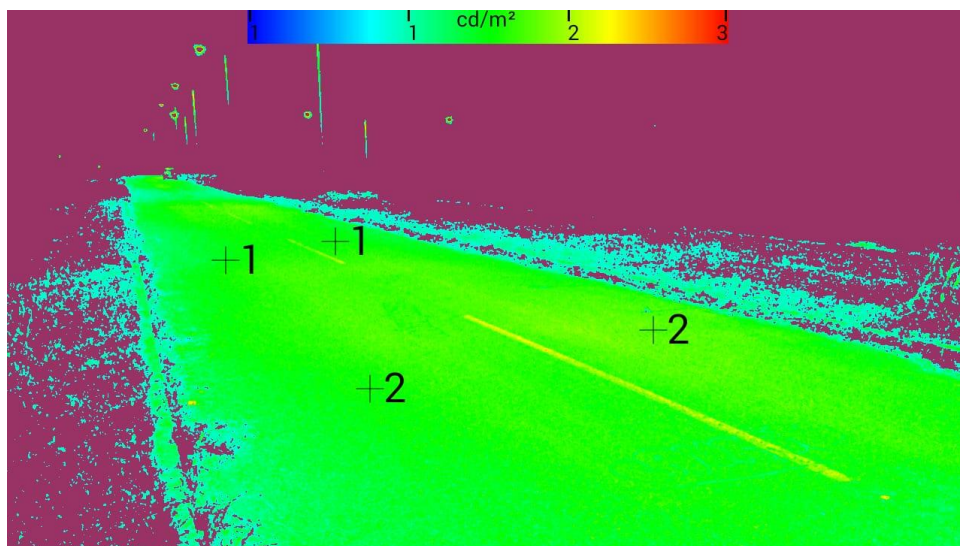
Slika 4.24. Dijagram izmjerenih vrijednosti osvjjetljenja.

Tablica 4.8. Izračunate vrijednosti parametara osvjetljenja.

\bar{E} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	U_o
22	13,2	33,7	0,6

U tablici 4.8. se mogu vidjeti vrijednosti prosječnog osvjetljenja \bar{E} , minimalnog osvjetljenja E_{min} , maksimalnog osvjetljenja E_{max} i vrijednost ukupne jednolikosti U_o koje su izračunate na temelju izmjerenih vrijednosti. Ukupna jednolikost se izračunala kao omjer minimalne i prosječne vrijednosti osvjetljenja.

Mjerenju sjajnosti ceste se pristupilo tako da se prvo izmjerila sjajnost putem mobilne aplikacije Photolux, proizvoljno se odabralo četiri točke, a rezultat mjerenja je vidljiv na slici 4.25.



Slika 4.25. Mjerenje sjajnosti ceste aplikacijom Photolux.

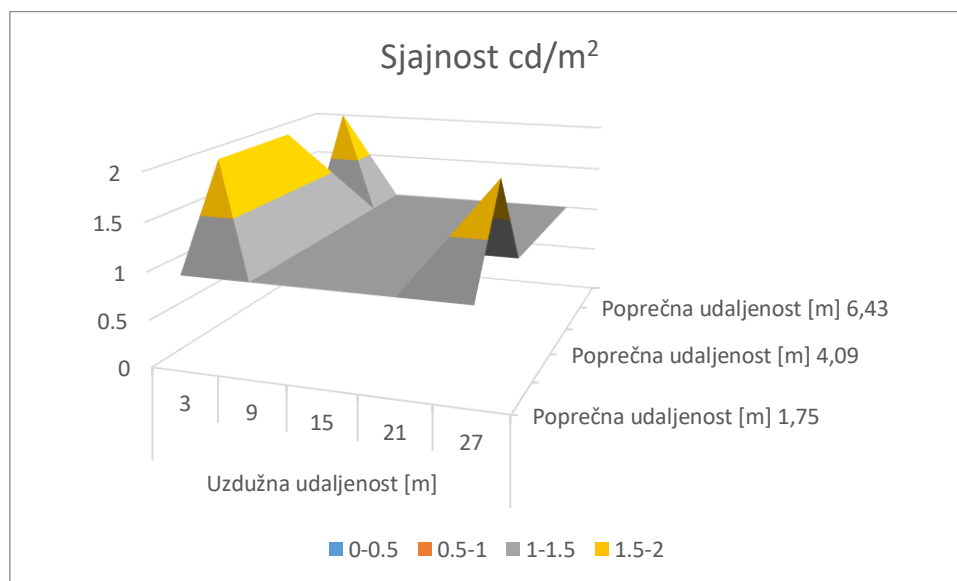
Nakon toga je provedeno mjerenje sjajnosti ceste sa mjernim instrumentom Gossen. Broj mjernih točaka je smanjen za pola jer norma HRN EN 13201-4 to dozvoljava uz uvjet da se smanjenjem udaljenost od promatrača do mjernog područja mora proporcionalno smanjiti i visina promatrača. Udaljenost promatrača od mjernog područja je smanjena sa 60 m na 30 m, a visina sa 1,5 m na 0,75 m te su se primjenom istih formula kao u prethodnom poglavlju izračunale koordinate novih mjernih točaka koje su prikazane u tablici 4.9. zajedno sa rezultatima mjerenja. Za potrebe mjerenja sjajnosti jer uzeto 6 točaka u poprečnom smjeru s obzirom da norma HRN EN 13201-3 kaže da se mjerne točke moraju nalaziti na sredini pojedine trake gledajući u pravcu ceste

