

Analiza energetske uštede rekonstrukcijom javne rasvjete na primjeru prometnice i pješačke zone

Ružić, David

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:200:810828>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**

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 diplomski studij

**ANALIZA ENERGETSKE UŠTEDE
REKONSTRUKCIJOM JAVNE RASVJETE NA
PRIMJERU PROMETNICE I PJEŠAČKE ZONE**

Diplomski rad

David Ružić

Osijek, 2023.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Osijek, 12.06.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite**Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Ime i prezime Pristupnika:	David Ružić
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	D-1350, 12.10.2020.
OIB studenta:	13319008855
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	Domagoj Dvoržak, dipl.ing.el.
Predsjednik Povjerenstva:	prof. dr. sc. Tomislav Barić
Član Povjerenstva 1:	izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
Član Povjerenstva 2:	Ružica Kljajić, mag. ing. el.
Naslov diplomskog rada:	Analiza energetske uštede rekonstrukcijom javne rasvjete na primjeru prometnice i pješačke zone
Znanstvena grana diplomskog rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	Zadatak diplomskog rada je provesti analizu energetske uštede proizašle iz postupka rekonstrukcije javne rasvjete na realnom primjeru gradske četvrti Novi grad, poznatije kao osječko naselje Sjenjak. S ciljem cjelokupne analize neophodno je pružiti teoretsku podlogu koja će objasniti osnovnu strukturu javne rasvjete, fizikalne osnove transformiranja električne energije u svjetlost te načine mjerenja svjetlosnih i električnih veličina s ciljem valorizacije provedenih tehničkih mjera. Na osnovu prikupljenih podataka, na dvije proizvoljno odabrane lokacije od kojih je jedna prometnica, a druga pješačka zona, potrebno je izvršiti modeliranje sustava kako bi se utvrdila je li isti ispunjava pravilnicima određena svojstva. U konačnici neophodno je donijeti zaključak koji će sadržavati numeričke indikatore provedenih mjera.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	12.06.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 18.07.2023.

Ime i prezime studenta:

David Ružić

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1350, 12.10.2020.

Turnitin podudaranje [%]:

13

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza energetske uštede rekonstrukcijom javne rasvjete na primjeru prometnice i pješačke zone**

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.....	2
1.2. PREGLED PODRUČJA.....	2
2. ULOGA JAVNE RASVJETE	4
2.1. SVJETLOST	4
2.2. LJUDSKO OKO	6
2.3. ELEMENTI SUSTAVA JAVNE RASVJETE.....	8
2.3.1. POJNA MJESTA SUSTAVA JAVNE RASVJETE	8
2.3.2. KABELI I VODOVI.....	10
2.3.3. NOSIVE KONSTRUKCIJE	10
2.3.4. UPRAVLJANJE JAVNOM RASVJETOM	10
2.4. POTROŠNJA JAVNE RASVJETE GRADA OSIJEKA	11
2.5. PRIJEDLOG DODJELE ENERGETSKOG RAZREDA SUSTAVU JAVNE RASVJETE.....	13
2.6. UTJECAJ POMICANJA KAZALJKE SATA NA RAD JAVNE RASVJETE.....	17
2.7. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE	20
3. METODOLOGIJA ENERGETSKOG PREGLEDA JAVNE RASVJETE	23
3.1. PRIKUPLJANJE OSNOVNIH PODATAKA.....	23
3.2. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA JAVNE RASVJETE	24
3.3. MAPIRANJE JAVNE RASVJETE.....	24
3.4. MJERENJE ELEKTRIČNIH VELIČINA.....	25
3.5. MJERENJE SVJETLOSNIH VELIČINA	27
3.6. POBOLJŠANJE POKAZATELJA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI REGULACIJOM JAVNE RASVJETE	35
4. MJERENJE I ANALIZA ENERGETSKE UŠTEDE SUSTAVA JAVNE RASVJETE U GRADSKOJ ČETVRTI NOVI GRAD	38

4.1. OPIS MJERENOG PODRUČJA.....	38
4.2. ANALIZA I MODELIRANJE PROMETNICA JAVNE RASVJETE	40
4.3. MJERENJE RASVIJETLJENOSTI I SJAJNOSTI KOLNIKA.....	44
4.4. ANALIZA ENERGETSKE UŠTEDE.....	54
5. SUSTAV OBVEZE ENERGETSKE UŠTEDE	58
5.1. ODREĐIVANJE OBVEZE ENERGETSKE UŠTEDE.....	58
5.2. TRGOVANJE ENERGETSKIM UŠTEDAMA.....	60
5.3. OBVEZA ENERGETSKE UŠTEDE U SUSTAVU JAVNE RASVJETE.....	61
5.4. PRIMJERI IMPLEMENTACIJE SUSTAVA UŠTEDE U DRUGIM ZEMLJAMA EU	62
6. ZAKLJUČAK.....	65
SAŽETAK	66
ABSTRACT.....	67
ŽIVOTOPIS.....	68
LITERATURA	69

1. UVOD

Javna rasvjeta je dio komunalne infrastrukture koja nam omogućuje sigurno i ugodno boravljenje vani u večernjim satima, kao i u uvjetima smanjene vidljivosti zbog vremenskih uvjeta. Međutim, osim svoje funkcionalne uloge, javna rasvjeta je potrošač električne energije. Iako je potrošnja električne energije javne rasvjete relativno mala, od značajne je važnosti za građane jer je plaćaju kroz proračun grada ili općine. Upravo je to jedan od ključnih razloga modernizacije javne rasvjete, uz smanjenje emisije ugljikovog dioksida i zaštite okoliša smanjivanjem svjetlosnog onečišćenja. Javna rasvjeta je također indikator energetske moći grada te uz kvalitetnu i dobro projektiranu rasvjetu stvara ugodnu i atraktivnu atmosferu. Međutim, prekomjerno osvjetljenje može dovesti do svjetlosnog onečišćenja koje negativno utječe na biljni i životinjski svijet.

U ovom diplomskom radu bit će napravljena mjerenja svjetlosnih veličina na primjeru pješačke zone i prometnice. Da se dobije profil svjetiljke odradit će se linijska mjerenja rasvijetljenosti i to prije i nakon ponoći zbog dobivanja prikaza regulacije sustava javne rasvjete. Na osnovu izmjerenih vrijednosti rasvijetljenosti i vrijednosti rasvijetljenosti proizašlih iz modela u Relux-u napraviti će se usporedba podataka kako bi se provjerilo jesu li instalirane svjetiljke zaista one koje su navedene u projektu rekonstrukcije sustava javne rasvjete grada Osijeka. Osim linijskih mjerenja napraviti će se i mjerenje prema uputama iz norme HRN EN 13201:2016 na prometnici. Za analizu energetske uštede odabrana je gradska četvrt Novi grad. Iz projekta rekonstrukcije sustava javne rasvjete preuzeti su podaci o zamijenjenim svjetiljkama i novim instaliranim svjetiljkama. Analiza energetske uštede će sadržavati podatke o smanjenju instalirane snage i godišnjoj uštedi električne energije.

U prvom poglavlju diplomskog rada je uvod i opisan je zadatak diplomskog rada. Drugo poglavlje definira ulogu javne rasvjete. Opisuje fizikalne osnove svjetlosti i kako ljudsko oko registrira svjetlost. Unutar drugog poglavlja također su navedeni i opisani svi elementi sustava javne rasvjete i obrađeni su neki od problema koji su vezani uz javnu rasvjetu. Treće poglavlje sadrži i opisuje sve korake koje je potrebno provesti za energetske pregled javne rasvjete. Unutar trećeg poglavlja se još nalazi dio o problematici mjerenja svjetlosnih veličina. Četvrto poglavlje obuhvaća mjerenje svjetlosnih veličina na realnom primjeru te analizu energetske uštede rekonstrukcijom javne rasvjete u gradskoj četvrti Novi grad. Peto poglavlje govori o sustavu obveze energetske uštede na razini Hrvatske i na razini Europske Unije. Konačno, u

zadnjem poglavlju, iznesen je zaključak na osnovu mjerenja svjetlosnih veličina, analizi energetske uštede rekonstrukcijom javne rasvjete i općenito cijelog diplomskog rada.

1.1. ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Zadatak diplomskog rada je provesti analizu energetske uštede proizašle iz postupka rekonstrukcije javne rasvjete na realnom primjeru gradske četvrti Novi grad, poznatije kao osječko naselje Sjenjak. S ciljem cjelokupne analize neophodno je pružiti teoretsku podlogu koja će objasniti osnovnu strukturu javne rasvjete, fizikalne osnove transformiranja električne energije u svjetlost te načine mjerenja svjetlosnih i električnih veličina s ciljem valorizacije provedenih tehničkih mjera. Na osnovu prikupljenih podataka, na dvije proizvoljno odabrane lokacije od kojih je jedna prometnica, a druga pješačka zona, potrebno je izvršiti modeliranje sustava kako bi se utvrdila je li isti ispunjava pravilnicima određena svojstva. U konačnici neophodno je donijeti zaključak koji će sadržavati numeričke indikatore provedenih mjera.

1.2. PREGLED PODRUČJA

Dogovorom na zasjedanju Europskog vijeća 2010. godine istaknuto je smanjenje primarne energije za 20 % do 2020. povećanjem energetske učinkovitosti. Budući da se cilj nije ostvarivao po planu, 2012. godine donesena je direktiva o energetske učinkovitosti 2012/27/EU, koja izmjenjuje direktive 2009/125/EZ i 2010/30/EU, a stavlja izvan snage direktive 2004/8/EZ i 2006/32/EZ. Kako direktiva navodi, države članice su morale donijeti zakone i propise usklađene s ovom direktivom do 5. lipnja 2014, [1].

Jedna od mjera povećanja energetske učinkovitosti je poboljšanje javne rasvjete. Godine 2014. u Republici Hrvatskoj se donosi zakon o energetske učinkovitosti (NN 127/2014). U zakonu o energetske učinkovitosti se nalazi i dio o energetske pregledu javne rasvjete (NN 116/18, 41/21), koji glasi da je javni sektor dužan, [2]:

- Održavati i rekonstruirati javnu rasvjetu na način da smanjuje potrošnju električne energije i ispunjava ostale uvjete propisane Zakonom o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja i propisima koji iz njega proizlaze
- Provoditi energetske preglede javne rasvjete jednom u pet godina od dana dostave posljednjeg izvješća o energetske pregledu i u roku od 60 dana nakon svake obnove više od 10 % rasvjetnih tijela javne rasvjete te o tome izvijestiti Nacionalno koordinacijsko tijelo.

- Energetske preglede javne rasvjete ovog članka provode ovlašteni inženjeri elektrotehnike

2. ULOGA JAVNE RASVJETE

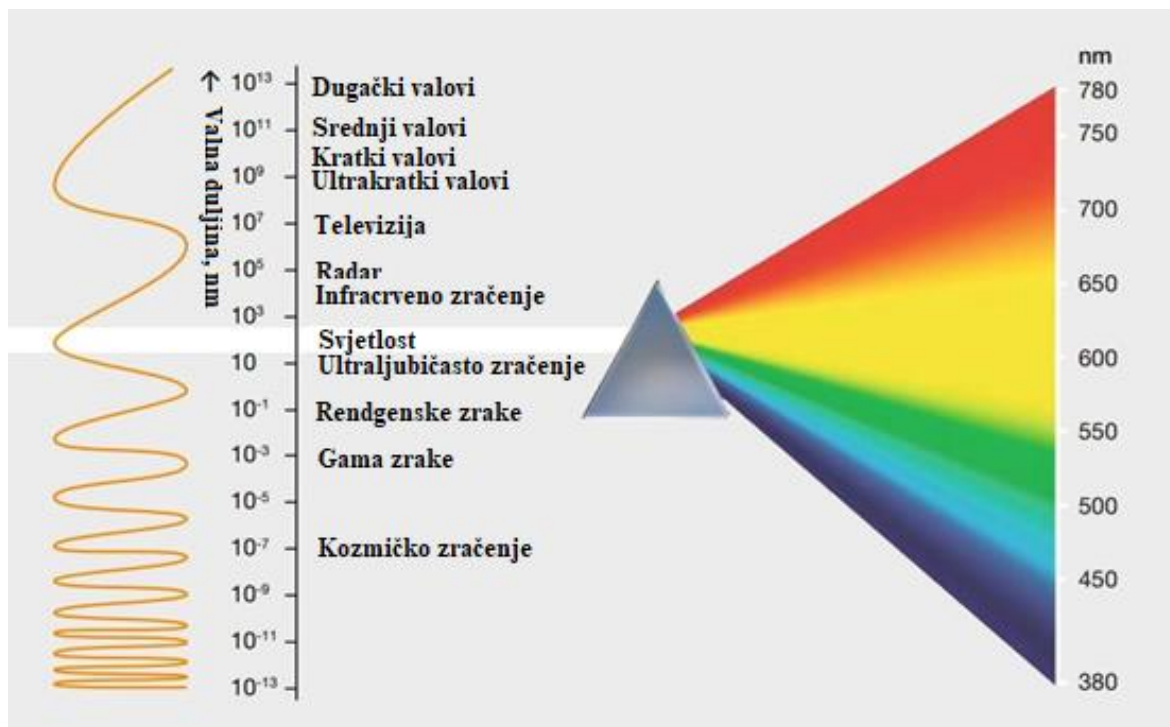
Javna rasvjeta je jedan od elemenata prometnica i javnih prostora tijekom noći. Njezin glavni cilj je osigurati sigurnost i olakšati kretanje pješaka i vozila u noćnim satima. Osim praktične uloge, javna rasvjeta također ima društvenu i estetsku funkciju, doprinoseći stvaranju ugodnog i atraktivnog okruženja za građane i posjetitelje.

Javna rasvjeta također doprinosi osjećaju sigurnosti građana te smanjenju kriminala i drugih oblika nasilja u urbanim sredinama, [3]. Osim toga, javna rasvjeta može utjecati i na biljni i životinjski svijet, stoga je važno uzeti u obzir i ekološke aspekte kada se projektira i implementira javna rasvjeta. Uz sve navedeno, moderna tehnologija omogućuje uvođenje energetski učinkovitih rješenja u javnu rasvjetu, što omogućuje značajne uštede energije i smanjenje emisija stakleničkih plinova.

2.1. SVJETLOST

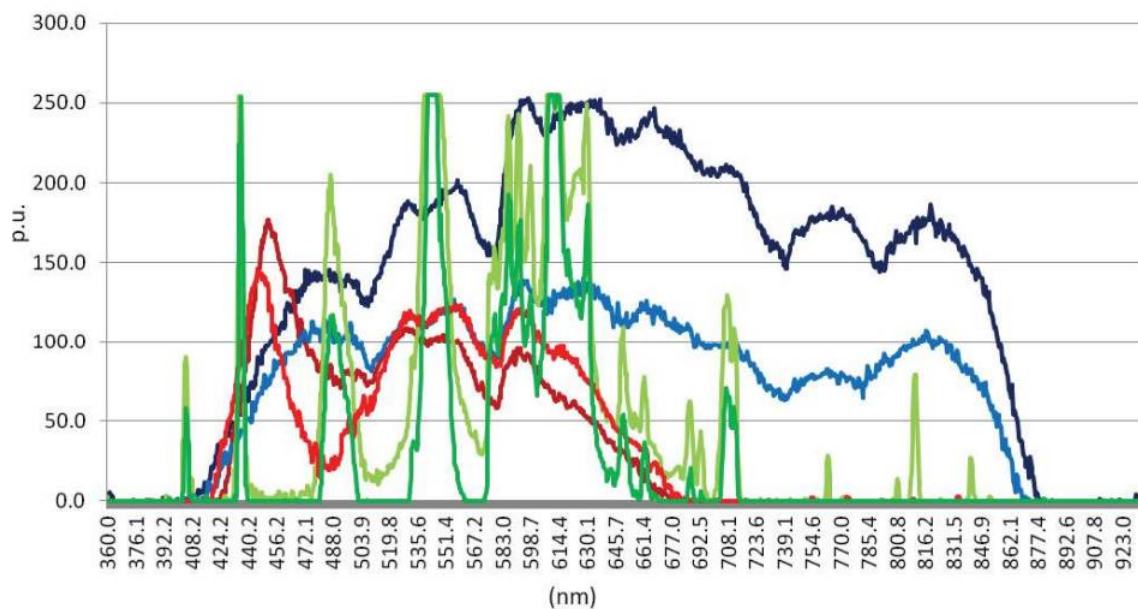
Kako bi se shvatila važnost ispravnog dimenzioniranja svjetiljki, nužno je poznavati fizikalnu osnovu spektra svjetlosti i način na koje ljudsko tijelo percipira svjetlost.

Svjetlost je dio elektromagnetskog spektra, između ultraljubičastog i infracrvenog zračenja. Svjetlost je također jedini vidljivi dio elektromagnetskog spektra s valnom duljinom koja se proteže od 380 do 780 nm, kao što je vidljivo na slici 2.1. Energija zračenja u tom dijelu spektra ima sposobnost pobuditi mrežnicu što rezultira osjetom vida. U vidljivom dijelu elektromagnetskog spektra se raspoznaje 6 boja: ljubičasta (380-440 nm), plava (440-500 nm), zelena (500-565 nm), žuta (565-590 nm), narančasta (590-625 nm) i crvena (625-780 nm). Dio elektromagnetskog spektra koji se nalazi ispred ljubičaste boje se naziva ultraljubičasto zračenje, valnih duljina 100-400 nm. Ultraljubičasto zračenje je podijeljeno je na 3 grupe: UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) i UV-C (280-100 nm). UV-A zračenje je najčešće te se ono preklapa sa dijelom spektra svjetlosti. UV-B zračenje je najopasnije za čovjeka jer uspijeva probiti atmosferu te može izazvati opekline ukoliko se ne koristi zaštita ili u slučaju dužeg izlaganja takvom zračenju. UV-C zračenje je još snažnije, ali ne uspijeva probiti atmosferu. Dio spektra koji se nalazi nakon crvene boje se naziva infracrveno zračenje. Ono je također podijeljeno u 3 grupe: IR-A (780-1400 nm), IR-B (1400-3000 nm) i IR-C (3000-10⁶ nm), [4].



Sl. 2.1. Spektar svjetlosti [5]

Na slici 2.2. je prikazan spektralni sastav triju vrsta izvora svjetlost, LED, CFL (Compact Fluorescent Light Bulb) i GLS (General Lamp Service)



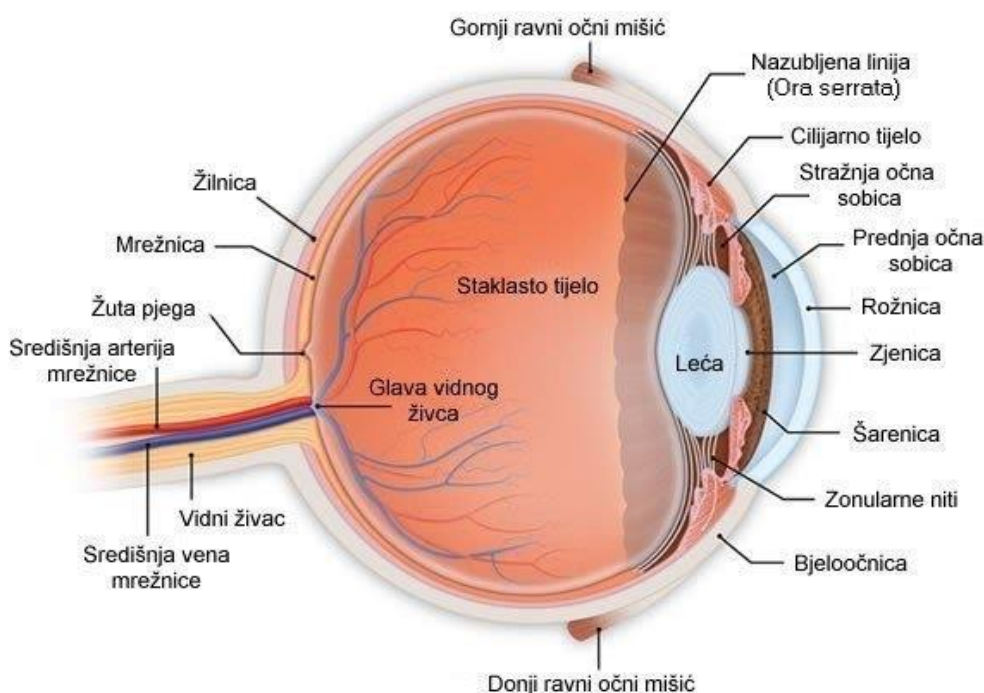
Sl. 2.2. Spektralni sastav 6 izvora svjetlosti, LED (crveno), CLF (zeleno) i GLS (plavo) [6]

Kod LED izvora svjetlosti postoji skok u spektralnom sastavu u području plave boje i ljudsko oko ne može u potpunosti registrirati taj dio. Kada se uspoređi GLS izvor svjetlosti i LED izvor

svjetlosti ljudsko oko registrira veći dio spektralnog sastava LED izvora nego GLS izvora svjetlosti. Što se tiče CLF izvora svjetlosti, oni imaju ne kontinuirani spektralni sastav što uzrokuje lošiji odziv boje.[6]

2.2. LJUDSKO OKO

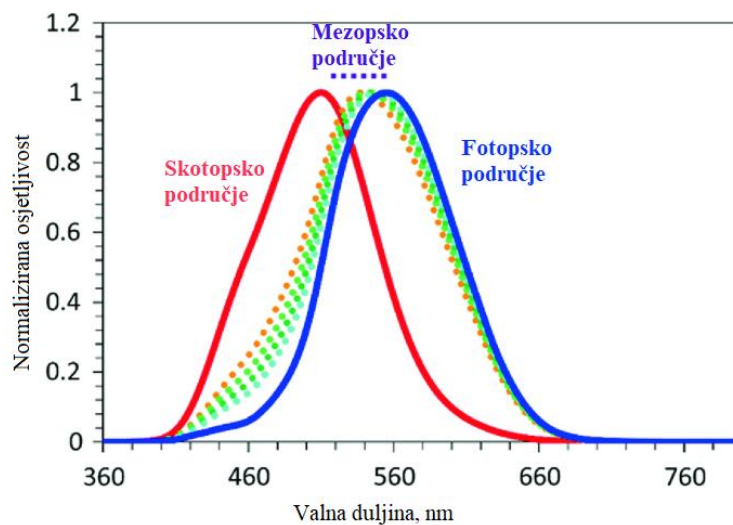
U vidljivom dijelu spektra ljudsko oko razlikuje oko 150 nijansi boja i kombinacijom tih nijansi omogućava prikaz pola milijuna različitih boja. Svjetlost koja ulazi u naše oko transformira se u niz impulsa koje mozak registrira i tako se stvara slika onoga što vidi čovjek, [5]. Na slici 2.3. je prikazano ljudsko oko.



Sl. 2.3. Struktura ljudskog oka [7]

Na ulazu u oko, svjetlost prvo nailazi na rožnicu. Rožnica je asferična i različite debljine po cijeloj površini, a najtanja je u sredini. Što se tiče spektra elektromagnetskog zračenja, rožnica je gotovo prozirna za vidljivi dio spektra, dok na vrijednosti valne duljine od 400 nm propušta nešto više od 80%, a na vrijednostima od 800 nm propušta više od 90% zračenja. Na vrijednostima valne duljine manjim od 300 nm propušta manje od 1% zračenja i tako štiti leću od UV zračenja. Odmah iza rožnice nalazi se prednja očna komora koja je popunjena prozirnomo tekućinom koja se naziva očna vodica. Uloga očne vodice je da održava pritisak unutar komore, a ukoliko se taj pritisak poveća dolazi do glaukoma. Iza prednje očne komore se nalazi šarenica. Šarenica služi kao regulator prolaska svjetlosti do zjenice te se može usporediti s otvorom blende na fotoaparatu. Kada je rasvijetljenost u oku prevelika tada mišići

šarenice sužavaju zjenicu kako bi prošlo manje svjetlosti i poboljšalo kvalitetu slike, dok kod nedovoljne rasvijetljenosti u oku, mišići šarenice šire zjenicu kako bi što više svijetla ušlo u oko. Iza šarenice se nalazi leća. Leća je prozirna, neprokrvljena eliptična struktura koju drže cilijarni mišići. Kada se promijeni fokus tada dolazi do promijene zakrivljenosti leće koju pomiču mišići. Iza leće se nalazi stražnja komora koja je popunjena sa staklastim tijelom. Na zadnjem unutarnjem sloju oka se nalazi mrežnica. Svjetlost, koja prolazi kroz rožnicu, prednju očnu komoru, šarenicu, zjenicu, leću i stražnju komoru, fokusira se na mrežnicu, [8]. Unutar mrežnice se nalaze fotoreceptori, a postoje tri vrste štapići, čunjići i melanopsin. Štapići su više zastupljeni u mrežnici, nemaju utjecaj kod prepoznavanja boja i koriste se kada nema dovoljno svjetla, dok se čunjići koriste za percepciju boje. Postoje tri vrste čunjića, M, L i S čunjići. S čunjići se koriste za prepoznavanje boja nižih valnih duljina, M za boje srednjih valnih duljina i L za boje većih valnih duljina. Kada se koriste čunjiće tada je oko u fotopskom području, što odgovara svjetlijim uvjetima, a kada se koriste štapiće tada je oko u skotopskom području i to odgovara tamnim uvjetima. U uvjetima javne rasvjete oko je u mezopskom području, između skotopskog i fotopskog viđenja, i tada se koriste čunjići i štapići, prikazano na slici 2.4.

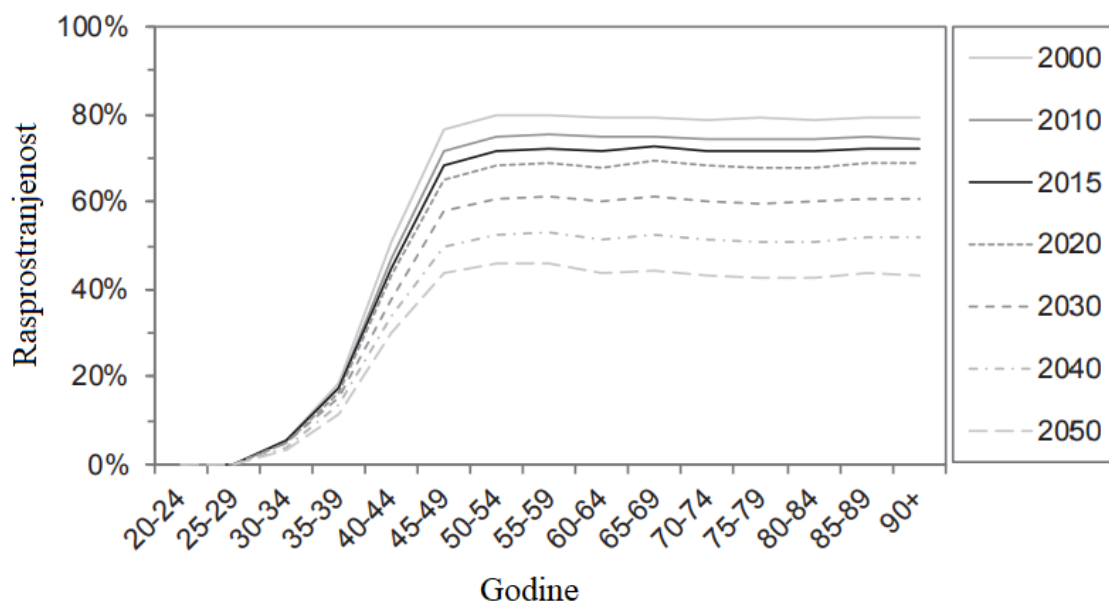


Sl. 2.4. Skotopsko, mezopsko i fotopsko viđenje [9]

Treći fotoreceptor je melanopsin. Melanopsin se ne koristi za vizualnu percepciju, već služi za izlučivanje hormona melatonina. Hormon melatonin čovjeku koristi kao signalizacija za određeno doba dana. Istraživanja su pokazala da plava svjetlost potiskuje lučenje melatonina, a plava svjetlost je u najvećem udjelu oko popodnevnih sati. Kako polako zalazi sunce sve je manje udjela plave svjetlosti te dolazi do lučenja melatonina koji čovjeku javlja da je uskoro vrijeme za spavanje. Kako se u velikom broju svjetiljki javne rasvjete nailazi na visoki udio plave svjetlosti, može doći do remećenja biološkog ritma čovjeka, [9]

Kako bi ljudsko oko vidjelo razmak dvije točke, između dva aktivna čunjića treba postojati jedan neaktivni. U tom slučaju oko može prepoznati razmak dvije točke od $84\mu\text{m}$ na udaljenosti od 350 mm (udaljenost čitanja), što daje oštrinu vida oko 0,8 kutnih minuta, [10].

