

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Glavaš, Robert

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:200:791204>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

**SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE
U
REPUBLICI HRVATSKOJ**

Završni rad

Robert Glavaš

Osijek, 2021.

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

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 16.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

| | |
|---|---|
| Ime i prezime studenta: | Robert Glavaš |
| Studij, smjer: | Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija |
| Mat. br. studenta, godina upisa: | 4511, 23.07.2018. |
| OIB studenta: | 03240114172 |
| Mentor: | Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić |
| Sumentor: | |
| Sumentor iz tvrtke: | |
| Naslov završnog rada: | Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj |
| Znanstvena grana rada: | Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika) |
| Predložena ocjena završnog rada: | Izvrstan (5) |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina |
| Datum prijedloga ocjene mentora: | 16.09.2021. |
| Datum potvrde ocjene Odbora: | 22.09.2021. |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija: | Potpis: |
| | Datum: |

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

Osijek, 22.09.2021.

| | |
|----------------------------------|---|
| Ime i prezime studenta: | Robert Glavaš |
| Studij: | Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija |
| Mat. br. studenta, godina upisa: | 4511, 23.07.2018. |
| Turnitin podudaranje [%]: | 7 |

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Klaić

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 završnog rada | 1 |
| 2. SVJETLOST I SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE | 2 |
| 2.1. Elektromagnetsko zračenje | 2 |
| 2.1.1 Spektar vidljivog svjetla..... | 3 |
| 2.1.2 Svjetlost dualne prirode..... | 3 |
| 2.1.3 Temperatura boja | 5 |
| 2.2. Svjetlotehničke veličine | 6 |
| 2.3. Vizualne percepcije | 7 |
| 2.3.1 Ljudsko oko..... | 7 |
| 2.4. Rasvjetna tijela kao izvori svjetlosnog onečišćenja | 7 |
| 2.4.1 Tehnologija umjetnog svjetla | 7 |
| 2.4.2 Štetnosti određene rasvjete..... | 8 |
| 3. UTJECAJI I POSLJEDICE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA | 10 |
| 3.1. Utjecaj na čovjeka | 10 |
| 3.2. Utjecaj na životinjski i biljni svijet | 10 |
| 3.2.1 Utjecaj na životinjski svijet | 10 |
| 3.2.2 Utjecaj na biljni svijet | 11 |
| 3.3. Ekonomski aspekti | 12 |
| 3.4. Rad zvjezdarnica | 12 |
| 4. ZAŠTITA I MJERENJE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA | 15 |
| 4.1. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja | 15 |
| 4.1.1 Mjere zaštite | 15 |
| 4.1.2 Planiranje vanjske rasvjete | 16 |
| 4.2. Mjerenje i određivanje svjetlosnog onečišćenja | 18 |
| 4.2.1 Uređaji..... | 18 |
| 4.2.2 Statistički model..... | 20 |
| 4.2.3 Mjerenje na terenima..... | 22 |
| 5. ZAKLJUČAK | 25 |
| 6. LITERATURA | 26 |
| 7. SAŽETAK | 28 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| 8. ABSTRACT | 28 |
| 9. ŽIVOTOPIS | 29 |

1. UVOD

Izum električne žarulje prije 150 godina jedna je od najbitnijih prekretnica u povijesti čovječanstva. Umjetna svjetla osvijetlila su nekoć tamne i nesigurne ulice, što je uveliko doprinijelo kvaliteti života, ali uz posljedice svjetlosnog onečišćenja koje se stvara pretjeranim osvijetljenjem gradova i noćnog neba. Tema ovog završnog rada je svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj te će se ono u idućih nekoliko poglavlja detaljnije opisati, razmotrit će se čimbenici negativnih posljedica te mogućih alternativa u cilju smanjenja svjetlosnog onečišćenja. Bez obzira na oblik svjetlosnog onečišćenja, ono može imati neželjen i štetan učinak, primjerice može uzrokovati poremećaje u dnevno-noćnom ciklusu te isto tako uzrokuje povećane emisije ugljikovog dioksida u atmosferu. Posljednjih nekoliko desetljeća, svjetlosno onečišćenje izrazito je raslo te je stoga uloženo mnogo truda kako bi se to spriječilo, uključujući korištenje energetski učinkovitijih žarulja te pametnijim planiranjem i usmjeravanjem vanjske rasvjete. U drugom poglavlju govori se o općenitim pojmovima svjetlosti, kako ona nastaje te o njezinim fizikalnim veličinama i kako se računaju, zatim o razvijanju tehnologije umjetnog svjetla koje je uvelike promijenilo svijet te njegovoj štetnosti. Tema trećeg poglavlja je štetni utjecaj određenih rasvjetnih tijela na ljudski, životinjski i biljni svijet, a razmotrit će se i ekonomski aspekti svjetlosnog onečišćenja u Republici Hrvatskoj, zatim slijedi razmatranje utjecaja istog na rad Zvezdarnice Višnjan. O načinu mjerenja svjetlosnog onečišćenja s ciljem njegovog smanjenja govori se u četvrtom poglavlju kao i o tome koji zakoni su propisani kod planiranja i postavljanja vanjske rasvjete.

1.1. Zadatak završnog rada

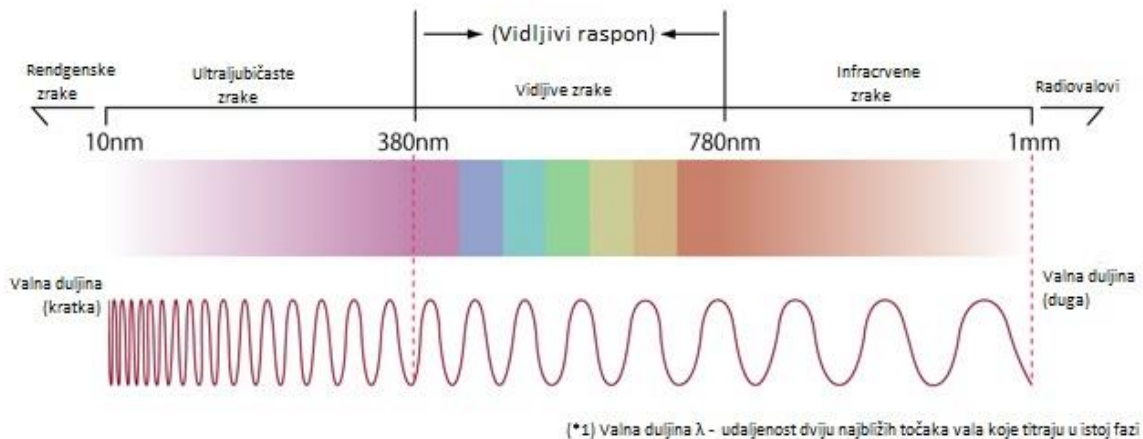
Zadatak završnog rada je proučavanje i opisivanje svih posljedica, relativno novog, onečišćenja uzrokovanog umjetnim svjetlom te kako se ono nastoji smanjiti brojnim zakonima, mjerama i normama u Republici Hrvatskoj jer svojim djelovanjem uzrokuje mnoge negativne posljedice na okoliš.

2. SVJETLOST I SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

2.1. Elektromagnetsko zračenje

Elektromagnetsko zračenje možemo objasniti kao emisiju čestica i/ili elektromagnetskih valova te ih dijelimo na prirodne i umjetne. Ono što vidimo kao svjetlost samo je mali dio elektromagnetskog spektra. Elektromagnetski spektar odnosi se na mnoge vrste zračenja koje oslobađaju zvijezde, uključujući i Sunce. Elektromagnetsko zračenje putuje u valovima. Frekvencija opisuje koliko valova u sekundi proizvede valna duljina, a ona predstavlja duljinu pojedinačnog vala u metrima. Znanstvenici opisuju elektromagnetski spektar kao dugačak niz. Podjela elektromagnetskog spektra temelji se na tome mogu li zrake ionizirati atome ili ne. Ionizirajuće zrake visokih frekvencija, a malih valnih duljina mogu pretvoriti atome u ione, dok zračenje koje nema dovoljno energije za razbijanje atoma, nazivamo neionizirajuće, niskih su frekvencija i visokih valnih duljina te predstavljaju vidljivu svjetlost, ultraljubičasto zračenje, infracrveno i druge. Na jednom kraju leže radiovalovi s najdužim valnim duljinama i najnižom frekvencijom u spektru. Nakon radiovalova dolaze mikrovalne pećnice koje proizvode više energije zbog kraće valne duljine i većih frekvencija. Mobitel, radari i mikrovalne pećnice koriste mikrovalove. Sunce, živa bića i drugi izvori topline proizvode infracrveno svjetlo. Iako se infracrveno svjetlo ne vidi, ono se osjeća kao toplina. Vidljivo svjetlo zauzima uski dio elektromagnetskog spektra, a smješteno je između infracrvenog i ultraljubičastog svjetla. Nakon vidljive svjetlosti dolazi ultraljubičasto svjetlo. Ljudska koža proizvodi vitamin D kada je izložena ultraljubičastom svjetlu, ali prekomjerna količina ultraljubičastog svjetla uzrokuje opekline od Sunca. Sljedeće su rendgenske zrake koje prolaze kroz meko tkivo, ali ne i gušće materijale poput kostiju, što ih čini vrijednima za medicinska testiranja. Rendgenske zrake također imaju svrhu i u sigurnosti poput provjere prtljage na aerodromu. Gama zrake proizvode još kraće valne duljine, veće frekvencije i više energije [1].