(poprečne udaljenosti 1,75 m i 5,26 m). Izračunate vrijednosti za položaj mjernih točaka su: $D = 6\text{ m}$, $\frac{D}{2} = 3\text{ m}$, $d = 1,17\text{ m}$, $\frac{d}{2} = 0,58\text{ m}$.

Tablica 4.9. Izmjerene vrijednosti sjajnosti ceste.

		Uzdužna udaljenost [m]				
		3	9	15	21	27
Poprečna udaljenost [m]	6,43	1	1	1	1	1
	5,26	2	1	1	1	1
	4,09	2	1	1	1	1
	2,92	2	1	1	1	2
	1,75	1	1	1	1	1
	0,58	2	1	1	1	1

Grafički prikaz mjerenja sjajnost je na slici 4.26., a pogled na dijagram je sa strane ceste na kojoj se nalaze svjetiljke.



Slika 4.26. Dijagram izmjerenih vrijednosti sjajnosti.

Iz tablice 4.9. kao i sa slike 4.26. se može vidjeti kako je sjajnost nešto veća ispod svjetiljke pod oznakom 83 što se može potvrditi i mjerenjem pomoću aplikacije Photolux. Vidljivo je da su vrijednosti sjajnosti ugrubo prikazane, a rezultat tome je što mjerni instrument Gossen nije u

mogućnosti dati točniji prikaz rezultata sa nekoliko decimalnim mjestima te da nije najprikladniji za mjerenje sjajnosti. Zbog toga se pristupilo izradi modela kako bi se prikazale točnije vrijednosti i kako bi se naglasilo da je za mjerenje sjajnosti potrebno imati kvalitetnu mjernu opremu koja će biti u rasponu očekivanih vrijednosti prikazanih modelom.

Tablica 4.10. Izračunate vrijednosti parametara sjajnosti.

\bar{L} [cd/m ²]	L_{min} [cd/m ²]	L_{max} [cd/m ²]	U_O	U_{L2}
1,17	1	2	0,85	0,5

U tablici 4.10. su izračunate vrijednosti prosječne sjajnosti \bar{L} , minimalne sjajnosti L_{min} , maksimalne sjajnosti L_{max} , ukupne jednolikosti U_O i uzdužne (longitudinalne) jednolikosti U_{L2} . Ukupna jednolikost se izračunala kao omjer minimalne i prosječne vrijednosti sjajnosti. S obzirom na nedostatke mjernog instrumenta, izmjerila se sjajnost ceste samo sa položaja promatrača na traci 2 pa se u tablici 4.10. izračunala longitudinalna jednolikost U_{L2} samo za tu traku na način da se podijelila minimalna vrijednost sjajnosti, na središnjoj liniji trake 2 (poprečna udaljenost od 5,26 m), sa maksimalnom.

U tablici 4.11. je prikazana usporedba rezultata mjerenja sa zahtjevima iz norme te se može vidjeti kako su izračunate vrijednosti na temelju rezultata mjerenja veće od zahtijevanih vrijednosti odnosno kako promatrana cesta zadovoljava zahtjeve norme.

Tablica 4.11. Usporedba rezultata mjerenja sa normom.