Tijekom cijelog života ljudsko tijelo se mijenja i stari, pa tako i oko. Što je čovjek stariji to mu je oko više podložno očnim bolestima. Napretkom tehnologije i učestalim pregledima očiju bolesti se mogu ublažiti i spriječiti. Na slici 2.5. je prikazana učestalost dalekovidnosti u čovjeka kroz godine i predviđanja smanjenja dalekovidnosti do 2050. godine.



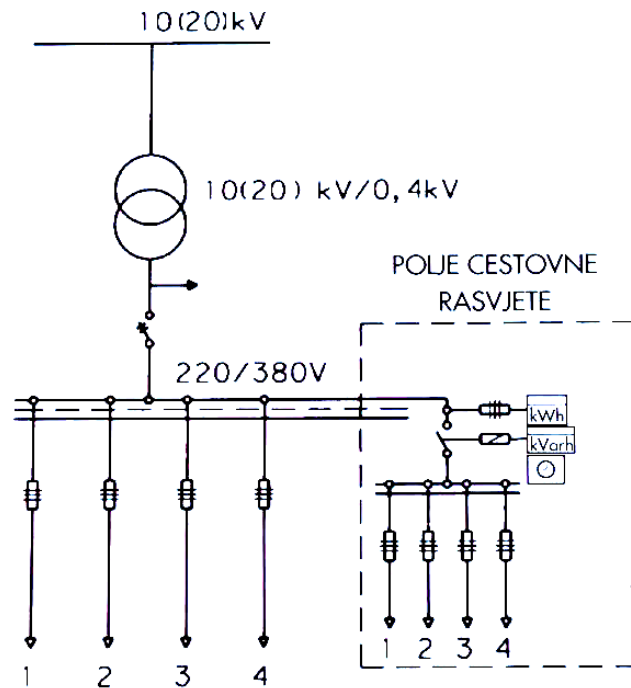
Sl. 2.5. Učestalost dalekovidnosti kod čovjeka kroz godine [11]

2.3.ELEMENTI SUSTAVA JAVNE RASVJETE

Sustav javne rasvjete počinje od mjesta gdje se napaja javna rasvjeta i mjere električne veličine, a završava sa svjetiljkama javne rasvjete koje osvjetljavaju prometnice, parkove, trgove i sl. Sustav javne rasvjete se sastoji od nosivih konstrukcija, uređaja za napajanje i razvod, uređaja za upravljanje i regulaciju, kabela i vodova i uređaja za zaštitu, [12].

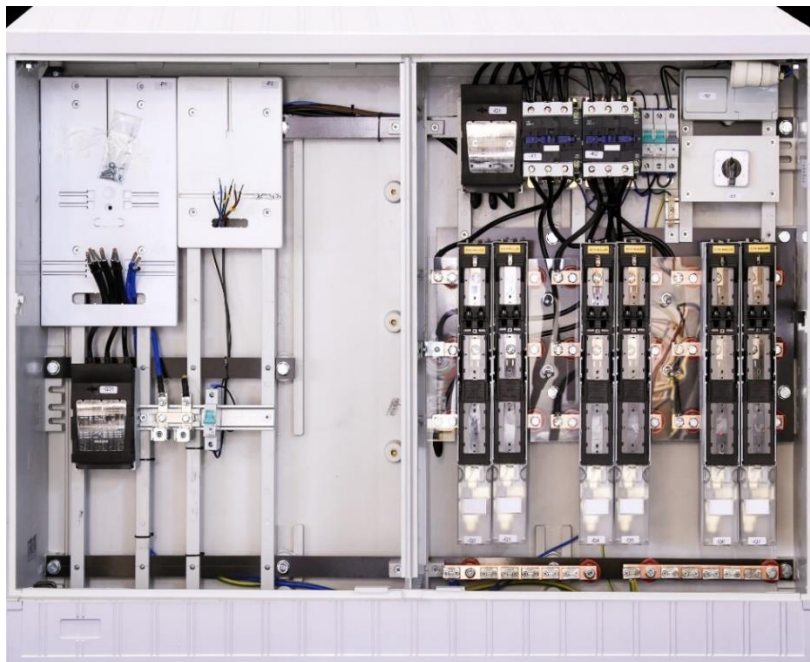
2.3.1. POJNA MJESTA SUSTAVA JAVNE RASVJETE

Postoje 2 vrste uređaja u kojima se vrši napajanje i razvod elektroenergetske mreže, a to su niskonaponsko razvodno polje javne rasvjete u distributivnoj trafostanici, prikazano na slici 1.1., i niskonaponski razvodni uređaj javne rasvjete izvan trafostanice.



Sl. 1.1. Jednopolna shema niskonaponskog polja javne rasvjete unutar distributivne trafostanice [12]

Kada uređaj za razvod i napajanje nije unutar trafostanice tada je najčešće izveden kao slobodnostojeći ormar, prikazan na slici 1.2.



Sl. 1.2. Slobodnostojeći ormar javne rasvjete [13]

Unutar niskonaponskog polja javne rasvjete se u pravilu nalaze: električno brojilo, svjetlosni relej, uklopni sat, mrežni tonfrekventni uređaj (MTU), sklopnici za upravljanje, osigurači te ostala sitna pomoćna oprema, [12].

2.3.2.KABELI I VODOVI

Za instalacije javne rasvjete najčešće se koriste kabeli, nadzemni vodovi i instalacijski vodovi. Kada se koriste nadzemni vodovi, tada je najčešći izbor samonosivi kabelski snop koji se sastoji od tri fazna aluminijska vodiča, nultog aluminijskog vodiča i čeličnog užeta. Za instalacijske vodiče najčešće se odabire bakreni vodič s izolacijom od PVC mase, a za kabele se najčešće uzima elektroenergetski nearmirani kabel koji se stavlja pod zemlju. Što se tiče presjeka vodiča, određuje se u skladu s trajnom dopuštenom strujom opterećenja i dopuštenim padom napona. Presjek ne smije biti manji od $1,5 \text{ mm}^2$ za bakrene vodiče, $2,5 \text{ mm}^2$ za aluminijske vodiče, dok kod kabela presjek ne smije biti manji od 16 mm^2 za bakrene, a za aluminijske ne smije biti manji od 25 mm^2 , [12].

2.3.3. NOSIVE KONSTRUKCIJE

Svjetiljke javne rasvjete mogu biti nošene zidnim konzolama, stupovima ili nosivim žicama. Nosači svjetiljki se najčešće susreću u obliku stupova. Stupovi mogu biti izrađeni od različitih materijala kao što su čelični, betonski ili drveni. Također stupovi javne rasvjete se razlikuju po obliku, koji mogu biti stožasti i segmentni, okruglog poprečnog presjeka i konusni poligonalnog poprečnog presjeka. Položaj svjetiljke može biti izravno na vrhu stupa ili može biti nošena krakom. Uporaba nosivih žica se najčešće susreće u gradovima gdje je uži prostor što čini nosive žice kao optimalno rješenje. Nosiva žica je pričvršćena između dviju nasuprotnih fasada ili stupova. Zidne konzole, kao nosače svjetiljki, se najčešće koriste u gradovima gdje su objekti dovoljno visoki. Konzole mogu biti izvedene tako da izgledaju raskošno i ukrasno, pa se mogu naći na mjestima gdje je bitna estetika prostora, poput trgova ili povijesno važnih mjesta, [12].

2.3.4. UPRAVLJANJE JAVNOM RASVJETOM

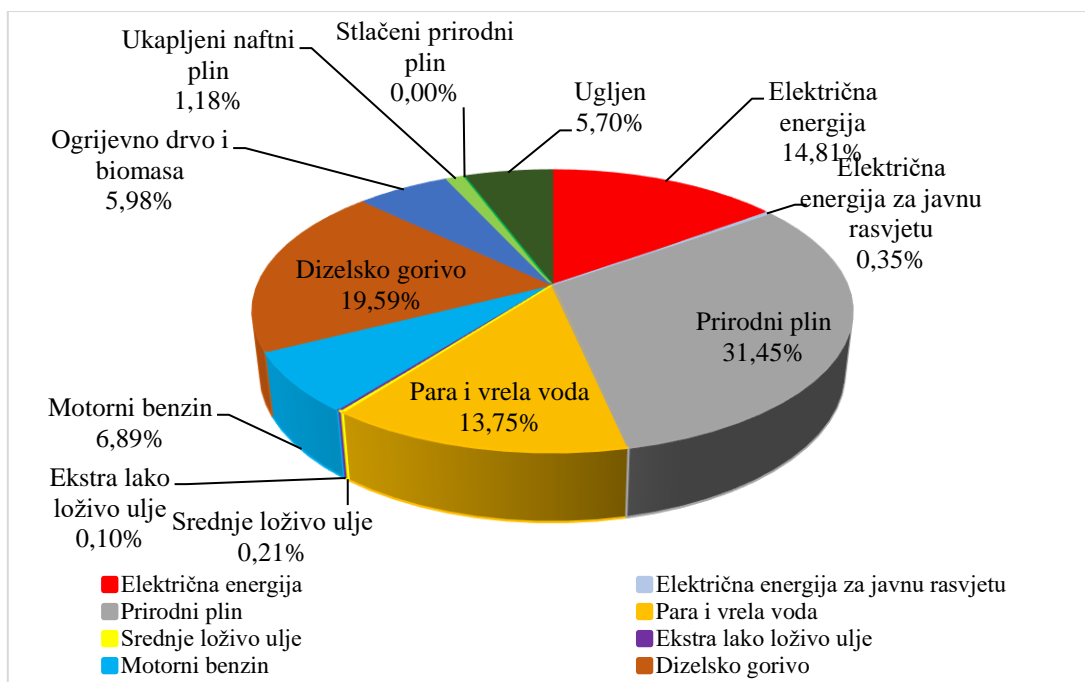
Kada se govori o upravljanju javnom rasvjetu, uglavnom se odnosi na koji način se javna rasvjeta uključuje i isključuje s pogonskog napona. Postoje dva načina, lokalno i centralizirano. Centralizirano upravljanje podrazumijeva upravljanje iz jednog centra iz kojeg se šalju naredbe u sustav javne rasvjete. Centralizirano upravljanje može biti pomoću MTU-a ili pomoću procesorskog uređaja. Svaki upravljački sustav javne rasvjete sadrži mjerne elemente, elemente za upravljanje, uklopne elemente i elemente za prijenos signala. Klasično upravljanje javnom

rasvjetom se radi u kombinaciji s uklopnim satom i luksomatom. Luksomat i uklopni sat moraju raditi u kombinaciji u slučaju smanjenje trenutne vrijednosti rasvijetljenosti tijekom dana, gdje bi luksomat poslao signal za uključenje javne rasvjete no to mu ne dopušta uklopni sat. MTU sustav upravljanja je način upravljanja kod kojeg se informacije prenose preko postojeće elektroenergetske mreže, iz upravljačkog centra, do svake točke u mreži. Signal kojim se prenose informacije predstavlja tonsku frekvenciju između 100 i 1500 Hz. Kada signal stigne do MTU prijemnika, koji se nalazi u polju javne rasvjete, signal se dešifrira i na osnovu informacije radi se uklop ili isklup preko sklopnika. Upravljanje pomoć procesorskog uređaja se najčešće vrši u tunelima, gdje kontrolu sustava rasvjete obavlja lokalni procesor, a kontrolu ostali sustava u tunelu, uključujući i sustav rasvjete, centralni procesor. Kod rasvjete u tunelu nije potrebno uključivanje i isključivanje rasvjete nego samo smanjenje ili povećanje intenziteta svjetlosnog toka. Lokalni sustav upravljanja služi za uključivanje ili isključivanje pojedinog dijela javne rasvjete, uglavnom dijelove koji su napajani jednom transformatorskom stanicom, [12].

Noviji sustavi upravljanja rasvjetom nude bežičnu komunikaciju i mogu doprinijeti značajnim ekonomskim uštedama. Jedan od suvremenih načina upravljanja je DALI (engl. *Digital Addressable Lighting Interface*), koji koristi dvosmjernu komunikaciju s balastom što omogućuje kontrolu i nadzor u svakom trenutku. Korištenje ovog bežičnog sustava upravljanja omogućuje detekciju kvarova pojedine svjetiljke, primanje i slanje podataka u vezi statusa svjetiljke, kontroliranje svjetlosnog intenziteta, informacije o naponu, struji i faktoru snage svjetiljke te uključivanje i isključivanje rasvjete, [14].

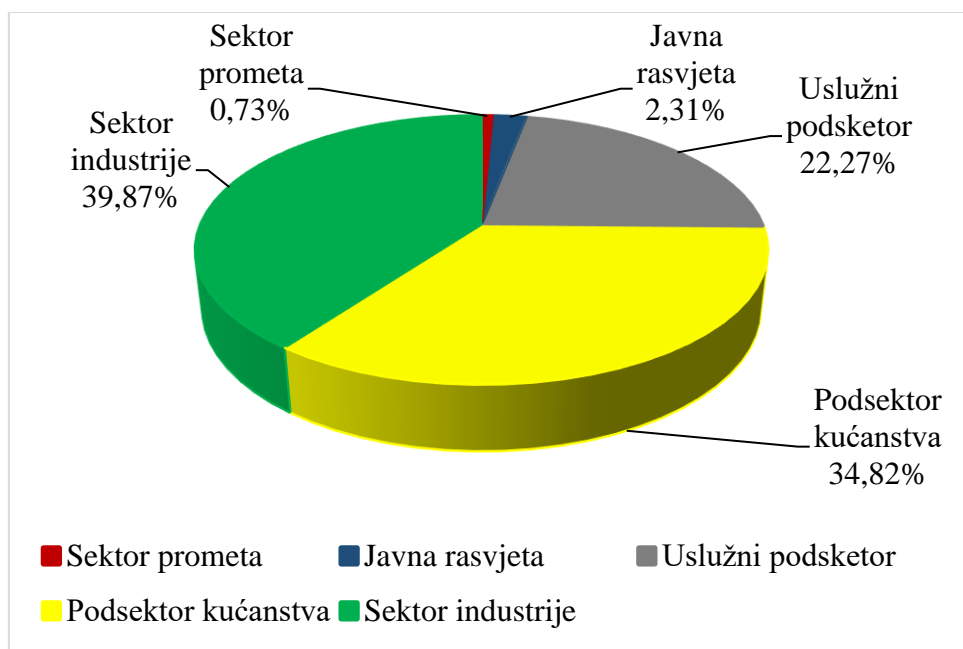
2.4. POTROŠNJA JAVNE RASVJETE GRADA OSIJEKA

Na području grada Osijeka, udio potrošnje električne energije javne rasvjete, u 2018. godini, u ukupnoj neposrednoj potrošnji električne energije je iznosio tek 0,35 %, kao što je prikazano na slici 2.6.



Sl. 2.6. Udio potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u ukupnoj energiji [15]

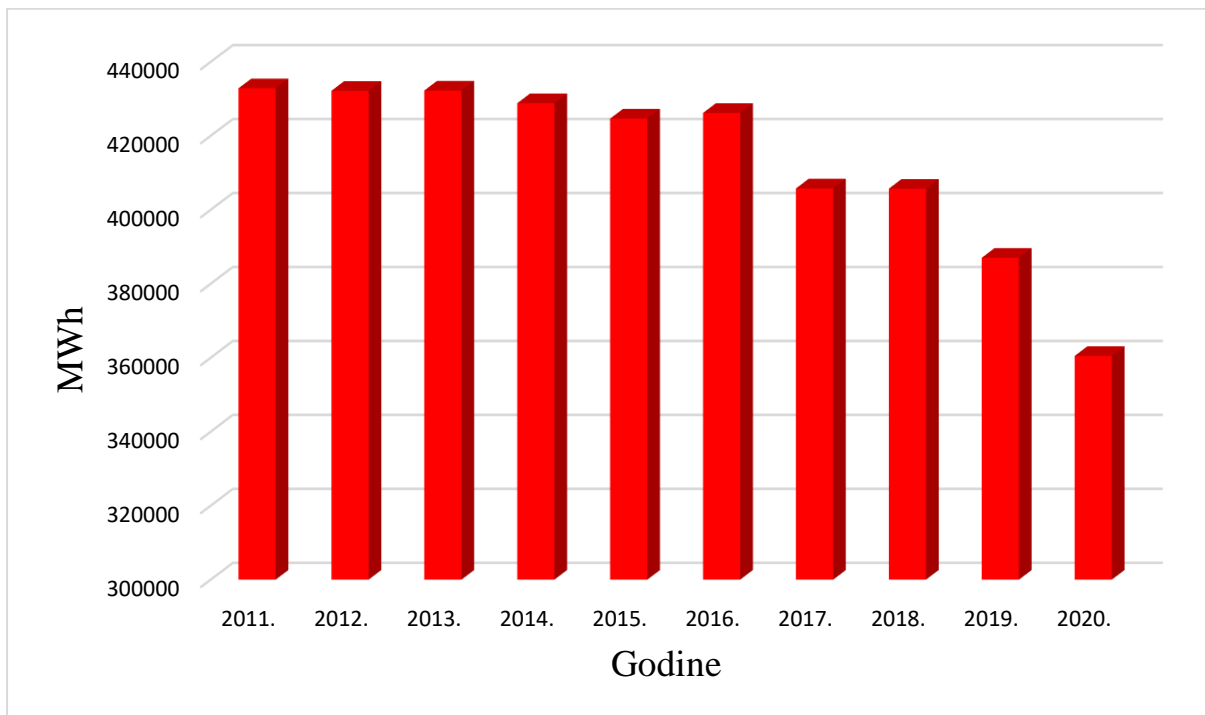
Udio potrošnje električne energije u ukupnoj potrošnji električne energije je iznosio samo 2,3 %, kao što je prikazano na slici 2.7.



Sl. 2.6. Udio potrošnje električne energije za javnu rasvjetu u ukupnoj električnoj energiji

[15]

Iako se iz priloženih slika vidi da je iznos potrošnje električne energije javne rasvjete tek oko 2 %, često je ta potrošnja najveća javna potrošnja električne energije u općinama te se primjenjivanjem odgovarajućih strategija za uštedu energije može povećati energetska učinkovitost. Od 2011. do 2020. godine električna energija za javnu rasvjetu u Hrvatskoj se smanjila za 17 %, kao što je prikazano na slici 2.8. Ulaganje u modernizaciju sustava javne rasvjete često rezultira brzim povratom investicije, pogotovo kada je taj sustav zastario, [15].



Sl. 2.8. Potrošnja električne energije javne rasvjete u RH [16]

Glavni razlog provedbe energetskog pregleda javne rasvjete, osim zakonske obveze, je dati uvid u cjelokupnu sliku sustava rasvjete općine i ukazati na „crna područja“ koja zbog energetske neučinkovitosti, svjetlosnog onečišćenja ili nečeg drugog trebaju rekonstrukciju, [17].

2.5. PRIJEDLOG DODJELE ENERGETSKOG RAZREDA SUSTAVU JAVNE RASVJETE

Donošenjem direktive 2010/30/EU, u Italiji dolazi do prijedloga dodjeljivanja energetskog razreda javnoj rasvjeti, kako bi se izabrala što učinkovitija javna rasvjeta. Jedan od prijedloga je izradila jedna talijanska tvrtka. Metodu koju su predložili je iznesena prije donošenja petog dijela norme HRN EN 13201-5:2016, u kojem se nalaze pokazatelji energetske učinkovitosti. Metoda se sastoji od dodjeljivanja energetskog razreda pojedinoj svjetiljki i cijelom sustavu

rasvjete, prema [18]. Energetski razred pojedine svjetiljke se određuje koristeći dvije veličine, učinkovitost svjetiljke η_a i referentna učinkovitost svjetiljke η_r . Učinkovitost svjetiljke η_a se računa prema izrazu 2-1.

$$\eta_a = \eta_i \cdot \eta_b \cdot BLF \cdot D_{lor} \quad (2-1)$$

Gdje je:

- η_a – učinkovitost svjetiljke [lm/W]
- η_i – nominalna učinkovitost izvora [lm/W]
- η_b – učinkovitost balasta, omjer snage izvora i snage koja dolazi do izvora
- BLF – omjer emitiranih lumena referentne svjetiljke s instaliranim balastom i emitiranih lumena referentnog sustava (referentna svjetiljka i referentni balast)
- D_{lor} – omjer svjetlosnog toka svjetiljke usmjeren prema donjoj hemisferi i svjetlosnog toka svjetiljke

Referentna učinkovitost se očitava iz tablica za cestu i velika područja, za pješake i bicikliste, za zelene površine i parkove i za povijesna i kulturna obilježja. Poznavanjem obje učinkovitosti može se odrediti indeks učinkovitosti svjetiljke ($IPEA$), prema izrazu 2-2.

$$IPEA = \frac{\eta_a}{\eta_r} \quad (2-2)$$

Gdje je:

- η_a – učinkovitost svjetiljke [lm/W]
- η_r – referentna učinkovitost svjetiljke [lm/W]
- $IPEA$ – indeks učinkovitosti svjetiljke

Određivanje energetskog razreda cijelog sustava rasvjete ovisi o kriteriju energetske učinkovitosti ulične rasvjete ($SLEEC$), koji je podijeljen na SL (gdje se koristi sjajnost) i na SE (gdje se koristi rasvijetljenost). SL i SE se računaju prema izrazima 2-3 i 2-4.

$$SL = \frac{P_r}{L_m \cdot l_r \cdot l_m} \quad (2-3)$$

Gdje je:

- SL – kriterij energetske učinkovitosti ulične rasvjete za sjajnost [W/cd]
- P_r – snaga koju koriste svjetiljke, zajedno sa komponentama u svjetiljki (balast, starter, kondenzator...) [W]
- L_m – prosječna sjajnost [cd/m²]

- l_r – prosječni razmak između dvije svjetiljke na jednoj strani kolničke trake (u slučaju obostranog rasporeda svjetiljki razmak se podijeli sa 2) [m]
- l_m – prosječna širina kolničke trake [m]

$$SE = \frac{P_r}{E_m \cdot l_r \cdot l_m} \quad (2-4)$$

Gdje je:

- SE – kriterij energetske učinkovitosti ulične rasvjete za rasvijetljenost [$W/lx \times m^2$]
- P_r – snaga koju koriste svjetiljke, zajedno sa komponentama u svjetiljki (balast, starter, kondenzator...) [W]
- E_m – prosječna rasvijetljenost [lx]
- l_r – prosječni razmak između dvije svjetiljke na jednoj strani kolničke trake (u slučaju obostranog rasporeda svjetiljki razmak se podijeli sa 2) [m]
- l_m – prosječna širina kolničke trake [m]

Kao i kod određivanja indeksa učinkovitosti svjetiljke, za određivanja indeksa učinkovitosti cijelog sustava rasvjete ($IPEI$), potrebne su referentne vrijednosti. Referentne vrijednosti SL_R i SE_R se očitavaju iz tablica uz poznatu zonu rasvjete. Indeks učinkovitosti cijelog sustava rasvjete se može računati za ceste gdje se koristi sjajnost, izraz 2-5.

$$IPEI = \frac{SL}{SL_R} \cdot k_i \quad (2-5)$$

Gdje je:

- $IPEI$ – indeks učinkovitosti cijelog sustava rasvjete
- SL – kriterij energetske učinkovitosti ulične rasvjete za sjajnost [W/cd]
- SL_R – referentni kriterij energetske učinkovitosti ulične rasvjete za sjajnost [W/cd]
- k_i – korekcijski faktor koji za svjetiljke koje, za slične karakteristike kao i ostale svjetiljke, mogu osigurati veći razmak između dvije svjetiljke

Za izračun indeksa učinkovitosti cijelog sustava rasvjete gdje se koristi rasvijetljenost, koristi se izraz 2-6.

$$IPEI = \frac{SE}{SE_R} \cdot k_i \quad (2-6)$$

Gdje je:

- $IPEI$ – indeks učinkovitosti cijelog sustava rasvjete

- SE – kriterij energetske učinkovitosti ulične rasvjete za rasvijetljenost [$W/lx \times m^2$]
- SL_R – referentni kriterij energetske učinkovitosti ulične rasvjete za sjajnost [$W/lx \times m^2$]
- k_i – korekcijski faktor koji za svjetiljke koje, za slične karakteristike kao i ostale svjetiljke, mogu osigurati veći razmak između dvije svjetiljke

Kada su poznati indeksi $IPEA$ i $IPEI$, tada se može pojedinoj svjetiljki ili pojedinom sustavu rasvjete dodijeliti energetski razred, kao što je prikazano na tablici 2.1.

Tablica 2.1. Prijedlog moguće klasifikacije energetskih razreda javne rasvjete [18]

$IPEA$	$IPEI$	Energetski razred
$IPEA > 1,10$	$IPEI < 0,82$	A+
$1,05 < IPEA \leq 1,10$	$0,82 \leq IPEI < 0,91$	A
$1,00 < IPEA \leq 1,05$	$0,91 \leq IPEI < 1,09$	B
$0,93 < IPEA \leq 1,00$	$1,09 \leq IPEI < 1,35$	C
$0,84 < IPEA \leq 0,93$	$1,35 \leq IPEI < 1,79$	D
$0,75 < IPEA \leq 0,84$	$1,79 \leq IPEI < 2,63$	E
$0,65 < IPEA \leq 0,75$	$2,63 \leq IPEI < 3,10$	F
$IPEA < 0,65$	$IPEI \geq 3,10$	G

Primjenom ovakve klasifikacije energetskih razreda predložena je izrada energetskog certifikata koji je prikazan u tablici 2.2.