Spektar svjetlosti



Slika 2.1. Prikaz elektromagnetskog spektra [2]

2.1.1 Spektar vidljivog svjetla

Svjetlost se sastoji od čestica i valova, koji se sastaju kako bi oblikovali vid i boje, čiji su elektromagnetski valovi raspona valnih duljina od 380 nanometara do 780 nanometara. Svjetlost nadražuje mrežnicu u ljudskom oku te zbog različitih valnih duljina izaziva vizualni osjet koji čovjek doživljava kao vid raznih boja [1]. Svaka valna duljina u spektru odgovara određenoj frekvenciji i ima svoju jedinstvenu boju. Ovaj spektar vidljive svjetlosti sastoji se od šest glavnih boja. Crvene valne duljine imaju najniže frekvencije i najduže valne duljine vidljive svjetlosti. Prelaskom s narančaste, žute, zelene, plave i na kraju ljubičaste boje svjetla valne duljine se skraćuju, a frekvencije povećavaju.

2.1.2 Svjetlost dualne prirode

Dualna priroda svjetlosti može se opisati dvjema teorijama, valnom i kvantnom. Svjetlo je dio elektromagnetskog zračenja koja nastaju titranjem električno ili magnetski nabijenih tijela. To su gama zrake, UV, vidljive i infracrvene zrake te mikro radiovalovi. Valovi se sastoje od oscilirajućih električnih i magnetskih polja međusobno okomitih na širenje valova. Elektromagnetski valovi putuju brzinom $3 \cdot 10^8$ m/s što je brzina svjetlosti u vakuumu. Važne karakteristike valnog kretanja su valna duljina, frekvencija, valni broj i brzina vala. Brzina širenja vala, udaljenost koju val prijeđe u jednoj sekundi, može se zapisati formulom [1]:

$$c = f * \lambda \quad (2-1)$$

gdje je:

f – frekvencija vala [Hz]

λ – valna duljina vala [nm]

Temelj kvantne, odnosno čestične, teorije svjetlosti predložio je Isaac Newton gdje tvrdi da se svjetlost sastoji od sitnih čestica. Newton je napravio eksperiment u kojem je kroz prizmu usmjerio svjetlost, snop fotona, te je primijetio kako se različite boje lome pod različitim kutovima. Raspored različitih vrsta elektromagnetskih zračenja prema redoslijedu njihove rastuće valne duljine ili opadajuće frekvencije poznat je kao elektromagnetski spektar. Fotoelektrični učinak je fenomen emisije elektrona u metalima kada je osvijetljen svjetlom odgovarajuće frekvencije. Određeni metali reagiraju na ultraljubičasto svjetlo dok su drugi osjetljivi čak i na vidljivo svjetlo. Fotoelektrični učinak uključuje pretvaranje svjetlosne energije u električnu energiju. Nepodudarnost je bila u tome što sposobnost svjetla da izbaci elektron ovisi samo o njegovoj frekvenciji, a ne o njegovom intenzitetu [1]. Albert Einstein proširio je koncept koji je razvio Max Planck. Planck je zaključio kako energija nije kontinuirana, već kvantizirana. Einstein je proširio ono što je Planck rekao o energiji i racionalizirao da svjetlost također mora biti napravljena od kvanta koje je nazvao fotoni, odnosno čestice svjetlosti. To objašnjava fotoelektrični učinak jer se elektron izbacuje kad ga udari foton s dovoljno energije. Potreban je samo jedan foton što znači da će to moći učiniti i najslabiji snop iznad određene frekvencije, ali ako niti jedan od njih nema minimalnu energiju, bez obzira na to koliko fotona udari u uzorak, elektron se neće izbaciti. Utvrđeno je da se energija fotona može dati sljedećom jednadžbom [3]:

$$E = h * f \quad (2-2)$$

gdje je:

h – Planckova konstanta [$6,626 * 10^{-34}$ [Js]]

f – frekvencija fotona [Hz]

Energija fotona također se može povezati s valnom duljinom elektromagnetskog vala pomoću izraza (2-1) što daje [1]:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2-3)$$

gdje je:

h – Planckova konstanta [$6,626 * 10^{-34}$ [Js]]

c – brzina širenja vala [m/s]

λ – valna duljina vala [nm]

2.1.3 Temperatura boja

Osvjetljenje plamenom (npr. svijećama i uljnim lampama) bilo je pretežni izvor svjetlosti kroz povijest, sve dok nije počelo dominirati električno zagrijavanje niti (ugljik, a zatim volfram). Zajedničko svim ovim rasvjetnim tijelima jest da se tvar zagrijava do odgovarajuće temperature radi emitiranja toplinskog širokopojasnog zračenja. Svaka svjetiljka može se povezati s "temperaturom boje" koja opisuje osjet svjetla na ljudskom oku, dok isto može razlikovati od 7 do 10 milijuna boja [4].

Tijela s temperaturama od oko 1600 Kelvina (K) predstavljaju toplu boju i zrače u infracrvenom dijelu spektra. Žuto-narančastu boju pri 2700 K daje klasična žarulja s volframovom niti, a na istu boju čovjek se prilagođavao tisućama godina putem svijeća i zato takva rasvjeta daje ugodan osjećaj u prostoru prilagođenom komfornom životu. Temperature iznad 6000 K, iako ih doživljavamo kao visoke, daju hladnu boju, odnosno bijelo-plavu. Svjetlost od oko 5000 K oponaša dnevno svjetlo, a primjeri rasvjete koje mi koristimo su štedne i LED žarulje od oko 5500 K [5]. Temperaturnu ljestvicu boja u Kelvinima možemo vidjeti na slici 2.2.

Kelvinova temperaturna ljestvica boja



Slika 2.2. Temperaturna ljestvica boja [6]

2.2. Svjetlotehničke veličine

Svjetlotehnička veličina koja opisuje količinu svjetlosti u jedinici vremena je svjetlosni tok Φ . Mjerna jedinica je lumen (lm), no ona nije dio osnovnih mjernih jedinica SI sustava. Svjetlosni tok računa se množenjem svjetlosne jakosti I i kuta osvjetljenja Ω .

Rasvjetljenost opisuje količinu svjetla koja pada na neku plohu. Mjerna jedinica je lux, a računa se dijeljenjem svjetlosnog toka Φ i površine P .

Svjetlosna jakost ili intenzitet svjetla čija je mjerna jedinica kandela (cd) jedna je od osnovnih fizikalnih veličina koja predstavlja snagu elektromagnetskog širenja, a definira se kao omjer svjetlosnog toka i kuta u koji tok ulazi.

Luminancija je sjajnost neke površine koju doživljava oko, a definira se kao svjetlosni tok koji ta površina emitira. Površina može biti izvor svjetlosti ili može biti obasjana svjetlošću. Mjeri se mjernom jedinicom kandela po metru kvadratnom [7].

Tablica 2.1. Fotometrijske veličine [7]

| Veličina | Oznaka | Mjerna jedinica | Formula |
|-------------------|--------|--|---------------------------|
| Svjetlosni tok | Φ | Lumen [lm] | $\Phi = I * \Omega$ |
| Rasvjetljenost | E | Lux [lx] | $E = \frac{\Phi}{P}$ |
| Svjetlosna jakost | I | kandela [cd] | $I = \frac{\Phi}{\Omega}$ |
| Luminancija | L | kandela po metru kvadratnom [cd/m ²] | $I = \frac{I}{P}$ |

Svaka žarulja za proizvodnju svjetlosti koristi električnu energiju i možemo izračunati njihovu učinkovitost. Postoje dvije vrste učinkovitosti, svjetlosna i ekonomska učinkovitost.

Svjetlosna učinkovitost \mathcal{K} mjeri se u lumenima po watu i govori koliko lumena izvor svjetla daje po uloženoj watu energije. Energetska učinkovitost izražava se u postocima, a mjeri se u radiometrijskim jedinicama i predstavlja omjer snage uložene u izvor svjetla i svjetlosne snage koju isti daje.

Energetski učinkovitija rasvjeta je ona čijoj je omjer svjetlosti (lumena) prema utrošenoj energiji (vatima) veći. Svjetlosne učinkovitosti različitih vrsta žarulja dani su u tablici 2.2. [8].

Tablica 2.2. Svjetlosne učinkovitosti κ i učinkovitosti η različitih žarulja [8]

| Vrsta žarulje | Svjetlosna učinkovitost κ [lm/W] | Energetska učinkovitost η [%] |
|--------------------------------|--|---------------------------------------|
| Žarulja sa žarnom niti | 12 | 1 |
| Volframova žarulja | 15 | 2 |
| Halogena žarulja | 20 | 3 |
| Visokotlačna živina žarulja | 50 | 5 |
| Fluorescentna žarulja | 90 | 9 |
| Visokotlačna natrijeva žarulja | 120 | 12 |
| Niskotlačna natrijeva žarulja | 160 | 16 |
| Svjetleća dioda (LED) | 50-90 | 7-12 |

2.3. Vizualne percepcije

2.3.1 Ljudsko oko

Oko je jedan od složenijih ljudskih organa. Rožnica služi kao prva ploha optičkog sustava, odnosno kroz nju svjetlost ulazi u oko. Zadaća optičkog sustava je tvorba slike na mrežnici, zatim svjetlost prolazi kroz unutrašnji rub šarenice, to jest zjenice koja se širi, odnosno sužava kako bi se oko prilagodilo svjetlosti okoline. Dalje svjetlost prolazi kroz leću koja omogućava izoštravanje slike predmeta na različitim udaljenostima radom mišića. Svjetlost potom prolazi kroz staklovinu do mrežnice gdje se svjetlost pretvara u živčane impulse koji tada odlaze u mozak gdje i nastaje slika okoline koju čovjek vidi.

