

Svjetlosno onečišćenje okoliša

Lisak, Barbara

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:704311>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

BARBARA LISAK

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2022.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 19.09.2022. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 05.09.2022.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Sanje Kovač

Članovi povjerenstva

- 1) Doc. dr. sc. Davor Stanko
- 2) Prof. dr. sc. Stjepan Štelec
- 3) Doc. dr. sc. Jasmin Jug

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

DIPLOMSKI RAD

KANDIDATKINJA:

BARBARA LISAK

Handwritten signature of Barbara Lisak in blue ink on a light background.

MENTOR:

DOC. DR. SC. DAVOR STANKO

KOMENTOR:

PROF. DR. SC. STJEPAN STRELEC

VARAŽDIN, 2022.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc.dr.sc. Davora Stanka i komentora prof.dr.sc. Stjepana Streleca.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 25.08.2022.

Barbara Lisak

(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ
OBJAVLJENIM RADOVIMA**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 25.08.2022.

Doc.dr.sc. Davor Stanko

(Mentor)

Stanko Davor

(Vlastoručni potpis)

Zahvala

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Davoru Stanku na vrlo zanimljivoj temi, savjetima i pomoći pri izradi ovog diplomskog rada. Hvala prof.dr.sc. Stjepanu Strelecu i doc.dr.sc. Jasminu Jugu na dodatnim savjetima i pomoći.

Zahvaljujem se i Astronomskom društvu Varaždin te njihovoj predsjednici Milici Žabčić na ustupanju instrumenta za mjerenje svjetlosnog onečišćenja.

Najviše hvala mojoj obitelji, prvo mojim roditeljima koji su mi sve omogućili, te mojim sestrama Jeleni i Katarini te Husu na velikoj pomoći, podršci i najboljim savjetima tijekom studiranja. Hvala svima što ste uvijek bili tu i nikada niste prestali vjerovati u mene.

Hvala i kolegicama i kolegama koji su mi uvelike olakšali sve godine studiranja i upotpunili nezaboravne studentske dane.

Hvala Maši na najvećoj emocionalnoj podršci.

Posebno hvala Velimiru koji mi je bio uvijek najveća motivacija za rad te koji mi je pomogao oko fotografija za diplomski rad. Hvala na strpljenju i razumijevanju sve ove godine.

SAŽETAK

Naslov rada: Svjetlosno onečišćenje okoliša

Ime i Prezime: Barbara Lisak

Svjetlosno onečišćenje je svaka promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima. Ono je uzrokovano emisijama iz umjetnih izvora svjetlosti. Sve ono što nepotrebno isijava prema nebu ili u stranu, a ne prema tlu, zagađuje okolinu i nebo viškom svjetlosti. Takvo onečišćenje šteti ljudima, životinjama, okolišu ali i ekonomiji. Istraživanja su pokazala da kada ne spavamo u potpuno zamračenom prostoru, naše tijelo ne luči dovoljno hormon melatonin koji je bitan za naš imunološki sustav i borbu protiv stresa. S ciljem određivanja svjetlosnog onečišćenja, napravljena su mjerenja na devet lokacija u tri županije, kako bi se odredila kvaliteta neba te svjetlosni utjecaji gradova, reklamnih ekrana i krajobraznog osvjetljenja na noćno nebo. Najveće izmjereno svjetlosno onečišćenje bilo je uz reklamni ekran u Stubičkim Toplicama (10,62 mag/arcsec²), dok je najmanje izmjereno bilo na lokaciji dvorca Trakošćan (19,45 mag/arcsec²). Kako bi se smanjilo svjetlosno onečišćenje neophodno je educirati javnost o negativnim učincima na živi svijet te o razumnom korištenju svjetlosne energije.

Ključne riječi: svjetlosno onečišćenje, rasvjeta, krajobrazna rasvjeta, kvaliteta neba

ABSTRACT

Name and Surname: Barbara Lisak

Title: Environmental light pollution

Light pollution is any change in the level of natural light in nighttime conditions. It is caused by emissions from artificial light sources. Everything that radiates unnecessarily towards the sky or to the side, and not towards the ground, pollutes the environment and the sky with excess light. Such pollution is harmful for people, animals, environment and negatively affects economy. Research has shown that during the sleep people need complete darkness, otherwise our body does not secrete enough of the hormone called melatonin, which is essential for our immune system and for the fight against stress. To determine light pollution, measurements were made at nine different locations in three counties, in order to classify the quality of the sky and the effects of cities, advertising screens and landscape lighting on the night sky. The highest level of measured light pollution was near the advertisement screen in Stubičke Toplice (10,62 mag/arcsec²), while the lowest was at the Trakošćan castle (19,45 mag/arcsec²). To lower the light pollution, public education about negative effect on the living world and reasonable usage of light energy is necessary.

Key words: light pollution, lighting, landscape lighting, sky quality

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Teorijski dio	2
2.1.Svjetlosno onečišćenje	2
2.2.Spektar elektromagnetskog zračenja	3
2.3.Svjetlotehničke veličine	5
2.4.Negativni utjecaj svjetlosnog onečišćenja	9
2.4.1. Negativni utjecaj na čovjeka.....	9
2.4.2. Negativni utjecaj na životinje	11
2.4.3. Negativni utjecaj na ekonomiju i okoliš	13
2.5.Sunčeva energija i iskoristivost	14
2.6.Sprječavanje svjetlosnog onečišćenja	17
3. Materijali i metode	20
4. Rezultati i rasprava.....	22
4.1.Zagrebačka županija	22
4.1.1. Reklamni ekran – Slavonska avenija	22
4.1.2. Slavonska avenija	23
4.1.3. Sljeme – 1. lokacija.....	25
4.1.4. Sljeme – 2. lokacija.....	26
4.2.Krapinsko-zagorska županija.....	28
4.2.1. Centar Stubičkih Toplica – reklamni ekran	28
4.3.Varaždinska županija	29
4.3.1. Stari grad Varaždin	29
4.3.2. Varaždin – centar grada	31
4.3.3. Periferija Varaždina	32
4.3.4. Trakošćan.....	33
4.4. Usporedba mjerenja lokacija.....	36
5. Zaključci.....	38
6. Literatura	39
7. Popis slika	42
8. Popis tablica	43

1. Uvod

Svjetlosno onečišćenje je svaka promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima. Takvo onečišćenje je uzrokovano emisijama iz umjetnih izvora svjetlosti. Sve ono što nepotrebno isijava prema nebu ili u stranu, a ne prema tlu, zagađuje okolinu i nebo viškom svjetlosti. Ono može negativno utjecati na ljude, životinje i okoliš. Svjetlosno onečišćenje još je uvijek velika nepoznanica za širu javnost, iako većina ljudi pati od posljedica ovakve vrste onečišćenja [1].

Neodgovarajuća rasvjeta ne utječe negativno samo na okoliš nego i na ekonomiju i sigurnost u prometu. Potrošnja energije može biti čak od 30 do 40% veća ako je umjetna rasvjeta nepravilno postavljena. Isto tako na prometnicama bliješteća rasvjeta može zaslijepiti vozače te tako uzrokovati prometnu nesreću [1].

Svjetlosno onečišćenje stvara i veliki problem astronomima zbog velike svjetline neba. To se pogotovo odnosi na gradove u kojima je gotovo i ne moguće vidjeti noću zvijezde ili čak i mjesec. No svjetlo je medij koji nam omogućuje da vidimo noću, ali ono i utječe na naše raspoloženje, Kada smo bez svjetla osjećamo nesigurnost i nedostatak informacija [2]. Pravilno postavljanje umjetne rasvjete može nam ujedno pružiti sigurnost ali i smanjiti svjetlosno onečišćenje koje utječe skoro na cijelu ljudsku populaciju.

Cilj ovog diplomskog rada bio je odrediti razinu svjetlosnog onečišćenja na devet različitih lokacija koje se nalaze u tri županije Zagrebačkoj, Krapinsko-zagorskoj i Varaždinskoj županiji. Osim toga, cilj ovog diplomskog rada bio je pobliže objasniti što je to svjetlosno onečišćenje i kako ono negativno utječe na sve aspekte okoliša te na čovjeka i životinje.

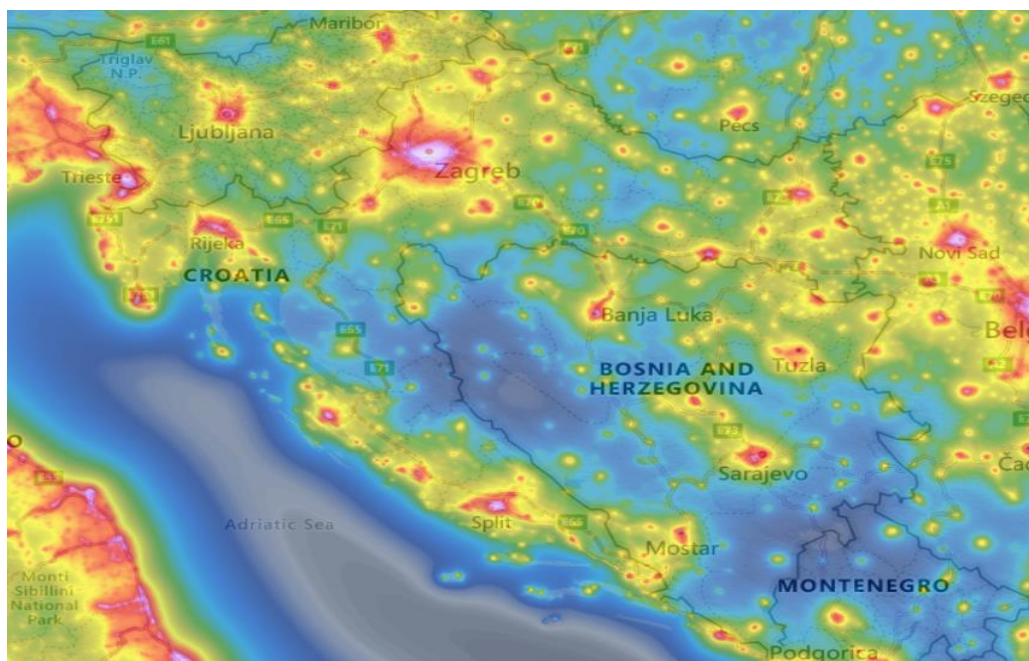
2. Teorijski dio

2.1. Svjetlosno onečišćenje

Većina onečišćenja okoliša koja se pojavljuje na Zemlji, dolazi od strane čovjeka. Prvi primjer toga je automobil koji je izumio čovjek, a glavni je izvor onečišćenja zraka koji tako doprinosi klimatskim promjenama. Drugi veliki izum čovjeka je plastika koja ispunjava naša mora, kopna i oceane te tako stvara značajnu opasnost za zdravlje ljudi ali i životinja. **No što je sa električnom žaruljom koja je jedna od najvećih izuma svih vremena?** Svjetlost noću nam je nužna kako bismo se osjećali sigurnima, ona nas vodi kući kada zađe Sunce i čini naše domove svijetlim i ugodnim. Međutim poput emisija ugljičnog dioksida i plastike, previše nama korisnih stvari počelo je negativno utjecati na okoliš. Svjetlosno onečišćenje, pretjerana ili neprikladno postavljena upotreba umjetnog svjetla, utječe na okoliš, ljudsko zdravlje, životinje, ekonomiju te promatranje zvijezda i drugih nebeskih tijela (astronomiju) [3].

Svjetlosno onečišćenje je globalni problem. To je postalo realno kada je 2016. godine prvi puta objavljen Svjetski atlas svjetline noćnog neba. Atlas je dostupan na internetu, te pokazuje kako i gdje je naša kugla osvijetljena noću. Najviše su obasjana svjetlom područja Sjeverne Amerike, Europe, Bliskog istoka i Azije, a Sibir, Sahara i Amazona su u potpunom mraku. Svjetlosno najzagađenije zemlje svijeta su Katar, Kuvajt i Singapur. U Hrvatskoj najviše su svjetlosno onečišćeni Zagreb, Split i Rijeka (Slika 1) [3].