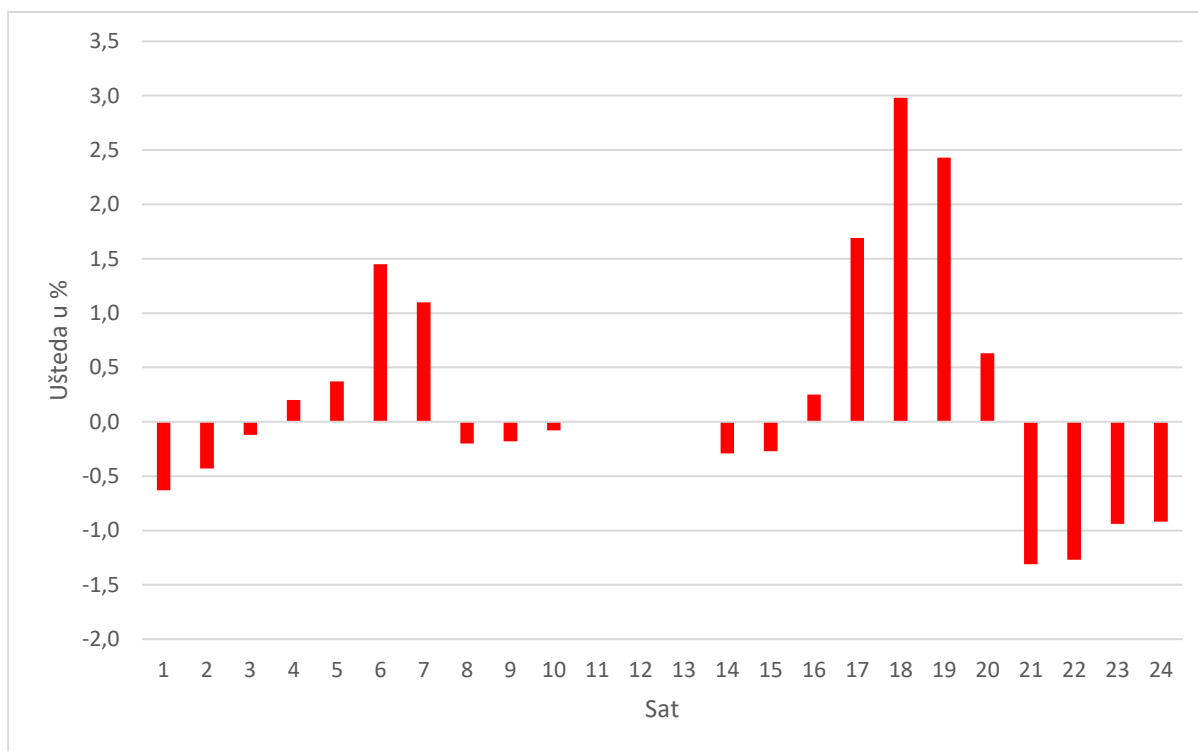
Tablica 2.2. Primjer prijedloga energetskog razreda za svjetiljku [18]

Tip	Kvalitetna svjetiljka s ravnim staklom za rasvjetu ceste	Učinkovitost svjetiljke η_a 76,44 lm/W
Opis	Kvalitetno rasvjetno tijelo s visokotlačnim natrijem i elektroničkim balastom	Indeks učinkovitosti svjetiljke $IPEA = 1,02$ B
Tip izvora	Visokotlačna natrijeva svjetiljka od 100W	
Nominalna učinkovitost izvora	105 lm/W	
Izlaz napajanja	0,91	
$DLOR$	80%	

Napredak tehnologije rasvjete je najveći nedostatak ovakvog klasificiranja energetskog razreda. Kako se razvijala visoko učinkovita LED rasvjeta, klasificiranje se trebalo stalno ažurirati što ovakav način čini kompliciranim, [19].

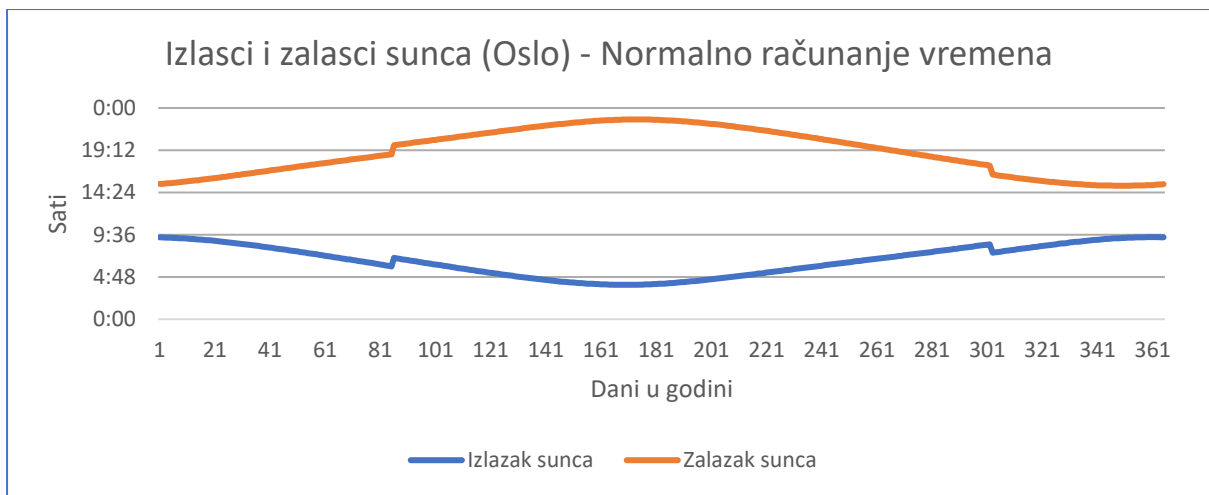
2.6. UTJECAJ POMICANJA KAZALJKE SATA NA RAD JAVNE RASVJETE

Pomicanje kazaljke uvedeno je radi boljeg iskorištavanja dnevnog svjetla tijekom vrhunca potrošnje energije u danu. U današnje vrijeme sve članice Europske Unije dva puta u godini pomiču kazaljku na satu, jednom u proljeće te jednom na jesen. Znanstvena istraživanja na temu promicanja kazaljke dokazuju da u nekim državama dolazi do male uštede u energiji, a u nekima ne, kao što je slučaj u Norveškoj. Budući da su na sjeveru izraženi dugi dani ili duge noći teško može doći do uštede električne energije zbog promijene sata. Istraživanje u Slovačkoj je pokazalo da se promjenom sata, tijekom dana, može uštedjeti do 0,8 % električne energije, kao što je prikazano na slici 2.9., [2]



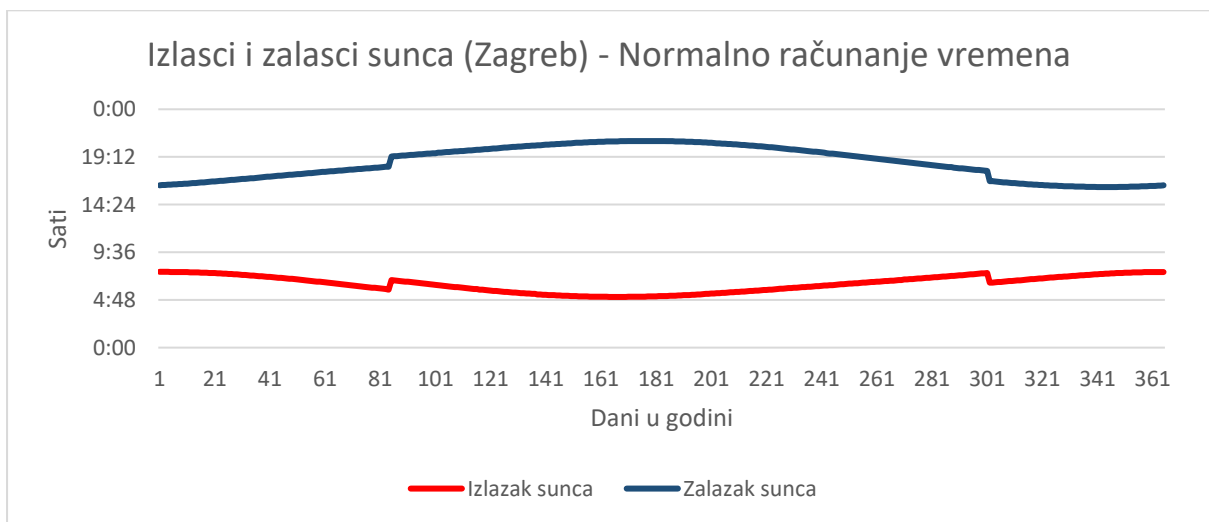
Sl. 2.9. Ušteda u električnoj energiji tijekom dana uzrokovana promjenom sata [2]

Promicanje kazaljke također utječe i na javnu rasvjetu. Za analizu su uspoređena dva grada, Oslo i Zagreb, s obzirom na vrijeme trajanja dana. Na slici 2.10. je prikazano trajanje dana tijekom godine u Oslu.



Sl. 2.10. Trajanje dana tijekom godine u Oslu

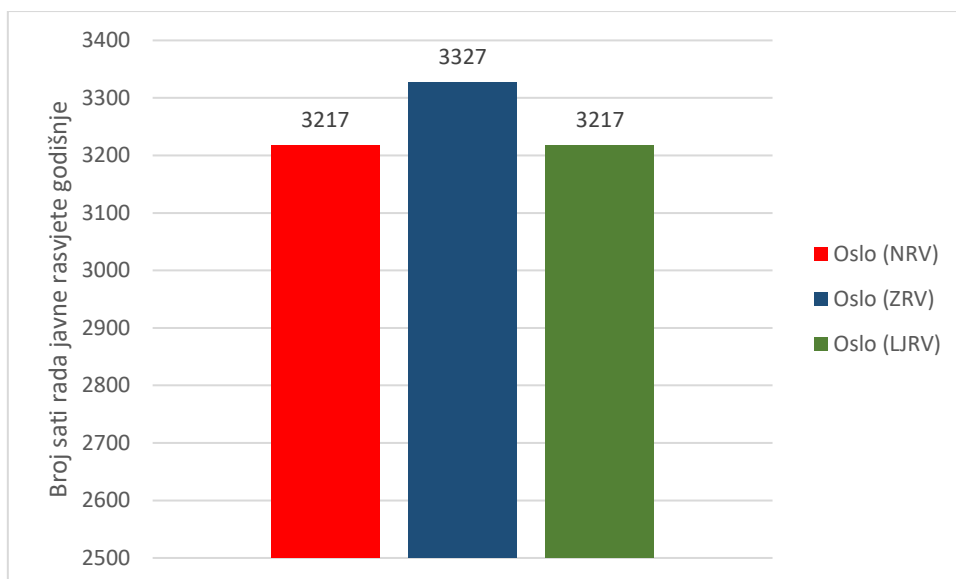
Vidi se kako u Oslu postoje izraženi ekstremi trajanja dana tijekom zime i ljeta. Na slici 2.11. prikazano je trajanje dana tijekom godine u Zagrebu.



Sl. 2.11. Trajanje dana tijekom godine u Zagrebu

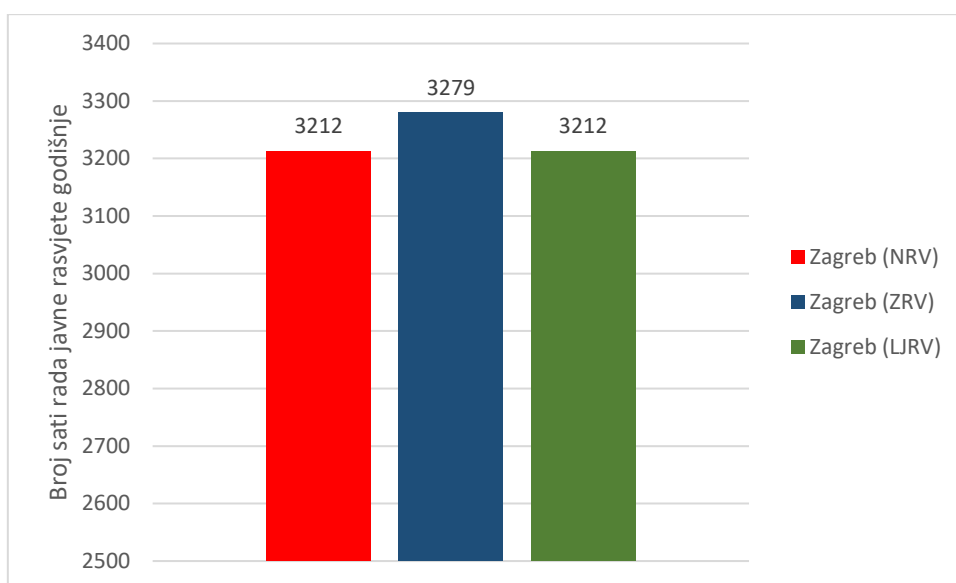
U odnosu na Oslo, u Zagrebu ne postoje veliki ekstremi trajanja dana.

Za potrebe analize u obzir je uzeto da javna rasvjeta nije potrebna u vremenu od 2 sata ujutro do 5 sati ujutro. Prema slikama 2.12. i 2.13. , vidi se da se vrijeme rada javne rasvjete povećava, za oba grada, kada se u obzir uzima samo zimsko računanje vremena (ZRV), dok za ljetno računanje vremena (LJRV) i normalno računanje vremena (NRV) vrijeme rada javne rasvjete je isto. Na slici 2.12. je prikazano vrijeme rada javne rasvjete za Oslo.



Sl. 2.12. Vrijeme rada javne rasvjete za Oslo

Na slici 2.13. je prikazano vrijeme rada javne rasvjete za Zagreb.



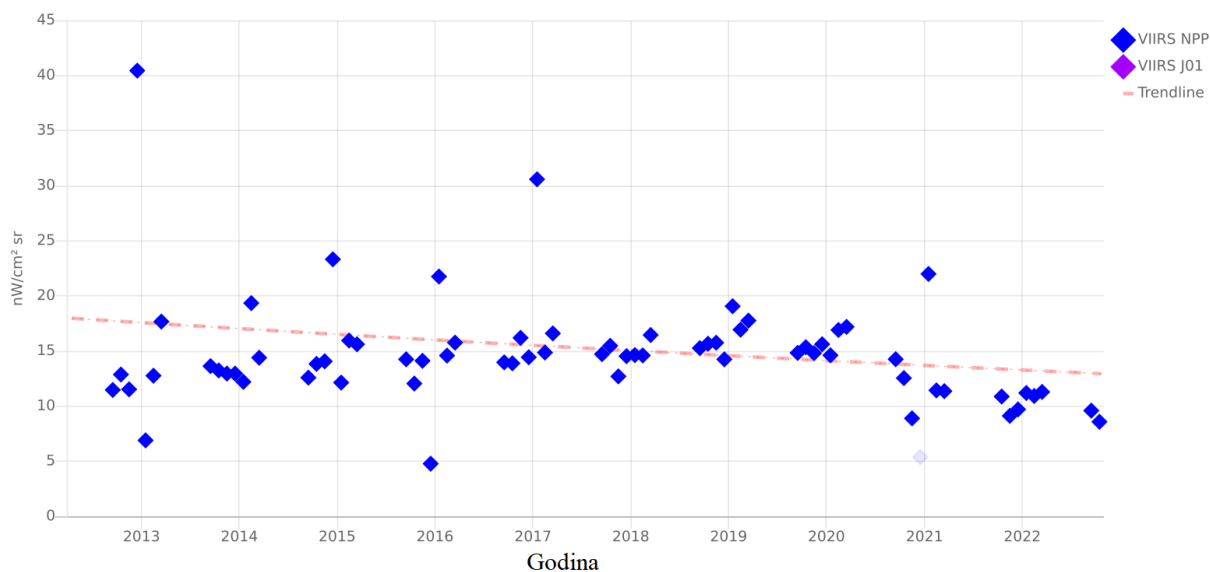
Sl. 2.13. Vrijeme rada javne rasvjete za Zagreb

Iz analize se vidi da se vrijeme rada javne rasvjete u Oslu, za zimsko računanje vremena, povećalo za 110 sati, što iznosi 3,3 %. U Zagrebu je, za zimsko računanje vremena, došlo do povećanja od 67 sati, što je 2%. Iako mijenjanje kazaljke sata možda donosi uštedu u električnoj energiji, također donosi i dosta negativnih utjecaja na čovjeka. Neka istraživanja su dokazala da se pomicanjem sata uzrokuje povećanje automobilskih nesreća za 5,6 %, povećanje pljački za 7 %. Promicanje sata također može utjecati na povećanje depresije, prema [3] promicanjem sata u proljeće dolazi do 6-8 % povećanja smrti od depresije.

2.7. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

Svjetlosno onečišćenje predstavlja ozbiljan problem uzrokovan uglavnom neadekvatnim projektiranjem rasvjete. Ova pojava značajno utječe na ljude i životinjski svijet, izazivajući neugodnosti i povećavajući smrtnost kod obje vrste. Štoviše, osim negativnog utjecaja na zdravlje, svjetlosno onečišćenje negativno utječe i na astronome, smanjujući vidljivost i otežavajući njihov rad, [4]. Kao što je spomenuto u poglavlju 2.2, jedan od problema svjetlosnog onečišćenja je negativan utjecaj na izlučivanje melatonina. Biološki ritam svih bića na Zemlji, uključujući ljude, životinje i biljke, ovisi o dnevnom i noćnom ciklusu svjetlosti. Međutim, moderni način života s raznim umjetnim izvorima svjetla omogućava aktivnost i produktivnost tijekom noći, što može poremetiti prirodni bioritam i dovesti do niza zdravstvenih problema. Osim toga, danas ljudi sve više borave u zatvorenim prostorima, izloženi umjetnom svjetlu i bez dovoljno izloženosti prirodnoj svjetlosti, što može dovesti do poremećaja sna i raspoloženja. Stoga je bitno razumjeti važnost dnevnog i noćnog ciklusa svjetlosti te osmisliti načine kako minimizirati negativni utjecaj umjetne rasvjete na prirodni bioritam svih bića na Zemlji, [5].

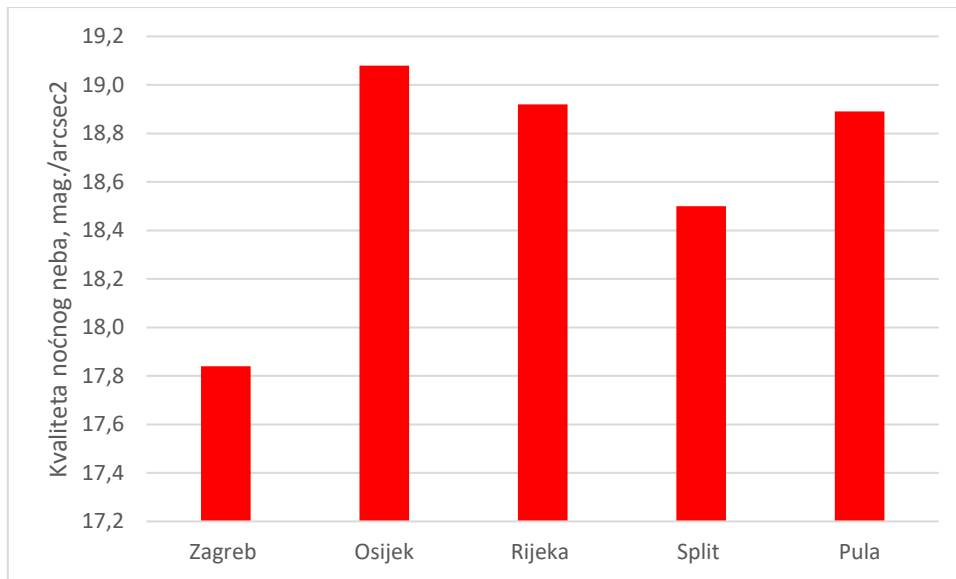
Javna rasvjeta ima veliki utjecaj na svjetlosno onečišćenje. Kako bi došlo do smanjenja tog utjecaja, ključno je provesti ispravno projektiranje svjetiljki koje se koriste u javnoj rasveti, u skladu s normom HRN EN 13201:2016. Pravilan odabir svjetiljki može značajno doprinijeti smanjenju svjetlosnog onečišćenja, a istovremeno može smanjiti emisiju ugljikovog dioksida, potrošnju energije i donijeti financijske uštede. Uz odabir prikladne svjetiljke, također je važno reguliranje i upravljanje javnom rasvetom. Uspješne primjere smanjenja svjetlosnog onečišćenja mogu se vidjeti u Osijeku, kao što je prikazano na slici 2.14.



Sl. 2.14. Zračenje svjetlosti na području Osijeka 2013.-2022. [6]

Kvaliteta noćnog neba se odnosi na mjerenje i procjenu koliko dobro se nebo može vidjeti noću, odnosno koliko je tamno i bez smetnji od umjetne svjetlosti. Kvaliteta noćnog neba ovisi o različitim faktorima kao što su geografska lokacija, prisutnost gradskog svjetla, oblačnost, zagađenje zraka i drugim faktorima.

Na mjestima s malo umjetnog svjetla, u ruralnim područjima ili daleko od gradova, noćno nebo može biti izuzetno tamno i jasno, što omogućava bolji pogled na zvijezde, planete i galaksije. S druge strane, u gradovima ili na mjestima s puno umjetnog svjetla, noćno nebo može biti mutno i slabo vidljivo, što otežava promatranje zvijezda i drugih nebeskih tijela. Kvaliteta noćnog neba se najčešće izražava u jedinicama magnituda po kvadratnoj sekundi luka (mag./arcsec^2). Što je vrijednost veća, bolje se vidi noćno nebo. Uspoređivanjem kvalitete noćnog neba u velikim gradovima u Hrvatskoj dobiju se rezultati prikazane na slici 2.15.



Sl. 2.15. Kvaliteta noćnog neba za pojedine gradove [6]

Na slici 2.15. se vidi da je uvjerljivo najgora kvaliteta noćnog neba u Zagrebu, razlog tome je što u Zagreb ima najveći broj stanovnika. U Osijeku je najbolja kvaliteta noćnog neba iako nije grad s najmanjim brojem stanovnika. To može biti razlog bolje projektirane javne rasvjete nego u drugim gradovima.

3. METODOLOGIJA ENERGETSKOG PREGLEDA JAVNE RASVJETE

Uvođenjem zakona o obveznom energetsom pregledu javne rasvjete, u Hrvatskoj se metodologija energetskeg pregleda javne rasvjete uvodi pod metodologiju provođenja energetskeg pregleda građevina. Energetski pregled javne rasvjete uključuje sustave potrošnje električne energije od mjesta preuzimanja do krajnjeg potrošača. U metodologiji stoji da analiza tehničkih i energetskih svojstava javne rasvjete obuhvaća, [7]:

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

3.1. PRIKUPLJANJE OSNOVNIH PODATAKA

U početku izvješća treba dati do znanja tko je naručio energetski pregled javne rasvjete i tko je ovlašten za energetski pregled. Prvi korak u provedbi energetskih pregleda je analiziranje naselja u kojem se energetski pregled obavlja. Prikupljeni podaci o naselju trebaju sadržavati starosnu dob stanovnika, površinu naselja, gustoću naseljenosti, zone javne rasvjete i prometnu povezanost, [8]. Nakon prikupljenih podataka o naselju, naručitelj daje svu postojeću dokumentaciju, na pregled provoditelju, o trenutnom sustavu javne rasvjete, a ona može sadržavati informacije o:

- pojnim točkama
- karakteristikama napojnih vodova
- tipu svjetiljki
- vrsti stupova
- vrsti razvoda
- sustavu zaštite
- sustavu upravljanja i regulacije i sl.

3.2. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA JAVNE RASVJETE

Kako bi se izradio tehnički opis sustava javne rasvjete, potrebno je analizirati sve podatke koji su dani u postojećoj dokumentaciji, izaći na teren i detaljno se upoznati s trenutnom situacijom javne rasvjete naselja u kojem se provodi energetska pregled. Nakon što su postojeća dokumentacija i upoznavanje sa sustavnom javne rasvjete dali uvid u trenutno stanje, tada je moguće izraditi opis sustava javne rasvjete. Opis sustava treba sadržavati:

- dužinu dionica
- informacije o postojećim stupova
- karakteristike nosača svjetiljki
- visinu instaliranih svjetiljki
- tipove svjetiljki
- broj svjetiljki
- informacije o napajanju
- detalje neplanskog izvoda (ako postoje)
- broj onečišćenih svjetiljki
- broj neispravnih svjetiljki
- opis sustava regulacije i upravljanja
- karakteristike trafo stanice

3.3. MAPIRANJE JAVNE RASVJETE

Energetski pregled javne rasvjete također bi trebao sadržavati prostorne položaje svih elemenata sustava. Postoji više načina za mapiranje sustava, a najlakši je korištenjem pametnog telefona s GPS sustavom, [9]. Fotografije koje su snimljene tijekom pregleda se izvoze u neki od GIS softvera, te je tada moguće prikazati sve elemente javne rasvjete u prostornom položaju, kako je prikazano na slici 3.1.



Sl. 3.1. Mapirani elementi sustava javne rasvjete [24]

Na slici 3.1. se vidi kako su postavljeni stupovi javne rasvjete u prostoru te koje su instalirane svjetiljke na tim stupovima. Također se vidi gdje se nalaze trafostanice u odnosu na svjetiljke.

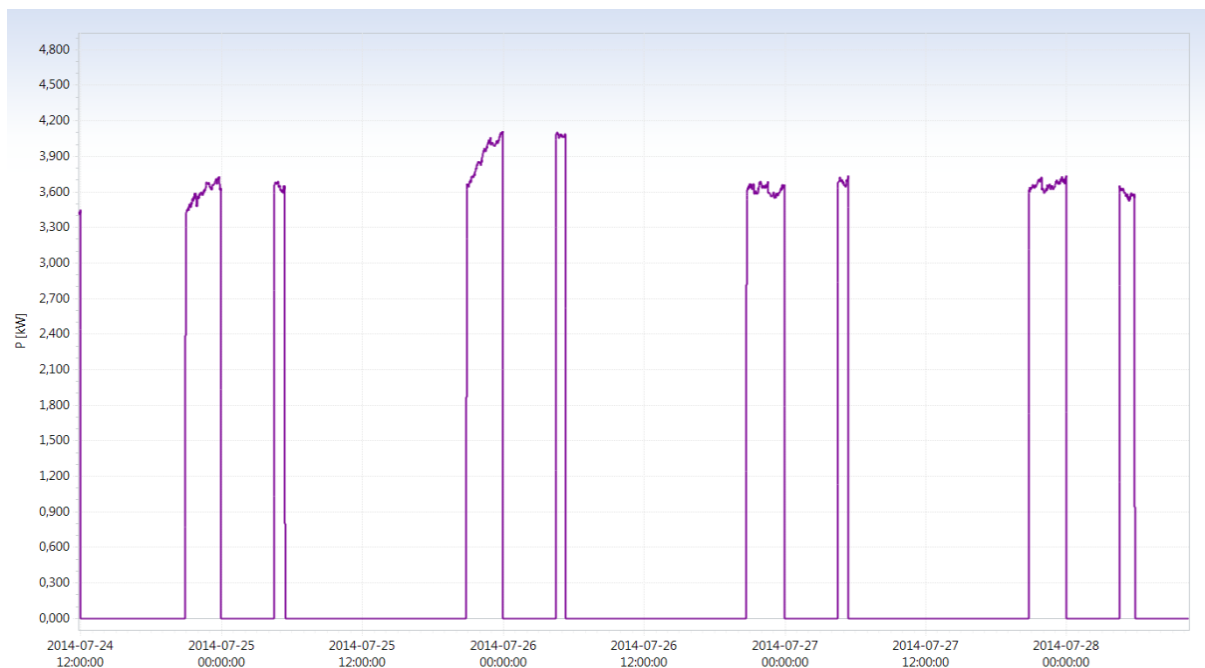
3.4. MJERENJE ELEKTRIČNIH VELIČINA

Za mjerenje električnih veličina se preporuča koristiti mrežni analizator ili univerzalni mjerni uređaj. Mjerenje električnih veličina se obavlja na izvodima javne rasvjete. Nakon uključanja javne rasvjete potrebno je pričekati 5 do 6 minuta kako bi se električne veličine ustalile. Prilikom mjerenja je potrebno izmjeriti sve vrijednosti napona, struje, snaga i faktor snage. Prilikom mjerenja također je potrebno, uz snage svjetiljki, uzeti u obzir snage predspojnih naprava svjetiljki, [26]. Na slici 3.2. je prikazano mjerenje struje izvoda javne rasvjete sa strujnim kliještima.