Pri promjeni svjetline okoline, oku je potrebno vrijeme da se prilagodi. U ljudskom oku postoje dvije vrste osjetnih stanica, štapići i čunjići, koji pomažu oku u prilagođavanju pri smanjenju svjetlosti okoline, odnosno povećanju svjetlosti [4].

2.4. Rasvjetna tijela kao izvori svjetlosnog onečišćenja

2.4.1 Tehnologija umjetnog svjetla

Čovječanstvo se stoljećima koristilo gorivim tijelima kao izvorima svjetlosti, međutim dobro je poznato kako se svjetlost može proizvoditi i bez zagrijavanja. Osim svjetiljki na plamen, koje se još uvijek koriste u svakodnevnom životu, otprilike 1,6 milijarde ljudi nemaju pristup električnoj mreži, u većem dijelu svijeta stanovništvo koristi rasvjetu na električni pogon za proizvodnju umjetne svjetlosti.

Čovječanstvu je umjetno svjetlo koristilo za produljenje produktivnog dana, nudeći tako više vremena za rad kao i za rekreacijske aktivnosti koje zahtijevaju svjetlost. Međutim kada umjetna vanjska rasvjeta postane neučinkovita i nepotrebna, to nazivamo svjetlosni zagađenjem. Mnogi ekolozi i medicinski istraživači smatraju da je svjetlosno onečišćenje jedan od najbrže rastućih i najzastupljenijih oblika onečišćenja okoliša, a sve veći broj znanstvenih istraživanja utvrđuje da svjetlosno onečišćenje može imati trajne štetne učinke na zdravlje ljudi i životinja.



Slika 2.3. Izvori umjetne svjetlosti [9]

2.4.2 Štetnosti određene rasvjete

Izumom električne žarulje 1879. godine te s naglim porastom stanovništva, počelo je nekontrolirano svjetlosno onečišćenje.

Volframova žarulja početkom prošlog stoljeća prvi je tip žarulje kojoj električna energija zagrijava žarnu nit koja zagrijavanjem počne svijetliti. Užarena nit, danas najčešće izrađena od volframa, gori na zraku te je iz tog razloga od velikog značenja zaštitno staklo koje štiti nit od utjecaja atmosfere svojim zrakopraznim prostorom. Iako imaju malu energetska učinkovitost, i danas su takve žarulje u velikoj upotrebi [10].

Modernija inačica volframove žarulje jest halogena žarulja čiji je balon napravljen od kvarcnog stakla, a u prostoru se nalazi smjesa halogenih plinova (klor, brom, ...) koji štite nit od

isparavanja. Iz tog razloga nit se može više zagrijati i proizvoditi svjetla za istu količinu utrošene električne energije [10].

Zatim postoje žarulje s fluorescentnim cijevima koje sadržavaju razrijeđeni plin te prolaskom električne energije kroz medij dolazi do svijetljenja. Dio dobivenog spektra je ultraljubičasto zračenje i iz tog razloga opasne su za zdravlje. Izloženost takvim žaruljama se ne preporuča jer izazivaju tamnjenje kože, no u većim količinama i opekline, a u nekoj mjeri i rak kože [11]. Kako bi se zaštitili, unutrašnja stjenka takvih žarulja premazuje se s kombinacijom fosfora koje proizvode vidljivi spektar pod djelovanjem ultraljubičastog zračenja. U solarijima se koriste žarulje koje pak propuštaju određeni dio ultraljubičastog zračenja. Visoka učinkovitost u odnosu na ostale žarulje je velika prednost, a postoje i kompaktne fluorescentne žarulje koje su svojim oblikom prilagođene svjetiljkama za žarulje sa žarnom niti. Vanjska rasvjeta se ne projektira fluorescentnim žaruljama, izuzetak su niskotlačne žarulje zbog visoke učinkovitosti. Svjetleće diode, tzv. LED žarulje danas su najčešće u upotrebi i predstavljaju najmoderniji izvor umjetnog svjetla. Sastoje se od posebnog poluvodiča koji stvara svjetlost kada električna energija prolazi kroz njega. Staromodne žarulje nisu uspjele proizvesti hladnije boje slične dnevnom svjetlu, dok LED pretežno emitiraju hladniju boju svjetlosti. LED prolaze kroz tehnološki i ekonomski razvoj te se sada koriste kao sastavni dio rasvjetnih sustava s primjenom u kućanstvu, industrijskim i komercijalnim granama gospodarstva. LED se smatraju jednim od energetski najučinkovitijih oblika svjetlosti, ali ometaju mnoge vrste, uključujući i ljude. Najbližije su Sunčevoj svjetlosti, no nažalost one negativno utječu na ljude i druge vrste, mogu poremetiti uobičajeni životni ritam i ometati način spavanja stimulirajući mozak da se budi noću [12].

Umjetna rasvjeta je omogućila čovjeku produktivnost i noću. Nesumnjivo je to jedna od prednosti rasvjete noću, no s druge strane čovjekov biološki ritam u trajanju od 24 sata se uvelike promijenio. Dnevno-noćni ritam nije bitan samo za spavanje/budnost, već i za protok krvi, rast kose, razinu proizvodnje hormona i tjelesnu temperaturu. Stoga je ovaj ciklus presudan za ljudsko zdravlje, a stalno izlaganje umjetnom svjetlu može učiniti proizvodnju melatonina nepravilnom te u najgorem slučaju uzrokovati rak.

3. UTJECAJI I POSLJEDICE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA

3.1. Utjecaj na čovjeka

Više od 60% svjetske populacije živi pod nebom onečišćenim svjetlošću, a gotovo petina svijeta pati od svjetlosnog onečišćenja. Nema sumnje da izlaganje svjetlu noću kod ljudi ne izaziva samo remećenje dnevno-noćnog ritma, već i uzrokuje smanjenje proizvodnje i lučenja melatonina. Osim naravno trajanja izloženosti, varijable odgovorne za suzbijanje stvaranja melatonina su i intenzitet svjetlosti i valna duljina [13].

Otkriće novog fotoreceptora koji ne stvara slike i fotopigmenta melanopsina omogućilo je bolje razumijevanje ljudske percepcije svjetlosti. Predmet istraživanja bio je utjecaj valne duljine svjetlosti na ljude, te je praćenjem i mjerenjem budnosti, termoregulacije, otkucaja srca i razina melatonina utvrđeno kako valna duljina ima značajan utjecaj. Isto tako pokazano je da izlaganje monokromatskom svjetlu na 460 nm u trajanju od dva sata u kasnim večernjim satima značajno potiskuje izlučivanje melatonina, a pod istim intenzitetom, vremenom i trajanjem izloženosti, ali uz valnu duljinu od 550 nm takvi učinci nisu primijećeni. Pokazalo se da čak osvjetljenje od samo 1,5 luxa utječe na biološki ritam [14]. Već i osvjetljenje spavaće sobe koje se može pronaći u većini domova u večernjim satima, dovoljno je za smanjenje i odgodu proizvodnje melatonina. Promjena biološkog ritma može uzrokovati poremećaje u radu, budnosti, spavanju te metabolizmu. Kao što je gore navedeno, izloženost svjetlosti noću potiskuje proizvodnju melatonina, a budući da je melatonin antikancerogeno sredstvo, niže razine u krvi mogu potaknuti i rast nekih vrsta karcinoma. Izloženost svjetlosti noću djeluje izravno, ali i neizravno na fiziologiju, uzrokujući poremećaje spavanja i nesanicu, što može imati negativne učinke na nekolicinu bolesti poput dijabetesa, pretilosti i drugih. Stoga se može zaključiti da povećanje intenziteta svjetlosti i široka upotreba "ekološki prihvatljivih žarulja" s emisijom svjetla kratke valne duljine, vjerojatno imaju ozbiljan negativan utjecaj na zdravlje suzbijanjem proizvodnje melatonina [11].

3.2. Utjecaj na životinjski i biljni svijet

3.2.1 Utjecaj na životinjski svijet

Pojam svjetlosnog onečišćenja obuhvaća sve vrste nepotrebnog i nekorisnog emitiranja umjerene svjetlosti u prostor odnosno zonu kojoj rasvjeta nije potrebna te budući da je ta tema tek nedavno adekvatno istražena, zaštita životne okoline i mjere opreza nisu se razvijale razmjerno s modernim tehnologijama što je rezultiralo negativnim posljedicama za biljni i životinjski svijet. Ironično svjetlom najčešće simboliziramo život, a sagledavajući svjetlosno

onečišćenje, svjetlost znači smrt za milijune biljnih i životinjskih vrsta kojima isto onemogućuje obavljanje osnovnih životinjskih potreba te im prijeti nemogućnost razmnožavanja, pronalaska hrane i u konačnici izumiranje. Što se ne odnosi na pojedine vrste, no direktnim i indirektnim utjecajem utječe na ostatak ekosistema.