	\bar{L} (održavan min.) [cd · m ⁻²]	U_o (min.)	U_l (min.)
M6	0,30	0,35	0,40
Rezultati mjerenja	1,17	0,85	0,5

4.2.3. Usporedba rezultata mjerenja sa modelom

Na temelju provedenog mjerenja i izrađenog modela može se provesti usporedba rezultata.

Ako se usporede rezultati za osvjetljenje, odnosno slika 4.11. i tablica 4.7., razlika između modela i mjerenja je ta što je program za izradu modela koristio šezdeset mjernih točaka, a pri određivanju broja mjernih točaka po normi je ustanovljeno da je potrebno pedeset mjernih točaka. Također se iz tih rezultata može vidjeti kako su vrijednosti većinski približne, ali razlika se nalazi u rasponu

od 8 lx čemu mogu biti uzrok pogreške prilikom mjerenja. Može se vidjeti i kako 3D krivulje osvjetljenja imaju slične oblike. Usporedbom tablice 4.8. sa rezultatima simulacije na slici 4.10. vidljivo je kako su vrijednosti približne, a odstupanja nastaju uslijed pogrešaka pri mjerenju, točnosti mjernog instrumenta i približnog odabira parametara u modelu.

S obzirom da se sjajnost izmjerila gledajući samo sa trake 2, ti rezultati će se usporediti sa rezultatima simulacije isto gledajući iz trake 2, odnosno tablica 4.10. sa slikom 4.10. Uzevši u obzir nedostatke mjernog instrumenta može se primijetiti da je prosječna sjajnost mjerenih vrijednosti $1,17 \text{ cd/m}^2$ što je nešto manje u usporedbi sa vrijednošću rezultata iz simulacije koja iznosi $1,33 \text{ cd/m}^2$, stoga postoje odstupanja u ukupnoj i uzdužnoj (longitudinalnoj) jednolikosti, te se mogu vidjeti razlike u oblicima 3D krivulja.

4.3. Mjerenje električnih veličina

Točno mjerenje električnih veličina pomoću mjernih instrumenata se nije moglo provesti s obzirom da nije bilo moguće ostvariti pristup razvodnim ormarima pa će se u nastavku izračunati pretpostavka o potrošnji javne rasvjete za promatrani dio ceste. Kao što je prikazano na slici 4.1., na promatranoj cesti od točke 1 do točke 2 se nalazi dvadeset jednakih svjetiljki te će se analiza električnih veličina provesti samo na tome dijelu. Svjetiljka ima žarulju snage 150 W. Može se otprilike uzeti da predspojna naprava troši 10 % snage žarulje što je 15 W, a da su gubici u mreži otprilike 5 % što je oko 7,5 W. Zbrajanjem tih vrijednosti se dobije da je ukupna potrošnja za jednu svjetiljku otprilike 172,5 W. Na promatranoj cesti se nalazi 20 svjetiljki što znači da je potrošnja javne rasvjete na promatranoj cesti oko 3450 W. Uzeto je da se javna rasvjeta uključuje oko 20:00, isključuje oko 05:00 što znači da u prosjeku radi 9 sati. Množenjem potrošnje javne rasvjete sa brojem sati rada se može izračunati da je potrošnja električne energije za javnu rasvjetu tijekom jedne noći jednaka 31,05 kWh.

4.4. Prijedlog mjera poboljšanja energetske učinkovitosti

Da bi se dobro procijenile mjere poboljšanja energetske učinkovitosti potrebno je analizirati troškove električne energije, no kako se ti troškovi nisu mogli prikupiti, napraviti će se prijedlog na temelju analize zatečenog stanja. Pri provođenju mjerenja na promatranoj cesti, ali i čestim prolaskom pored promatrane ceste, se može pretpostaviti da je cesta napravljena za potrebe malog broja stanovnika (2 - 3 kuće) te da se cestom kreće jako mali broj vozila. Istovremeno javna rasvjeta je uključena tijekom cijele noći i na temelju provedenog mjerenja se pretpostavlja da radi maksimalnom snagom.

Stoga bi neki od prijedloga mjera poboljšanja bili:

1. ugradnja predspojne naprave koje omogućuju regulaciju svjetlosnog toka, odnosno smanjenje na oko 70 % odnosno 50 % nazivne snage žarulje,
2. isključenje javne rasvjete u potpunosti u određenom dijelu noći, npr. u ponoć.