Sl. 3.2. Mjerenje struje izvoda javne rasvjete sa strujnim kliještima [26]

Mjerenjem se također može uvidjeti u regulaciju javne rasvjete i vidjeti je li ispravna. Na slici 3.3. je prikazan primjer ispravne regulacije mjerenjem djelatne snage kroz 5 dana.



Sl. 3.3. Primjer ispravne regulacije javne rasvjete. [10]

Prema slici 3.3. se vidi da se rasvjeta uključuje oko 20 sati, a isključuje u ponoć pa se ponovno uključuje malo prije 5 sati ujutro.

U noćnim satima, kada je potrošnja električne energije niska, u elektroenergetskom sustavu može doći do povišenja napona u mreži, kao što je prikazano na slici 3.4. Budući da javna rasvjeta radi uglavnom u uvjetima smanjenog opterećenja u sustavu, problem povišenog napona uzrokuje povećanje intenziteta svjetlosnog toka što uzrokuje veću potrošnju električne energije javne rasvjete od predviđene.



Sl. 3.4 Primjer povišenog napona [10]

Kako se u sustavu javne rasvjete sve više koriste elektronički uređaji koji povlače nelinearnu struju, dolazi do nesimetrije napona. Stoga je od izuzetne važnosti norma HRN EN 50160:2012/A3:2019, koja je standard za kvalitetu električne energije i daje kvantitativne zahtjeve napona u normalnim uvjetima, a to su frekvencija mreže, naponski propadi i prekidi, naponska kolebanja, harmonici i međuharmonici, prijelazni prenaponi, valovitost, tranzijentni prenaponi, naponska nesimetrija, prisutnost DC komponente u AC komponenti i prisutnost signalnih napona. Mjerenje kvalitete električne energije se provodi mrežnim analizatorom u vremenskom periodu od jednog tjedna, [11, 12].

3.5. MJERENJE SVJETLOSNIH VELIČINA

Fotometrija je grana optike koja se bavi elektromagnetskim zračenjem koje je vidljivo čovjeku, dok radiometrija, koja se također bavi vidljivim dijelom spektra elektromagnetskog zračenja,

još proučava ultraljubičasto zračenje i infracrveno zračenje. Najčešća mjerna jedinica koja se koristi u radiometriji je vat [W], a u fotometriji je najčešća lumen [lm], [9].

Glavni cilj fotometrije je mjerenje vidljivog dijela spektra elektromagnetskog zračenja s tim da rezultat mjerenja bude što bliži onome što promatrač vidi. U današnje vrijeme se najviše koristi fizička fotometrija – korištenje fotodetektora, [13].

Neki od najvažnijih principa koji se koriste u radiometriji i fotometriji su:

- Zakon inverznih kvadrata
- Lambertov zakon
- Odnos između rasvjetljenosti i sjajnosti
- Integrirajuća sfera (Ulbrichtova sfera)

Prema izrazu 3-1, vidi se kako zakon inverznih kvadrata govori koliko opada rasvjetljenost s udaljenosti izvora svjetlosti

$$E_v = \frac{I_v}{d^2} \quad (3-1)$$

Gdje je:

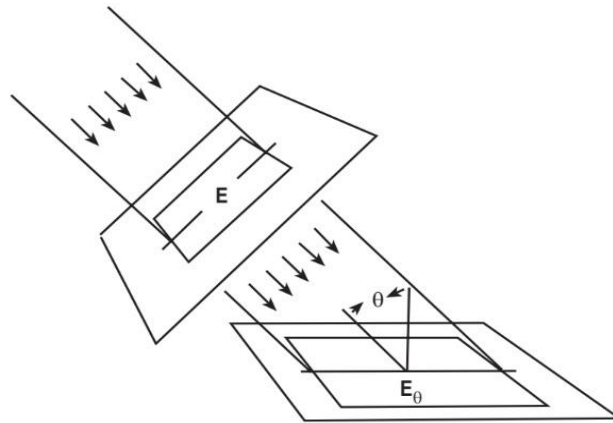
- E_v – rasvjetljenost
- I_v – jakost izvora svjetlosti
- d – udaljenost od izvora svjetlosti

Lambertov zakon kaže kako rasvjetljenost koja pada na površinu ovisi o kutu upada, kako je prikazano na slici 3.5. i izrazu 3-2.

$$E_\theta = E \cos\theta \quad (3-2)$$

Gdje je:

- E_θ – rasvjetljenost površine
- E – rasvjetljenost koja pada pod kutom
- θ – kut



Sl. 3.5. Lambertov zakon [9]

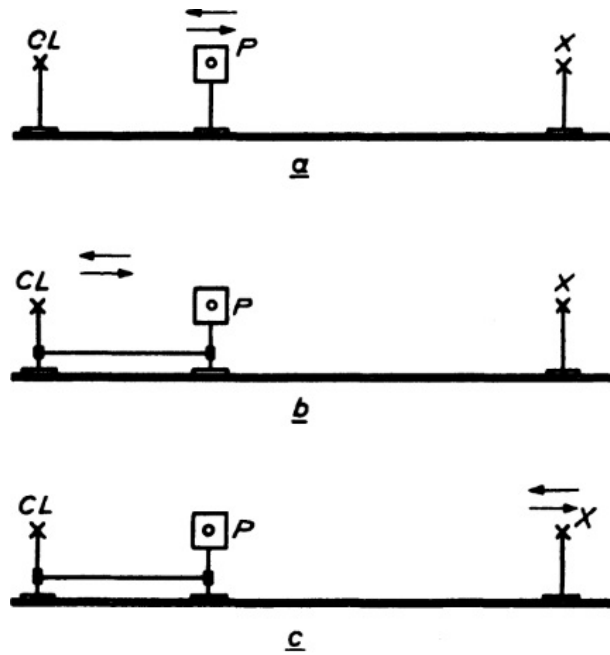
Odnos između sjajnosti i rasvijetljenosti ovisi o refleksije Lambertove površine (površina čija je sjajnost jednaka u svim smjerovima iznad njene površine) i rasvijetljenosti te površine [13], kao što se može vidjeti iz izraza 3-3.

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (3-3)$$

Gdje je:

- L – sjajnost Lambertove površine
- E – rasvijetljenost Lambertove površine

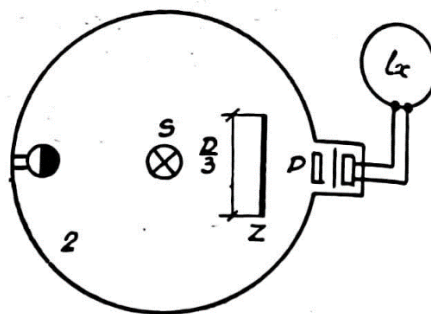
Mjerenje jakosti svjetlosti nekog izvora svjetlosti se može napraviti pomoću fotometrijske klupe. Postavke fotometrijske klupe su vidljive na slici 3.6.



- CL = svjetiljka za usporedbu
 P = fotodetektor
 X = izvor svjetlosti koji se mjeri
 a) CL i X su fiksirani, P je podesiv
 b) X je fiksiran, CL i P su podesivi
 c) CL i P su fiksirani, X je podesiv

Sl. 3.6. Postavke fotometrijske klupe [14]

Ulbrichtova sfera je uređaj kojim se mjeri svjetlosni tok izvora svjetlosti, prikazanu na slici 3.7. Unutar Ulbrichtove sfere se nalazi izvor svjetlosti S kojem se mjeri svjetlosni tok, etalon izvora svjetlosti (mora imati spektar i snagu sličnu izvora svjetlosti na kojem se vrši mjerenje), prozor P ostakljen difuznim staklom, zaklon Z koji sprječava direktno osvjetljenje prozora P i luksmetar. Zidovi unutar sfere su obojani mat bijelom bojom kako bi svjetlost bila potpuno difuzirana, [15].



Sl. 3.7. Ulbrichtova sfera [15]

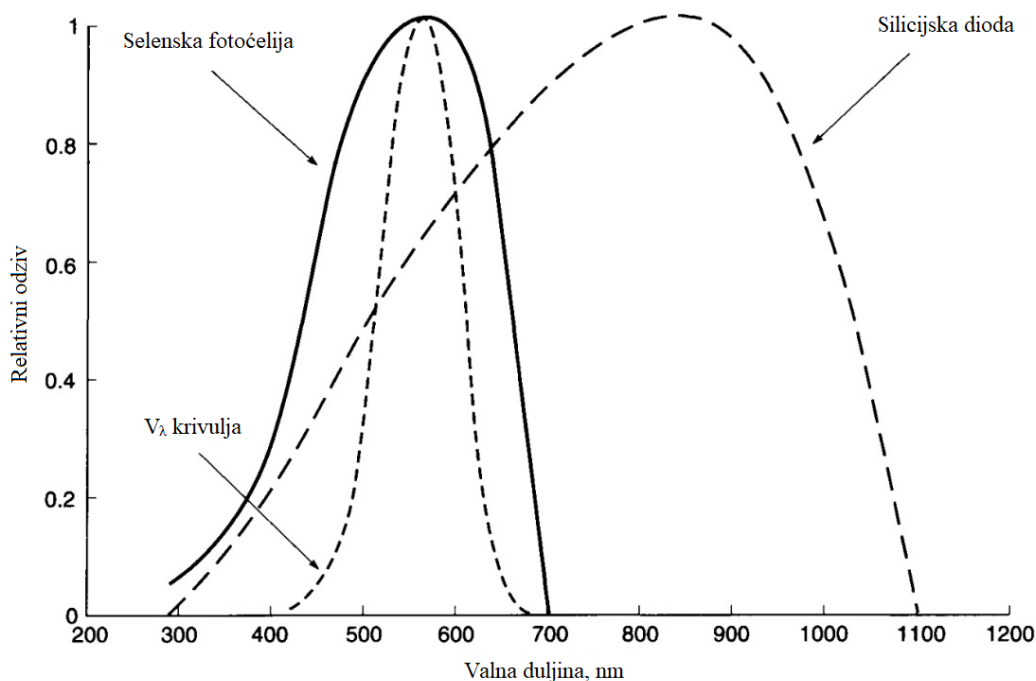
Budući da je, etalonu koji se nalazi u sferi, poznat svjetlosni tok i izmjerenu rasvjetljenost unutrašnjosti sfere, s etalom izvora svjetlosti i izvora svjetlosti koji se ispituje, može se izračunati svjetlosni tok ispitivanog izvora svjetlosti prema izrazu 3-4.

$$\phi_{oc} = \phi_{oe} \cdot \frac{E_c}{E_e} \quad (3-4)$$

Gdje je:

- ϕ_{oc} – svjetlosni tok ispitivanog izvora svjetlosti
- ϕ_{oe} – svjetlosni tok etalona izvora svjetlosti
- E_c – Rasvjetljenost ispitivanog izvora svjetlosti
- E_e – Rasvjetljenost etalona izvora svjetlosti

Postoje dvije vrste mjerenja, laboratorijska mjerenja i terenska. Laboratorijska mjerenja služe kako bi dala uvid u performanse svjetiljke, a terenska služe kako bi saznali jesu li predviđeni rezultati iz laboratorijskih mjerenja postignuti. U današnje vrijeme svi uređaji za mjerenje koriste fotoelektričnu ćeliju, koja proizvodi struju kada se izloži rasvjetljenosti. Fotoelektrične ćelije koje se mogu naći u većini današnjih uređaja su silicijske diodne ćelije, koje su zamijenile selenske fotoćelije zbog boljih performansi. Iako selenska fotoćelija ima bolju spektralnu osjetljivost (slična ljudskom oku), kao što je prikazano na slici 3.8., spektralna osjetljivost silicijske ćelije se može ispraviti filterima, [16].



Sl. 3.8. Spektralna osjetljivost silicijske diode i selenske fotoćelije [16]

Kako bi odredili jakost svjetlosti prvo je potrebno napraviti mjerenje izvora svjetlosti koji se testira, a nakon toga se mjeri s usporednim izvorom svjetlosti koji treba staviti u položaj za koji će nam ćelija proizvesti istu količinu struje tj. bit će ista rasvijetljenost. Tada će jakost svjetlosti biti proporcionalna kvadratu udaljenosti izvora svjetlosti do ćelije.

Prilikom mjerenja rasvijetljenosti, koriste se luxmetri koji mjere vrijednost u luxima, odnosno koliko svjetlosnog toka pada na površinu od jednog kvadratnog metra. Luxmetri u sebi sadrže fotoelektričnu ćeliju, koja kad je osvijetljena proizvodi struju. Luxmetar na osnovi jačine struje pokazuje vrijednost rasvijetljenosti. Na slici 3.9. je prikazan digitalni luxmetar.



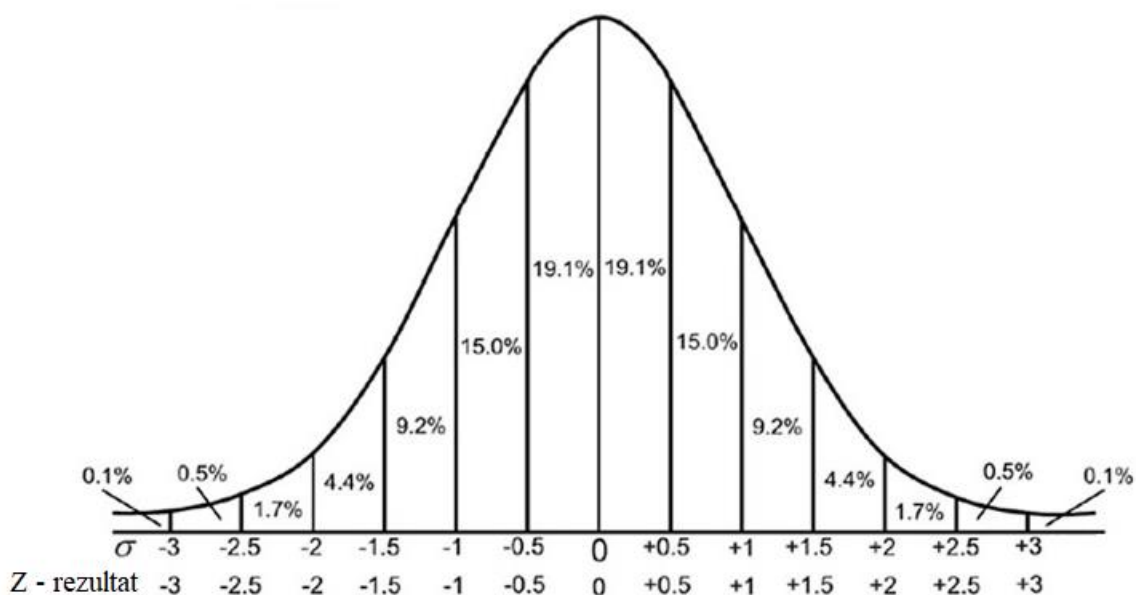
Sl. 3.9. Luxmetar Gossen Mavalux 5032C USB [17]

Budući da je sjajnost jedina svjetlosna veličina koja se može percipirati okom, ona se i jedina može izmjeriti uspoređivanjem s drugom sjajnosti. Takvo mjerenje se naziva direktno mjerenje sjajnosti, dok za indirektno mjerenje mora biti poznata još neka veličina. Sjajnosti je produkt jakosti svjetlosti i veličine određene površine. U današnje vrijeme se koriste uređaji koji rade indirektno mjerenje. Najmoderniji uređaji imaju senzore kojima se spektralna osjetljivost gotovo poklapa sa spektralnom osjetljivošću ljudskog oka. Na slici 3.10. je prikazan uređaj za mjerenje sjajnosti koji može mjeriti sjajnost na površini kruga promjera od 0,4 mm, te mjeriti u rasponu od 0,001 do 999 900 cd/m².



Sl. 3.10. Minolta LS – 150 [18]

Prilikom mjerenja svjetlosnih veličina često može doći do velikog odstupanja od stvarne vrijednosti, koja mogu biti rezultat pogreške mjernog uređaja ili greška mjeritelja. Kako bi rezultati bili što točniji, u Češkoj je proveden primjer mjerenje primjenom Z-vrijednosti [19]. Z – vrijednosti govore koliko srednjih kvadratnih pogrešaka pojedinačnih mjerenja, odnosno standardnih devijacija σ rezultat odstupa od aritmetičke sredine. Na slici 3.11. su prikazane Z – vrijednosti na Bellovoj krivulji.



Sl. 3.11. Standardna normalna raspodjela [20]

Mjerenja su napravljena u 9 grupa na visokotlačnim natrijevim izvorima svjetlosti i na LED izvorima svjetlosti. Nakon mjerenja potrebno je izračunati Z-vrijednosti prema izrazu 3-5.

$$Z = \frac{x - X}{\sigma} \quad (3-5)$$

Gdje je:

- Z – analiza efikasnosti
- x – prosječna vrijednost rasvijetljenosti pojedine grupe u lx
- X – prosječna vrijednost rasvijetljenosti svih grupa u lx
- σ – standardna devijacija, prema izrazu 3-6

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X - x)^2\right)} \quad (3-6)$$

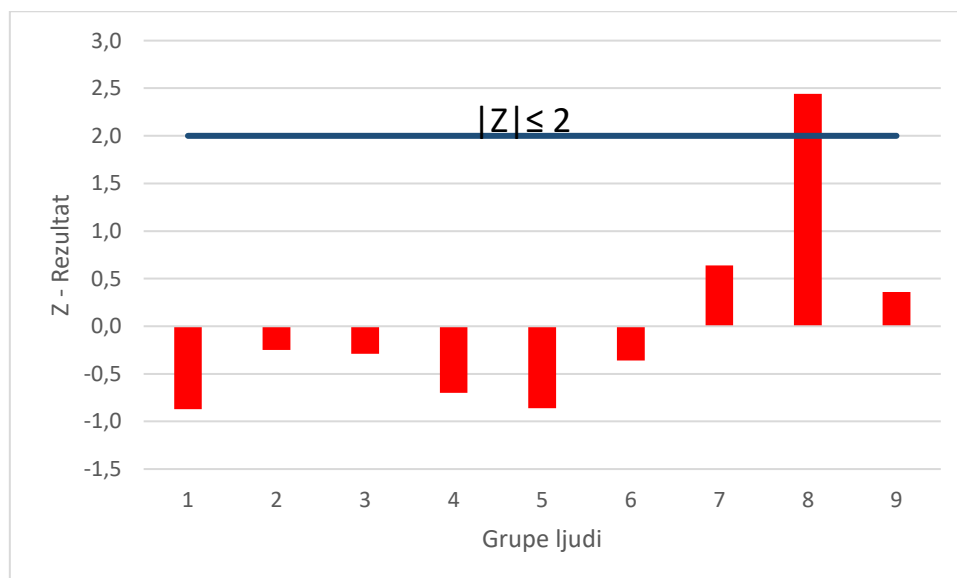
Gdje je:

- N – broj grupa
- x – prosječna vrijednost rasvijetljenost pojedine grupe u lx
- X – prosječna vrijednost rasvijetljenosti svih grupa u lx

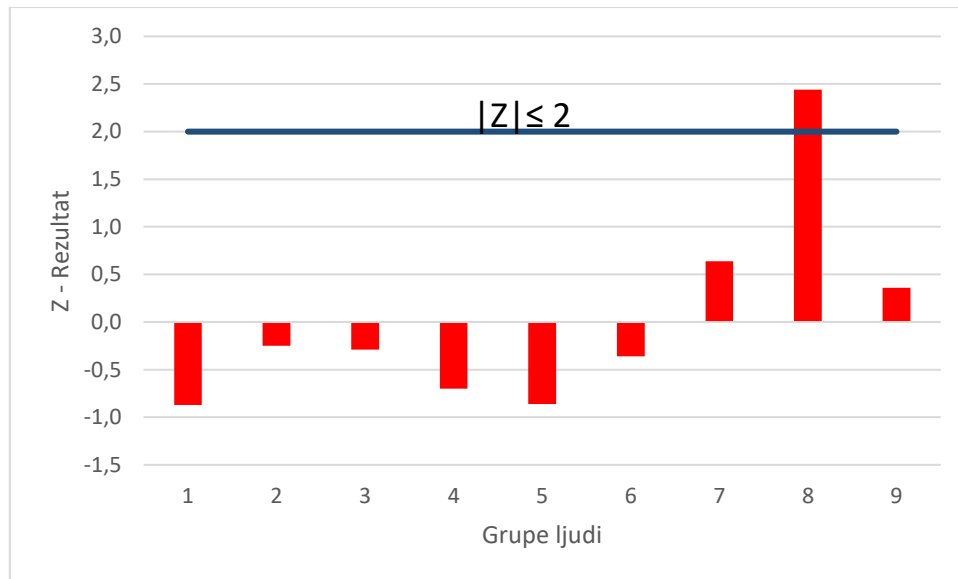
Za Z -vrijednosti vrijedi:

- $|Z| \leq 2,0$ – zadovoljavajuća vrijednost
- $2,0 < |Z| < 3,0$ – problematična vrijednost
- $|Z| \geq 3,0$ – nezadovoljavajuća vrijednost

Na slikama 3.12. i 3.13. su prikazane Z -vrijednosti i njihovo odstupanje.



Sl. 3.12. Z -vrijednosti za LED izvore svjetlosti



Sl. 3.13. Z-vrijednosti za visokotlačne natrijeve izvore svjetlosti

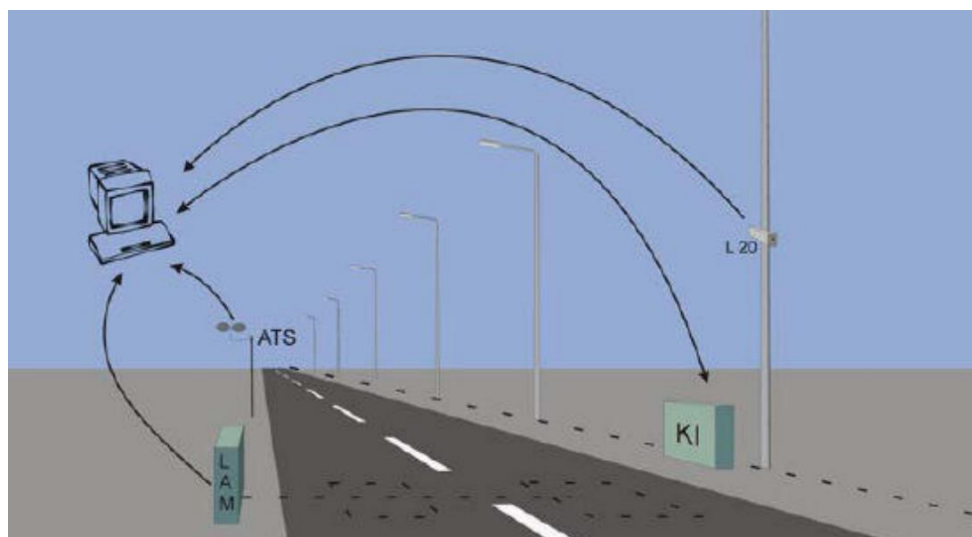
Iz prikazanih vrijednosti da se zaključiti da je u grupi 4 Z-vrijednost, za LED izvore svjetlosti, pozitivna, a za visokotlačne natrijeve izvore svjetlosti negativna. To vrijedi i za grupu 7 kod kojih je Z-vrijednost pozitivna za visokotlačne natrijeve izvore svjetlosti, a negativna za LED izvore svjetlosti. Razlog tome može biti dominantna plava svjetlost LED izvora. Za grupu 8 Z-vrijednosti spadaju u problematične vrijednosti u oba slučaja, a razlog tome može biti greška mjernog uređaja. Ova metodologija može biti korisna za mjerne grupe te im dati uvid u odstupanje izmjerenih vrijednosti [37].

3.6. POBOLJŠANJE POKAZATELJA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI REGULACIJOM JAVNE RASVJETE

Kako bi se dale mjere za poboljšanje energetske učinkovitosti, potrebno je detaljno analizirati troškove električne energije i troškove održavanja sustava javne rasvjete. Tada je na osnovu analiziranih troškova moguće dati ekonomski opravdane prijedloge mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti. Jedna od najučinkovitijih mjera je zamjena trenutne javne rasvjete s učinkovitijom LED rasvjetom, no kako se danas u većini slučajeva već koristi LED rasvjeta traže se neki drugi načini uštede u energiji.

To se može postići primjenom sustava koji prate gustoću prometa, vremenske uvjete i stanje površine kolnika. Istraživanje provedeno u Helsinkiju analizira rad sustava koji je implementiran na dvije prometnice. Sustav, koji je prikazan na slici 3.14., se sastoji od kontrolnog centra koji analizira podatke o gustoći prometa, sjajnosti kolnika i stanje površine kolnika te na osnovu tih podataka kontrolira intenzitet svjetlosnog toka na prometnicama.

Podaci se prenose preko postojećih telefonskih linija i elektroenergetskog sustava. Svakih 10 minuta u kontrolni centar dolazi podatak o prosječnoj sjajnosti kolnika, a stanje gustoće prometa koje ovisi o broju vozila unutar 5 minuta te stanje kolnika može biti mokro ili suho. Smanjenje intenziteta svjetlosnog toka se vrši regulacijom napona s trijakom, [21].



Sl. 3.14. Sustav regulacije javne rasvjete (ATS – cestovna meteorološka stanica, LAM – sustav nadzora prometa, L20 – mjerac sjajnosti, KI – slobodnostojeći ormar) [21]

Sustavom je moguće smanjiti intenzitet svjetlosti na 20 %, a snagu na 35 %. Sustav također može prepoznati pokvarene svjetiljke i poslati radnike koji rade na održavanju da poprave ili zamijene svjetiljku. U tablici 3.1. su prikazani kontrolne parametre sustava s obzirom na gustoću prometa.