Nebeski sjaj je jedan od pojmova koje vežemo uz svjetlosno onečišćenje. Ono svijetli noćno nebo, uglavnom iznad urbanih područja. Javlja se zbog svjetala automobila, uličnih svjetiljki, tvornica, ureda, vanjskih reklama i zgrada, pretvarajući tako noć u dan za ljude koji žive na takvim mjestima [3]. Nebeski sjaj je vrlo promjenjiv te ovisi o trenutnim vremenskim uvjetima, količini prašine i plina u atmosferi [4]. Ljudi koji žive u gradovima s visokom razinom nebeskog sjaja mogu vidjeti samo šačicu zvijezda noću, a u nekim gradovima čak niti toliko. Više od 80 % populacije živi pod nebeskim sjajem [3].



Slika 1. Prikaz svjetlosnog onečišćenja na području Republike Hrvatske [5]

2.2. Spektar elektromagnetskog zračenja

Elektromagnetsko zračenje jedan je od oblika energije. Cijeli spektar elektromagnetskog zračenja sastoji se od x-zraka na visokoenergetskom, kratkovalnom području pa do radio valova na nisko energetsom, dugovalnom području (Tablica 1). Svjetlost je elektromagnetsko zračenje valnih duljina od 10^{-7} metara do 10^{-3} metara, koje nadražuje mrežnicu u oku čovjeka te tako u organizmu izaziva osjet vida. Upravo taj dio naziva se optičko zračenje [2].

Tablica 1. Valne duljine elektromagnetskog zračenja (UV – ultraljubičasto zračenje; IR – infracrveno zračenje) [2].

Zračenje	Valna duljina
UV - C	100 – 280 nm
UV - B	315 – 380 nm
UV - A	315 – 380 nm
Vidljivo zračenje	380 – 780 nm
IR - A	780,0 – 1,4 μ m
IR - B	1,4 – 3,0 μ m
IR - C	3 μ m - 1 mm

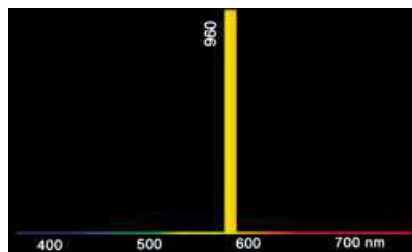
Ultraljubičasto (UV) zračenje je od 100 do 380 nm, a vrlo je važno zbog svojeg biološkog učinka. UV-C zračenje (100 – 280 nm) je štetno zračenje zbog ozonskih rupa. Infracrveno zračenje (IR) je valnih duljina od 780 nm do 1 mm i to su termička zračenja Sunca te ona omogućuju život na Zemlji [2].

Spektar vidljivog zračenja je vrsta zračenja koja je potrebna kako bi naše ljudsko oko vidjelo sliku. Ono obuhvaća zračenja valne duljine od 380 nm do 780 nm. Naši čunjići u oku imaju sposobnost dijeljenja svijetla u tri različita aspekta. To su crveni, zeleni i plavi (RGB), te oni tako pobuđuju mozak na aditivno miješanje boja. Ljudsko oko nije jednako osjetljivo na sve dijelove spektra. Za valne duljine koje se nalaze na krajevima vidljivog spektra potrebna je veća snaga zračenja da bi se dobio osjećaj iste sjajnosti [2].

Postoje dva tipa očnih receptora koji su ovisno o nivou luminancije (sjajnosti) uključeni u proces viđenja. To su štapići i čunjići [2]:

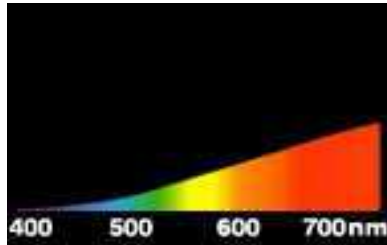
- Štapići su vrlo osjetljivi na svjetlost, ali manje na boju. Aktivniji su kod uvjeta di je manje svjetla (noćno ii fotopsko viđenje). U plavo-zelenom području se nalazi njihova maksimalna osjetljivost (507 nm – $V(\lambda)$);
- Čunjići su pak osjetljivi na boju te je njihova uloga u dnevnom viđenju kada je jače svjetlo. U žuto-zelenom području nalazi se njihova maksimalna osjetljivost (555 nm - $V(\lambda)$).

Razlikujemo dva glavna zračenja, monokromatsko zračenje i složeno zračenje. Monokromatsko je ono koje se sastoji samo od jedne valne duljine. On ima vrlo uski spektar kao što je prikazano na Slici 2 [2].

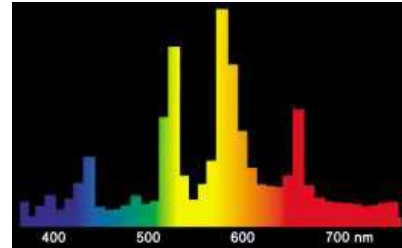


Slika 2. Monokromatsko zračenje [2]

Složeno zračenje se sastoji od više različitih valnih duljina. Prema tome ga dijelimo na kontinuirano zračenje (bez skokovitih promjena valnih duljina) i na diskretno zračenje (sa skokovitim promjenama valnih duljina) (Slika 3 i 4) [2].



Slika 3. Kontinuirano zračenje [2]



Slika 4. Diskretno zračenje [2]

Vidljivo se zračenje može podijeliti i na [2]:

- Ljubičasto 380 – 400 nm,
- Plavo 400 – 430 nm,
- Modro 430 – 470 nm,
- Zeleno 470 – 520 nm,
- Žuto 520 – 590 nm,
- Narančasto 590 – 610 nm;
- Crveno 610 – 750 nm.

2.3. Svjetlotehničke veličine

Fizikalne veličine i svjetlotehničke veličine su dva načina na koja se svjetlost vrednuje. Svjetlost se opisuje fizikalnim veličinama kada ju promatramo s energetske strane, tj. kao energetske čestice ili kao elektromagnetski val. Svjetlotehničke tj. fotometrijske veličine ograničene su na vidljivo zračenje spektra (380 – 780 nm) te se vrednuju na temelju osjetilnog efekta. Razlikujemo 4 različite svjetlotehničke veličine: svjetlosni tok, jakost svjetlosti, rasvjetljenost i sjajnost (luminacija) (Tablica 2) [2].

Tablica 2. Svjetlotehničke veličine i jedinice [2].

Veličina	Oznaka	Jednadžba	Mjerna jedinica
Svjetlosni tok	Φ	$\Phi = I \times \Omega$	Lumen (lm)
Jakost svjetlosti	I	$I = \Phi / \Omega$	Candela (cd)
Rasvjetljenost	E	$E = \Phi / A$	Lux (lx)
Sjajnost (luminacija)	L	$L = I / A$	Candela po kv. metru (cd/m ²)

A – osvjetljena ili svjetleća površina (m²)

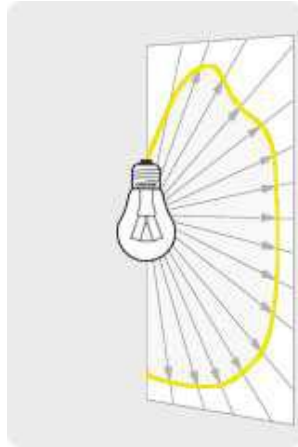
Ω – prostorni kut (steradian, sr)

Svjetlosni tok je snaga zračenja koju emitira neki izvor svjetlosti u svim smjerovima. Lumen je jedinica za svjetlosni tok koja je izvedena jedinica SI sustava. Kada bi se gledala standardna žarulja koja ima žarnu nit snage 100 W svjetlosni tok bi iznosio 1380 lm (Tablica 3).

Tablica 3. Pokazatelj svjetlosnog toka kod različitih vrsta žarulja [6].

Klasična žarulja	Halogena žarulja	Štedna Žarulja	LED žarulja	Svjetlosni tok
25 W	25 W	5 W	3 W	204 – 210 lm
40 W	40 W	9 W	5 W	400 – 450 lm
60 W	60 W	13 W	9 W	700 – 740 lm
100 W	100 W	22 W	15 W	1300 – 1500 lm

Jakost svjetlosti je snaga zračenja koju izvor svjetlosti emitira u određenom smjeru. Candela (cd) je jedinica za jakost svjetlosti. Ona se može predstaviti vektorom. Krivulja distribucije jakosti svjetlosti (fotometrijska krivulja), dobiva se tako da se spoje svi vrhovi vektora u jednoj ravnini izvora svjetlosti (Slika 5) [2].



Slika 5. Prikaz spajanja vektora kod jakosti svjetlosti [2]

Mjerilo za količinu svjetlosnog toka koja pada na određenu površinu naziva se rasvijetljenost. Njena jedinica je lux (lx). Razlikujemo dvije glavne vrste rasvijetljenosti. To su rasvijetljenost površine i rasvijetljenost u točki. Rasvijetljenost površine se može opisati kao omjer svjetlosnog toka izvora svjetlosti koji pada na određenu površinu i zadane površine. Rasvijetljenost točke neke površine je omjer jakosti izvora svjetlosti koja pada okomito na tu točku i kvadrata udaljenosti [2].

Često puta su nam prostorije u kući osvijetljene više nego što bi trebale biti. Time se troši previše struje ali i doprinosi se svjetlosnom onečišćenju. Sljedeća tablica prikazuje koliko rasvijetljenja (lx) je potrebno imati za pojedine prostorije u domu (Tablica 4).

Tablica 4. Vrijednosti intenziteta osvijetljenja za pojedine prostorije [6].

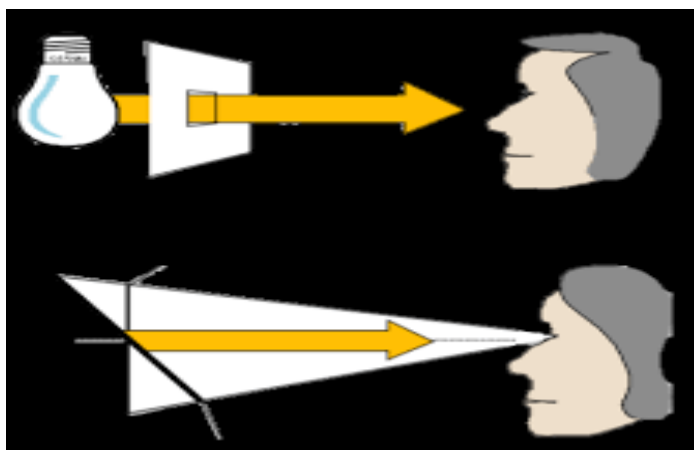
Vrsta prostora, zadatka ili djelatnosti	Rasvijetljenost (lx)
Stubište	30
Hodnik	70
Kupaonica, WC	150
Kuhinja, dnevni boravak i blagovaonica	250 - 350
Rasvjeta za čitanje, pisanje, male radove	750

Luminacija je jedina svjetlotehnička veličina koju ljudsko oko može direktno vidjeti. To su svjetleće površine ili sjajnost rasvijetljene površine upravo kako je vidi ljudsko oko. Ona se mjeri u candelama po površini (cd/m^2). Za izvore svjetlosti nerijetko se koristi nešto prikladniji oblik kao što je cd/cm^2 (Tablica 5) [2].

Tablica 5. Različiti izvori svjetlosti i različite luminacije [2].

Izvor svjetla	Prosječna luminacija [cd/m ²]
Sunce u podne	$1,6 \times 10^9$
Standardna žarulja	$2 \times 10^6 - 2 \times 10^7$
Bijeli oblak	1×10^4
Svijeća	7500
Mjesec	2500
Ugodna unutarnja rasvjeta	50 -500
Noćno nebo	10^{-3}

Luminacija je najvažniji čimbenik projektiranja javne rasvjete zato što ona opisuje fiziološki učinak svjetlosti na oko (Slika 6) [2].