Evolucija biljnog i životinjskog svijeta nije sklona paralelno pratiti prilagođavanje okolišu napravljenom po čovjekovim potrebama te se u novonastalim uvjetima ne mogu adaptirati za svoj opstanak i bivaju žrtve nehumanosti i nepromišljenosti. Primjerice, kako svjetlosno zagađenje ometa gniježđenje ptica, uviđa se kako je broj gnijezda u određenim staništima znatno smanjen, a na drugima gotovo više i ne postoje. Zatim, gubljenje orijentacije ptica selica usred ometanja izazvanog svjetlosnim onečišćenjem, uslijed prejake i loše usmjerene svjetlosti koja ih ometa u letenju te stradaju na različite načine. Jedna od najtežih posljedica bio bi hormonalni poremećaj zbog kojeg dolazi do gniježđenja u kasnu jesen umjesto u proljeće. Samim tim mladuncima je smanjena vjerojatnost preživljavanja. Isto tako, morske kornjače more prepoznaju po odsjaju svjetla na njegovoj površini. Ukoliko se u blizini nalazi rasvjeta koja svoju svjetlost usmjerava k moru, nerijetko se događa da kornjače, privučene njome, stradavaju od grabežljivaca ili pod kotačima automobila [15].

3.2.2 Utjecaj na biljni svijet

Po pitanju utjecaja umjetne rasvjete noću na biljke, eksperimentalne studije pokazale su da relativno niska razina svjetlosti ili čak kratkotrajna svjetlost mogu utjecati na odgovor biljaka na fotoperiod te se takve razine često zapažaju kod noćne rasvjete u okolišu. Osim toga, visoka razina crvene boje kod većine oblika vanjske rasvjete čine ih posebno učinkovitima u ometanju detekcije foto-razdoblja, dok LED rasvjeta bogata plavom bojom, koja je sve popularnija, snažno emitira u području spektra na koje su osjetljivi kriptokrom i fototropini. Uočeno je da listopadno drveće u urbanim sredinama koje je noću rasvijetljeno umjetnim svjetlom, npr. uličnom rasvjetom, zadržava lišće dulje. Određene su vrste drveća osjetljivije na izravnu rasvjetu od drugih, ali kod nekoliko vrsta sađenih kao urbano drveće uz cestu to je uobičajena pojava [16]. U Europi, a tako i u Republici Hrvatskoj, navedeni je fenomen uočen kod *Aesculus hippocastanum* i *Betula pendula*, odnosno divljeg kestena i breze. Takve promjene u fenologiji lišća mogu imati značajne učinke na zdravlje, preživljavanje i reprodukciju biljaka. Zabilježene su ozljede uslijed niskih temperatura kod lišća zadržanog na gradskom drveću pod uličnim svjetlima. Kasnije vrijeme opadanja lišća listopadnih stabala uzrokuje izloženost fotosintetskog tkiva mrazu te dolazi do oštećenja istih.

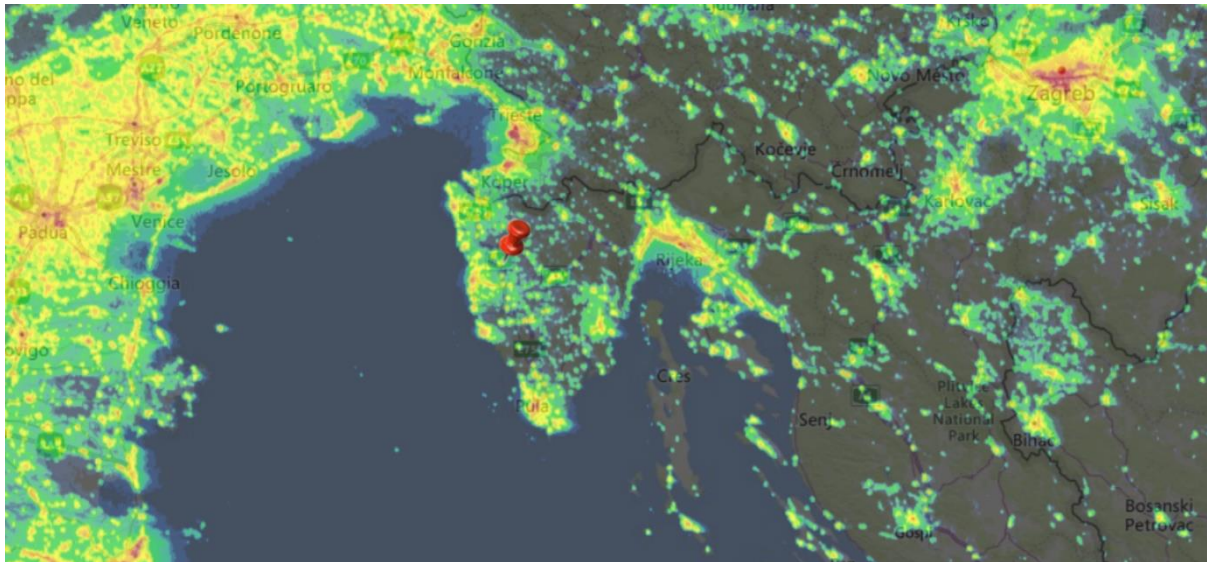
3.3. Ekonomski aspekti

Kako bi korištenje svjetlosne energije u ekonomskom aspektu ostalo učinkovito, pravilnikom o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima nalaže se: „Rasvjeta mora biti projektirana, izgrađena i održavana sukladno Zakonu o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, odredbama ovoga Pravilnika, zahtjevima i uvjetima utvrđenim posebnim propisima kojim se uređuje područje građenja, zaštite okoliša i prirode, energetske učinkovitosti te pravilima arhitektonskih, građevinskih, elektrotehničkih i ostalih struka u području rasvjete [18].“ te time uspostavlja svjetlostaj svim jedinicama lokalne samouprave u Republici Hrvatskoj, odnosno nalaže: „Za vrijeme svjetlostaja intenzitet dekorativne rasvjete se mora smanjiti za najmanje 50 % početnog intenziteta ili ugaziti [18].“, no to pravilo vrijedi i za oglasne ploče, tehnološke procese, poslovne i ugostiteljske građevine. Također je preporučeno korištenje energetski učinkovitih svjetlosnih izvora, učinkovito upravljanje njima te projektiranje istih u skladu s normama. Na javnu rasvjetu se u Republici Hrvatskoj utroši oko 3 % od ukupne potrošene energije, no to se pokušava umanjiti brojnim projektima Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, njih čak 310 u vrijednosti većoj od 257 milijuna kuna. Fond je isplatio više od 123 milijuna kuna te je istim projektima, ne samo godišnje uštedio 26 milijuna kuna, već je i time smanjena emisija CO₂ za više od 10 tisuća tona [19]. Negativnoj strani ekonomskih aspekata ponajviše pridonosi neodgovarajuća rasvjeta koja uzrokuje rasipanje svjetlosti i lošu rasvijetljenost željenih ploha, a često i neprofesionalne komunalne službe pridonose tome jer problem pokušavaju riješiti dodatnim postavljanjem javne rasvjete, a istim se postupkom povećava potrošnja energije, rade dodatni troškovi održavanja i povećava svjetlosno onečišćenje što, dugim nizom godina, povisuje zdravstvene troškove, a smanjuje bioraznolikost.

3.4. Rad zvjezdarnica

Na sve veći problem svjetlosnog onečišćenja ukazuje činjenica kako trećina čovječanstva ne može vidjeti Mliječni put. Rezultati do kojih su došli američki znanstvenici govore da 80% stanovnika Sjeverne Amerike ne vidi galaksiju, no svjetlosnom onečišćenju svjedoče i hrvatski astronomi. Zvjezdarnica Višnjan koja je smještena 16 km od Poreča jedna je od najproduktivnijih zvjezdarnica svijeta po broju otkrivenih asteroida. Međutim, taj uspjeh neće potrajati ako se nastavi rasvjetljavanje noćnog neba jer je svjetlosno onečišćenje istog iz godine u godinu sve veće. Zbog tog problema, stara Zvjezdarnica Višnjan prestala je s radom 2001. godine, a nova zvjezdarnica se postavila 3 km nedaleko od stare na brdu Tičan. Zvjezdarnica

se svo vrijeme bori protiv svjetlosnog onečišćenja noćnog neba, a jedan od problema je rasvjeta na autocestama, točnije na izlasku s Istarskog ipsilona kod Višnjana postavljena je prekomjerna rasvjeta, no novi problem im prijeti grad Motovun koji se nalazi 8 km od zvjezdarnice u kojem se planira realizacija projekta *dnevna vizura grada* za vrijeme noći.