Tablica 3.1. Kontrolni parametri sustava s obzirom na gustoću prometa na jednoj od prometnica [21]

Broj vozila unutar 5 minuta	Sjajnost kolnika [cd/m^2]	Snaga svjetiljke [%]
1	0,75	40
10	0,80	45
20	0,85	50
35	0,95	55
40	1,00	60
50	1,02	65
60	1,05	70
70	1,10	75
80	1,15	80
90	1,20	85
100	1,30	90
150	1,40	95
170	1,50	100

Istraživanje je pokazalo da implementacijom ovog sustava može doći do 45 % uštede u električnoj energiji. Početna ulaganja u ovaj sustav su 16,1 % veća nego u obični sustav javne rasvjete, a povratni period investicije je 7 godina uz to da on može varirati ako je instaliran na nekoj drugoj lokaciji s drukčijom gustoćom prometa i drukčijim vremenskim uvjetima. Najveći problem ovog sustava je kašnjenje u regulaciji intenziteta svjetlosnog toka zbog prikupljanja podataka i zbog jednolikog smanjenja svjetlosnog toka (smanjenje snage od 5 % u 2 minute), [21].

4. MJERENJE I ANALIZA ENERGETSKE UŠTEDE SUSTAVA JAVNE RASVJETE U GRADSKOJ ČETVRTI NOVI GRAD

4.1. OPIS MJERENOG PODRUČJA

Za analizu rasvijetljenosti i sjajnosti odabrano je naselje Sjenjak. Sjenjak je dio gradske četvrti Novi grad. Unutra Novog grada živi 14100 stanovnika i u njoj se nalaze 5317 kućanstava, [22]. Unutar naselja Sjenjak, koji površinom iznosi 0,28 km², nalaze se 137 zgrada.

Za mjerenje se proizvoljno odabrano dva područja različite klase prometnice, pješačka zona i prometnica. Za pješačku zonu je odabrana šetnica, na kojoj je dozvoljen promet biciklistima i pješacima, a za prometnicu dio ulice na Sjenjaku, na kojoj je dozvoljeno kretanje motornih vozila i biciklista. Lokacije mjerenja su prikazane na satelitskoj snimci naselja Sjenjak na slici 4.1.

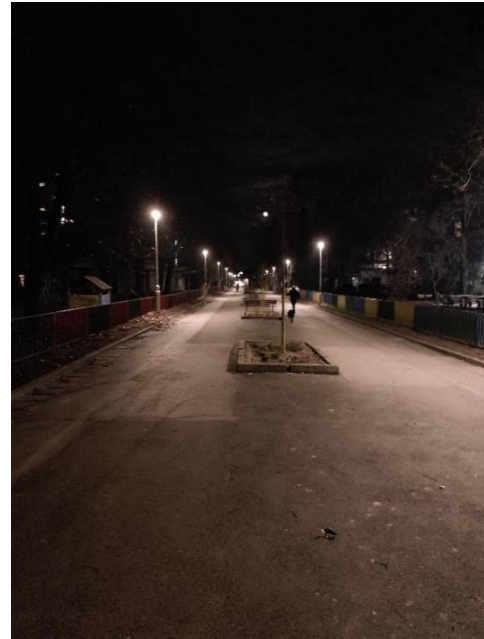


Sl. 4.1. Mjesta provedenih mjerenja [23]

Na šetnici se nalazi ukupno 29 LED svjetiljki, snage 30,5 W, dok se na prometnici nalazi 23 LED svjetiljke, snage 50 W. Na slici 4.2. je prikazana šetnica danju i noću kada radi javna rasvjeta. Prikazani dio šetnice na Sjenjaku se proteže u smjeru istok – zapad, a stupovi javne rasvjete se nalaze na obje strane pješačke zone. Visina svjetiljke je relativno niska te krošnje drveća ne utječu na rasvijetljenost površine.



a)



b)

Sl. 4.2. pod a) šetnica danju, pod b) šetnica noću

Na slici 4.3. je prikazana prometnica na Sjenjaku danju i noću kada radi javna rasvjeta. Prikazani dio prometnice se proteže u smjeru istok – zapad, a stupovi javne rasvjete se nalaze samo na sjevernoj strani. Iako su svjetiljke postavljene na više od 9 m, krošnje drveća ne utječu na sjajnost prometnice jer su dovoljno udaljene od ceste.



a)



b)

Sl. 4.3. pod a) prometnica danju, pod b) prometnica noću

4.2. ANALIZA I MODELIRANJE PROMETNICA JAVNE RASVJETE

Određivanje klase prometnice je određeno po postupcima navedenim u dijelu norme HRN EN 13201-1:2016. Za šetnicu je odabrana P klasa prometnice jer je dopušten promet samo za pješake i bicikliste, a na prometnici na Sjenjaku je odabrana M klasa jer su glavni sudionici motorna vozila. Određivanje težinskog faktora i klase prometnice za šetnicu i prometnicu je prikazano u tablicama 4.1. i 4.2.

Tablica. 4.1. Određivanje klase prometnice na šetnici

Parametar	Opcije	Težinski faktor, V_w
Brzina kretanja	Jako sporo	0
Frekvencija korištenja	Srednja	0
Kompozicija prometa	Pješaci i biciklisti	1
Parkirana vozila	Ne postoje	0
Ambijentalna rasvjetljenost	Srednja	0
Zbroj težinskog faktora		1
$P = 6 - V_w$		P5

Tablica. 4.2. Određivanje klase prometnice na prometnici na Sjenjaku

Parametar	Opcija	Opis	Težinski faktor
Predviđena brzina ili ograničenje brzine	Srednja	$40 < v \leq 70$ km/h	-1
Gustoća prometa		Cesta sa 2 prometne trake	
	Srednja	15 % - 45 % max kapaciteta	0
Kompozicija prometa	Miješana s velikim udjelom motornih vozila		2
Razdvojenost kolnika	Ne		1
Gustoća raskrižja		Raskrižja/km	
	Srednje	≤ 3	0
Parkirana vozila	Prisutna		1
Ambijentalna rasvjetljenost	Niska		-1
Težina navigacije	Lagano		0
Zbroj težinskog faktora			2
$M = 6 - V_w$			M4

Kada nam je poznata klasa prometnice tada se mogu postaviti minimalna srednja vrijednost rasvjetljenosti i minimalna vrijednost rasvjetljenosti za šetnicu te minimalna srednja vrijednost sjajnosti kolnika, uzdužna i opća jednolikost. Navedene vrijednosti, iz dijela norme HRN EN 13201-2:2016 se nalaze u tablicama 4.3. i 4.4.

Tablica. 4.3. Zahtijevane vrijednosti za Šetnicu

Klasa prometnice	E_{sr} [lx] (minimalna vrijednost)	E_{min}
P5	3	0.6

Tablica. 4.4. Zahtijevane vrijednosti za prometnicu na Sjenjaku

Klasa prometnice	L_{sr} [cd/m^2] (minimalna vrijednost)	U_0 (opća jednolikost)	U_1 (uzdužna jednolikost)	fTI (faktor bliještanja, maksimalna vrijednost u %)	R_{EI} (omjer ruba rasvjetljenosti)
M4	0,75	0,4	0,6	15	0,3
U_0 – omjer minimalne i prosječne sjajnosti U_1 – omjer minimalne i maksimalne sjajnosti R_{EI} – omjer prosječne rasvjetljenosti ruba (širina prometne trake) izvan kolnika i prometne trake kolnika					

Kako bi provjerili je li svjetiljke zadovoljavaju zahtijevane veličine, provest će se modeliranje prometnice u Reluxu.

Za modeliranje je potrebno:

- Visina instalirane svjetiljke
- Širina prometnice
- Naziv svjetiljke
- Klasa prometnice
- Boja asfalta (R – tablice)
- Razmak između stupova
- Udaljenost svjetiljke od ruba prometnice
- Nagib svjetiljke

Podatci o nazivu svjetiljke, boji asfalta i nagibu svjetiljke su izvađeni iz energetske certifikata dok su ostale vrijednosti dobivene slijedećim putem. Visina svjetiljke je određena tako da se predmet poznate visine fotografirao kraj stupa pa nam je njegova visina služila kao mjerilo. Širina prometnice, razmak između stupova se odredio pomoću programa Google Earth. Udaljenost svjetiljke od ruba kolnika je određena korištenjem metra. Podatci potrebni za modeliranje se nalaze u tablici 4.5.

Tablica. 4.5. Potrebni podaci za modeliranje u Reluxu

Parametar	Šetnica	Prometnica na Sjenjaku
Visina instalirane svjetiljke [m]	5,25	9,65
Širina prometnice [m]	10	7
Razmak između stupova [m]	30	30
Udaljenost svjetiljke od ruba prometnice [m]	-0,5	-0,5
Boja asfalta	R3	R3
Klasa prometnice	P5	M4
Naziv svjetiljke	Philips, TownTune Central Post-Top (BDP260_830)	Philips, UniStreet gen2 (BGP282 T25_830)
Nagib svjetiljke	0°	0°

Nakon provedenog modeliranja u Reluxu dobivene su vrijednosti prikazane u tablicama 4.6., za šetnicu i tablici 4.7., za prometnicu.

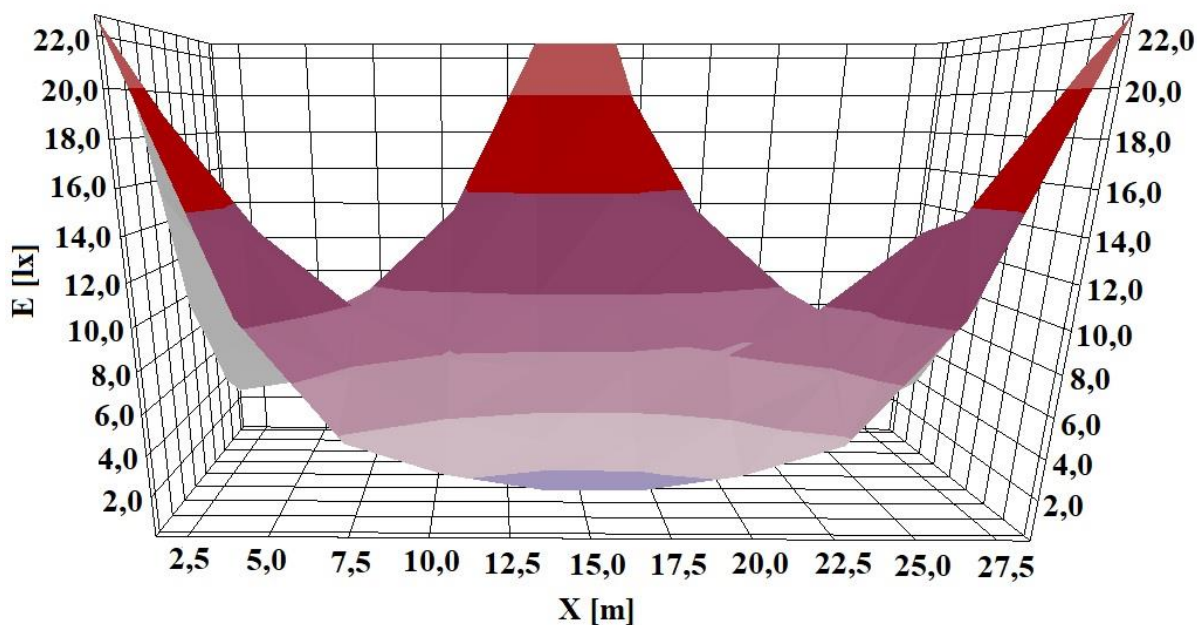
Tablica 4.6. Rezultati modeliranja na šetnici

Prosječna rasvjetljenost E_{sr} [lx] (min 3,00 lx)	Minimalna rasvjetljenost E_{min} [lx] (min 0,60 lx)	Opća jednolikost U_0	Uzdužna jednolikost U_l
9,60	2,44	0,25	0,11

Tablica 4.7. Rezultati modeliranja na prometnici na Sjenjaku

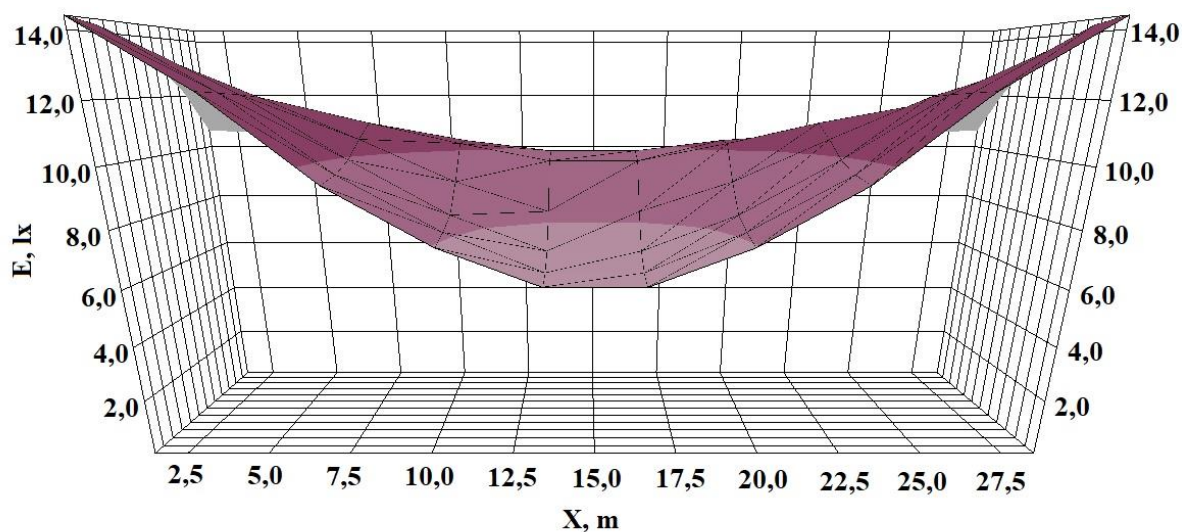
Prometna traka	Prosječna sjajnost L_{sr} [cd/m ²] (min 0,75)	Opća jednolikost U_0 (min 0,40)	Uzdužna jednolikost U_l (min 0,60)	Faktor bliještanja f_{TI} (max 15)	Omjer ruba rasvjetljenosti R_{EI} (min 0,30)
Bliža stupu	0,76	0,64	0,86	8,00	0,64
Udaljenija od stupa	0,69	0,66	0,85	8,00	0,85

Na slici 4.4. je prikazan 3D prikaz rasvjetljenosti na šetnici.



Sl. 4.4. 3D prikaz rasvjetljenosti na šetnici

Na slici 4.5. je prikazan 3D prikaz rasvjetljenosti na prometnici.



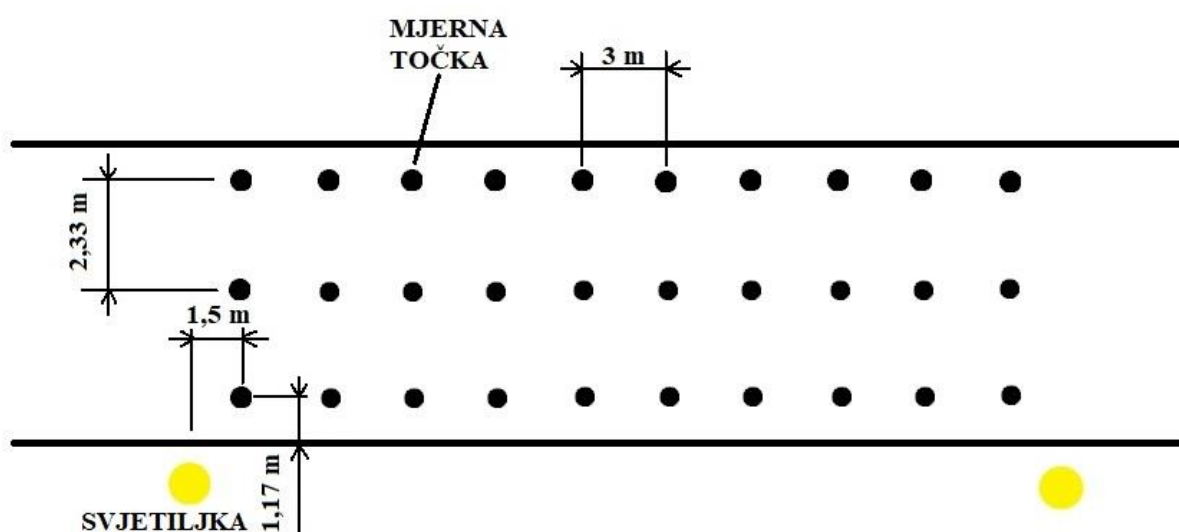
Sl. 4.5. 3D prikaz rasvjetljenosti na prometnici

Iz rezultata modeliranja da se zaključiti da svjetiljka na šetnici nije dovoljno precizno dimenzionirana, odnosno predimenzionirana je. Odabirom prikladne svjetiljke mogla se ostvariti dodatna ušteda električne energije te dodatno smanjiti svjetlosno onečišćenje. Razlog odabira navedene svjetiljke je nedovoljno precizna određena klasa prometnice te nedovoljno precizna navedena visina instalirane svjetiljke u projektu. Za rezultate modeliranja na

prometnici na Sjenjaku vidi se da samo jedna vrijednost nije unutar zahtijevane, srednja vrijednost sjajnosti kolnika u jednoj prometnoj traci. Ovo je također rezultat neprecizno navedene visine instalirane svjetiljke u projektu, dok je u ovom slučaju klasa prometnice ispravno određena.

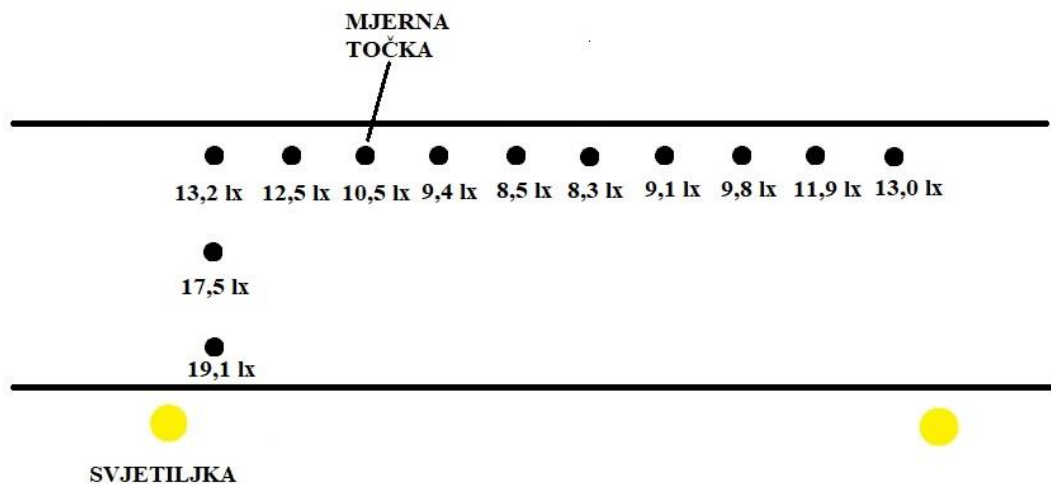
4.3. MJERENJE RASVIJETLJENOSTI I SJAJNOSTI KOLNIKA

Prema normi HRN EN 13201-3:2016 na klasi prometnice M se mora izmjeriti sjajnost kolnika, dok na klasi P samo rasvjetljenost. Prema normi su se odredile mjerne točke za sjajnost, kao što je prikazano na slici 4.6.



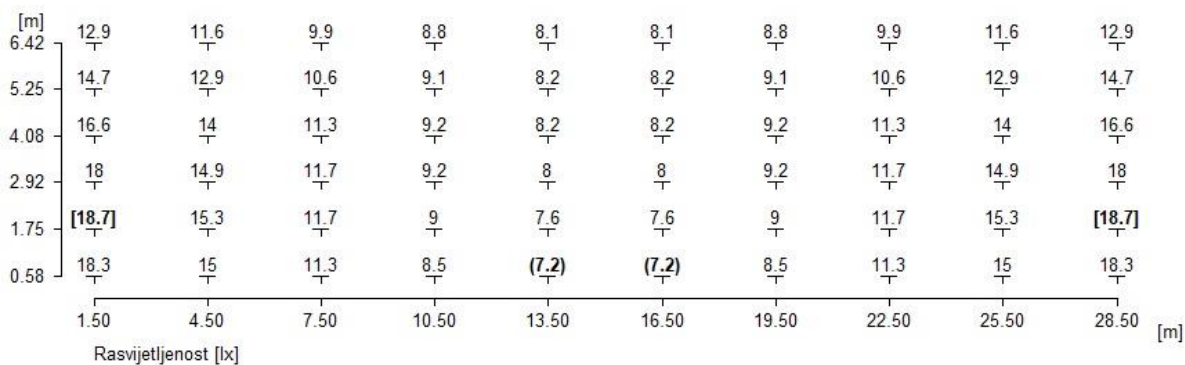
Sl. 4.6. Skica mjerenja na prometnici prema normi HRN EN 13201-3:2016

U nedostatku dovoljno preciznog instrumenta za mjerenje sjajnosti kolnika, mjerenje sjajnosti na prometnici se odradilo na sljedeći način. Umjesto mjerenja sjajnosti izmjerene su vrijednosti rasvjetljenosti, a zbog velike frekvencije vozila na prometnici mjerenja su se napravljena samo horizontalno i vertikalno kao što je prikazano na slici 4.7.



Sl. 4.7. Rezultati mjerenja rasvijetljenosti na prometnici prema normi HRN EN 13201-3:2016

Kada je poznata rasvijetljenost u mjernim točkama, tada se te vrijednosti mogu usporediti s modelom u Reluxu gdje je odabrana svjetiljka koja daje slične vrijednosti rasvijetljenosti s izmjerenim vrijednostima, koje su prikazane na slici 4.8.



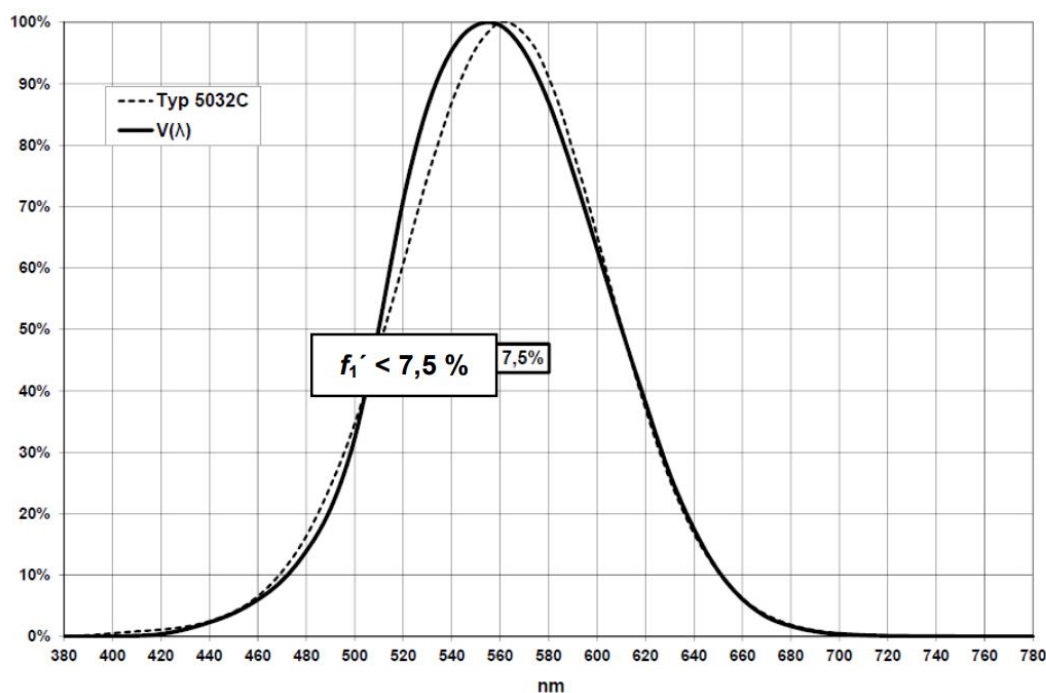
Sl. 4.8. Vrijednosti rasvijetljenosti odabrane svjetiljke

Nakon toga u programu se može pogledati vrijednosti sjajnosti kolnika u tim istim točkama, a one su prikazane na slici 4.9.



Sl. 4.9. Vrijednosti sjajnosti kolnika u cd/m^2

Osim mjerenja prema normi HRN EN 13201:2016, napravljena su i linijska mjerenja na šetnici te na istoj prometnici te mjerenje sjajnosti kolnika prometnice pomoću luxmetra s nastavkom za mjerenje sjajnosti. Na šetnici je mjerena rasvijetljenost u koracima od 0,5 m, dok je na prometnici na Sjenjaku, uz mjerenje rasvijetljenosti u koracima od 0,5 m, provedeno mjerenje sjajnosti kolnika sukladno normi HRN EN 13201:2016. Kako je razmak između stupova na šetnici i na kolniku 30 m, broj mjernih točaka uzduž šetnice i kolnika je iznosio 61, dok je broj mjernih točaka okomito na šetnicu iznosio 21, a na kolniku prometnice na Sjenjaku 15. Uzduž šetnice se mjerilo 0,5 m od ruba kolnika, a okomito u ravnini svjetiljke. Rasvijetljenost se na isti način mjerila i na prometnici na Sjenjaku. U svakoj mjernoj točki luxmetar je spušten na 10 cm od asfalta, pričekali da se vrijednost ustali te zadržali tu vrijednost pritiskom na tipku „Hold“. Kada bi vrijednost „zamrznuli“ tada je korištena opcija luxmetra, pritiskom na tipku „Mem“ da spremi podatak o toj mjernoj točki, koji bi kasnije očitali na računaru. Mjerenje se provodilo s luxmetrom Gossen Mavolux 5032C USB i nastavkom za mjerenje sjajnosti. Spektralna osjetljivost luxmetra je prikazana na slici 4.10.



Sl. 4.10. Krivulja spektralne osjetljivosti luxmetra [24]

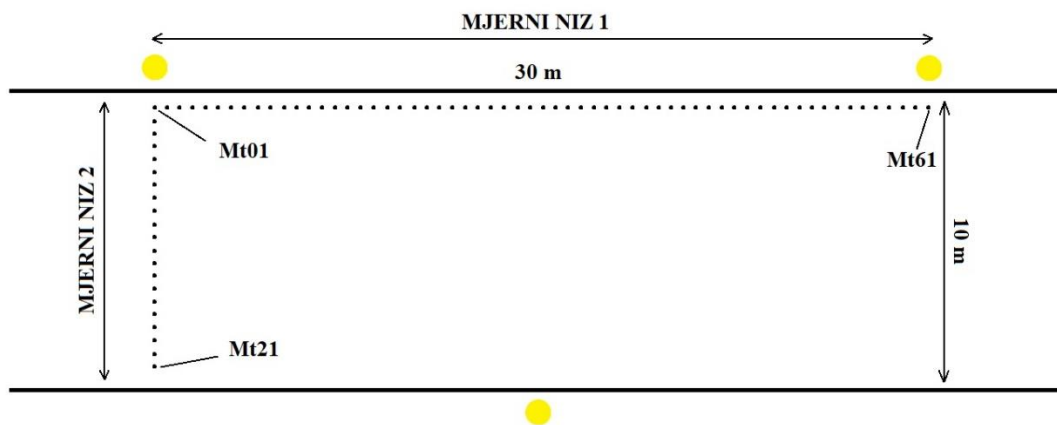
Tehničke specifikacije luxmetra su prikazane u tablici 4.8.