Ako se uzme prvi prijedlog poboljšanja, odnosno da žarulje rade sa 50 % nazivne snage, i ponovi proračun kao u prethodnom poglavlju, dobije se da je potrošnja električne energije za javnu rasvjetu tijekom jedne noći 15,53 kWh u odnosu na 31,05 kWh. Ako se uzme drugi prijedlog poboljšanja, odnosno da se javna rasvjeta ugasi nakon ponoći, radno vrijeme javne rasvjete bi bilo četiri sata, što znači da se proračunom iz prethodnog dobije da je potrošnja električne energije za javnu rasvjetu tijekom jedne noći 13,8 kWh u odnosu na 31,05 kWh.

5. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada bio je upoznati se sa metodologijom energetskeg pregleda, ali i metodološki obraditi poglavlja kako bi i to na neki način olakšalo shvaćanje i provedbu energetskeg pregleda. Stoga se ponajprije upoznao sa osnovnim elementima koji se mogu pojaviti u javnoj rasvjeti te se može primijetiti da se još uvijek koriste starije tehnologije iako su razvijene nove koje su učinkovitije. Cilj energetskeg pregleda odnosno prijedlog mjera poboljšanja je rješavanje tog problema no to iziskuje određeni vremenski period od nekoliko godina. Za pravilno provođenje energetskeg pregleda javne rasvjete i izradu nove instalacije javne rasvjete najvažnije je ispuniti skup propisa u obliku norme HRN EN 13201, koja daje smjernice za odabir razreda rasvjete prometnice, njena zahtijevana svojstva i proračun tih svojstava pomoću odgovarajućih metoda te njihove pokazatelje učinkovitosti. U praktičnom dijelu rada su se obradili koraci metodologije za koje se moglo prikupiti potrebne podatke i napraviti proračun. Projektna dokumentacija daje podatke o javnoj rasvjeti i svim njenim elementima, ali ne nužno podatke o konkretnom stanju na terenu zbog ljudske pogreške pri gradnji, te pomaže pri izradi modela i mjerenju svjetlosnih veličina. Opisano je zatečeno stanje promatranog dijela javne rasvjete, označila njegova lokacija na karti pomoću mobilne aplikacije SW Maps i provelo mapiranje u programu QGIS, a nakon toga su se pretpostavili parametri promatranog dijela prema zahtjevima norme. Zatim se pristupilo mjerenju svjetlosnih veličina na način da se izradio model u programu Relux sa pretpostavljenim parametrima, odredile mjerne točke sukladno normi te na promatranom dijelu javne rasvjete provelo mjerenje svjetlosnih veličina pomoću mjernog instrumenta Gossen Mavolux. Problem se pojavio pri mjerenju sjajnosti ceste jer je mjerni instrument ograničen na prikazivanje vrijednosti cijelim brojem što ne daje precizne rezultate, a to bi se moglo riješiti uporabom boljeg mjernog instrumenta s odgovarajućim prikazom mjerenih vrijednosti. Usporedbom rezultata se moglo vidjeti da postoje blaga odstupanja, čemu uzrok mogu biti pogreške pri mjerenju, ali su mjerene vrijednosti i dalje slične modeliranim. Također se može zaključiti da promatrani dio ceste zadovoljava zahtjeve norme. Mjerenje električnih veličina se nije moglo provesti jer se nije moglo pristupiti razvodnim ormarima pa se izradio proračun potrošnje električne energije na temelju pretpostavljenih vrijednosti. Na kraju su se, s obzirom na zatečeno stanje promatranog dijela ceste, predložile mjere za poboljšanje energetske učinkovitosti javne rasvjete i ponovio proračun kako bi se pružila usporedba mjera poboljšanja sa zatečenim stanjem.