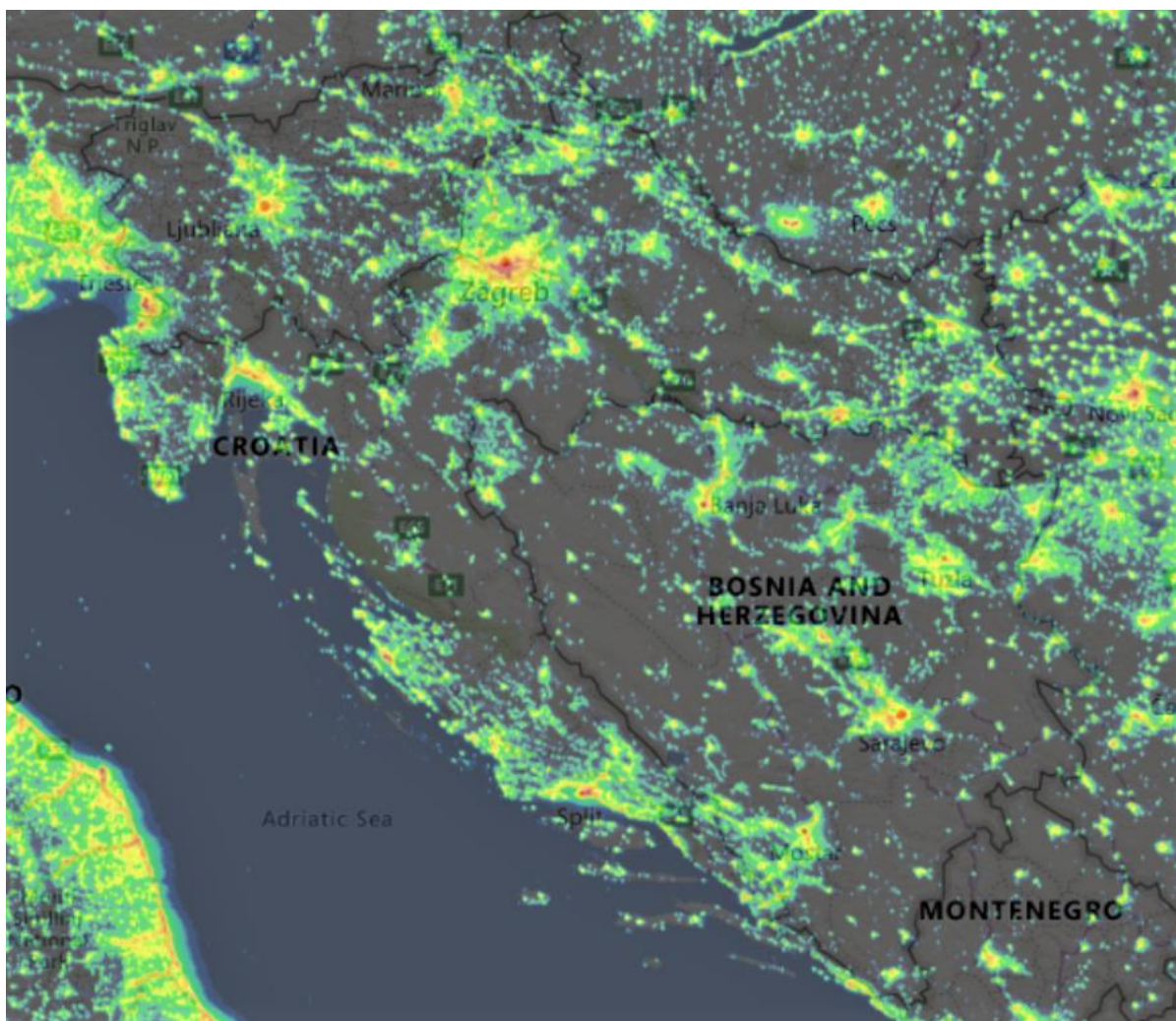


Slika 3.1. Lokacija Zvezdarnice Višnjan uz prikazano svjetlosno onečišćenje [30]

Poznati astronom iz Višnjana, jedan od najuspješnijih tragača za asteroidima na svijetu, Korado Korlević utvrdio je kako postoji problem shvativši da je dnevno-noćni ciklus kod životinja poremećen, a nedugo zatim kako su i ljudi ugroženi. Zbog lošeg dizajna rasvjete povećava se razina svjetlosti tijekom noći, što je rezultiralo pojavom problema smanjenja populacije noćnih leptira i šišmiša, i uvećanim brojem crnih udovica čija su prehrana mrtvi kukci koje ubijamo svjetlošću. Mravi rade noću, ptice se gnijezde ranije i ekspanzija vrabaca samo su neki od problema na koje je Korlević naišao. U Zvezdarnici Višnjan, otkrio je dva kometa i preko 1000 asteroida, a u želji da nastavi istraživati i astronomski educira mlade u Republici Hrvatskoj, postao je jedan od najvećih hrvatskih boraca protiv svjetlosnog onečišćenja.

Korlević imao je ideju o izgradnji znanstveno-edukacijsko-turističkog parka u dijelu zvjezdarnice Višnjan kako bi se ljudi educirali i stvorili veću svijest o astronomiji te koliko je ona bitna, no najbitnija predispozicija za to je da noćno nebo ne bude obasjano jačom svjetlošću kako bi posjetitelji mogli uopće vidjeti Svemir i nebeska tijela [17]. Međutim, svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj je u konstantom porastu te uz financijske poteškoće zvjezdarnice od 2001. godine do 2017. godine., projekt nije realiziran do samog kraja, što Korlevića nije spriječilo u educiranju posjetitelja Zvezdarnice Višnjan i u nastavku borbe

protiv svjetlosnog onečišćenja. Za posljedicu nestanka noći krivi loš dizajn rasvjete, nepotreban intenzitet svjetlosti te usmjerenost prema nebu gdje rasvjeta nije potrebna. Glavni je zagovornik uvođenja svjetlostaja u Republici Hrvatskoj, a mnogim se edukativnim predavanjima, peticijama i znanstvenim radovima zalaže za budućnost bez svjetlosnog onečišćenja. Korlević tvrdi kako je od svih onečišćenja koja postoje, najlakše spriječiti svjetlosno: regulacijom snopa svjetlosti, promjenom dizajna i pravilnom ugradnjom rasvjete, ne bi se postiglo samo smanjenje širenja svjetlosti prema nebu, već bi i značajno doprinijelo uštedi energije koja se trenutno nepotrebno troši.



Slika 3.2. Prikaz svjetlosnog onečišćenja Republike Hrvatske [30]

4. ZAŠTITA I MJERENJE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA

4.1. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja

Racionalnom upotrebom rasvjetnih tijela uvelike bi se smanjio ovaj relativno nov problem svjetlosnog onečišćenja, no navedeni problem u Republici Hrvatskoj nije dostatno zakonski reguliran. Pretjerana rasvjeta na prometnicama te rasvjeta ispred ustanova samo su neki od problema koji se povezuju uz svjetlosno onečišćenje.

4.1.1 Mjere zaštite

Kako bi se postigli navedeni ciljevi, propisan je Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja koji je objavljen u Narodnim novinama, broj 14/2019. Mjere propisuju zaštitu od škodljive svjetlosti, te zaštitu prirodnih zaštićenih objekata i noćnog neba od umjetnog svjetla. Odredbama se nastoji kontrolirati vanjsku rasvjetu, svjetlosne instalacije, cestovnu rasvjetu, industrijska postrojenja, dijelove prometnica, sportske površine, oglasne ploče i mnoge druge [20].

„Zaštitom od svjetlosnog onečišćenja osigurava se zaštita ljudskog zdravlja, cjelovito očuvanje kvalitete okoliša, očuvanje bioraznolikosti i krajobrazne raznolikosti, očuvanje ekološke stabilnosti, zaštita biljnog i životinjskog svijeta, racionalno korištenje prirodnih dobara i energije na najpovoljniji način za okoliš, kao osnovni uvjet javnog zdravstva, zdravlja i temelj koncepta održivog razvitka [20].“

U Zakonu za zaštitu okoliša, izdanom u Narodnim novinama br. 110/2007. u članku 31. pojam svjetlosnog onečišćenja definiran je kao „promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovana emisijom svjetlosti iz umjetnih izvora svjetlosti koja štetno djeluje na ljudsko zdravlje i ugrožava sigurnost u prometu zbog bliještanja, neposrednog ili posrednog zračenja svjetlosti prema nebu [21].“

Nadalje, Zakon o sigurnosti prometa na cestama, Narodne novine br. 70/2019 članak br. 15 nalaže zabranu korištenje znakova, svjetla i drugih predmeta koji svojim intenzitetom svjetlosti narušavaju vidljivost u prometu do mjere ugrožavanja života. Za prekršaj ovog članka kaznit će se svaka osoba novčanom kaznom u iznosima od 1500 do 15000 kuna [22].