Tablica. 4.8. Tehničke specifikacije luxmetra Gossen Mavolux 5032C USB

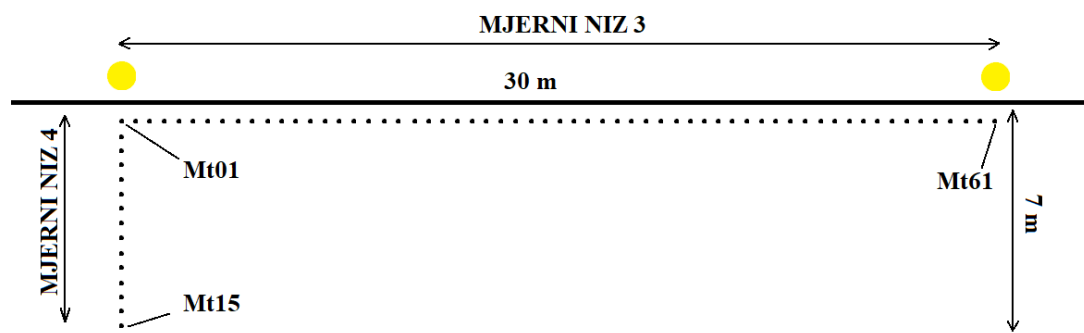
Napajanje	Baterija 1,5 V, tip AA
Mjerni opseg rasvijetljenosti	0,1 lx – 199 900 lx

	0,01 fc – 19990 fc
Mjerni opseg sjajnosti (uz nastavak za sjajnost)	1 cd/m ² – 1999000 cd/m ²
	0,1 fL – 199900 fL
Brzina mjerenja	2 s
Mjerni senzor	Silicijska dioda
Memorija izmjerenih vrijednosti	100
Dimenzije	65 mm x 120 mm x 19 mm (luxmetar) 31 mm x 105 mm x 30 mm (sonda)
Težina	200 g bez baterije
Radna temperatura	0 – 50 °C

Mjerenje rasvjetljenosti na šetnici se vršilo kao na slici 4.11., dok se mjerenje na prometnici vršilo kao na slici 4.12.



Sl. 4.11. Skica mjerenja na šetnici



Sl. 4.12. Skica mjerenja na prometnici

U tablici 4.9. su prikazani rezultati mjerenja rasvjetljenosti na šetnici prije i nakon ponoći, za mjerni niz 1.

Tablica 4.9. Rasvjetljenost mjernog niza 1, prije i nakon ponoći

Broj mjerne točke	Rasvjetljenost prije ponoći [lx]	Rasvjetljenost nakon ponoći [lx]	Broj mjerne točke	Rasvjetljenost prije ponoći [lx]	Rasvjetljenost nakon ponoći [lx]
Mt01	45,8	24,8	Mt32	2,9	2,1
Mt02	42,1	22,5	Mt33	2,9	2,1
Mt03	39,6	21,1	Mt34	3,0	2,2
Mt04	36,2	19,9	Mt35	3,2	2,3
Mt05	33,1	18,8	Mt36	3,2	2,4
Mt06	27,9	17,9	Mt37	3,4	2,7
Mt07	23,5	16,1	Mt38	3,5	2,9
Mt08	20,5	14,2	Mt39	3,8	3,1
Mt09	18,0	12,7	Mt40	4,0	3,3
Mt10	16,3	11,3	Mt41	4,8	3,6
Mt11	14,6	9,8	Mt42	4,9	3,8
Mt12	13,2	8,7	Mt43	5,8	4,4
Mt13	10,3	7,9	Mt44	6,0	5,0
Mt14	9,6	6,5	Mt45	6,6	5,7
Mt15	9,2	6,0	Mt46	7,2	6,4
Mt16	7,8	5,1	Mt47	8,5	7,2
Mt17	5,6	4,4	Mt48	10,0	8,3
Mt18	5,4	3,9	Mt49	12,6	9,6
Mt19	4,6	3,6	Mt50	13,1	10,6
Mt20	4,2	3,4	Mt51	15,5	12,4
Mt21	3,8	3,2	Mt52	17,3	13,1
Mt22	3,8	3,0	Mt53	21,1	15,4
Mt23	3,2	2,8	Mt54	25,5	17,6
Mt24	3,1	2,5	Mt55	28,9	18,6
Mt25	3,0	2,3	Mt56	32,2	19,4
Mt26	3,0	2,2	Mt57	34,5	20,3
Mt27	2,9	2,1	Mt58	36,8	22,4
Mt28	2,9	2,1	Mt59	40,1	23,1
Mt29	2,8	2,0	Mt60	44,4	23,9
Mt30	2,8	2,0	Mt61	45,1	24,5
Mt31	2,7	2,0			

U tablici 4.10. su prikazani rezultati mjerenja rasvjetljenosti na šetnici prije i nakon ponoći, za mjerni niz 2.

Tablica 4.10. Rasvjetljenost mjernog niza 2, prije i nakon ponoći

Broj mjerne točke	Rasvjetljenost prije ponoći [lx]	Rasvjetljenost nakon ponoći [lx]	Broj mjerne točke	Rasvjetljenost prije ponoći [lx]	Rasvjetljenost nakon ponoći [lx]
Mt01	45,8	24,8	Mt12	10,7	7,4
Mt02	45,2	23,0	Mt13	8,7	5,6

Mt03	40,2	21,2	Mt14	7,3	5,0
Mt04	34,2	19,8	Mt15	6,1	4,5
Mt05	29,5	17,1	Mt16	5,6	3,6
Mt06	24,3	15,9	Mt17	5,3	2,9
Mt07	20,6	14,2	Mt18	4,6	2,6
Mt08	18,0	12,3	Mt19	4,0	2,3
Mt09	15,6	10,6	Mt20	3,2	2,1
Mt10	13,2	9,6	Mt21	2,9	2,0
Mt11	12,4	8,9			

U tablici 4.11. su prikazani rezultati mjerenja rasvijetljenosti na prometnici, prije i nakon ponoći, za mjerni niz 3.

Tablica 4.11. Rasvijetljenost mjernog niza 3, prije i nakon ponoći

Broj mjerne točke	Rasvijetljenost prije ponoći [lx]	Rasvijetljenost nakon ponoći [lx]	Broj mjerne točke	Rasvijetljenost prije ponoći [lx]	Rasvijetljenost nakon ponoći [lx]
Mt01	19,3	9,6	Mt32	6,3	4,6
Mt02	19,0	9,2	Mt33	6,3	4,7
Mt03	17,2	9,0	Mt34	6,6	4,7
Mt04	16,5	8,9	Mt35	6,9	4,8
Mt05	16,0	8,7	Mt36	6,9	4,9
Mt06	15,4	8,6	Mt37	7,5	4,9
Mt07	14,8	8,3	Mt38	7,8	5,1
Mt08	14,4	8,2	Mt39	8,0	5,3
Mt09	14,0	7,9	Mt40	8,3	5,8
Mt10	13,7	7,6	Mt41	8,6	5,9
Mt11	13,0	7,4	Mt42	9,0	6,1
Mt12	12,6	7,2	Mt43	9,4	6,3
Mt13	11,9	7,1	Mt44	9,8	6,6
Mt14	11,3	6,8	Mt45	10,4	6,7
Mt15	10,8	6,7	Mt46	10,9	6,9
Mt16	10,7	6,6	Mt47	11,7	7,3
Mt17	10,0	6,2	Mt48	12,3	7,4
Mt18	9,7	6,0	Mt49	12,7	7,6
Mt19	9,4	5,9	Mt50	13,0	7,9
Mt20	8,7	5,7	Mt51	13,5	8,2
Mt21	8,4	5,6	Mt52	13,9	8,3
Mt22	7,8	5,4	Mt53	14,5	8,5
Mt23	7,5	5,2	Mt54	15,0	8,8
Mt24	7,3	5,0	Mt55	15,8	8,9
Mt25	7,0	4,8	Mt56	16,4	9,0
Mt26	6,8	4,7	Mt57	16,7	9,1
Mt27	6,7	4,6	Mt58	17,5	9,3
Mt28	6,5	4,6	Mt59	18,6	9,5
Mt29	6,2	4,5	Mt60	18,9	9,6

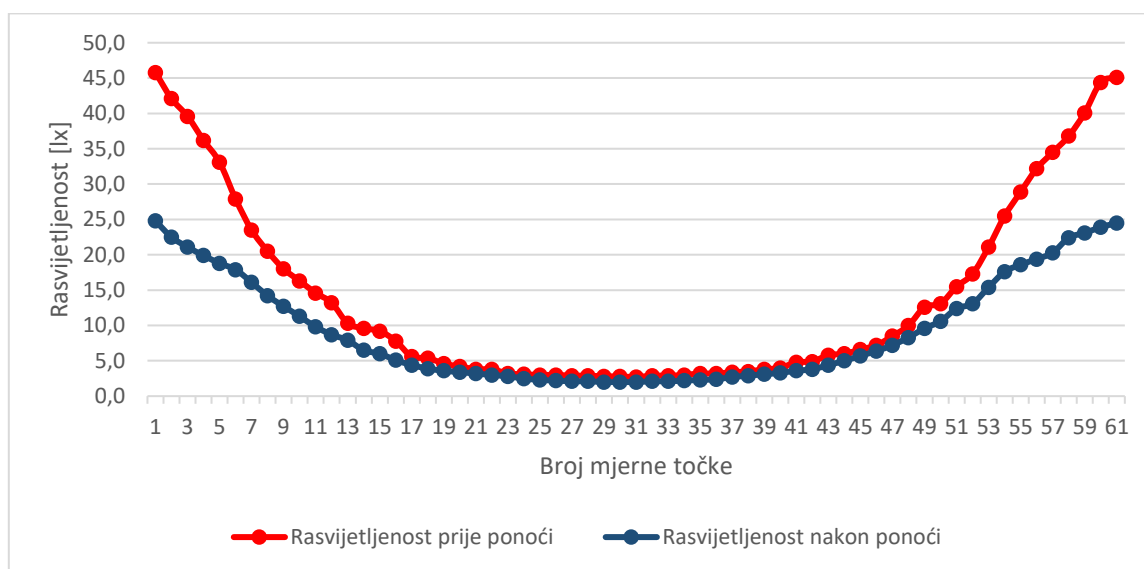
Mt30	6,1	4,5	Mt61	19,1	9,7
Mt31	6,2	4,5			

U tablici 4.12. su prikazani rezultati mjerenja rasvijetljenosti na prometnici, prije i nakon ponoći, za mjerni niz 4.

Tablica 4.12. Rasvijetljenost mjernog niza 4, prije i nakon ponoći

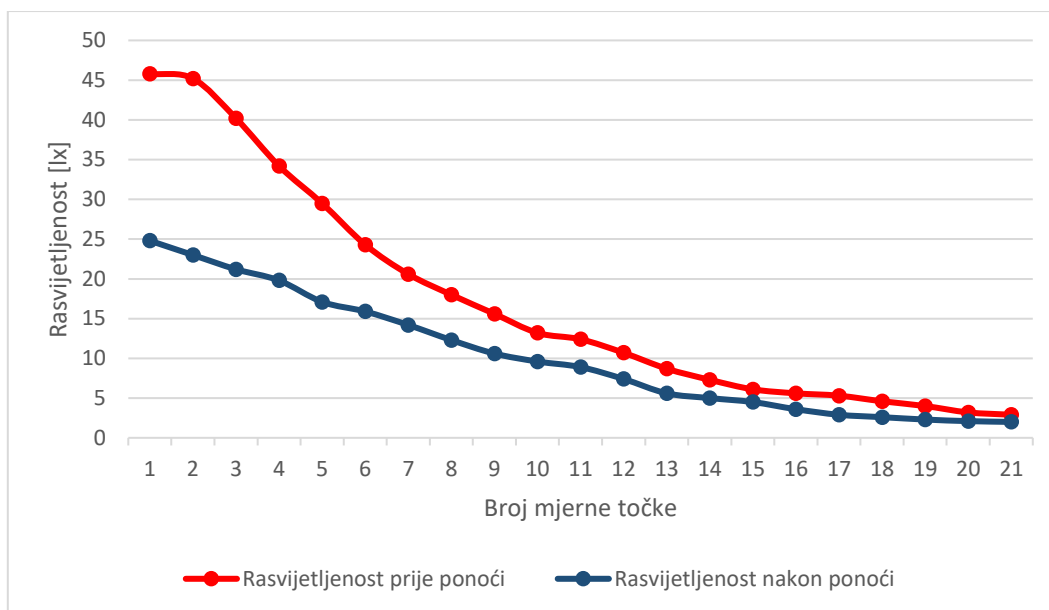
Broj mjerne točke	Rasvijetljenost prije ponoći [lx]	Rasvijetljenost nakon ponoći [lx]	Broj mjerne točke	Rasvijetljenost prije ponoći [lx]	Rasvijetljenost nakon ponoći [lx]
Mt01	19,3	9,6	Mt09	15,9	8,3
Mt02	19,2	9,6	Mt10	15,0	8,1
Mt03	19,0	9,5	Mt11	14,6	7,9
Mt04	18,9	9,5	Mt12	14,2	7,9
Mt05	18,5	9,3	Mt13	13,9	7,8
Mt06	17,9	9,0	Mt14	13,6	7,6
Mt07	17,2	8,8	Mt15	13,2	7,4
Mt08	16,4	8,6			

Iz podataka se vidi da su se najveće vrijednosti rasvijetljenosti skoro smanjile za 50%. Na slici 4.13. je prikazana usporedba rasvijetljenosti izmjerenih vrijednosti uzduž šetnice, prije i nakon ponoći.



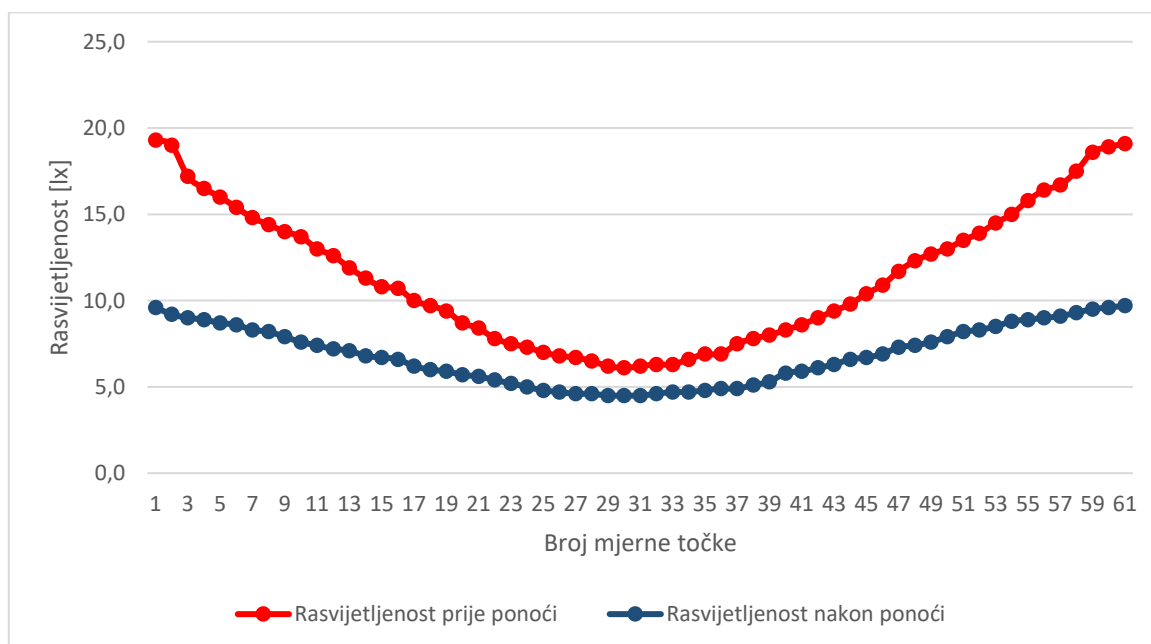
Sl. 4.13. Rasvijetljenost uzduž šetnice (mjerni niz 1), prije i nakon ponoći

Na slici 4.14. je prikazana usporedba rasvijetljenosti izmjerenih vrijednosti okomito na šetnicu, prije i nakon ponoći.



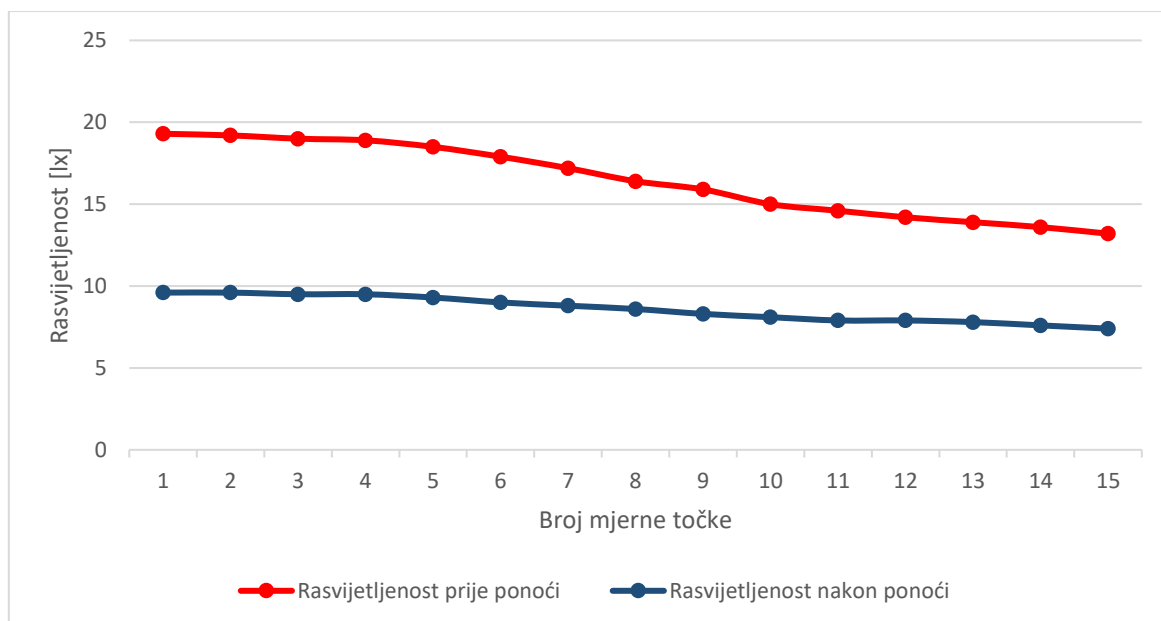
Sl. 4.14. Rasvjetljenost okomito na šetnicu (mjerni niz 2), prije i nakon ponoći

Na slici 4.15. je prikazana usporedba rasvjetljenosti izmjerenih vrijednosti uzduž prometnice na Sjenjaku, prije i nakon ponoći.



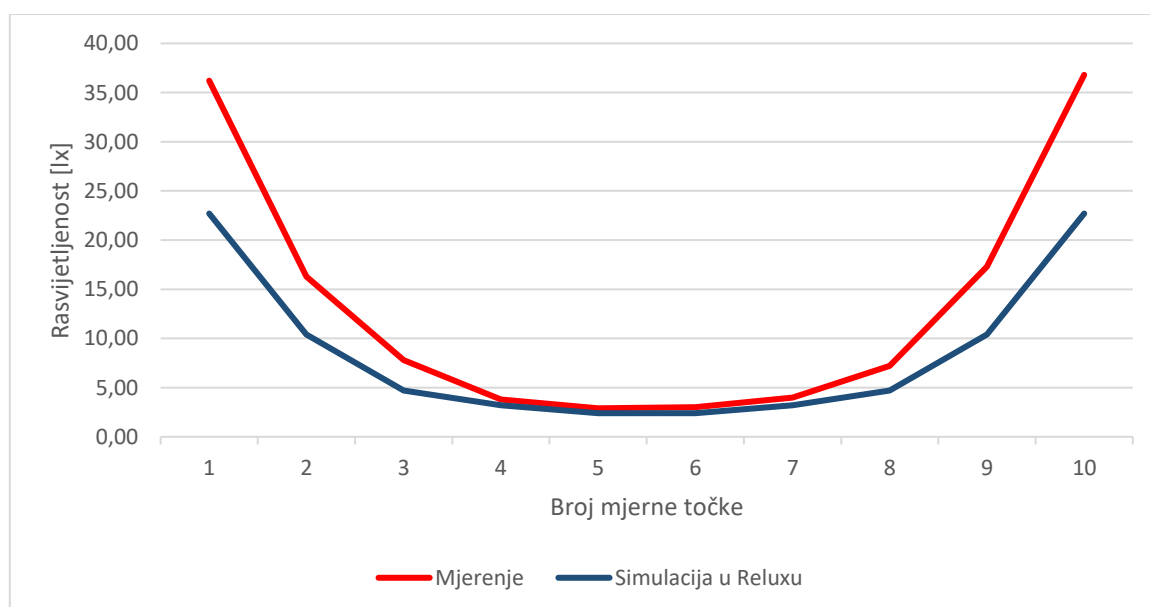
Sl. 4.15. Rasvjetljenost uzduž prometnice na Sjenjaku (mjerni niz 3), prije i nakon ponoći

Na slici 4.16. je prikazana usporedba rasvjetljenosti izmjerenih vrijednosti okomito na prometnicu na Sjenjaku, prije i nakon ponoći.



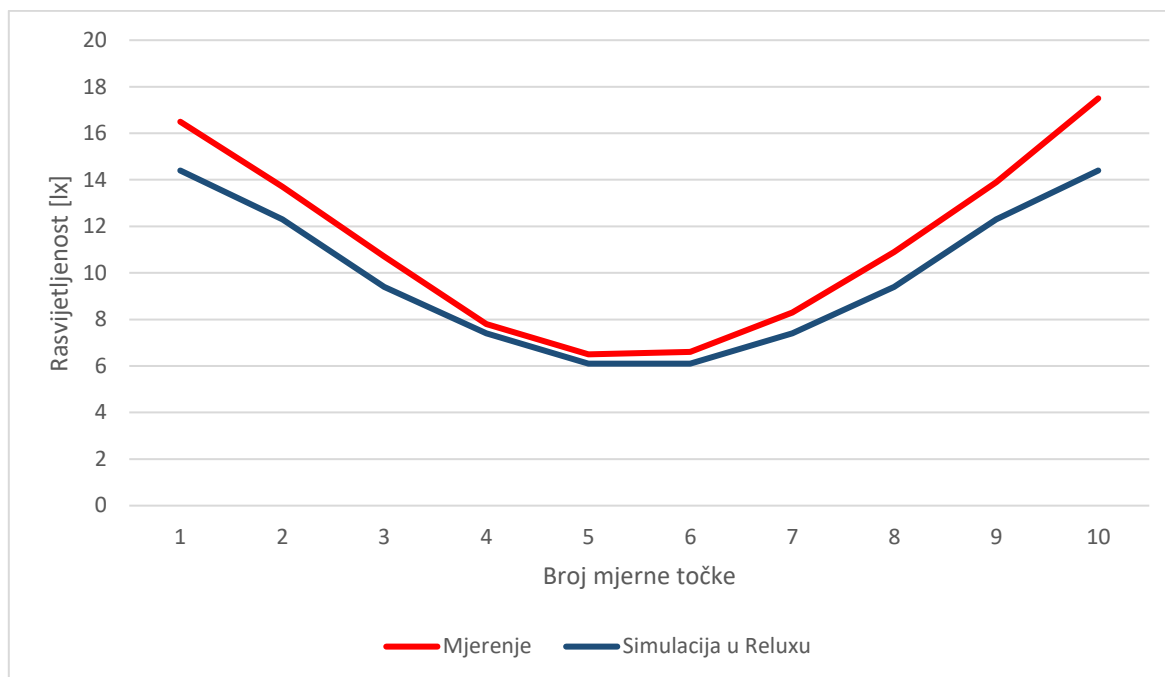
Sl. 4.16. Rasvjetljenost okomito na prometnicu na Sjenjaku (mjerni niz 4), prije i nakon ponoći

Nakon što su izmjereni podaci o rasvjetljenosti tada ih je moguće usporediti s podacima koji su proizašli iz modela u Reluxu. Ti podaci govore je li se zaista radi o svjetiljki navedenoj u projektu. Na slici 4.17. je prikazana usporedbu izmjerenih vrijednosti rasvjetljenosti uzduž šetnice, prije ponoći, s rezultatima proizašlih iz modela u Reluxu.



Sl. 4.17. Usporedba krivulja rasvjetljenosti izmjerenih podataka i podataka proizašlih iz modela u Reluxu uzduž Šetnice

Na slici 4.18. je prikazana usporedba izmjerenih vrijednosti rasvijetljenosti uzduž prometnice na Sjenjaku, prije ponoći, s rezultatima proizašlih iz modela u Reluxu.



Sl. 4.18. Usporedba krivulja rasvijetljenosti izmjerenih podataka i vrijednosti proizašlih iz modela u Reluxu uzduž prometnice na Sjenjaku

Iz prikazanih grafova vidi se da krivulje relativno dobro poklapaju. Razlog razlike u krivuljama mogu biti u pogrešci mjeritelja i mjernog instrumenta. Odabir mjernih točaka sjajnosti kolnika je vršen prema HRN EN 13201-3:2016, kao na slici 4.6.. Sjajnost kolnika je izmjena u mjernim točkama kao što je prikazano na slici 4.7. zbog visoke frekvencije vozila. Mjerenje je napravljeno tako da je prvo stavljen nastavak za mjerenje sjajnosti. Nastavak je bio usmjeren prema mjernoj točki na udaljenosti oko 15 cm od površine kolnika. Za dobivanje relativno točnijeg rezultata za mjernu jedinicu odabran je fL, jer je moguće dobiti manju vrijednost nego cd/m^2 . Najmanja vrijednost u fL koju instrument može izmjeriti je 0,1 fL što je $0,343 \text{ cd/m}^2$. Nakon mjerenja vrijednosti su pretvorene u cd/m^2 . Rezultati sjajnosti kolnika poprijeko prometnice na Sjenjaku su prikazani u tablici 4.13.

Tablica. 4.13. Sjajnost okomito na kolnik prometnice na Sjenjaku

Broj mjerne točke	1	2	3	4
Sjajnost [cd/m^2]	0,69	0,69	0,69	1,37

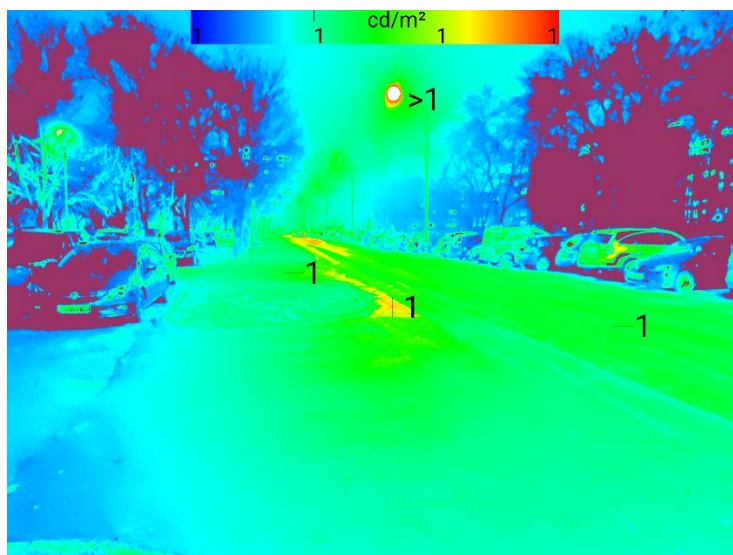
U tablici 4.14. su prikazani podaci o sjajnosti kolnika uzduž prometnice na Sjenjaku.