Slika 6. Vizualni prikaz luminacije [7]

2.4. Negativni utjecaj svjetlosnog onečišćenja

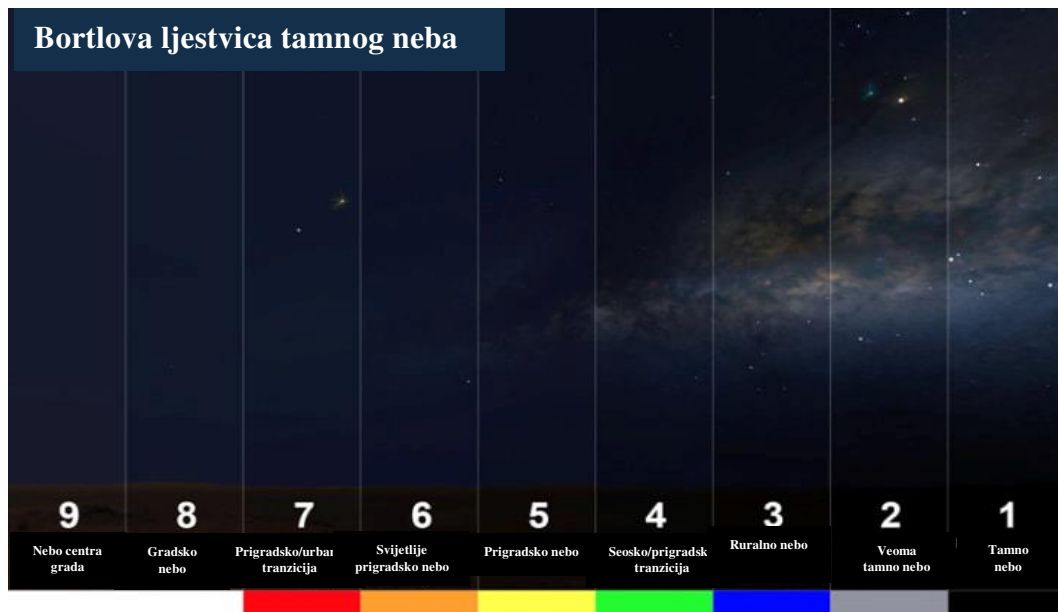
2.4.1. Negativni utjecaj na čovjeka

Svjetlosno onečišćenje zaklanja naš pogled na pravo noćno nebo. Nebo je noću prepuno nebeskih tijela, no ako ga gledamo iz bilo kojeg centra malo većeg grada, gotovo da ih je i nemoguće vidjeti. Oko 99 % ljudi koji žive u Europi i Americi žive pod nebom koje je gotovo 10 % svjetlije nego što bi to prirodno trebalo biti. To također znači da veliki dio populacije ne koristi puni potencijal svojih očiju [8].

Mrežnica ljudskog oka prirodno može prilagoditi svoje stanice koje su osjetljive na svjetlost te se tako prilagoditi uvjetima slabog osvjetljenja. Ali zbog svjetlosnog onečišćenja, na primjer samo 37 % ljudi koji žive u Americi ne koriste svoj noćni vid [8].

Iako su LED svjetla energetske učinkovitija, ona imaju jaku izlaznu komponentu plave boje. Naša atmosfera najviše raspršuje plavu svjetlost, a korištenje LED svjetla povećalo bi količinu plave svjetlosti i noću. Ovakva plava neprirodna svjetlost noću daje nam dojam dana te nam remeti spavanje i naš noćni vid [8].

Kako bi se pratilo i karakteriziralo svjetlosno onečišćenje, američki astronom John E. Bortle stvorio je Bortleovu ljestvicu tamnog neba (Slika 7) [8]. Objavio ju je u veljači 2001 u časopisu *Sky and Telescope* (Nebo i teleskop). Ljestvica mjeri našu sposobnost promatranja nebeskih tijela, poput planeta i zvijezda, pod utjecajem nebeskog sjaja. Ona ima raspon od 9 klasa pomoću kojih se procijeni vidljivost noćnog neba nad gradskim centrima. 1 na ljestvici predstavlja izvrsnu stanicu za promatranje s tamnim nebom, 2 je veoma tamno nebo, 3 označava ruralno nebo, 4 seosko/prigradsku tranziciju, 5 je prigradsko nebo, 6 je svijetlije prigradsko nebo, 7 je prigradsko/urbana tranzicija, 8 je gradsko nebo, dok je 9 nebo unutar centra grada.



Slika 7. Bortleova ljestvica tamnog neba [9]

Osim što zbog prevelikog svjetla u našim gradovima ne vidimo noćno nebo i tako ne koristimo svoj noćni vid, javljaju se još neki zdravstveni problemi koji su posljedica svjetlosnog onečišćenja. Naime kada smo i noću izloženi prevelikom osvjetljenju, naše tijelo nema normalan ciklus [8].

Cirkadijalni ritmovi su fiziološke i neurološke promjene koje se događaju u tijelu tijekom razdoblja od 24 sata. Također su poznati i kao tjelesni sat i povezani su s našim ciklusom kada smo budni i kada spavamo. Nakon što Sunce zađe i kada nam je tijelo izloženo slabijem svjetlu, ono prirodno oslobađa hormon melatonin. Melatonin se oslobađa iz pinealne žlijezde u mozgu te povećava umor i regulira cikluse spavanja. Vrhunac oslobađanja melatonina dešava se u ranim jutarnjim satima [8].

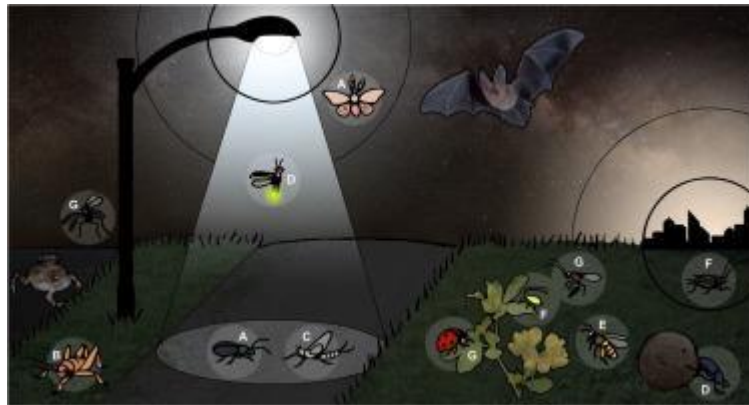
Tako je otkriveno da svjetlosno onečišćenje smanjuje proizvodnju melatonina kod ljudi, čak i na niskim razinama. To onda može dovesti do poremećaja sna, utjecati na naš imunološki sustav i na reakcije na stres. Također je otkriveno da je problem sa melatoninom povezan i s rizikom od raka koji su nastali zbog hormona, poput raka dojke ili prostate [8].

2.4.2. Negativni utjecaj na životinje

Sve vrste šišmiša, jazavci i većina manjih mesoždera i glodavca (osim vjeverica), noćne su životinje ili su aktivni jednako i danju i noću. Stoga bi bilo iznenađujuće da noćna rasvjeta nema značajan učinak na životinje. Različite razine svjetlosti, na različite načine utječu na životinje. Svjetlost pogoduje grabežljivcima da lakše pronađu svoj plijen, što je i razlog zašto toliko malih životinja traži zaklon u tami [10].

Mnogi noćni sisavci izbjegavaju otvorena područja koja su jako obasjana mjesecinom. Ovakva izbjegavanja ograničavaju aktivnost životinja kada traže hranu. Biljojedi jedu mnogo manje tijekom noći koje su obasjane mjesecinom kako bi izbjegli predatore. Tako umjetna rasvjeta može dati dojam životinjama da je svaka noć obasjana punim Mjesecom, što onda dovodi do toga da se životinje premalo hrane. Dok se umjetna rasvjeta kratkoročno čini kao dobra stvar za grabežljivce, ona nije prirodna i dugoročno neće koristiti ni grabežljivcima [10].

Šišmiši se koncentriraju oko ulične rasvjete, tako tražeći obrok među mnogim kukcima koji se nalaze oko svjetla (Slika 8). Takvo hranjenje donosi brži prijenos bolesti među predatorskim vrstama, ali i prebrzo iscrpljivanje izvora hrane [10].



Slika 8. Koncentracija različitih insekata i šišmiša oko ulične rasvjete [11]

Znanstvenici ukazuju na to da pojačano osvjetljenje na autocestama nije učinkovito kod smanjenja automobilskih nesreća sa životinjama. Smatra se da umjetno noćno svjetlo smeta sisavcima koji su aktivniji noću te se tako češće sudaraju s vozilima. Upravo zbog toga na prometnicama često stradaju srne (Slika 9). Životinja kada kroči na prometnici doživi brzu promjenu svjetla farova automobila ili prejako osvjetljenje

same prometnice. Za noćne vrste koje za vid koriste samo štapićaste stanice u očima, takva iznenadna promjena u osvjetljenju zasiti njihovu mrežnicu, čineći tako životinju slijepom. One su onemogućene vidjeti kuda trebaju ići kako bi izbjegle sudar s vozilom. Najčešće se zamrznu na putu nesigurni te tako nažalost budu udareni. Mnogi noćni sisavci imaju rudimentarni čunjasti sustav i mogu se brzo prebaciti na njega no to vrijeme prebacivanja može potrajati do nekoliko sekundi, tijekom kojih su privremeno slijepi. Kada se prebace u konusni sustav, tamna područja izvan svjetla postaju im toliko mračna da više nemaju sposobnost noćnog vida te se životinja može izgubiti ili dezorijentirati. Nakon što uđu u mračnija područja potrebno im je od 10 do 40 minuta prije nego što njihove štapićaste stanice počnu funkcionirati i njihov se noćni vid potpuno vrati [10].



Slika 9. Srna ispred vozila noću [14]

Mnoge vrste ptica migriraju noću. Ptice selice i noćne ptice koriste svjetlost Mjeseca i zvijezda te svjetlost zalazećeg Sunca za navigaciju tijekom svojih migracija. Svjetlosno onečišćenje umanjuje njihovu sposobnost za navigaciju. Posebno umjetna gradska svjetla ometaju ovakvo instinktivno ponašanje. Svjetlost privlači ptice selice noću prema jako osvjetljenim zgradama u urbanim područjima [12]. Znanstvenici koji su dio *Fatal Light Awareness* (Fatalna svijest o svjetlu) programa koristili su radarske slike kako bi odredili kako ptice reagiraju na osvjetljeno okruženje [13]. Tako su primijetili da će se ptice koje prelete preko jače osvjetljenih područja, vratiti tom osvjetljenom području i onda oklijevati da ga napuste. Ptice onda ostaju zarobljene u

gradovima koji za njih nemaju dovoljno hrane. Tada se one često zabijaju u sjajno osvijetljene televizijske tornjeve ili zgrade. Neke čak i kruže oko njih dok ne padnu od iscrpljenosti. Naposljetku, jednom kada su na tlu, omamljene ili ozlijeđene postaju hrana grabežljivcima [12].

Kretanje insekata prema svjetlu opisana je na tri različita načina. Prvo kretanje naziva se fiksirani efekt ili efekt hvatanja. Kukci se zaustave na nekoj određenoj udaljenosti pred svjetlom te tako bivaju zaglavljani cijelu noć ili dok se to svjetlo ne ugasi. Kada su tako zarobljeni svjetlom ne mogu obavljati svoje osnovne funkcije za život, kao što su pronalazak hrane ili reprodukcija. Na taj način cijela vrsta pati. Drugi insekti lete izravno na svjetlo, te ih tako često ubije vruća staklena površina. Treći pak pokušavaju prirodno letjeti pod kutovima u odnosu na svjetlost, pretpostavljajući da je to daleki Mjesec, samo da bi ušli u pokrete u obliku spirale i tako bili zahvaćeni svjetlom. Takvi insekti ili postaju lak plijen za druge životinje ili se na kraju iscrpe pa ugibaju (Slika 8) [15].