„Na cesti se ne smiju postavljati ploče, znakovi, svjetla, stupovi ili drugi slični predmeti kojima se zaklanja ili smanjuje vidljivost postavljenih prometnih znakova, ili koji svojim oblikom, bojom, izgledom ili mjestom postavljanja oponašaju neki prometni znak ili slične na neki

prometni znak, ili zaslepljuju sudionike u prometu, ili odvrćaju njihovu pozornost u mjeri koja može biti opasna za sigurnost prometa [22].“

4.1.2 Planiranje vanjske rasvjete

Definicija vanjske rasvjete je „rasvjeta koja se koristi za rasvjetljavanje okoliša, a uključuje: cestovnu, javnu, dekorativnu, krajobraznu, prigodnu te rasvjetu za zaštitu i oglasne ploče [20].“

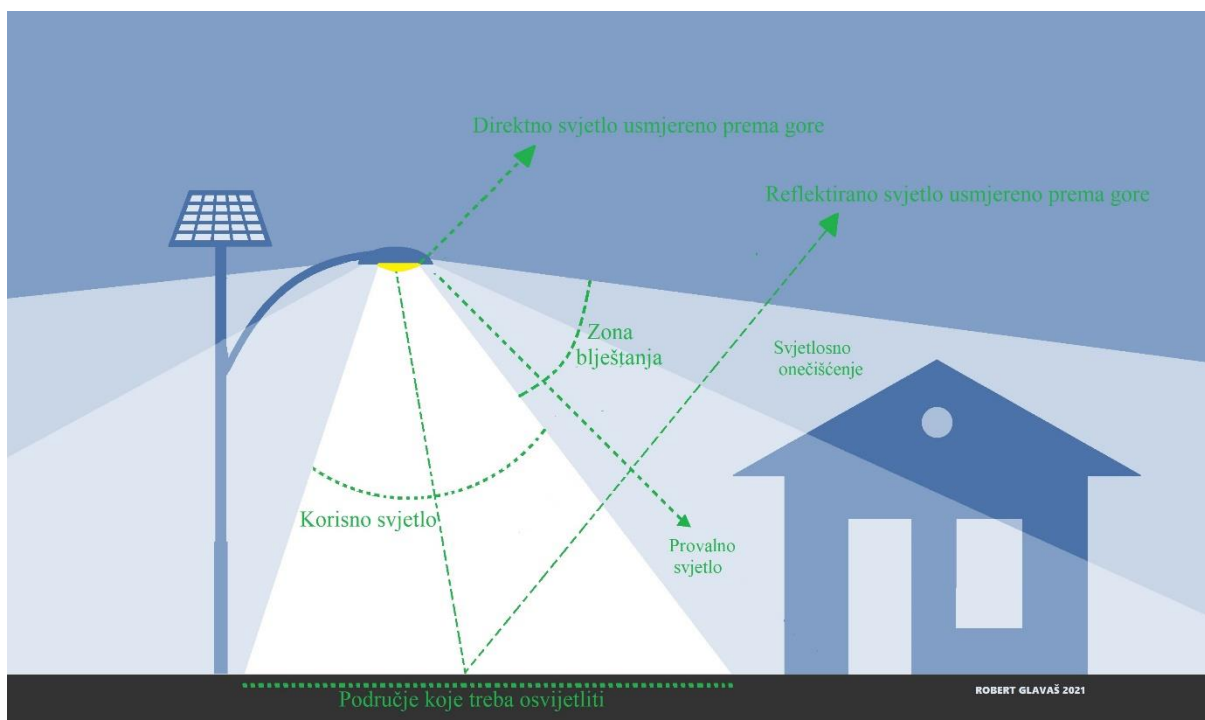
Vanjska rasvjeta postala je važan dio društva jer povećava sigurnost kretanja vozila i pješaka, no nepravilno postavljena vanjska rasvjeta najveći je uzrok svjetlosnog onečišćenja, stoga su precizno planiranje, pravilno postavljanje rasvjete te konstrukcija rasvjete ključni faktori za sprječavanje rasipanja svjetlosti kao i energetske učinkovitost. Kako bi se to postiglo, jedinice lokalne samouprave dužne su prilikom planiranja javne rasvjete napraviti plan odobren od strane ministarstva zaduženog za zaštitu okoliša.

Vanjska rasvjeta dijeli se u tri skupine: cestovnu, urbanu i reflektorsku, a najčešće se pojavljuju četiri vrste žarulja: LED, halogene, natrijeve i živine žarulje. Sve popularnije žarulje su LED jer su energetske učinkovitije od ostalih i vijek trajanja im je dulji, ali njihova učinkovitost raste proporcionalno s većim udjelom plavog spektra pri emisiji svjetla. Zbog povećanog plavog spektra, pri lošim uvjetima na cesti, npr. magli, dolazi do efekta plavog zida čija je posljedica smanjena vidljivost. Kako bi se očuvala sigurnost, donesen je Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja prema kojem temperatura svjetiljki ne smije prelaziti 3000 K [5]. Nadalje u zaštićenim područjima se s ciljem očuvanja ekosustava dozvoljava postavljanje rasvjete temperature boje svjetlosti do 2200 K te su za potrebe toga osmišljene takozvane amber LED žarulje bez navedenog plavog spektra zbog čega im je smanjena učinkovitost. Tijekom godina se, osim osvjetljavanja kolnika i nogostupa, stvorila potreba za osvjetljavanjem spomenika, zgrada i parkova, a započeo je i marketing s osvjetljenim reklamama u cilju privlačenja pozornosti prolaznika koje uz nepravilno i nepromišljeno postavljanje također doprinosi svjetlosnom onečišćenju te samim time mora biti regulirana. Navedena rasvjeta mora biti usmjerena isključivo na sami reklamni prostor odnosno ne smije se rasipati na okolni te su reklamni panoi s emisijom svjetlosti većom od propisane zabranjeni.

U Republici Hrvatskoj većinom su prisutne ulične natrijeve i živine svjetiljke, a zbog mjera zaštita od svjetlosnog onečišćenja, one se zamjenjuju ekorasvjetom. „Ekološka rasvjeta mora biti: energetske učinkovita, zasjenjena i usmjerena, odgovarajuće boje svjetlosti, umjerenog intenziteta i opravdana [23].“ Kako je cestovna rasvjeta često nepotrebna, pretjerano

rasvijetljena, pregusto postavljena, veći broj svjetiljki na jednom stupu, one se zamjenjuju ekološki prihvatljivijim.

Prema kriterijima Europske komisije za ekorasvjetu godišnje na javnu rasvjetu po glavi stanovnika smije biti potrošeno do 15 kWh, a zabranjuje se i postavljanje rasvjetnih tijela na ceste i križanja koja se ne nalaze u naseljima. Isto tako same ceste smiju biti rasvijetljene do $0,5 \text{ cd/m}^2$, a rasvjetni stupovi moraju imati adekvatan razmak među sobom, koji iznosi minimalno $3,7 \times$ njihove visine, što u Republici Hrvatskoj nije propisano. Nadalje, razina rasvijetljenosti prozora stambenih zgrada trebala bi biti u rasponu od 0,01 do 0,5 lux što je u Republici Hrvatskoj regulirano do 5 luxa [24]. Prikaz rasvijetljenja vanjske rasvjete te kako se svjetlost raspršuje prikazan je na slici 4.1. Svako svjetlo koje sjaji preko horizonta doprinosi narančastom sjaju noćnog neba. Ulična svjetla glavni su uzrok sjaja neba, a učinci se mogu vidjeti nekoliko kilometara od istih zagađujućih svjetala. Zona blještanja je svjetlo koje sja u oku i sprječava osobu da pravilno vidi osvijetljeno područje. Provalno svjetlo je svjetlo koje ne samo da rasvjetljava svoje ciljano područje, već i rasvjetljava drugo područje koje nije željeno. „*Provalno svjetlo* je onaj dio svjetlosnog toka koji rasvjetljava prostor između korisnog svjetla i horizontale obzorja svjetiljke i koji zahvaća površinu u susjedstvu koja nije u vlasništvu investitora rasvjete [18].“



Slika 4.1. Širenje svjetla vanjske rasvjete [25]

4.2. Mjerenje i određivanje svjetlosnog onečišćenja

Količina svjetlosti zaprimljena na uređaju pretvara se u svjetlinu, a ona se može svrstati u svjetlinu koja dolazi izravno iz izvora svjetlosti i svjetline koja se reflektira od objekta. Izmjerena vrijednost svjetline razlikuje se ovisno o udaljenosti od izvora svjetlosti i orijentacije izvora svjetlosti, a pri mjerenju vanjskog izvora svjetlosti, prema metodi mjerenja svjetline, svaki izvor svjetlosti u okolini može utjecati na osvijetljenje ciljanog izvora svjetlosti, stoga se ispituju promjene svjetline prema promjeni udaljenosti i kuta mjerne površine te odnosa izmjerenog izvora svjetlosti i njegove okoline.

4.2.1 Uređaji

Danas se primjenjuje nekoliko različitih metoda mjerenja svjetline noću. Najjednostavniji postupak mjerenja je uz uređaj *Sky Quality Meter*, odnosno *SQM* kojeg je dovoljno usmjeriti prema noćnom nebu kako bi njegov senzor izmjerio kvalitetu noćnog neba i očitao vrijednosti u magnitudama po lučnoj sekundi na kvadrat, $\text{mag}/\text{arcsec}^2$, a očitani podaci mogu se pretvoriti u cd/m^2 množenjem $10,8 * 10^4 * 10^{(-0,4 * [\text{vrijednost očitana u SQM uređaju}])}$. Postoje i mnogi drugi ručni uređaji za mjerenje svjetline, iako sličnog načela rada, SQM je u najširoj upotrebi u svijetu zbog lakog upravljanja i povoljne cijene koja iznosi oko 1500 kn [26].



Slika 4.2. Sky Quality Meter [27]

Korištenjem *all-sky* kamera omogućeno je analiziranje sjajnosti kroz cijelu nebesku polukuglu rabeći objektiv *fish-eye* čijom lećom je vidljiv cijeli svod jer se kamera nalazi iza leće, no cijena takvog mjerenja u Republici Hrvatskoj iznosi oko 12.000 kn [26].