Tablica. 4.14. Sjajnost uzduž kolnika prometnice na Sjenjak

Broj mjerne točke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sjajnost [cd/m^2]	0,69	1,03	0,69	0,69	0,34	1,03	1,37	1,37	1,71	2,74

Iz rezultata se može zaključiti da je ovakav uređaj nedostatan za mjerenje sjajnosti kolnika iz razloga što je najmanja vrijednost koju može izmjeriti iznosi $0,343 \text{ cd}/\text{m}^2$, a vrijednosti sjajnosti kolnika se kreću od $0 - 2 \text{ cd}/\text{m}^2$.

Kako bi na sve moguće načine odradili mjerenje, mjerenje sjajnosti kolnika na prometnici na Sjenjaku je odrađeno pomoću aplikacije Photolux na mobitelu. Na slici 4.19. je prikazana sjajnost kolnika na prometnici.



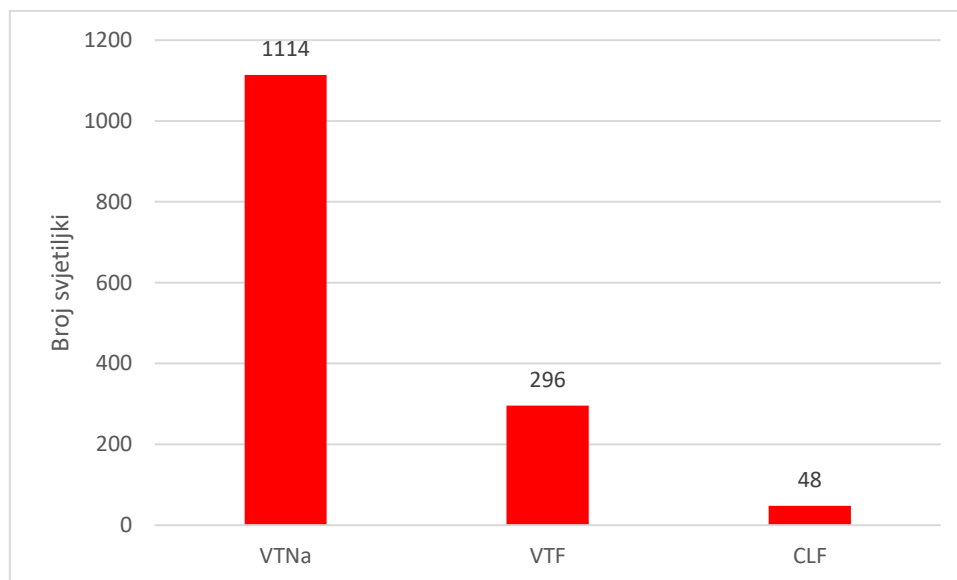
Sl. 4.19. Sjajnost kolnika Ulice Sjenjak izmjerena putem aplikacije Photolux

Na slici 4.19. se vidi da u aplikaciji Photolux najmanja vrijednost sjajnosti može biti $1 \text{ cd}/\text{m}^2$ te se tom aplikacijom ne može izmjeriti stvarna vrijednost sjajnosti kolnika. Ova aplikacija je predviđena za mjerenje sjajnosti gdje su veličine nešto veće od $1 \text{ cd}/\text{m}^2$.

4.4. ANALIZA ENERGETSKE UŠTEDE

2021. godine je u Osijeku provedena modernizacija javne rasvjete. Modernizacija je obuhvaćala zamjenu postojećih rasvjetnih tijela sa učinkovitom LED rasvjetom te ugradnju sustava nadzora upravljanja, regulacije, mjerenja i verifikacije ušteda. Postojeća rasvjetna tijela su se sastojala od visokotlačnih natrijevih žarulja, visokotlačnih živinih žarulja i kompaktno fluorescentnih. Projektom se obuhvatila rekonstrukcija 11285 rasvjetnih tijela koja su zamijenjena sa 11161 novih LED rasvjetnih tijela. Za analizu energetske uštede, u ovom

diplomskom radu, u obzir je uzeta gradska četvrt grada Osijeka Novi grad. Broj rasvjetnih tijela koji je zamijenjen u Novom Gradu je iznosio 1458, a ta rasvjetna tijela su zamijenjena sa 1536 LED rasvjetnih tijela. Prema slici 4.20. se vidi zastupljenost vrste izvora svjetlosti starih rasvjetnih tijela.



Sl. 4.20. Vrste izvora svjetlosti starih rasvjetnih tijela

U tablici 4.15. je prikazana ukupna snaga pojedine grupe starih rasvjetnih tijela.

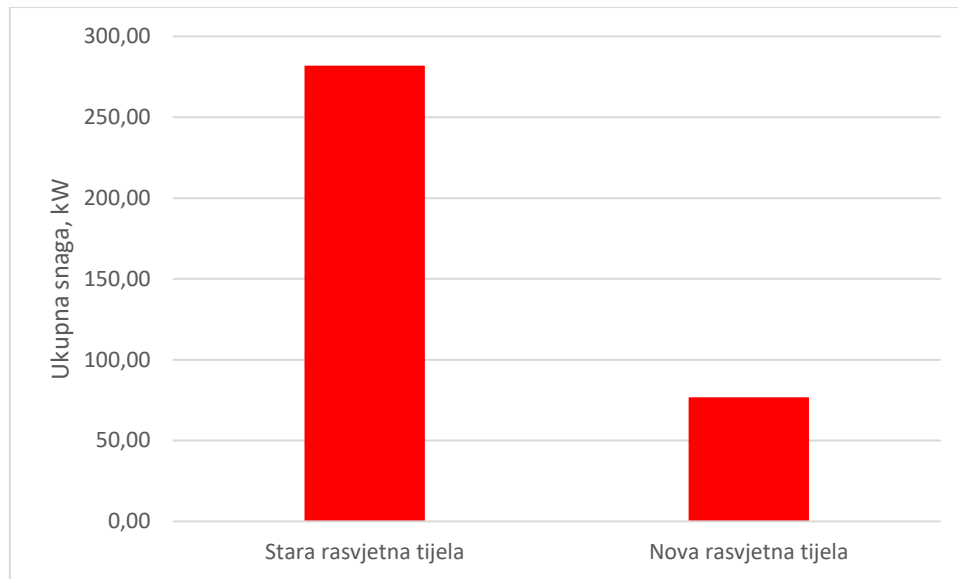
Tablica 4.15. Prikaz ukupne snage starih rasvjetnih tijela

	VTNa	VTF	CLF
Ukupna snaga, kW	203,2	76,1	2,6

Kada se uspoređi snagu starih rasvjetnih tijela i snagu novih rasvjetnih tijela, kao što je prikazano na slici 4.21. i tablici 4.16., vidi se da je došlo do velikog smanjenja instalirane snage.

Tablica 4.16. Snaga starih i novih rasvjetnih tijela

	Nova LED rasvjeta	Stara rasvjeta
Ukupna snaga, kW	76,8	281,9



Sl. 4.21. Snaga starih i novih rasvjetnih tijela

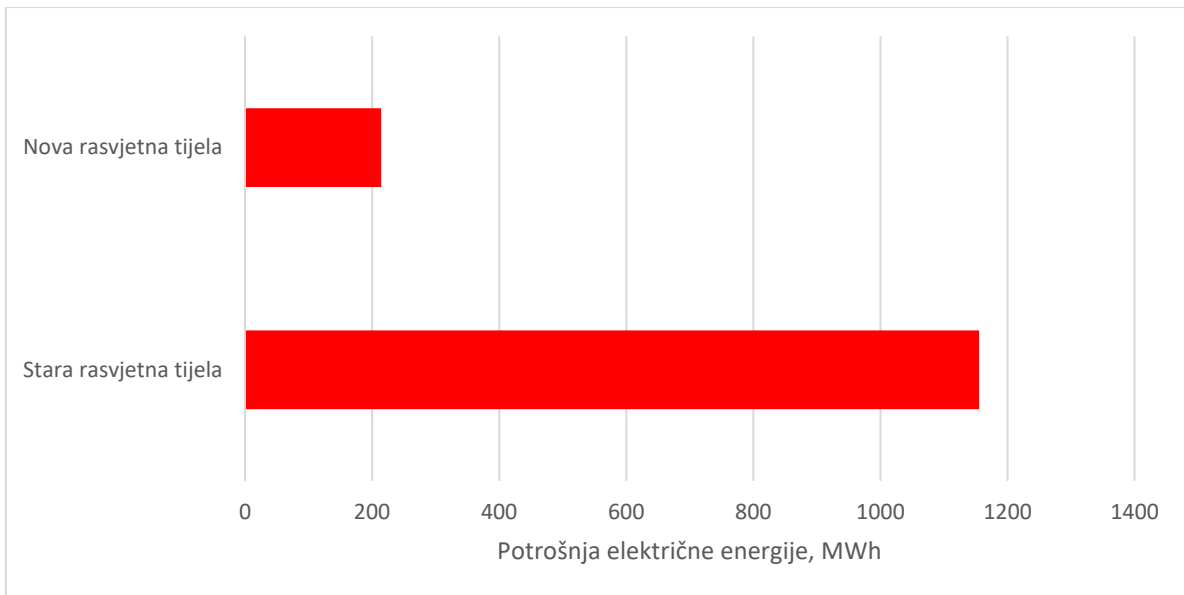
Kako bi se prikazala godišnja ušteda u električnoj energiji javne rasvjete potrebno je poznavati ukupnu snagu svjetiljki, starih i novih, te broj sati rada javne rasvjete godišnje. Ukupna godišnja ušteda u električnoj energiji se računa prema izrazu 4-1.

$$UFES = \frac{P_{init} \cdot n_{hinit} - P_{new} \cdot n_{hnew}}{1000} \quad (4-1)$$

Gdje su:

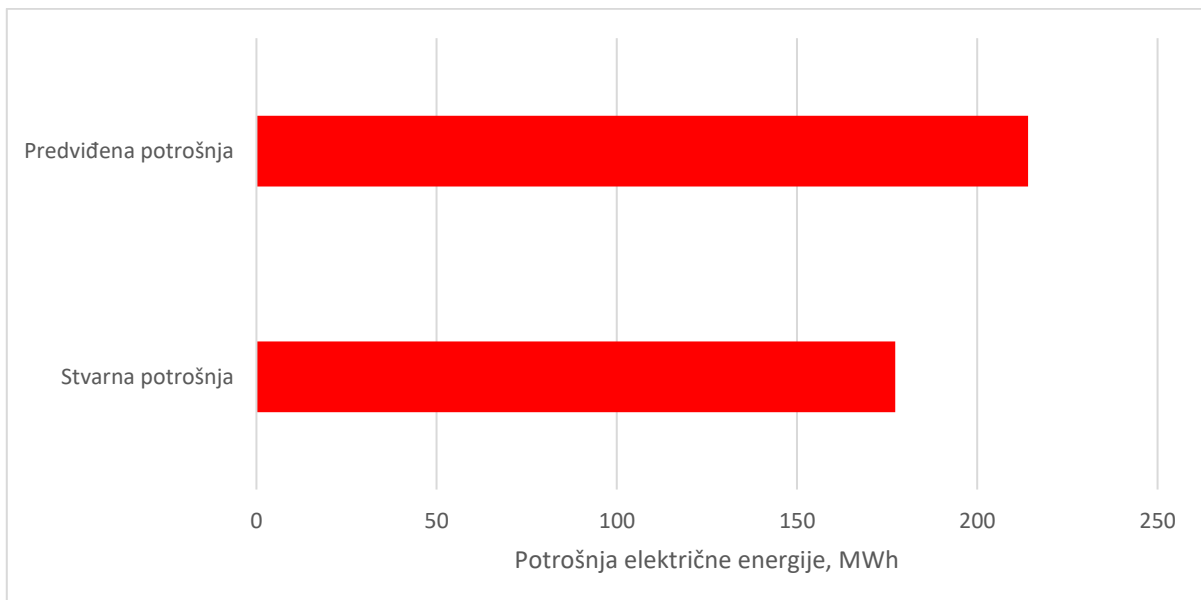
- $UFES$ - jedinična ušteda energije u neposrednoj potrošnji
- P_{init} - instalirana snaga prije mjere
- P_{new} - instalirana snaga nakon mjere
- n_{hinit} - broj sati rada stare žarulje godišnje
- n_{hnew} - broj sati rada stare žarulje godišnje

Budući da je modernizacijom sustava javne rasvjete uvedeno upravljanje i regulacija, broj sati rada javne rasvjete se smanjio sa 4100 na 2788 sati godišnje. Također se smanjila instalirana snaga, kao što je prikazano na slici 4.22., sa 281,86 kW na 76,68 kW. Uvrštavanjem podataka u izraz dobije se da je godišnja ušteda električne energije javne rasvjete u Novom Gradu 941,6 MWh, što je smanjenje za 81,5%, kao što je prikazano na slici 4.23.



Sl. 4.22. Usporedba potrošnje električne energije nakon obnove sustava javne rasvjete

Kada se potrošnja, koja je izračunata prema podacima iz projekta, uspoređi sa stvarnom potrošnjom iz 2022. godine., dobije se da je stvarna potrošnja manja za 17,2 %, što se vidi prema slici 4.20.. Takva razlika može biti zbog manjeg broja sati rada javne rasvjete, odnosno drugačijeg upravljanja javnom rasvjetom nego što je navedeno u projektu.



Sl. 4.23. Usporedba predviđene i stvarne potrošnje električne energije javne rasvjete

5. SUSTAV OBVEZE ENERGETSKE UŠTEDE

Sustav obveze energetske uštede je alat koji zahtjeva stranke obveznice na dostizanje ciljeva u smislu energetske uštede te koji kažnjava stranke obveznice ako ne ispune te ciljeve. 1994. godine se prvi put pojavljuju sustavi obveze energetske uštede, tada je Velika Britanija predstavila svoju shemu sustava. Rezultati, sustava Velike Britanije, su pokazali velike uštede, koje su vjerojatno nastale jer prije toga nisu bile poduzete nikakve mjere u vezi energetske učinkovitosti. Nakon Velike Britanije, sustav obveze su uveli Danska, Italija i Francuska, koji su svoje sustave zasnovali na sustavu Velike Britanije. Prije nego što je Europska Unija iznijela direktivu 2012/27/EU, oko 40% članica EU je imalo sustav obveze energetske uštede koji je također bio zasnovan na sustavu Velike Britanije, [25].

Direktiva o energetske učinkovitosti 2012/27/EU energetske učinkovitost označuje kao najvažniju energetske strategiju za postizanje cilja uštede primarne energije od 20%. Članak 7 Direktive 2012/27/EU govori kako svaka država članica treba postaviti svoju shemu obveze energetske učinkovitosti, koja za cilj ima najmanju godišnju uštedu energije od 1,5%, počevši od 1.1.2014, [5]. Sukladno Direktivi 2012/27/EU, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike donose Pravilnik o sustavu obveze energetske učinkovitosti.

Sustav obveze energetske učinkovitosti ima fleksibilnu strukturu i razlikuje se u svakoj državi koja ga koristi. Sustav je tržišno orijentiran, u kojem regulatori postavljaju ciljeve, [26].

5.1. ODREĐIVANJE OBVEZE ENERGETSKE UŠTEDE

Prema Zakonu o energetske učinkovitosti, članka 13 (NN 116/18, 25/20, 41/21), „stranke obveznice sustava su u 2021. i svakoj slijedećoj godini opskrbljivači energije i sve njihove povezane osobe koji su opskrbljivali energije, ako su u prethodnoj godini krajnjim kupcima ili do distribucijskih stanica koje prodaju energiju krajnjim kupcima isporučili ukupno više od 50 GWh energije te svi obveznici stavljanja bio goriva na tržište odnosno distributer koji stavlja na tržište dizelsko gorivo ili motorni benzin za pogon motornih vozila koji se, po posebnom zakonu kojim se uređuju trošarine, smatra trošarinskim obveznikom“, [27]. Stranke obveznice imaju obvezu stvaranju ušteda energije svake godine te moraju pridonositi kumulativnoj uštedi energije. Osnovica energije se računa preko podataka o isporučenoj energiji krajnjim kupcima, te obveza godišnje uštede energije iznosi 0,8% osnovice. Kumulativna ušteda energije, za razdoblje kumuliranja od 1.1.2021. do 31.12.2030., se računa po prosjeku isporučene energije

od 2016. do 2018, [28]. Primjer izračuna obveze kumulativne uštede energije je prikazan u tablici 5.1.

Tablica 5.1. Prikaz izračuna obveze kumulativne uštede energije [28]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ukupno
2030										6800	6800
2029									6800	6800	13600
2028								6800	6800	6800	20400
2027							6800	6800	6800	6800	27200
2026						6800	6800	6800	6800	6800	34000
2025					6800	6800	6800	6800	6800	6800	40800
2024				6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	47600
2023			6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	54400
2022		6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	61200
2021	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	6800	68000
										kWh:	374000

Obveza godišnje uštede energije se računa pomoću osnovice energije od koje se oduzmu umanjenja (najviše 25% od osnovice energije) te se umanjena osnovica pomnoži s faktorom obveze, koji iznosi 0,8 %. Prikaz izračuna obveze godišnje uštede energije je prikazan u tablici 4.2.

Tablica 5.2. Prikaz izračuna obveze godišnje uštede energije [28]

Godina	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
		[kWh]	[kWh]	[%]	[kWh]	[kWh]	[%]	[kWh]
2021	2019	1 200 000	200 000	16,67	200 000	1 000 000	0,8	8000
2022	2020	1 000 000	400 000	40,00	250 000	750 000	0,8	6000
2023	2021	800 000	0	0,00	0	800 000	0,8	6400
2024	2022	900 000	150 000	16,67	150 000	750 000	0,8	6000
2025	2023	1 150 000	100 000	8,70	100 000	1 050 000	0,8	8400
2026	2024	1 167 667	500 000	42,86	291 667	875 000	0,8	7000
2027	2025	1 000 000	120 000	12,00	120 000	880 000	0,8	7040
2028	2026	1 100 000	0	0,00	0	1 100 000	0,8	8800
2029	2027	850 000	50 000	5,88	50 000	800 000	0,8	6400
2030	2028	900 000	0	0,00	0	900 000	0,8	7200

Gdje je:

- (1) Referentna godina za određivanje obveze ušteda energije – prethodna godina od godine za koju se računa obveza uštede energije
- (2) Početna osnovica

- (3) Umanjenja
- (4) Postotak umanjenja
- (5) Konačna umanjenja
- (6) Konačna osnovica
- (7) Faktor obveze: 0,8%
- (8) Obveza novogodišnjih ušteda energije

5.2. TRGOVANJE ENERGETSKIM UŠTEDAMA

Stranke obveznice u Hrvatskoj svake godine moraju ostvariti određenu količinu energetske uštede, a to mogu postići na više načina. Kada stranka obveznica ostvari veću količinu energetske uštede od propisane vrijednosti, tada razliku ostvarenih ušteda mogu prenositi u naredne godine unutar kumulativnog razdoblja. Ako se stranka obveznica odluči da ne želi prenositi uštede, onda ih može prodati drugim strankama obveznicama. U slučaju kada stranka obveznica ne ostvari dovoljnu količinu ušteda, razliku može nadoknaditi kupnjom energetske uštede drugih stranaka ili korištenjem ostvarenih ušteda prethodnih godina unutar kumulativnog razdoblja. Sve ostvarene uštede, prenošenje ušteda te kupnja i prodaja se odvijaju u sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda (SMIV), prikazan na slici 5.1.

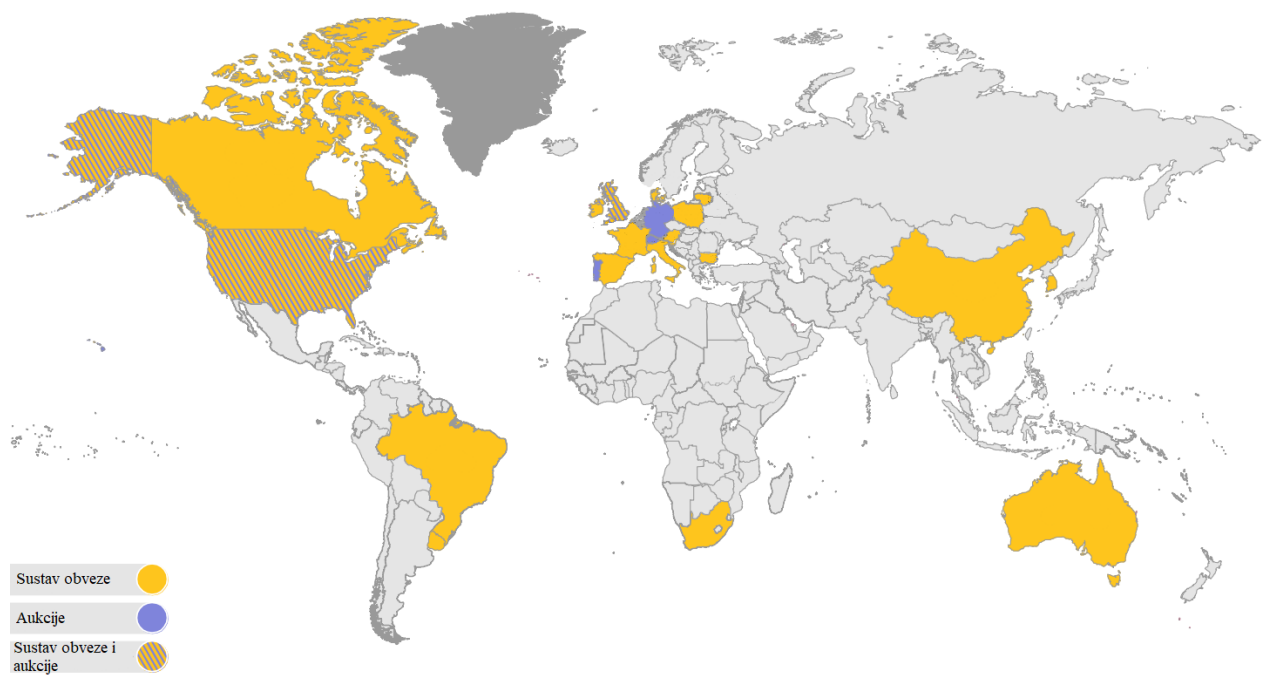
<input checked="" type="checkbox"/> Prijenos uštede Napomena: Mjera mora biti unešena da bi se uz nju mogli dodavati prijenosi uštede							
Akcije	Vlasnik uštede	Iznos [kWh]	Status	Godina	Suglasnost	Poništeno	Datum poništavanja
	STRANKA OBVEZNICA	2.460,00	Zadržano	2024	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1. lipnja 2025
	STRANKA OBVEZNICA	400,00	Zadržano	2025	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1. lipnja 2026
	STRANKA OBVEZNICA	4.640,00	Zadržano		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	STRANKA OBVEZNICA II	500,00	Zadržano		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	STRANKA OBVEZNICA	2.000,00	Prodano		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	STRANKA OBVEZNICA II	2.000,00	Zadržano		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Sl. 5.1. Dokumentiranje energetske uštede u aplikaciji SMIV [28]

Ovakav pristup koristi većina država u svijetu. Drugi način trgovanjem su aukcije. U slučaju aukcije, voditelj aukcije (vlada ili vladina agencija) definira količinu energetske uštede ili budžet. Ponuđači, koji sudjeluju u aukciji, iznose ponude za određene projekte. Aukcija je otvorena za sve tehnologije i projekte koji mogu doprinijeti ostvarivanju ciljeva ili može biti podijeljena na određeno područje tehnologije i projekata. Tipovi aukcije mogu biti statični (jedna ponuda koja je konačna) ili dinamični (više ponuda tijekom aukcije). Odluka od

dodjeljivanju projekata se donosi na osnovu cijene, a dodatni kriterij može biti inovacijska tehnologija ili nešto slično. U slučaju ne ispunjavanja projekta dodjeljuju se penali. Aukcije se financiraju iz javnog budžeta (porez, namet na cijenu energije, prihodi od trgovanja emisijama), [29].

Na slici 5.2. je prikazano koliko je rasprostranjen sustav obveze i sustav aukcije.



Sl. 5.2. Karta rasprostranjenosti sustava obveze i aukcije [30]

5.3. OBVEZA ENERGETSKE UŠTEDE U SUSTAVU JAVNE RASVJETE

Trećim nacionalnim akcijskim planom u RH, za razdoblje od 2014. – 2016., energetske učinkovitosti je predviđena mjera „Energetski učinkovita javna rasvjeta“. Unutar tog akcijskog plana se predviđalo povećanje energetske uštede javne rasvjete lokalnih samouprava kroz sufinanciranje Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost. Očekivane kumulativne uštede energije u sustavu javne rasvjete za razdoblje od 2014. – 2016. iznosile su 164,7 GWh, a za razdoblje od 2014. – 2020. su iznosile 624,2 GWh, [31].

Ostvarene energetske uštede od 2014. – 2020. u sustavu javne rasvjete, prema Nacionalnom akcijskom planu energetske učinkovitosti za razdoblje 2022. – 2024. su iznosile 382,9 GWh, a procjena kumulativna energetska ušteda za razdoblje 2022. – 2024. iznosi 117,2 GWh, [32].