2.4.3. Negativni utjecaj na ekonomiju i okoliš

Većina ljudi smatra da je umjetna svjetlost nužno zlo te da im daje sigurnost kada padne mrak. Do nedavno tama je bila neizbježan dio okoliša i prirodne povijesti našeg planeta. Sukladno tome, život se razvio i prilagodio dnevnim, mjesečevim i godišnjim ciklusima. Stoga nas ne treba iznenaditi radikalna transformacija okoliša koju je omogućila umjetna rasvjeta. Osim okoliša, podosta pati i svjetska ekonomija. Loš dizajn rasvjete i nepravilno postavljena rasvjeta gubi energiju, ali i pridonosi povećanoj emisiji ugljičnog dioksida i globalnom zatopljenju [16].

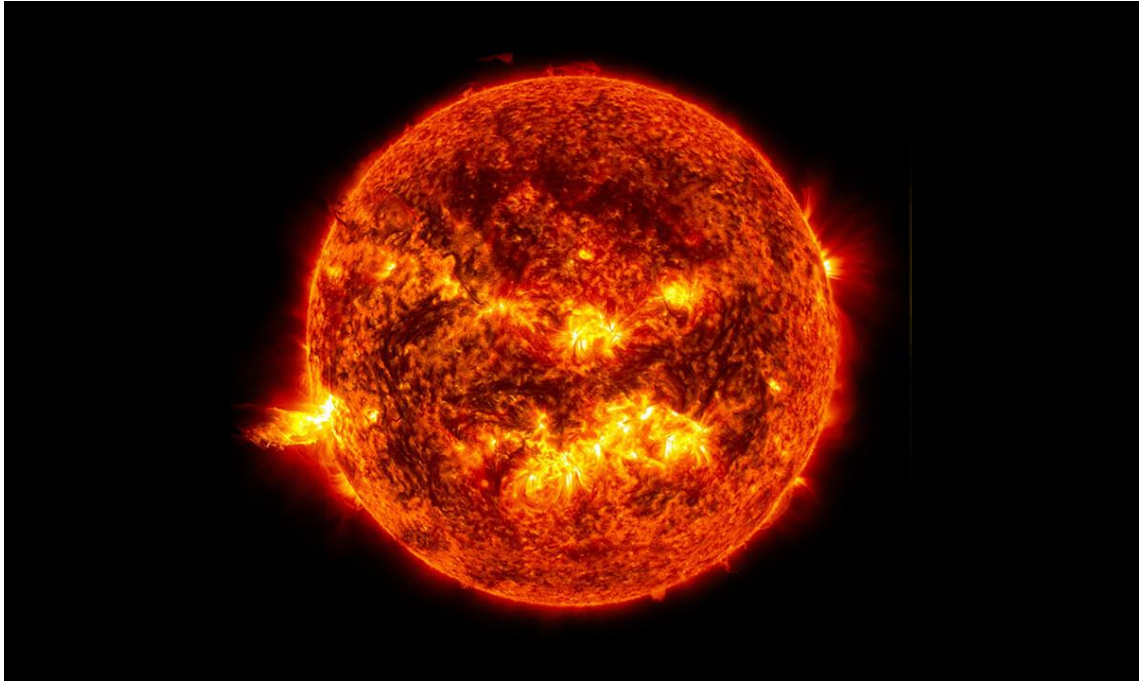
Samo u Sjedinjenim Američkim državama otprilike 6 % od 4054 milijuna megavat sati (MWh) proizvedene električne energije koristi se za vanjsku rasvjetu. Procjenjuje se da se 30 % od toga nepotrebno rasipa te nastaje svjetlosno onečišćenje. To znači da se bespotrebno proizvede 72,9 milijuna mwh električne energije po cijeni od 6,9 milijardi dolara godišnje. Nadalje, ovakva nepotrebna potrošnja električne energije proizvela je dodatnih 66 milijuna metričkih tona CO₂. Uklanjanje svjetlosnog onečišćenja bilo bi ekvivalentno uklanjanju CO₂ preko 9,5 milijuna automobila s cesta

[16]. Preko 50 % proizvodnje električne energije u Americi dolazi od izgaranja ugljena, koji se većinom dobiva površinskim rudarenjem. Izgaranje ugljena samo po sebi ima veliki doprinos zagađenju zraka i stvaranju kiselih kiša [17].

Kada bi se sva ekološki neprihvatljiva rasvjetna tijela zamijenila sa onim ekološkim, riješilo bi se pola problema svjetlosnog onečišćenja. Naime one troše znatno manje električne energije, te upotrebljavaju žarulje koje imaju visoku energetske učinkovitost. U Hrvatskoj se provodi program poboljšanja energetske učinkovitosti. U programu su zajedno Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, HEP-ESCO (Hrvatska elektroprivreda - Energy Service Company) te Svjetska banka za obnovu i razvoj. One nude zainteresiranim gradovima ili općinama mjerenje i snimanje javne rasvjete na terenu i mjerenje potrošnje te zatim zamjenu svih ne ekoloških tijela sa ekološkima [2].

2.5. Sunčeva energija i iskoristivost

Za razliku od umjetne rasvjete, Sunce je prirodni izvor svjetlosti na našem planetu (Slika 10). Ono je izvor svjetlosne i toplinske energije već 4,5 milijardi godina. To je energija koja potječe od nuklearnih reakcija iz njegova središta. Temperatura Sunca doseže i do 14 milijuna °C. Uz oslobađanje velike količine energije spajaju se vodikovi atomi, te tako nastaje helij. Jedinice za iskazivanje Sunčeve energije iskazuju se na jediničnoj površini u određenom vremenu, npr. Wm^{-2} ili Jcm^{-2} u minuti, satu, danu, mjesecu ili godini [18].



Slika 10. Sunce [19]

Sunčeva energija jedan je od obnovljivih izvora energije. U Europi je direktno iskorištavanje Sunčeve energije u vrlo veliko porastu. No neki od glavnih problema kod iskorištavanja Sunčeve energije su: veliki investicijski troškovi, mala gustoća energetske toke te velike oscilacije intenziteta zračenja. U prirodi se Sunčeva energija može pretvoriti u različite oblike energije. No kada pričamo o umjetnom načinu iskorištavanja onda se ona najčešće pretvara u toplinsku i električnu energiju. Kako bi se takva energija mogla iskoristiti, grade se razne izvedbe kolektori [18].

U pravilu postoje 3 glavna načina iskorištavanja energije Sunca [18]:

- solarni kolektori;
- fotonaponske ćelije;
- fokusiranje Sunčeve energije.

Solarni kolektori imaju sposobnost pretvaranja Sunčeve energije u toplinsku energiju vode. Razlikuju se dva sustava za grijanje vode, zatvoreni i otvoreni sustavi. U zatvorenim sustavima kolektori su popunjeni tekućinom koja se ne smrzava, a u otvorenim sustavima vodu koju treba zagrijati prolazi direktno kroz kolektor na krovu. Austrija i Njemačka zemlje su koje najviše iskorištavaju Sunčevu energiju pomoću solarnih kolektora [18].

Fotonaponske ćelije pak pretvaraju solarnu energiju direktno u Sunčevu energiju (Slika 11). Ovo su najpoželjniji načini iskorištavanja energije Sunca no još uvijek imaju vrlo visoku cijenu. Osim velikih solarnih elektrana gdje se često fotonaponske ćelije koriste, nerijetko se nađu tamo gdje nije moguće dovesti neki drugi izvor energije. Na primjer sateliti, znakovi uz cestu, mali džepni kalkulatori i slično [18].



Slika 11. Fotonaponska solarna elektrana u Konjšćini [20]

Treći način iskorištavanja solarne energije je fokusiranje Sunčeve energije. Ono se koristi većinom za toplinski pogon ili za pogon velikih generatora. Postiže se pomoću zrcala ili pomoću mnogo leća [18].

Kako bi se pravilno postavile solarne elektrane i kako bi bile što više iskoristive traže se savjeti klimatologa, koji mogu napraviti proračune mogućeg osunčavanja. Isto tako treba i pripaziti na glavne klimatske elemente kao što su naoblaka, brzina vjetra, temperatura te dozračena Sunčeva energija [18].

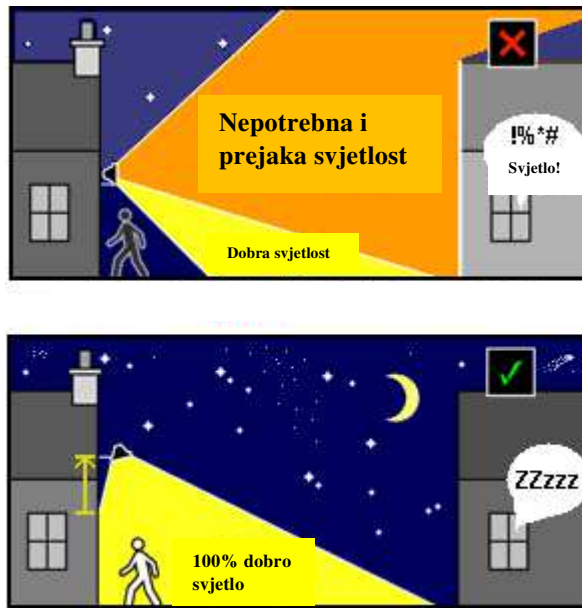
2.6. Sprječavanje svjetlosnog onečišćenja

Svaki dan treba svoju noć. To je Zemljin prirodni ciklus. Svjetlosnim onečišćenjem narušili smo Zemljinu prirodu te oštetili naš okoliš, životinje i kvalitetu našeg života. No svaki problem uključujući i problem svjetlosnog onečišćenja na neki način je rješiv.

Najvažnija stvar kod sprječavanja svjetlosnog onečišćenja je edukacija. Potrebno je osvijestiti ljude da je svjetlosno onečišćenje zaista veliki globalni problem u kojem sudjelujemo svaki dan. Ono možda nije toliko vidljivo kao što je onečišćenje Zemlje i oceana plastikom ili se može osjetiti kao što se mogu visoke temperature zbog globalnog zatopljenja, ali je među nama i svakim danom postaje sve veći [21].

Prvu stvar koju možemo napraviti je popraviti i pravilno osvijetliti naše kuće i okućnice [22]:

- LED i CFL (kompaktne fluorescentne svjetiljke) mogu pomoći u smanjenju potrošnje energije i u zaštiti okoliša. Ali potrebno je koristiti samo žarulje toplih boja.
- Prigušivači svjetla, senzori kretanja i mjerači vremena mogu pomoći u smanjenju prosječne razine osvjeljenja i tako uštedjeti još više energije.
- Isključivanje nepotrebne unutarnje rasvjete, osobito kada izlazimo iz prostorije i više ju ne koristimo.
- Izbjegavanje plavih svjetla noću. Izvori bijele svijetlosti koji su bogati plavom svjetlosti povećavaju blještavilo i ugrožavaju ljudski vid.
- Za vanjsku upotrebu svjetla isto se preporučaju svjetla koja imaju topli izvor svjetlosti. Jaki reflektori stvaraju odsjaj i sjene. Noćna svjetla ne bi trebala nepotrebno svijetliti prema gore ili previše u širinu. Svjetla bi trebala biti usmjerena prema dolje (Slika 12). Isto tako poželjno je koristiti svjetla koja se automatski isključuju kada više nisu potrebna.



Slika 12. Loše i dobro postavljena vanjska svjetla [21]

Često možemo uočiti i krajobraznu rasvjetu. To je vrsta rasvjete koja osvjetljava drveća, grmove, kuće ali i zemljišta. Najviše je ima u parkovima, na šetalištima, pored dvoraca ali imaju je već i neke privatne kuće. Ne samo da ovakva vrsta rasvjete doprinosi povećanom odsjaju nego i šteti samim biljkama i drveću koje osvjetljava. Mnoga stabla prilagođavaju svoj rast na temelju razine svjetlosti. Umjetno mijenjanje razine svjetlosti smanjuje sposobnost biljke da reagira na promjenu godišnjih doba. No ako je i dalje potrebno osvijetliti neki pejzaž, svjetla bi trebala biti usmjerena prema dolje i ne prelaziti kud od 45°C u odnosu na tlo, kako bi se što više smanjilo blještavilo i prodor svjetlosti. Preporučeno je i koristiti svjetla što manje snage. Također bi trebalo rasvjetu pejzaža kontrolirati tajmerom, tako da se svjetla gase do 22 sata. Jedan od loših primjera pejzažnog osvjetljenja i osvjetljenja šetališta nalazi se kod Starog grada u Varaždinu. Svjetiljka se nalazi ispod drva, koje ne bi trebalo biti osvjetljeno te se njezina svjetlost raspršuje svuda okolo (Slika 13) [21].