Slika 4.3. Snimka snimljena fish-eye lećom [28]

Zbog sve veće razine sjajnosti noćnog neba, astronomi diljem svijeta najviše su osjetili rastući problem svjetlosnog onečišćenja. Stoga se noćno nebo najviše promatra iz profesionalnih astronomske opservatorija koristeći tradicionalnu tehniku fotometrije. Povijesna fotometrijska mjerenja obavljala su se ljudskim okom te su obuhvaćali vidljivi spektar elektromagnetskih valova, a suvremena elektroničkim fotometrima. Današnji fotometri sadrže fotodetektore koji zbog fotoelektričnog efekta uzrokuju promjenu u nekom od fotoelemenata, npr. u fotootporniku mijenja se električni otpor.

4.2.2 Statistički model

Merle Walker, astronom iz SAD-a, nakon mnogih mjerenja svjetline noćnog neba, formulirao je zakon širenja povećanja svjetline noćnog neba u ovisnosti o veličini naselja i udaljenost od njegova središta koji je danas poznat kao Walkerov zakon te glasi [26]:

$$\Delta L = c_0 p d^{-2,5}$$

gdje je:

ΔL – povećanje sjajnosti noćnog neba [$\frac{cd}{m^2}$]

c_0 – konstanta proporcionalnosti [$\frac{cd}{m^2}$ /stanovniku]

d – udaljenost mjesta opažanja od središta naselja [m]

p – populacija naselja

Konstanta proporcionalnosti, koja sadržava nekoliko faktora koji proporcionalno povećavaju sjajnost noćnog neba s količinom umjetnog svjetla, može se raščlaniti:

$$c_0 = \epsilon r_0$$

gdje učinkovitost raspršenja oznakom ϵ predstavlja dio svjetlosti koji se kroz atmosferu rasipa te na taj način stvara svjetlosno onečišćenje, a r_0 mjerne jedinice lm/stanovniku označava količinu svjetlosti koju javna rasvjeta zrače po glavi stanovnika. Kod ovog zakona se zanemaruje utjecaj reljefa, odnosno pretpostavlja se da je promatrano područje ravno u cilju lakšeg modeliranja što kao rezultat daje najveću količinu svjetlosnog onečišćenja, dok je u stvarnosti s reljefom manja količina istog zbog zatamnjenja dijela izvora umjetne rasvjete [26]. Kako bi se rezultat dobiven Walkerovim zakonom popravio, s obzirom zakrivljenosti Zemljine kugle, množi se formulom:

$$f = \exp\left(-\frac{h}{h_a}\right)$$

gdje je:

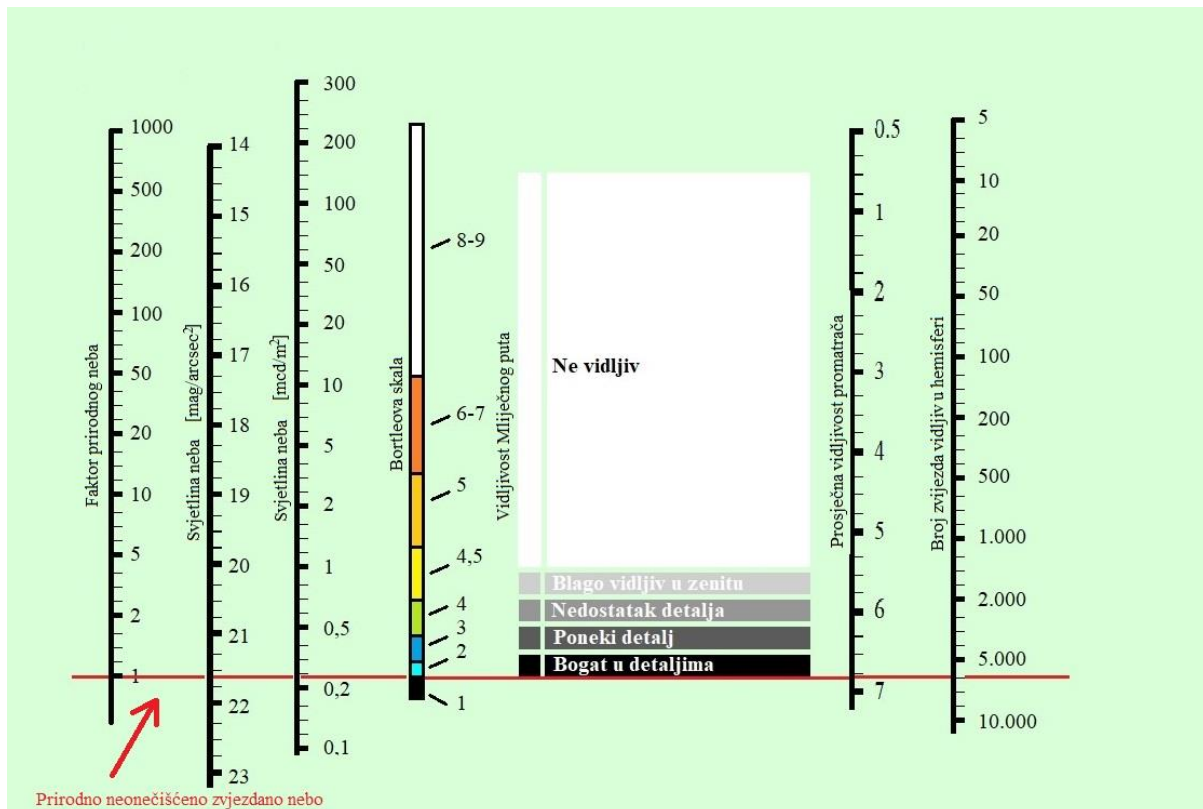
h – depresija obzora s obzirom na oko promatrača

h_a – visina na kojoj koncentracija aerosola pada na 1/e koncentracije uz tlo

Izračunati rezultat Walkerovim zakonom iskazan je mjernom jedinicom magnitude po lučnoj sekundi na kvadrat.

Nomogramom svjetline noćnog neba može se napraviti usporedba različitih ljestvica vodoravnom crvenom linijom, a na slici 4.4. ona označava razinu sjajnosti prirodnog neba za neonečišćeno zvjezdano nebo te se Mliječni put može vidjeti golim okom promatrača.

Lijeva ljestvica daje faktor za svjetlo prirodnog neba. Drugu ljestvicu često koriste astronomi uz mjernu jedinicu magnitude po lučnoj sekundi na kvadrat ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) što daje sjajnost neba od jedne kvadratne lučne sekunde. Prirodna razina je oko $21,6 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ pri minimumu Sunčeve aktivnosti. Treća je ljestvica koju često koriste svjetlosni inženjeri i predstavlja sjajnost pri maksimalnom odzivu oka pri 555 nm mjerne jedinice u mcd/m^2 (milikandela po kvadratnom metru). Razina sjajnosti prirodnog neba je oko $0,25 \text{ mcd}/\text{m}^2$, a što je faktor veći, vidljiv je manji broj zvijezda, no i Mliječni put. Bortleova, četvrta ljestvica na slici 4.4., sadrži raspon brojeva od 1 do 9 tako da 1 predstavlja čisto tamno nebo, a 9 nebo nad jakom svjetlošću. Peta ljestvica je približna ljestvica jer ovisi o iskustvu, oštini i promjeru zjenice oka promatrača, a prikazuje veličinu zvijezda koje se mogu vidjeti golim okom. Na neonečišćenom tamnom nebu raspon je oko 6,6 - 6,8 za "prosječne" promatrače, a vrijednosti do magnitude 8 zabilježene su za iskusne promatrače. Približan broj zvijezda koje promatrač može vidjeti nalazi se na ljestvici sasvim desno [29].



Slika 4.4. Nomogram svjetline noćnog neba [29]

4.2.3 Mjerenje na terenima

Prema Andreićevom znanstvenom radu rezultati mjerenja i modeliranja provedeni prema Walkerovom zakonom ukazuju kako je svo područje umjereno onečišćeno, osim nekoliko otoka, dijela Gorskog kotara i Like čije lokacije mjere svjetlinu noćnog neba iznad 21 mag/arcsec².