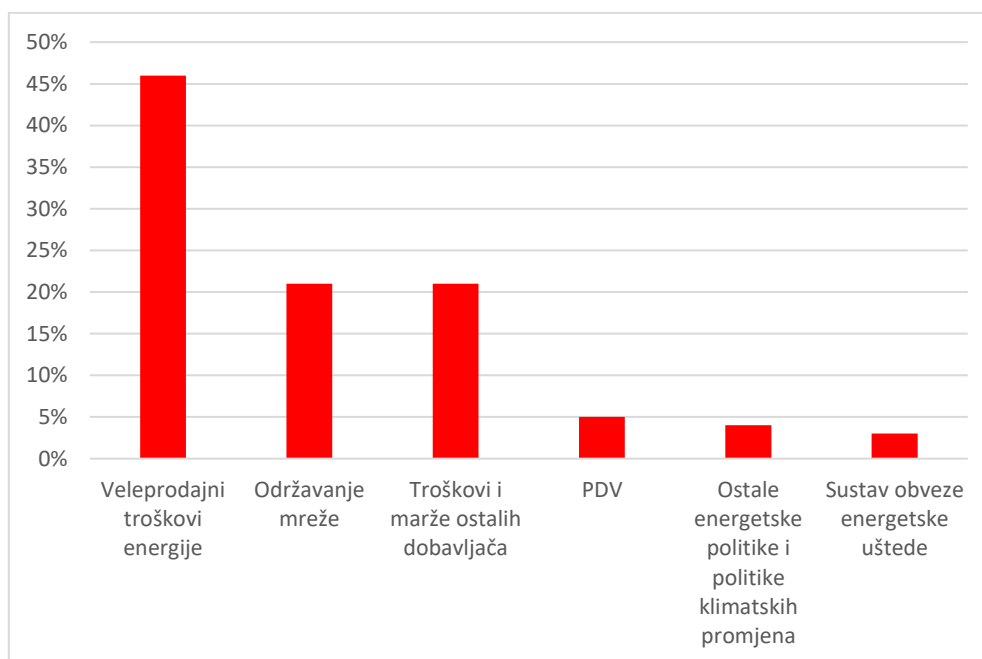
5.4. PRIMJERI IMPLEMENTACIJE SUSTAVA UŠTEDE U DRUGIM ZEMLJAMA EU

Dokazi prikupljeni istraživanjima tijekom više desetljeća ukazuju da se uspješnom implementacijom sustava obveze može značajno povećati energetska učinkovitost tijekom više godina, [33]. No kao i svaki sustav, sustav obveze energetske uštede ima svoje nedostatke. U tablici 5.3. su prikazane prednosti i nedostaci ovog sustava.

Tablica 5.3. Prednosti i nedostaci sustava obveze energetske uštede [43]

PREDNOSTI	NEDOSTATCI
Liberalizacija tržišta energije – dovodi do povećanja učinkovitosti i manjih troškova	Transakcijski troškovi – traženje informacija, pregovaranje, uvjeravanje kupaca, dokumentiranje mjera...
Obveze energetske uštede se provode na „zagađivačima“, odnosno na distributerima energije	Vladine institucije se susreću s troškovima za nadzor, kontroliranje i mjerenje ušteda
Kako obveza predstavlja teret distributerima, minimiziraju troškove provedbe mjera	

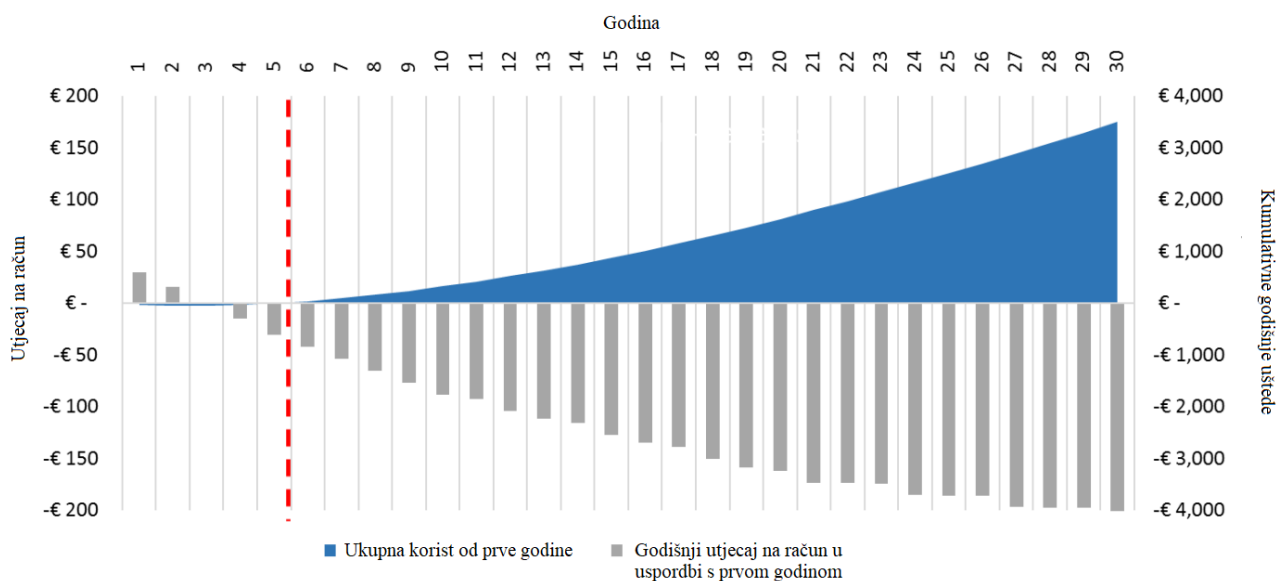
Na slici 5.3. je prikazan prosječni račun za energiju, s uključenim troškom za sustav obveze energetske uštede, u Velikoj Britaniji u 2014. godini.



Sl. 5.3. Račun za energiju

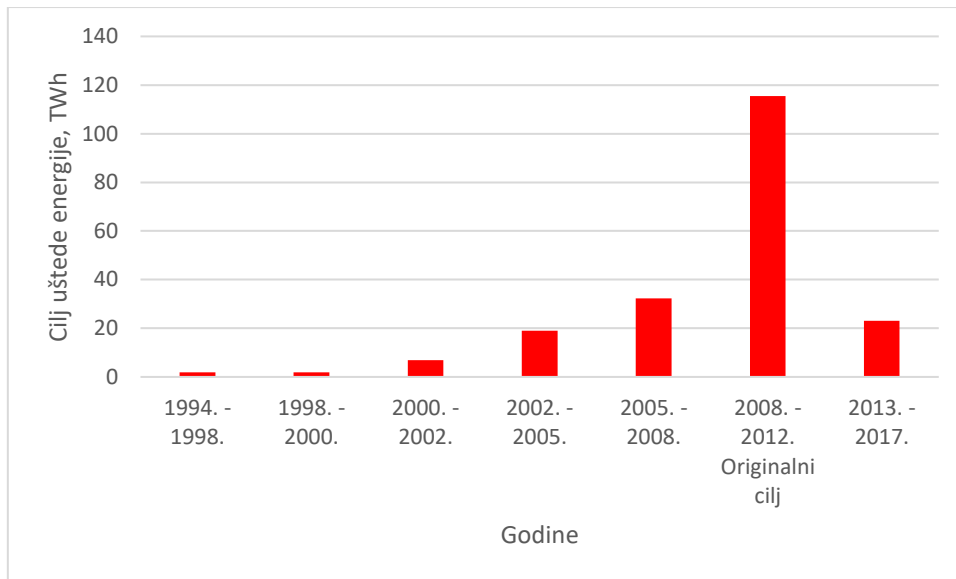
Iz slike 5.3. vidi se da je na prosječnom računu za energiju najmanji dio za sustav obveze energetske uštede.

Iz sustava obveze Velike Britanije, koji najduže postoji, može se zaključiti da je zaslužan za veliko smanjenje u potrošnji energije. U području kućanstva, energija se smanjila za 19% između 2000. i 2014. godine, iako se broj kućanstava povećao za 12%, dok se populacija povećala za 9,7%. Također, prosječno kućanstvo 2014. godine trošilo je 37% manje energije nego 1970., s tim da je nagli pad nastao 2004. godine, [33]. Na slici 5.4 se vidi utjecaj na račun za energiju s primjenom sustava energetske uštede u kontinuitetu od 30 godina.



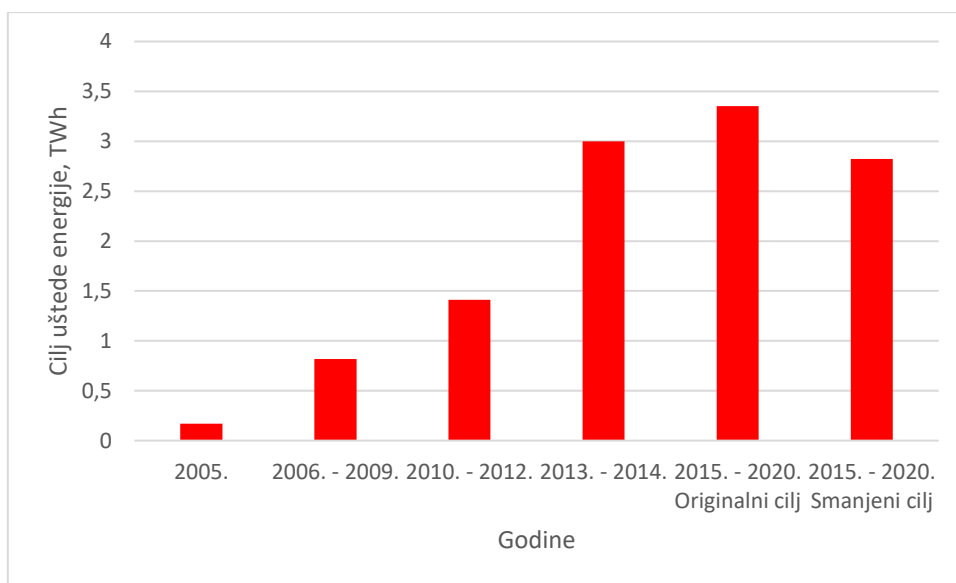
Sl. 5.4. Utjecaj 30-ogodišnjeg sustava obveze na račun za energiju [33]

Iako se iz svih priloženih ilustracija vidi da sustav obveze može značajno smanjiti potrošnju energije, u Danskoj i Velikoj Britaniji, državama koje najdulje koriste sustav obveze, se u zadnje vrijeme smanjila očekivana energetska ušteda u odnosu na prijašnja kumulativna razdoblja, dok se u ostalim državama, koje su kasnije uvele sustav obveze, još uvijek povećavaju ciljevi. Smanjenje energetske uštede u Danskoj i Velikoj Britaniji uzrokovale su velike ambicije u povećavanju ciljeva koje su dovele do velikog troška sustava i povećanja računa za energiju, [34]. Na slici 5.5. je prikaz energetske uštede kroz godine za Veliku Britaniju.



Sl. 5.5. Prikaz energetske uštede kroz godine za Veliku Britaniju

Na slici 5.6. je prikaz energetske uštede kroz godine za Dansku.



Sl. 5.6. Prikaz energetske uštede kroz godine za Dansku

6. ZAKLJUČAK

Javna rasvjeta predstavlja neophodnu infrastrukturu u svim urbanim i ruralnim područjima, koja omogućuje sigurnost svih sudionika u prometu te daje ljudima osjećaj sigurnosti tijekom noćnih sati. Osim toga, javna rasvjeta ima i estetsku vrijednost te poboljšava kvalitetu života stanovnika.

Analizom energetske uštede rekonstrukcijom sustava javne rasvjete, u gradskoj četvrti Novi grad, došlo je do značajnog smanjenja potrošnje električne energije. Ukupna instalirana snaga rasvjetnih tijela se smanjila sa 281,9 kW na 76,8 kW, dok se potrošnja godišnje električne energije smanjila za 81,5 % . Ovom će se rekonstrukcijom ostvariti značajna ekonomska ušteda nakon povrata investicije. Osim ekonomske i energetske uštede, novim sustavom upravljanja javne rasvjete dodatno će smanjiti utjecaj svjetlosnog onečišćenja. Mjerenjem svjetlosnih veličina, na prometnici i pješačkoj zoni u naselju Sjenjak, i uspoređivanjem dobivenih vrijednosti s rezultatima modeliranja istih, može se zaključiti da se rezultati mjerenja relativno dobro poklapaju s rezultatima modeliranja uz manje pogreške koje mogu biti rezultat pogreške mjernog uređaja i pogreške mjeritelja. Prilikom modeliranja prometnice uvidjelo se na pogreške u projektu rekonstrukcije javne rasvjete. Pogreške kao nedovoljno precizno određivanje visine na koju se postavlja svjetiljka i krivo određena klasa prometnice imaju značajnu ulogu u odabiru dobro dimenzionirane svjetiljke.

Pojavom LED tehnologije, javna rasvjeta postala je energetski učinkovitija i ekološki prihvatljivija, što je dovelo do značajnog smanjenja potrošnje energije i troškova održavanja. Unatoč visokoj učinkovitosti LED rasvjete, uvijek postoji mogućnost daljnjeg napretka u smislu smanjenja potrošnje energije i utjecaja na okoliš. To se može postići korištenjem modernih tehnologija upravljanja i regulacije, te preciznijim i detaljnijem pristupu izrade projekata javne rasvjete, u skladu s propisima i normama kao što je norma HRN EN 13201:2016. Time se ne samo ostvaruje ušteda energije, već se i smanjuje negativni utjecaj na okoliš, što je važno s obzirom na rastuću potrebu za očuvanjem okoliša i smanjenjem emisija štetnih plinova.

SAŽETAK

Analiza energetske uštede javne rasvjete u ovom radu, na realnom primjeru dijela grada, prikazuje do koje se uštede, kako energetske tako i ekonomske, može doći primjenom modernih tehnologija. Prilikom rekonstrukcije sustava javne rasvjete, s ciljem ekonomske i energetske uštede, moraju se pratiti zakonske odredbe propisane normom HRN EN 13201. U prvom poglavlju navedeno je što sve pripada sustavu javne rasvjete. Sljedećim poglavljem je objašnjena uloga javne rasvjete, zakonska legislativa koja prati javnu rasvjetu, prikazana je fizika svjetlosti i kako ona prolazi kroz ljudsko oko i na kraju poglavlja navedeni i objašnjeni su neki od problema koji su vezani uz javnu rasvjetu. U trećem poglavlju je opisana metodologija energetske pregleda javne rasvjete koja je dio metodologije energetske pregleda građevina. Opisani su svi koraci metodologije, a od posebne važnosti je korak mjerenja svjetlosnih veličina koji je prikazan, na realnom primjeru prometnice i pješačke zone, u slijedećem poglavlju. Mjerenja rasvijetljenosti i sjajnosti kolnika su napravljena u gradskom naselju Sjenjak, na jednoj od prometnica i na šetnici. Određivanje mjernih točaka je napravljeno sukladno normi HRN EN 13201:2016 te su također napravljena linijska mjerenja rasvijetljenosti na šetnici i prometnici, prije i nakon ponoći, koja su dala uvid u regulaciju javne rasvjete. Osim mjerenja napravljeno je i modeliranje iste prometnice i šetnice u programu Relux u svrhu uspoređivanja rezultata rasvijetljenosti i sjajnosti kolnika. U istom poglavlju je također napravljena analiza energetske uštede koja je proizašla rekonstrukcijom sustava javne rasvjete u gradskoj četvrti Novi Grad. Na kraju ovog rada objašnjen je sustav obveze energetske uštede, kako se trguje unutar sustava, koje su očekivane uštede sustava javne rasvjete u Hrvatskoj te koja su iskustva ostalih zemalja Europske Unije, koje su ranije uvele sustav obveze energetske uštede.

Ključne riječi: javna rasvjeta, rasvijetljenost, sjajnost, energetske uštede

ABSTRACT

The analysis of energy savings in public lighting in this study, based on a real example from a part of the city, demonstrates the potential savings, both in terms of energy and economics, that can be achieved through the implementation of modern technologies. During the reconstruction of the public lighting system, with the aim of achieving economic and energy savings, it is necessary to comply with the legal provisions prescribed by the HRN EN 13201:2016 standard. The first chapter outlines what belongs to the public lighting system. The following chapter explains the role of public lighting, the legislative regulations that govern public lighting, presents the physics of light and how it passes through the human eye, and finally, mentions and explains some of the issues associated with public lighting. The third chapter describes the methodology of energy audit of public lighting, which is part of the methodology of energy audits for buildings. All the steps of the methodology are described, with a particular focus on the measurement of lighting parameters, which is presented using a real example of a road and pedestrian zone in the following chapter. Measurements of illuminance and luminance of the roadway were conducted in the urban settlement of Sjenjak, on one of the roads and on the walkway. The determination of measurement points was done in accordance with the HRN EN 13201:2016 standard, and linear measurements of illuminance were also conducted on the walkway and roadway, before and after midnight, providing insight into the regulation of public lighting. In addition to the measurements, modeling of the same road and walkway was done in the Relux software in order to compare the results of illuminance and luminance of the roadway. In the same chapter, an analysis of energy savings resulting from the reconstruction of the public lighting system in the Novi Grad district was also conducted. Finally, this study explains the system of energy savings obligations, how trading takes place within the system, the expected savings of the public lighting system in Croatia, and the experiences of other European Union countries that have previously implemented the system of energy savings obligations.

Key words: public lighting, illuminance, luminance, energy savings

ŽIVOTOPIS

David Ružić je rođen 1997. godine u Slavonskom Brodu. Nakon pohađanja Osnovne škole Vjekoslav Klaić u Garčinu, upisao je Tehničku školu u Slavonskom Brodu, smjer elektrotehničar. Nakon uspješno završene srednje škole 2016. godine, odlučio je nastaviti svoje obrazovanje na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na fakultetu je upisao preddiplomski studij elektrotehnike i informacijskih tehnologija, koji je uspješno završio 2020. godine te stekao zvanje Sveučilišnog prvostupnika. Također, iste godine se upisao na diplomski studij elektroenergetike na istom fakultetu, izabrao je izborni blok DEB - održiva elektroenergetika.

LITERATURA

- [1] Europsko vijeće i Europski parlament, Directive 2012/27/EU, Brussels, 2012.
- [2] Narodne Novine, Zakon o energetske učinkovitosti (NN 116/18, 41/21, članak 20), dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/747/Zakon-o-energetske-ucinkovitosti>, ostvaren pristup: 10.6.2022.
- [3] A. Scheuer, licht.wissen 03 Roads, paths and squares, licht.de, Frankfurt, 2016.
- [4] A. E. F. Taylor, Illumination fundamentals, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 2000.
- [5] J. Waldorf, licht.wissen 01 Lighting with Artificial Light, licht.de, Frankfurt, 2016.
- [6] M. Tuđan, Z. Kraus, H. Glavaš, Spektralni sastav dostupnih izvora svjetlosti, 19. Natural Gas, Heat and Water Conference, 12. International Natural Gas, Heat and Water Conference, str. 48-53, 2021.
- [7] Prikaz strukture ljudskog oka, dostupno na: <https://sites.google.com/site/biologijaljudskotijeloodeta/osjetila/vid>, pristup ostvaren 27.2.2023.
- [8] A. Ghatak, A. Pathak, V.P. Sharma, Light and its Many Wonders, Viva Books, India, 2015.
- [9] R. Karlicek, C. Sun, G. Zissis, R. Ma, Handbook of Advanced Lighting Technology, Springer, Cham, 2017.
- [10] D. Betancourt, C. Del Río, Study of the Human Eye Working Principle: An Impressive High Angular Resolution System with Simple Array Detectors, Sensor Array and Multichannel Processing, sv. 4., str. 93-97, srpanj 2006.
- [11] K. Naidoo, Global Prevalence of Presbyopia and Vision Impairment from Uncorrected Presbyopia, Ophthalmology, br. 10, sv. 125, str. 1492-1499, listopad 2018.
- [12] E. Širola, Cestovna rasvjeta, ESING, Zagreb, 1997.
- [13] Work – ing Varaždin, ormar javne rasvjete, Dostupno na: <https://work-ing.hr/elektro-ormari/model/ojr/>, pristup ostvaren: 26.2.2023.
- [14] F. Bellido, F. J. Q. Latorre, C. D. M. Moreno, J. M. Flores – Arias, I. M. Moreno – Gracia, M. Ortiz, Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol, Sensors, br. 5, sv. 16, ožujak 2016.
- [15] I. Ostojić, A. Vujković, T. Kruhac, Akcijski plan energetske učinkovitosti grada Osijeka za razdoblje 2020. – 2022., Zagreb, 2020., dostupno na:

- https://www.osijek.hr/wp-content/uploads/2020/10/7.-2020_10_21_APEu-OSK-2020-2022_radna-verzija_FINAL.pdf, pristup ostvaren: 12.6.2022.
- [16] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske, Energija u Hrvatskoj, Zagreb, 2020., dostupno na: https://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2022/01/Velika_EIHP_Energija_2020.pdf, pristup ostvaren: 4.7.2022.
- [17] G. Zdunić, Public lighting - road to energy efficiency, International Youth Conference on Energy (IYCE), sv. 5, str. 1-6, svibanj 2015.
- [18] M. Seraceni, Proposta per un modello condiviso di Certificati Energetici per apparecchi illuminanti e impianti di Pubblica Illuminazione, Bologna, 2010., dostupno na: https://www.heraluce.it/wp-content/uploads/2018/08/Accordo_UAI_IDA_Hera_Luce_Allegato.pdf, pristup ostvaren : 11.7.2022.
- [19] S. Donatello, R. R. Quintero, M. G. Caldas, Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals Technical report and criteria proposal, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019.
- [20] P. Kudla, T. Havranek, D. Herman, Z. Irsova, Does daylight saving time save electricity? Evidence from Slovakia, Energy Policy, sv. 137, str. br. članka 111146, veljača 2020.
- [21] E. Osborne-Christenson, Saving light, losing lives: How daylight saving time impacts deaths from suicide and substance abuse, Health Economics, br. S2, sv. 31, str. 40-68, kolovoz 2022.
- [22] R. N. Olsen, T. Gallaway, D. Mitchell, Modelling US light pollution, Journal of Environmental Planning and Management, br. 6, sv. 57, str. 889-903, 2014.
- [23] L. Argys, S. Averett, M. Yang, Light pollution, sleep deprivation, and infant health at birth, Southern Economic Journal, br. 3, sv. 87, str. 849-888, prosinac 2020.
- [24] Karta svjetlosnog onečišćenja, dostupno na: <https://lighttrends.lightpollutionmap.info>, pristup ostvaren: 25.2.2023.
- [25] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, Metodologija provođenja energetskeg pregleda građevina, Zagreb, 2014., dostupno na: https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Propisi/2017/METODOLOGIJA_EPG.pdf, pristup ostvaren: 17.6.2022.
- [26] H. Glavaš, Izvješće o provedenom energetskeg pregledu javne rasvjete naselja Satnica, općina Petrijevci, 2014. (elaborat)

- [27] H. Glavaš, D. Mesarić, M. Ivanović, The role of GIS in energy audit of public lighting, *Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering*, sv. 8, str. 47-53, lipanj 2015.
- [28] F. Prebeg, M. Bišćan, M. Vajdić, Energetski pregled javne rasvjete – koraci, Program usavršavanja za osobe koje su ovlaštene za provođenje energetskih pregleda i energetsko certificiranje zgrada s jednostavnim i sa složenim tehničkim sustavom, 2013.
- [29] Z. Klaić, S. Nikolovski, Kvaliteta električne energije – mjerenja prema normi EN 50160, Hrvatski komitet međunarodnog vijeća za velike električne sisteme, studeni 2003.
- [30] J. Perko, S. Nikolovski, Lj. Majdandžić, Comparative analysis of power quality indices for different lighting technologies in public lighting, *International journal of electrical and computer engineering*, br. 2, sv. 8, travanj 2018.
- [31] C. DeCusatis, *Handbook of Applied Photometry*, American Institute of Physics, New York, 1996.
- [32] H.A.E. Keitz, *Light calculations and measurements*, Eindhoven, 1971.
- [33] D. Petrović, *Električno osvetljenje*, Tehnička knjiga, Beograd, 1960.
- [34] R. H. Simons, A. R. Bean *Lighting Engineering Applied calculations*, Oxford, 2001.
- [35] Gossen web stranica, luxmetar Gossen Mavolux 5032C USB, dostupno na: <https://gossen-photo.de/en/mavolux-5032-c-usb/>, pristup ostvaren: 22.2.2023.
- [36] Konica Minolta web stranica, uređaj za mjerenje sjajnosti Minolta LS – 150, dostupno na: <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/measuring-instruments/light-and-display-measurement/luminance-meters/ls-150-ls-160>, pristup ostvaren: 22.2.2023.
- [37] P. Bos, B. Helštýnová, R. Baleja, K. Sokanský and T. Novák, Suggestion of the methodology for verifying the outputs of different measuring groups evaluating light parameters of public lighting, *International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, sv. 17, str. 1-4, svibanj 2016.
- [38] Slika standardne normalne razdiobe, dostupno na: <https://mathbitsnotebook.com/Algebra2/Statistics/STzScores.html>, pristup ostvaren: 24.2.2023.
- [39] L. Guo, *Intelligent road lighting control systems - experiences, measurements, and lighting control strategies citation*, 2008.
- [40] Web stranica grada Osijeka, podaci o gradskoj četvrti Novi grad, dostupno na: <https://www.osijek.hr/mjesna-samouprava/mjesni-odbori-i-gradske-cetvrti/gradska-cetvrt-novi-grad/>, pristup ostvaren: 28.2.2023.

- [41] Prikaz naselja Sjenjak na karti, dostupno na: <https://earth.google.com>, pristup ostvaren: 28.2.2023.
- [42] Priručnik za luxmetar Gossen Mavolux 5032C USB
- [43] S. Moser, Overestimation of savings in energy efficiency obligation schemes, *Energy*, sv. 121, str. 599-605, veljača 2017.
- [44] I. D. Argun, G. Kayakutlu, N. Y. Ozgozen, T. U. Daim, Models for Energy Efficiency Obligation Systems through different perspectives. *Technology in Society*, sv. 64, br. članka 101436, veljača 2021.
- [45] Narodne Novine, Zakon o energetskej učinkovitosti (NN 116/18, 25/20, 41/21, članak 13.) dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/747/Zakon-o-energetskoj-učinkovitosti>, pristup ostvaren: 9.7.2022.
- [46] Republika Hrvatska, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Priručnik za izračunavanje obveze ušteda energije, izračun kumulativnih ušteda, prijenos ušteda energije u aplikaciji SMIV, Zagreb, 2021., pristup ostvaren: 9.7.2022., dostupno na: https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA_ZA_ENERGETIKU/Priručnik_za_izračun_ušteda_energije.pdf
- [47] Trgovanje energetskeim uštedama putem aukcije, Dostupno na: <https://www.odyssee-mure.eu/publications/policy-brief/auctions-energy-efficiency-res.html>, pristup ostvaren: 22.8.2022.
- [48] J. Rosenow, R. Cowart, S. Thomas, Market-based instruments for energy efficiency: a global review, *Energy Efficiency*, br.5, sv. 12, prosinac 2018.
- [49] Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Treći nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti za razdoblje 2014. – 2016., 2014., Zagreb, dostupno na: <https://mpgi.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug/energetska-ucinkovitost-u-zgradarstvu/strateski-dokumenti-programi-i-projekti/3746>, pristup ostvaren: 1.3.2023.
- [50] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske, Nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti za razdoblje od 2022. do 2024., 2022., Zagreb, dostupno na: <https://mingor.gov.hr/dokumenti/4937>, pristup ostvaren: 1.3.2022.
- [51] A. Blumberga, R. Āzis, D. Reinbergs, I. Pakere, D. Blumberga, The Bright and Dark Sides of Energy Efficiency Obligation Scheme: The Case of Latvia, *Energies*, br. 15, sv. 14, br. članka 4467, srpanj 2021.
- [52] J. Rosenow, E. Bayer, Costs and benefits of Energy Efficiency Obligations: A review of European programmes, *Energy Policy*, sv. 107, str. 53-62, kolovoz 2017.

- [53] T. Fawcett, J. Rosenow, P. Bertoldi, Energy Efficiency Obligation Schemes: Their future in the EU, *Energy Efficiency*, br. 1, sv. 12, str. 57-71, travanj 2018.