Slika 13. Loše osvijetljena šetnica u Starom gradu, Varaždin (vlastita fotografija)

3. Materijali i metode

Svjetlosno onečišćenje ne može se mjeriti svaki dan i u bilo kojim vremenskim uvjetima. Za to je potrebno vedro nebo bez naoblake. Naime naoblaka onemogućuje precizno mjerenje onečišćenja i povećava ga. Kada je svjetlost usmjerena u oblake, nebo nam se čini još svjetlije nego što zapravo jest. Potrebno je stoga dobro provjeriti vremensku prognozu i pričekati potpuni mrak. Isto tako mjerenja se vrše kada na nebu nema Mjeseca [23]. Mjerenja su provedena na 9 različitih lokacija (Slavonska avenija (2 lokacije), Sljeme (2 lokacije), Stubičke Toplice, Varaždin (3 lokacije) i Trakošćan) na području Zagrebačke, Krapinsko-zagorske, te Varaždinske županije (Slika 14).



1. Slavonska avenija – reklamni ekran; 2. Slavonska avenija; 3. Sljeme – 1. lokacija; 4. Sljeme – 2. lokacija; 5. Stubičke Toplice – reklamni ekran; 6. Varaždin – Stari grad; 7. Varaždin – centar; 8. Varaždin – periferija; 9. Trakošćan

Slika 14. Prikaz na mapi lokacija mjerenja [24]

Mjerenja su provedena uređajem Sky Quality Meter tj. SQM-L (Unihedron, Grimsby, Kanada) kojim se mjeri svjetlosno onečišćenje odnosno svjetlina noćnog neba (Slika 15). Uređaj je vrlo jednostavan za korištenje te je osjetljiv na snažne izvore svjetla. Ovakav model na vrhu ima leću za što preciznije mjerenje. Leća tako obuhvaća vrlo mali dio neba kako bi podaci bili što pouzdaniji. To je vrlo bitno zbog mjerenja neba u središtima grada kada svjetlo okolnih lampi i reflektora može smetati prilikom mjerenja [23].



Slika 15. SQM uređaj [25]

Mjerenja se vrše na način da se uređaj drži u ruci iznad glave tako da detektor gleda vertikalno prema nebu ili da gleda vertikalno prema predmetu osvjtljenja koje želimo izmjeriti. Mjerenja su provedena tri puta s razmakom od nekoliko minuta, a prikazana su kao srednje vrijednosti uz pripadajuće standardne devijacije. Mjerenje započinje kada se pritisne tipka na desnoj strani uređaja. Uređaj svakih 6 sekundi daje zvučne signale, a kada je mjerenje završeno svjetlina neba očita se na ekranu uređaja. Uređaj ima raspon mjerenja do 22 mag/arcsec^2 (*magnitudes per square arcsecond*) što označava mjesta koja su u kompletnoj tami te sa puno vidljivih nebeskih tijela.

Tokom mjerenja je vođen dnevnik mjerenja s podacima o:

- lokaciji mjerenja;
- datumu i vremenu mjerenja te
- mjerenju SQM uređajem (3 mjerenja).

4. Rezultati i rasprava

4.1. Zagrebačka županija

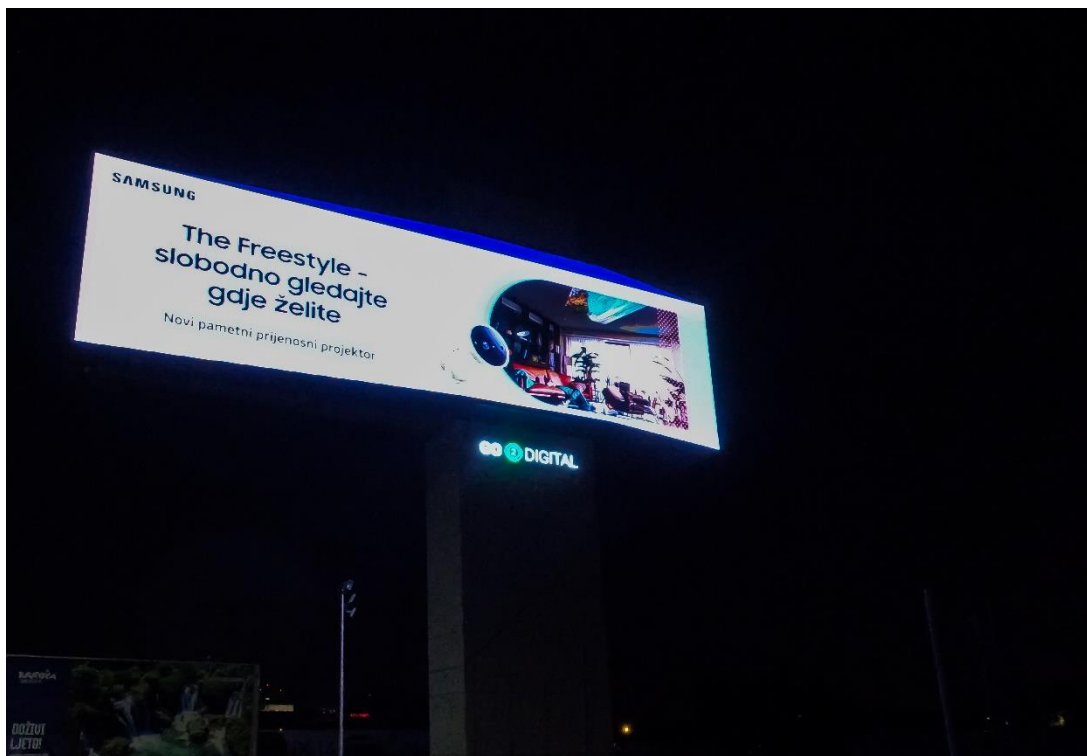
4.1.1. Reklamni ekran – Slavonska avenija

Prvo mjerenje napravljeno je u gradu Zagrebu. Na Slavonskoj aveniji nalazi se veliki reklamni ekran pod nazivom Go2Digital. To je ujedno i naziv za tvrtku koja je specijalizirana za vanjsko digitalno oglašavanje na hrvatskom tržištu. Na njihovoj internet stranici može se vidjeti podatak da tvrtka ima 353 oglasnih površina diljem Hrvatske [26]. Mjerenja svjetlosnog onečišćenja pored jednog od njihovih ekrana dobiveni su rezultati prikazani tablicom 6.

Tablica 6. Rezultati mjerenja ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Go2Digital ekran. Srednja vrijednost ($n=3$) je prikazana uz pripadajuću standardne devijaciju.

Lokacija	Datum i vrijeme	1. mjerenje	2. mjerenje	3. mjerenje	Srednja vrijednost
Slavonska avenija – Go2Digital ekran	29.07.2022. 22:15	13,11	12,94	12,95	13,00±0,09

Slikom 16 prikazan je reklamni ekran pored kojeg je mjerenje provedeno. Velike količine reklamnih ekrana nalaze se u gradovima na prometnicama te pokraj trgovačkih centara te predstavljaju veliki dio problema svjetlosnog onečišćenja. Naime, reklamni ekrani svijetle vrlo jakom svjetlošću jer moraju biti uočljivi promatraču što se može vidjeti i iz provedenog mjerenja gdje je srednja vrijednost svjetlosnog onečišćenja iznosila $13,00 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$. Subjektivna ocjena prema Bortleovoj skali (Slika 7) je 9 što označava nebo centra grada. Kako bi se smanjilo svjetlosno onečišćenje, mjereni ekran se gasi u noćnim satima te radi samo u periodu od 6:00 h do 00:00 h. Navedeni mehanizam je vrlo poželjan u smanjenju svjetlosnog onečišćenja jer se gasi u periodu smanjene gustoće prometa. Svaki reklamni ekran takve vrste bi se trebao gasiti u kasnim noćnim satima, te bi se tako uštedjelo na električnoj energiji i uvelike smanjilo svjetlosno onečišćenje.



Slika 16. Reklamni ekran na Slavenskoj aveniji (Zagreb) (vlastita fotografija)

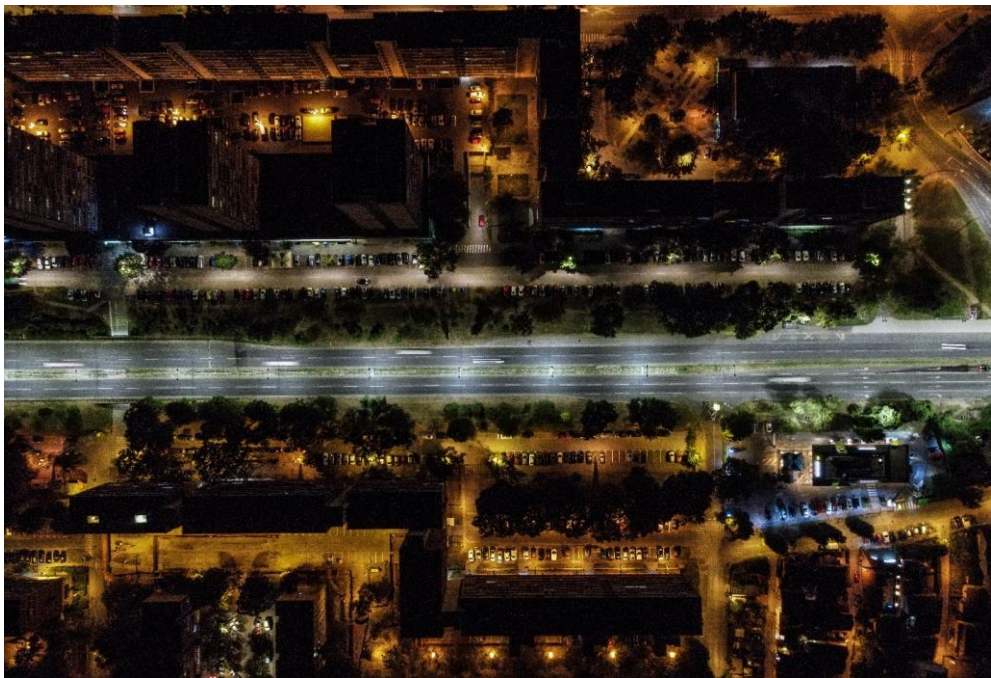
4.1.2. Slavenska avenija

Slijedeće mjerenje je provedeno na Slavenskoj aveniji u Zagrebu. Kada se pogleda Slavenska avenija noću, dobi se dojam da je vrlo jako, čak i nepotrebno osvijetljena, a to pogotovo dolazi do izražaja kada se noću smanji gustoća prometa. Zbog toga je 2015. godine grad Zagreb zamijenio stare ne ekološke i energetski ne prihvatljive lampe s novim LED sustavima. Iako je takva rasvjeta financijski prihvatljivija, ona emitira previše bijelog i plavog svjetla što se može vidjeti iz sljedećih fotografija (Slike 17 i 18) [27].

Na sporednim cestama te u ulicama vidljivo je da se koristi drugačija vrsta rasvjete. Ona nije pravilno postavljena jer se snop svjetlosti raspršuje vertikalno prema nebu i u stranu, ali može se i primijetiti da se koristi više prirodno narančasto svjetlo što je poželjno kod noćne rasvjete (Slike 17 i 18).