LITERATURA

- [1] E. Širola, Cestovna rasvjeta, ESING, Zagreb, 1997.
- [2] Končar, Katalog proizvoda, Kabelski ormari i komponente, 2012.
- [3] Tvornica elektroničkih proizvoda (tep), Katalog proizvoda, Rasvjeta, 2008.
- [4] Schrack Technik, Internet trgovina, Broj proizvoda: BZT27731, Dostupno na: <https://www.schrack.hr/trgovina/upravljanje-regulacija/uklopni-satovi-i-svjetlosne-sklopke-luksomati/svjetlosne-sklopke-luksomat/svjetlosna-sklopka-sa-satom-digitalna-2-2000-lux-1c-o-16a-bzt27731.html> [1.9.2019.]
- [5] Schrack Technik, Internet trgovina, Broj proizvoda: BZT28371, Dostupno na: <https://www.schrack.hr/trgovina/upravljanje-regulacija/uklopni-satovi-i-svjetlosne-sklopke-luksomati/digitalni-uklopni-sat-serije-tempus/uklopni-sat-digitalni-dnevni-tjedni-program-1-c-o-16a-bzt28371.html> [1.9.2019.]
- [6] Varčuj/Štedi, Svjetlotehnički priručnik, Katalog energetske učinkovite rasvjete, 2015.
- [7] Narodne novine, Pravilnik o energetskim pregledima građevina i energetskom certificiranju, Broj 81/2012, Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_07_81_1906.html
- [8] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Metodologija provođenja energetskog pregleda građevina, Zagreb, 2014.
- [9] Zakon o komunalnom gospodarstvu, Narodne novine broj 68/18 i 110/18, Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/319/Zakon-o-komunalnom-gospodarstvu>
- [10] H. Glavaš, D. Mesarić, T. Barić, D. Đurđević, M. Ivanović, Provedba energetskog pregleda javne rasvjete, PLIN 2014, str. 1 – 10, Osijek, 2014.
- [11] HRI CEN/TR 13201-1:2014; Cestovna rasvjeta – Prvi dio: Smjernice za odabir razreda rasvjete (CEN/TR 13201-1:2014)
- [12] HRN EN 13201-2:2015; Cestovna rasvjeta – Drugi dio: Zahtijevana svojstva (EN 13201-2:2015)
- [13] HRN EN 13201-3:2015; Cestovna rasvjeta – Treći dio: Proračun svojstava (EN 13201-3:2015)

- [14] HRN EN 13201-4:2015; Cestovna rasvjeta – Četvrti dio: Metode mjerenja svojstava rasvjete (EN 13201-4:2015)
- [15] HRN EN 13201-5:2015; Cestovna rasvjeta – Peti dio: Pokazatelji energetske svojstava (EN 13201-5:2015)
- [16] Dalekovod, Katalog proizvoda, Rasvjetni stupovi i reflektorski stupovi, 2008.
- [17] Parangal d.o.o., Podaci o svjetiljkama
- [18] SW Maps 2.3.7., Instalacija dostupna na: https://play.google.com/store/apps/details?id=np.com.softwel.swmaps&hl=en_US
- [19] QGIS 3.8.3. „Zanzibar“, 2019, Instalacija dostupna na: <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>
- [20] Gossen, Mavolux 5032 C USB, Dostupno na: <https://gossen-photo.de/en/mavolux-5032-c-usb/>

SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada je obraditi metodologiju energetskeg pregleda javne rasvjete. Opisani su elementi sustava javne rasvjete. Prikazana je problematika pogleda na javnu rasvjetu kao građevinu te su opisani koraci vezani konkretno za energetskeg pregled javne rasvjete kao i norma HRN EN 13201. U praktičnom dijelu je provedena metodologija energetskeg pregleda. Opisano je zatečeno stanje sustava javne rasvjete i postupak mapiranja promatranog dijela javne rasvjete. Izrađen je model javne rasvjete u Reluxu, odredile su se mjerne točke sukladno normi, provelo se mjerenje na terenu te usporedili rezultati. Proračunala se potrošnja električne energije i predložile mjere poboljšanja.

ABSTRACT

The aim of this paper is to elaborate the methodology of energy auditing of public lighting. Elements of the public lighting system are described. The paper presents the problem of viewing public lighting as a building and presents the steps related specifically to energy auditing of public lighting as well as standard HRN EN 13201. In the practical part, the methodology of energy auditing was implemented. The current state of the public lighting system and the process of mapping the observed part of the public lighting are described. A model of public lighting was developed in Relux, positions of calculation points were determined in accordance with the standard, field measurements were made and the results were compared. Electricity consumption was calculated and improvements were proposed.

ŽIVOTOPIS

Matej Majnarić rođen je 1993. u Novoj Gradiški gdje je završio srednju elektrotehničku školu. 2012. godine upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. 2015. godine završava stručni studij elektrotehnike i iste godine upisuje razlikovnu godinu. 2016. godine je radio u Aswo Elektronik-u, završava razlikovnu godinu i upisuje diplomski studij za vrijeme kojeg je povremeno radio studentski posao u Electronic Center-u.