Slika 17. Račvanje na Slavenskoj aveniji [20]



Slika 18. Slavenska avenija na području Kruga [20]

Provedeni rezultati mjerenja na Slavonskoj aveniji prikazani su tablicom 7. Srednja vrijednost mjerenja iznosi $12,87 \text{ mag/arcsec}^2$ što je vrlo slično vrijednosti mjerenju provedenom ispod reklamnog ekrana (Tablica 6). Subjektivna ocjena prema Bortleovoj skali je 9 što odgovara nebu iznad centra grada. Općenito, što je vrijednost mjerenja veća, odnosno bliža 22 mag/arcsec^2 to je svjetlosno onečišćenje manje što je po Bortleovoj skali broj 1 koji označava tamno nebo.

Tablica 7. Rezultati mjerenja (mag/arcsec^2) svjetlosnog onečišćenja – Slavonska avenija.

Lokacija	Datum i vrijeme	1. mjerenje	2. mjerenje	3. mjerenje	Srednja vrijednost
Slavonska avenija	29.07.2022. 22:35	12,90	12,77	12,96	$12,87 \pm 0,10$

4.1.3. Sljeme – 1. lokacija

Na Sljemeni su mjerenja provedena na dvije lokacije koje su rezultirale i različitim rezultatima mjerenja. Prva lokacija je vidikovac koji gleda na grad Zagreb, a rezultati mjerenja su prikazani tablicom 8. Vrijednost mjerenja je na navedenoj lokaciji iznosila $16,91 \text{ mag/arcsec}^2$. Subjektivna ocjena prema Bortleovoj skali (Slika 7) je 6 što odgovara svjetlijem prigradskom nebu.

Tablica 8. Rezultati mjerenja (mag/arcsec^2) svjetlosnog onečišćenja – Sljeme, 1. lokacija.

Lokacija	Datum i vrijeme	1. mjerenje	2. mjerenje	3. mjerenje	Srednja vrijednost
Sljeme – 1. lokacija	30.07.2022. 22:29	16,90	16,98	16,85	$16,91 \pm 0,07$

Za vrijeme mjerenja na ovoj lokaciji bio je vikend, bez naoblake te su nebeska tijela bila poprilično vidljiva, međutim ne na samoj lokaciji mjerenja. Razlog tome je

svjetlosno onečišćenje grada Zagreba te tzv. „zvijezde padalice“ nisu bile vidljive iako je najavljena njihova pojava. Koliko je svjetlosno onečišćenje jako može se vidjeti i iz same fotografije zabilježene na području vidikovca (Slika 19).



Slika 19. Prva lokacija mjerenja na Sljemenu (vlastita fotografija)

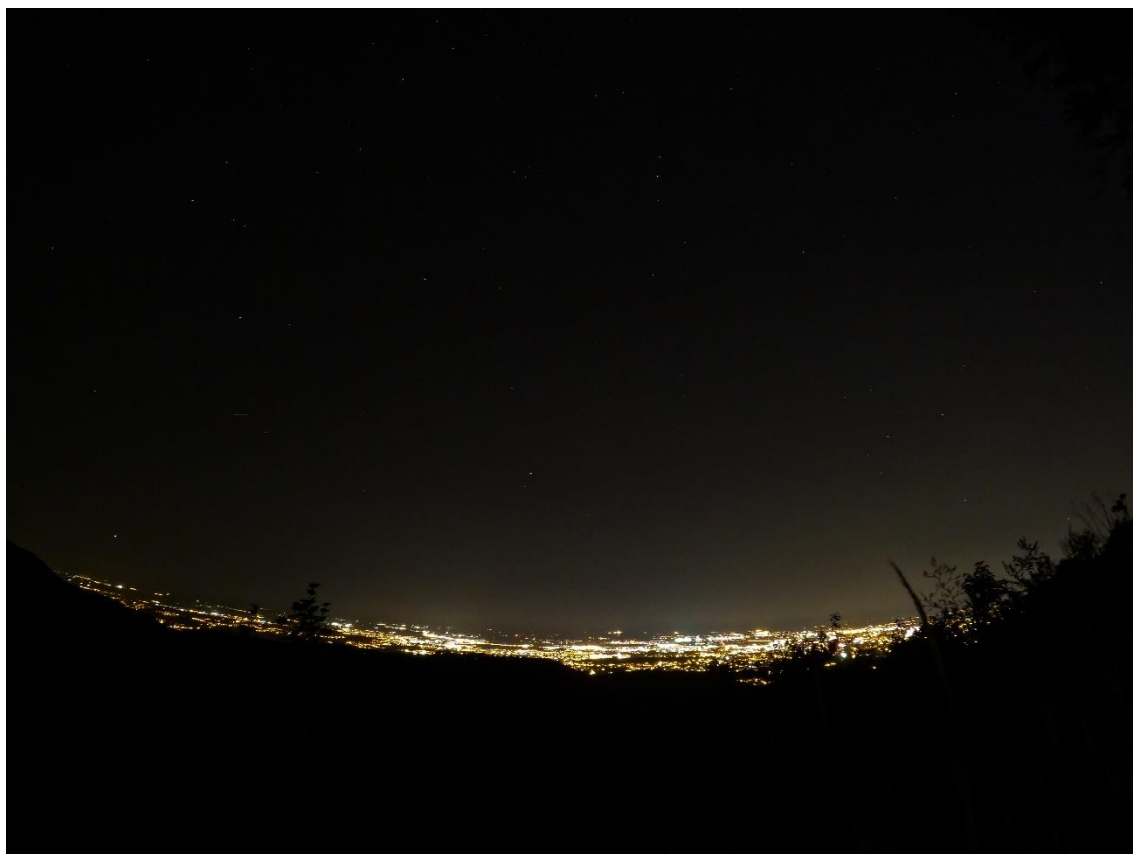
4.1.4. Sljeme – 2. lokacija

Druga lokacija mjerenja na Sljemenu nalazi se na cesti koja vodi iz Zagreba do Krapinsko-zagorske županije. Upravo na tom malom dijelu ceste Zagreb je noću jako dobro vidljiv. Iako je Zagreb bolje vidljiv, rezultati mjerenja (Tablica 9) su nešto bolji od prethodne lokacije, odnosno očitano je manje svjetlosno onečišćenje koje je iznosilo $18,31 \text{ mag/arcsec}^2$, što je blizu maksimalne vrijednosti od $22,00 \text{ mag/arcsec}^2$ pri kojoj uređaj ne detektira svjetlosno onečišćenje. Rezultati istraživanja ukazuju da je nebo spomenutog djela na kojem je provedeno mjerenje više u mraku te svjetlosno onečišćenje Zagreba nema toliki utjecaj. Kada bi se spomenuta lokacija klasificirala prema Bortleovoj skali, subjektivna ocjena je 6 što ukazuje na svijetlije prigradsko nebo.

Tablica 9. Rezultati mjerenja ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Sljeme, 2. lokacija.

Lokacija	Datum i vrijeme	1. mjerjenje	2. mjerjenje	3. mjerjenje	Srednja vrijednost
Sljeme – 2. lokacija	30.07.2022. 23:15	18,37	18,32	18,25	18,31±0,06

Slikom 20 zabilježena je lokacija na kojoj je provedeno mjerenje. Na slici se vidi u daljini svjetlosno onečišćenje grada Zagreba.



Slika 20. Druga lokacija mjerenja na Sljemenu (vlastita fotografija)

4.2. Krapinsko-zagorska županija

4.2.1. Centar Stubičkih Toplica – reklamni ekran

Nakon sljemenskog mjerenja kvalitete neba, uslijedilo je mjerenje reklamnog ekrana u centru Stubičkih Toplica. Naime, ekran se nalazi na parking u samom centru naselja te je okružen sa stambenim zgradama. Po preporuci mještana koji žive u centru te njihovog negodovanja zbog postavljenog reklamnog ekrana, napravljeno je mjerenja svjetlosnog onečišćenja. Ljudi koji žive u blizini žale se da im ekran uvelike smeta noću kada je vrijeme za spavanje, a to se pogotovo odnosi na djecu. Osim toga, mještani navode kako ekran previše „blijedi“ te kako emitira suviše svjetlosne energije u centru Stubičkih Toplica koje spadaju u vrlo malo naselje od svega oko 2800 stanovnika. Mjerenjem se može zaključiti kako je to točno pošto je izmjereno svega 10,62 mag/arcsec² (Tablica 10) što je ujedno i najmanja izmjerena vrijednost u svrhu izrade ovog diplomskog rada. S obzirom na to može se reći kako je najveće svjetlosno onečišćenje prisutno pokraj reklamnog ekrana u Stubičkim Toplicama (Slika 21). Kada bi se subjektivno prema Bortleovoj skali (Slika 7) klasificirala ova lokacija, pripala bi joj ocjena 9 što odgovara nebu u centru grada.

Tablica 10. Rezultati mjerenja (mag/arcsec²) svjetlosnog onečišćenja – reklamni ekran u Stubičkim Toplicama.

Lokacija	Datum i vrijeme	1. mjerenje	2. mjerenje	3. mjerenje	Srednja vrijednost
Stubičke Toplice – reklamni ekran	30.07.2022. 23:57	10,63	10,81	10,44	10,62±0,18

Kada se uspoređi reklamni ekran u Zgrebu na Slavonskoj aveniji sa spomenutim ekranom u Stubičkim Toplicama može se zaključiti kako je ekran sa Slavonske avenije puno veći, ali emitira mnogo manje svjetla. Isto tako ekran u Zagrebu gasi se u kasnim noćnim sati i pali se rano ujutro, a ekran u Stubičkim Toplicama radi cijelu noć. U svrhu smanjenja svjetlosnog onečišćenja, bilo bi poželjno da se ekran gasi noću kada

ionako gubi svrhu oglašavanja te bi se samim time utjecalo na bolje životne uvjete mještana iz okolnih zgrada u Stubičkim Toplicama.



Slika 21. Reklamni ekran u Stubičkim Toplicama (vlastita fotografija)

4.3. Varaždinska županija

4.3.1. Stari grad Varaždin

Nakon grada Zagreba, Sljemena te Stubičkih Toplica, sljedeća po redu lokacija za mjerenje kvalitete noćnog neba bila je područje Starog grada u Varaždinu. Prethodno je u radu prikazana noćna rasvjeta na šetalištu oko Starog grada (Slika 12). Ona je nepravilno postavljena jer snop svjetla nije usmjeren samo prema tlu, nego je svjetlost raspršena. Također, sama tvrđava Stari grad je osvijetljena. To je vrsta krajobrazne osvijetljenosti, kada se želi naglasiti ljepota neke tvrđave, dvorca ili običnog vrta. Rezultati mjerenja na tom području su prikazani tablicom 11. Prosječna dobivena vrijednost mjerenja je iznosila $15,84 \text{ mag/arcsec}^2$. Subjektivna ocjena po Bortleovoj skali (Slika 7) za ovu lokaciju je 8, što odgovara gradskom nebu.

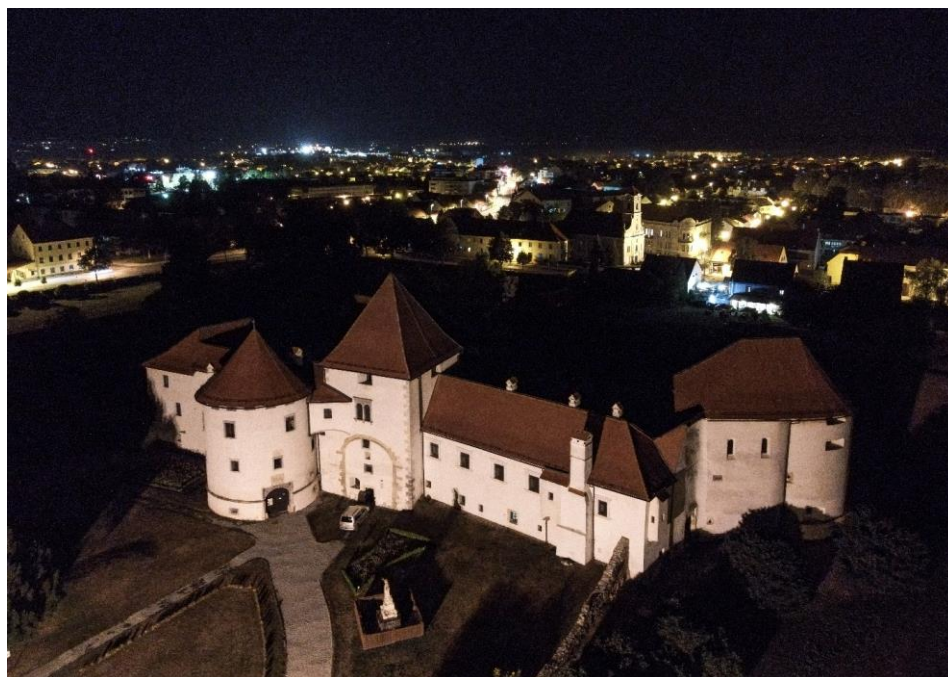
Tablica 10. Rezultati mjerenja ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Stari grad Varaždin

Lokacija	Datum i vrijeme	1. mjerenje	2. mjerenje	3. mjerenje	Srednja vrijednost
Stari grad Varaždin	04.08.2022. 22:05	15,91	15,63	15,98	15,84±0,18

Osvjetljenje koje se nalazi na samoj šetnici trebalo bi promijeniti u LED lampe čiji je snop svjetlosti usmjeren samo na šetnicu. Činjenica je da Stari grad izgleda divno noću tako osvijetljen, ali kada se noću smanji protok ljudi koji tamo prolaze, njegova rasvjeta bi se mogla ugasiti. Time bi se znatno uštedjelo na električnoj energiji i smanjio bi se utjecaj na svjetlosno onečišćenje. Slikama 22 i 23 prikazana je osvijetljena šetnica Starog grada te se može vidjeti koliko su jaka svjetla koja obasjavaju Stari grad noću.



Slika 22. Stari grad Varaždin noću (vlastita fotografija)



Slika 23. Stari grad Varaždin noću – ptičja perspektiva [20]

4.3.2. Varaždin – centar grada

Nakon Starog grada mjerenje je provedeno u centru Varaždina. Na prvi pogled centar grada je puno više osvijetljen od Starog grada, no mjerenja i nisu toliko različita. Rezultati mjerenja su prikazani tablicom 11 te je svjetlosno onečišćenje iznosilo u prosjeku $14,65 \text{ mag/arcsec}^2$. Subjektivna ocjena prema Bortleovoj skali (Slika 7) za navedenu lokaciju je 8, što odgovara gradskom nebu. Mjerenja svjetlosnog onečišćenja centra grada Varaždina koje su provele Bregović i Hranj [23] u veljači 2021. je iznosilo u prosjeku oko $16,01 \text{ mag/arcsec}^2$ što je nešto veća vrijednost u odnosu na mjerenja provedena u ovom radu. Vremena provođenja oba mjerenja su bila identična, međutim njihovo mjerenje je bilo provedeno u veljači, a mjerenje u ovom radu u srpnju. Pošto je zalazak Sunca u veljači puno ranije u odnosu na srpanj, moguće da je upravo to doprinijelo razlici u svjetlosnom onečišćenju koja je za srpanj veća u odnosu na veljaču. Osim toga, razlog različitih rezultata može biti i promjena osvijetljenja centra Varaždina, malo drugačija lokacija mjerenja ili pak sami vremenski uvjeti.

Tablica 11. Rezultati mjerenja ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Centar Varaždina.

Lokacija	Datum i vrijeme	1. mjerenje	2. mjerenje	3. mjerenje	Srednja vrijednost
Centar Varaždina	04.08.2022. 22:35	14,33	14,77	14,86	14,65±0,28

Izgled i osvjetljenost centra Varaždina prikazana je Slikom 24.



Slika 24. Centar Varaždina (vlastita fotografija)

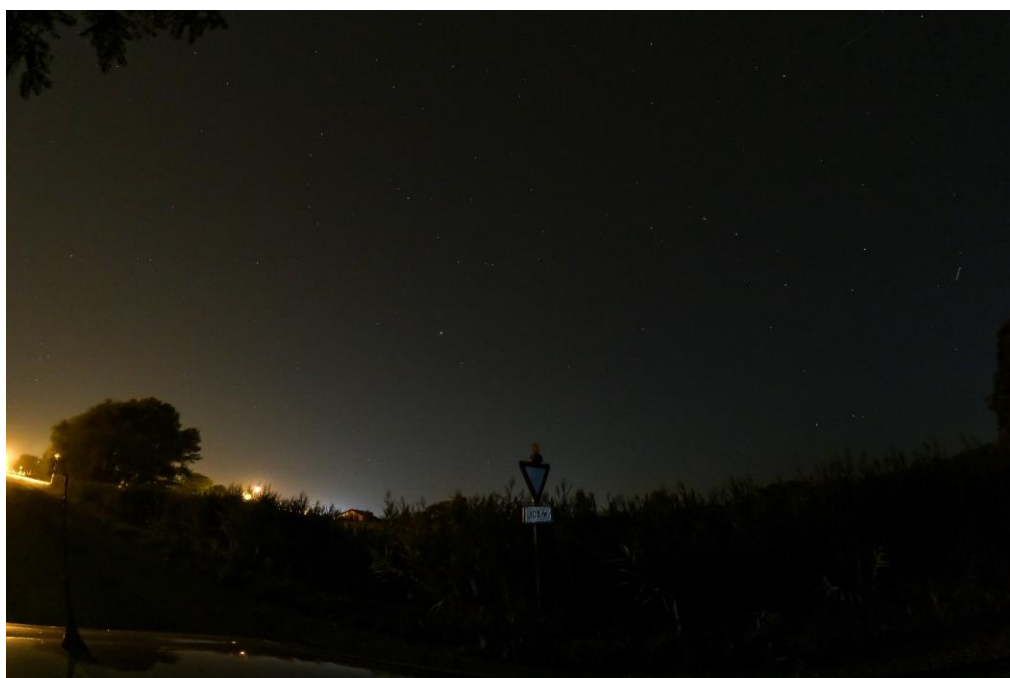
4.3.3. Periferija Varaždina

Rezultati mjerenja su prikazani tablicom 12 te je svjetlosno onečišćenje, odnosno svjetlina noćnog neba periferije Varaždina iznosila u prosjeku $18,35 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$. Ako se rezultat mjerenja usporedi s Bregović i Hranj [23] čije je rezultat bio $19,04 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$, može se reći da je prisutno manje odstupanje u odnosu na centar grada te je razlika iznosila svega $0,69 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$. Subjektivna ocjena spomenute lokacije prema Bortleovoj skali (Slika 7) bi iznosila 6 što po opisu odgovara svjetlijem prigradskom nebu.

Tablica 12. Rezultati mjerenja (mag/arcsec^2) svjetlosnog onečišćenja – Periferija Varaždina.

Lokacija	Datum i vrijeme	1. mjerenje	2. mjerenje	3. mjerenje	Srednja vrijednost
Periferija Varaždina	04.08.2022. 22:55	18,48	18,25	18,32	18,35±0,12

Navedena razlika u rezultatima je najvjerojatnije zbog različitih lokacija mjerenja na periferiji grada Varaždina. Svjetlosno onečišćenje Varaždina također je vidljivo iz Slike 25.

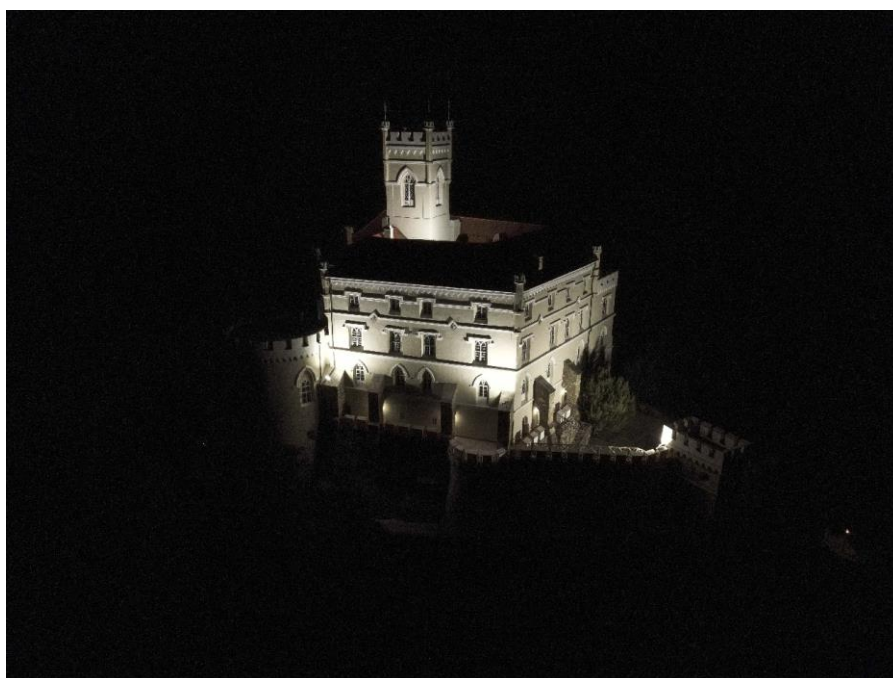


Slika 25. Periferija Varaždina (vlastita fotografija)

4.3.4. Trakošćan

Zadnja destinacija za mjerenje svjetlosnog onečišćenja, odnosno svjetline noćnog neba, bila je dvorac Trakošćan (Slika 26). Na području dvorca je osvijetljen parkirni prostor te sam dvorac. Oko dvorca se nalazi šuma te je na cijelom tom okolnom području vrlo mračno. Osvjetljenje dvorca isto je krajobrazno osvjetljenje kojeg bi trebalo biti čim manje, pogotovo kada u kasnim večernjim satima više nema

posjetitelja. Jaka rasvjeta dvorca trebala bi se noću gasiti ili barem zamijeniti s nekom koja je puno slabija i ne emitira preveliku svjetlosnu energiju.



Slika 26. Dvorac Trakošćan [20]

Mjerenjem svjetline noćnog neba dvorca Trakošćan dobiveno je $19,45 \text{ mag/arcsec}^2$ (Tablica 13) što u principu i nije jako svjetlosno zagađenje. Subjektivna ocjena lokacije dvorca Trakošćan prema Bortleovoj skali (Slika 7) iznosi 4 što po opisu odgovara prigradskoj, odnosno seoskoj tranziciji.

Tablica 13. Rezultati mjerenja (mag/arcsec^2) svjetlosnog onečišćenja – Trakošćan

Lokacija	Datum i vrijeme	1. mjerjenje	2. mjerjenje	3. mjerjenje	Srednja vrijednost
Trakošćan	05.08.2022. 00:05	19,44	19,55	19,37	$19,45 \pm 0,09$

Može se vidjeti iz rezultata da je kvaliteta neba na području Trakošćana vrlo dobra. To su do sada najbolje dobiveni rezultati, a razlog tome je lokacija Trakošćana koji se ne nalazi pored velikog grada već su oko njega manja mjesta koja nisu previše osvijetljena. Ali bez obzira na dobru kvalitetu noćnog neba, kao što se može vidjeti iz fotografije, sam dvorac emitira određeno svjetlosno onečišćenje (Slika 27).



Slika 27. Svjetlost koju u nebo emitira dvorac Trakošćan (vlastita fotografija)

Nakon svih provedenih mjerenja primijećeno je da pri mjerenju većih svjetlosnih zagađenja, odnosno kada je nebo svjetlije, uređaj izmjeri mag/arcsec^2 nakon samo nekoliko sekundi, a kada je malo svjetlosno zagađenje, odnosno tamnije nebo, uređaju je potrebna i do minuta kako bi prikazao rezultat mjerenja.

4.4. Usporedba mjerenja lokacija

Tablicom 14 su prikazane srednje vrijednosti mjerenja svih 9 lokacija u tri županije uz pripadajuće subjektivne ocjene prema Bortleovoj skali te opis pripadajućih ocjena.

Tablica 14. Srednja vrijednost rezultata mjerenja 9 lokacija te pripadajuće subjektivne ocjene po Bortleovoj skali i njihov opis

Lokacija	Srednja vrijednost mjerenja (mag/arcsec ²)	Subjektivna ocjena prema Bortleovoj skali	Opis Bortleove klasifikacije
Slavonska avenija – Go2Digital ekran	13,00	9	Nebo iznad centra grada
Slavonska avenija	12,81	9	Nebo iznad centra grada
Sljeme – 1. lokacija	16,91	6	Svjetlije prigradsko nebo
Sljeme – 2. lokacija	18,31	6	Svjetlije prigradsko nebo
Stubičke Toplice – reklamni ekran	10,62	9	Nebo iznad centra grada
Stari grad Varaždin	15,84	8	Gradsko nebo
Centar Varaždina	14,65	8	Gradsko nebo
Periferija Varaždina	18,35	6	Svjetlije prigradsko nebo
Trakošćan	19,45	4	Prigradsko-seoska tranzicija

Prema dobivenim rezultatima vidi se da je najlošija kvaliteta noćnog neba, odnosno najveće svjetlosno zagađenje prisutno uz reklamni ekran u Stubičkim Toplicama (10,62 mag/arcsec²), a najbolji rezultat, odnosno najmanje svjetlosno zagađenje je prisutno na nebu iznad dvorca Trakošćan (19,45 mag/arcsec²) (Tablica 14). Kada bi se rezultati uspoređivali prema subjektivnoj ocjeni Bortleove skale, 3 lokacije (Slavonska avenija - 2 lokacije i Stubičke Toplice) su dobile najveću ocjenu, odnosno 9 što odgovara nebu iznad centra grada, a samo lokacija kod dvorca Trakošćan ima ocjenu 4 što po opisu odgovara prigradsko – seoskoj tranziciji. Obje sljemenske lokacije isto

kao i periferija Varaždina prema Bortleovoj skali imaju subjektivnu ocjenu 6 što odgovara svjetlijem prigradskom nebu. Nadalje, ocjenu 8 prema Bortleovoj skali su dobile lokacije Starog grada te centra Varaždina što prema opisu prikazuje nebo iznad grada.

5. Zaključak

Iako ga možda svaki da ne primjećujemo, svjetlosno onečišćenje je svuda oko nas. Ono nije toliko vidljivo kao što su ostala vrsta onečišćenja na Zemlji, ali svakim danom se sve više povećava i postaje sve veći globalni problem. Svakom novom nepotrebnom svjetlosnom instalacijom, kao što su veliki reklamni ekrani koji svijetle cijelu noć, krajobrazna rasvjeta, nepravilno postavljena rasvjeta i slično, doprinosimo svjetlosnom onečišćenju. Evidentno je da se nalazimo u digitalnom dobu te da sve informacije dobivamo putem medija ili nekog oblika ekrana. No, bez obzira, to nije uvijek pozitivna i ispravna metoda. Iz ovog je rada vidljivo da neki reklamni ekrani kada rade noću, previše blješte te tako ometaju naš prirodni ciklus i spavanje. Osim štete koju svjetlosno onečišćenje nosi ljudima, može se primijetiti i loš utjecaj na životinje. One budu često dezorijentirane zbog umjetnog osvjetljenja te ne razlikuju noć od dana. Veliki problem stvaraju i nepravilno postavljena ulična rasvjeta ili nepotrebna krajobrazna rasvjeta. Različite lokacije na kojima su provedena mjerenja pokazuju različite rezultate, te tako i različitu kvalitetu noćnog neba. Rezultati ukazuju da je najlošija kvaliteta noćnog neba, odnosno najveće svjetlosno zagađenje prisutno uz reklamni ekran u Stubičkim Toplicama, a najbolji rezultat, odnosno najmanje svjetlosno zagađenje je prisutno na nebu iznad dvorca Trakošćan. Svjetlosno onečišćenje nije nešto što se može riješiti preko noći, ali edukacijom i razgovorom o toj temi moguće je sve više podići svijest stanovništvu naše Zemlje. Kako bismo mi kao pojedinci počeli s promjenom, prvo trebamo promijeniti našu kućnu rasvjetu i ukloniti sva nepotrebna svjetla.

6. Literatura

- [1] Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Svjetlosno onečišćenje okoliša, Pristupljeno: 10.07.2022.,
<https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/svjetlosno-oneciscenje-okolisa/>
- [2] Terlević, I., (2011), Diplomski rad, Svjetlosno onečišćenje, Pristupljeno: 10.07.2022.
- [3] National Geographic, Light Pollution, Pristupljeno: 10.07.2022.,
<https://education.nationalgeographic.org/resource/light-pollution>
- [4] NLRIP, Lighting Answers, Light pollution, Pristupljeno: 10.07.2022.
<https://www.lrc.rpi.edu/programs/nlrp/lightinganswers/lightpollution/skyglow.asp>
- [5] Light pollution map, Pristupljeno: 10.07.2022.
<https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=5.00&lat=45.3571&lon=15.0084&layers=BOFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF>
- [6] Svijet svjetiljki.hr, Što je svjetlosni tok i intenzitet svjetlosti?, (2021), Pristupljeno: 10.07.2022.
<https://www.svijet-svjetiljki.hr/clanci/sto-je-svjetlosni-tok-i-intenzitet-svjetlosti/>
- [7] Kuridža, A., (2017), Završni rad, Pametna cestovna gradnja, Pristupljeno: 10.07.2022.
- [8] Live Science, Light pollution: Environmental impact, health risks and facts, Pristupljeno: 13.07.2022.
<https://www.livescience.com/light-pollution>
- [9] EurekAlert, Artificial Light at Night (IMAGE), Pristupljeno: 13.07.2022.,
<https://www.eurekalert.org/multimedia/705524>
- [10] Florida Atlantic University Astronomical Observatory, Light Pollution Affects Mammals in the Environment, Pristupljeno: 13.07.2022.,
https://cescos.fau.edu/observatory/lightpol-Mammals.html#Beier_LAN_Mammals
- [11] Golden Hills, Stargazing Western Skies, Pristupljeno: 13.07.2022.
<https://www.goldenhillsrpd.org/news/stargazing-western-skies>
- [12] Florida Atlantic University Astronomical Observatory, Light Pollution Kills Birds in the Environment, Pristupljeno: 13.07.2022.
<https://cescos.fau.edu/observatory/lightpol-Birds.html>

- [13] FLAP Canada, We protect birds from a deadly leading threat: collisions with buildings, Pristupljeno: 13.07.2022.
<https://flap.org/>
- [14] Motor1.com, Oh deer! Keep an eye out for animals on the road, Pristupljeno: 13.07.2022.
<https://uk.motor1.com/news/375505/watch-out-for-deer/>
- [15] Florida Atlantic University Astronomical Observatory, Light Pollution Decimates Insects in the Environment, Pristupljeno: 13.07.2022.
<https://cescos.fau.edu/observatory/lightpol-Insects.html>
- [16] ScienceDirect, Olsen. N. R., Mitchell. M. D., (2010), The economics of global light pollution, Pristupljeno: 14.07.2022.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800909004121#sec2>
- [17] Cambridge, Hunter. B. T., Crawford, L. D., Economics of light pollution, Pristupljeno: 14.07.2022.
<https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/17753488673F087EF3E1477A33E04730/S0252921100003778a.pdf/economics-of-light-pollution.pdf>
- [18] Lozić. S., Sunčeva energija, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Pristupljeno: 14.07.2022.
<https://www.unizd.hr/Portals/6/nastavnici/Sanja%20Lozic/OPK%205%20-%20Sun%C4%8Deva%20energija.pdf>
- [19] NASA Science, Gallery of NASA Sun Images, Pristupljeno: 14.07.2022.
<https://spaceplace.nasa.gov/gallery-sun/en/>
- [20] Fotografija: Velimir Gluhak
- [21] Florida Atlantic University Astronomical Observatory, Prevent Light Pollution, Pristupljeno: 14.07.2022.
<https://cescos.fau.edu/observatory/lightpol-prevent.html>
- [22] IDA, International Dark-sky association, Light Pollution Solutions, Pristupljeno: 14.07.2022.
<https://www.darksky.org/light-pollution/light-pollution-solutions/>
- [23] Bregović. D., Hranj. M., Natjecanje iz astronomije 2021. godine, Granična magnituda kao pokazatelj kvalitete neba na primjeru grada i okolice, Pristupljeno: 15.06.2022.

- [24] Google maps, Pristupljeno: 16.08.2022.
<https://www.google.com/maps/@46.0899299,16.0645044,10z>
- [25] Wikipedia, Sky Quality Meter, Pristupljeno: 14.07.2022.
https://en.wikipedia.org/wiki/Sky_quality_meter
- [26] Go2Digital, O mediju, Pristupljeno: 30.07.2022.
<https://www.go2digital.hr/about/>
- [27] Večernji List, Divovski reflektori na petlji više neće raditi, Pristupljeno: 30.07.2022.
<https://www.vecernji.hr/zagreb/divovski-reflektori-na-petlji-vise-neece-raditi-1027054>

7. Popis slika

Slika 1. Prikaz svjetlosnog onečišćenja na području Republike Hrvatske

Slika 2. Monokromatsko zračenje

Slika 3. Kontinuirano zračenje

Slika 4. Diskretno zračenje

Slika 5. Prikaz spajanja vektora kod jakosti svjetlosti

Slika 6. Vizualni prikaz luminacije

Slika 7. Bortleova ljestvica tamnog neba

Slika 8. Koncentracija različitih insekata i šišmiša oko ulične rasvjete

Slika 9. Srna ispred vozila noću

Slika 10. Sunce

Slika 11. Fotonaponska solarna elektrana u Konjšćini

Slika 12. Loše i dobro postavljena vanjska svjetla

Slika 13. Loše osvijetljena šetnica u Starom gradu, Varaždin

Slika 14. Prikaz na mapi lokacija mjerenja

Slika 15. SQM uređaj

Slika 16. Reklamni ekran na Slavonskoj aveniji

Slika 17. Račvanje na Slavonskoj aveniji

Slika 18. Slavonska avenija na području Kruga

Slika 19. Prva lokacija mjerenja na Sljemenu

Slika 20. Druga lokacija mjerenja na

Slika 21. Reklamni ekran u Stubičkim Toplicama

Slika 22. Stari grad Varaždin noću

Slika 23. Stari grad Varaždin noću – ptičja perspektiva

Slika 24. Centar Varaždina

Slika 25. Periferija Varaždina

Slika 26. Dvorac Trakošćan

Slika 27. Svjetlost koju u nebo emitira dvorac Trakošćan

8. Popis tablica

Tablica 1. Valne duljine elektromagnetskog zračenja (UV – ultraljubičasto zračenje; IR – infracrveno zračenje)

Tablica 2. Svjetlotehničke veličine i jedinice

Tablica 3. Pokazatelj svjetlosnog toka kod različitih vrsta žarulja

Tablica 4. Vrijednosti intenziteta osvjetljenja za pojedine prostorije

Tablica 5. Različiti izvori svjetlosti i različite luminacije

Tablica 6. Rezultati mjerenja svjetlosnog onečišćenja – Go2Digital ekran, Srednja vrijednost ($n=3$) je prikazana uz pripadajuću standardne devijaciju

Tablica 7. Rezultati mjerenja ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Slavonska avenija

Tablica 8. Rezultati mjerenja ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Sljeme, 1. lokacija

Tablica 9. Rezultati mjerenja($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Sljeme, 2. lokacija

Tablica 10. Rezultati mjerenja($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Stari grad Varaždin

Tablica 11. Rezultati mjerenja ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Centar Varaždina

Tablica 12. Rezultati mjerenja ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Periferija Varaždina

Tablica 13. Rezultati mjerenja ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) svjetlosnog onečišćenja – Trakošćan

Tablica 14. Srednja vrijednost rezultata mjerenja 9 lokacija te pripadajuće subjektivne ocjene po Bortleovoj skali i njihov opis