Tablica 4.1. Mjerenje Andreića i suradnika na nekoliko lokacija

| Lokacija | Mjerenje putem SQM uređaja | Predviđanje modela |
|---------------------------|----------------------------|--------------------|
| Kanfanar | 20,8 | 19,5 |
| Lastovo | 21,8 | 21,7 |
| Novigrad Podravski | 20,9 | 20,4 |
| Petrova gora | 21,6 | 21,4 |
| rt Kamenjak | 21,0 | 20,9 |
| Tičan | 21,1 | 20,9 |
| Pula – stara zvjezdarnica | 18,8 | 18,0 |
| Višnjan | 20,7 | 19,5 |

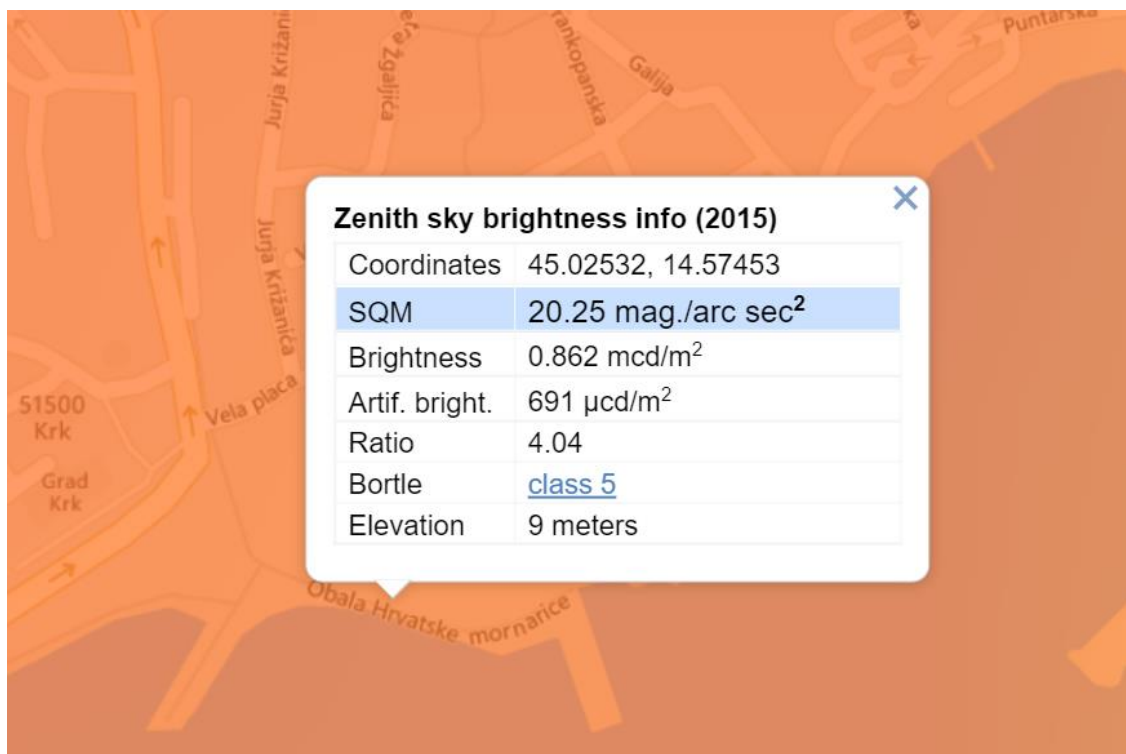
Andrić i suradnici ponovili su više puta broj mjerenja na nekoliko lokacija u Republici Hrvatskoj te uzeli rezultat najtamnijeg noćnog neba, mjerenja su provedena SQM uređajem čiji su rezultati zapisani u tablici 4.1 uz rezultate predviđenog modela te usporedba izmjerenih podataka odgovara predviđenim modelom. Najudaljenija mjesta izmjerila su sjajnost noćnog neba iznad 21,6 mag/arcsec² što je i iznos prirodne sjajnosti te isti predstavlja čisto noćno nebo, poput Lastova i Petrove gore. Nasuprot tome, izmjerene su vrlo niske vrijednosti kvalitete sjajnosti noćnog neba u Puli gdje ona iznosi 18,8 mag/arcsec² izazvana većom količinom vanjske rasvjete koja je često i nepravilno postavljena. Prema Andreiću: „cijelo područje RH barem je malo svjetlosno onečišćeno, s izuzetkom nekoliko izoliranih područja u unutrašnjosti te najizoliranijih jadranskih otoka [26].“ s konstantom proporcionalnosti $36 \frac{cd}{m^2} / stanovniku$ što predstavlja znatnu razinu svjetlosnog onečišćenja te ukazuje na moguće unaprjeđenje javne rasvjete u cilju smanjenja utrošene energije [26].

U kvarnerskom otočnom gradu Krku nalazi se vanjska javna rasvjeta spornog kuglastog dizajna bez pokrova što za posljedicu ima distribuciju neograničene svjetlosti prema noćnom nebu. Rasvjetna tijela bez gornjeg pokrova emitiraju više od 50 % svoje svjetlosti prema nebu ili bočno te kao takve predstavljaju neekološku rasvjetu, a uz povećanje troškova potrošene energije, doprinose i problemima za ljudsko zdravlje i bioraznolikost kao što je već prije obrazloženo.



Slika 4.5. Vanjska rasvjeta na krčkoj rivi

Fotografirao sam lokaciju koja je označena preko *Light pollution map* [30], gdje prema SQM uređaju izmjerena sjajnost noćnog neba iznosi $20,25 \text{ mag/arcsec}^2$, odnosno $0,862 \text{ mcd/m}^2$, na kojoj se jasno vidi rasvjeta kuglastog dizajna, a nalaze se na slici 4.6. Podaci ukazuju na umjereno svjetlosno onečišćenje koje prevlada na većini teritorija Republike Hrvatske. Za usporedbu, najtamnije noćno nebo mjeri svjetlinu od $0,25 \text{ mcd/m}^2$, a najsvjetlije noćno nebo u nizozemskim gradskim centrima koja mjere svjetlinu od 8 mcd/m^2 , dok mjerenje SQM uređajem pokazuje vrijednosti od 17 mag/arcsec^2 [14].



Slika 4.6. Podaci rasvijetljenosti noćnog neba grada Krka [30]

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada bio je istražiti odnosno kritički opisati pojam svjetlosnog onečišćenja te djelovanje istog u Republici Hrvatskoj. Ljudi koji stanuju u urbanim sredinama često su zadivljeni razlikom u izgledu noćnog neba iznad ruralne sredine u odnosu na ono gledano iz gradova. Međutim, pokazano je da svjetlosno onečišćenje sada doseže i ranije mračna udaljena ruralna područja. Ekološke posljedice istoga ne dotiču se samo pojedinih vrsta, već šireg spektra ekosustava. Svjetlosno onečišćenje može utjecati na promijene u obrascima ponašanja koji utječu na orijentaciju, reprodukciju te se iste često povezuju s više životinjskih vrsta. S drastičnim porastom svjetlosnog onečišćenja tijekom proteklih nekoliko desetljeća, posljedice su postale očiglednije. Svako rasipanje svjetla iznad horizontale izaziva rasvjetu neba koje sprječava astronomska promatranja, neekonomično troši energiju i izaziva nevolje sve većem broju ljudi. Preporučeno je korištenje LED rasvjete toplo bijele boje temperature do 3000 K. Isto tako bitno je ciljano rasvjetljavanje pravilnom instalacijom vanjske rasvjete kako bi se izbjeglo rasipanje svjetlosti i rasvjetljavanje neba. Vanjska rasvjeta se između ostalog koristi i za povećanje sigurnosti, ali previše rasvjete ima i određene negativne posljedice. U pravnom smislu, postojeći zakoni Republike Hrvatske bave se svjetlosnim onečišćenjem, sprječavanjem odnosno ublažavanjem istog, ali u nedovoljnoj mjeri kako bi se postigao željeni učinak. Izvori svjetlosti moraju zadovoljavati kriterije energetske učinkovitosti, odnosno moraju imati visoku svjetlosnu učinkovitost, biti dugog vijeka trajanja i imati minimalan udio ultraljubičastog i infracrvenog zračenja. Ono što većina ljudi ne zna je da je svjetlosno onečišćenje jedna od ključnih prijetnji biološkoj raznolikosti, međutim svatko ima mogućnost pomoći u smanjenju istoga. Prvenstveno se treba pobrinuti da su svjetla, a osobito ona na otvorenom, isključena kada nisu potrebna, a i samo prigušivanje svjetla noću bi osim uštede energije rezultiralo i manjim svjetlosnim onečišćenjem.

6. LITERATURA

- [1] K. Krane: Modern physics, 3rd edition, 2012., dostupno na:
<http://hep.fcfm.buap.mx/cursos/bdepot/ModernPhysics-Krane-3ed.pdf>
- [2] https://www.toa.jp/soundoh_wiki/index.php?Soundindex%2FSecure%20Wireless%20Communication-Infrared%20Wireless%20Microphone%20Systems, pristupljeno: srpanj 2021.
- [3] National Council of Educational Research and Training: Physics, Chapter 11: Dual Nature of Radiation and Matter, dostupno na: <https://ncert.nic.in/ncerts/l/leph203.pdf>
- [4] <https://physics.info/color/>, pristupljeno: kolovoz 2021.
- [5] <https://ekorasvjeta.net>, pristupljeno: srpanj 2021.
- [6] <https://www.lightingtutor.com/kelvin-color-temperature/>, pristupljeno: srpanj 2021.
- [7] V. Labinac, B. Milotić: Fizika III: Valovi i optika, Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci 2020.
- [8] <https://www.lipapromet.hr/Usluge/ProjektiranjeSvjetlotehnike>, pristupljeno: srpanj 2021.
- [9] <https://www.simcal.com/2015/12/11/heres-the-scoop-on-high-efficiency-led-lighting-for-your-home/>, pristupljeno: srpanj 2021.
- [10] https://art-rasvjeta.hr/mobile_rasvjeta-savjeti, pristupljeno: srpanj 2021.
- [11] Health Effects of Artificial Light; Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR, 2012., dostupno na:
https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_035.pdf
- [12] W. Pohl, A. Zimmermann: Artificial Lighting, Chapter 3, 2003.
- [13] Hrvatski zavod za javno zdravstvo: Svjetlosno onečišćenje okoliša
- [14] F. Falchi, P. Cinzano: Limiting the Impact of Light Pollution on Human Health, Environment and Stellar Visibility, 2011.
- [15] T. Longcore: Hazard or Hope? LEDs and Wildlife, University of Southern California's School of Architecture
- [16] J. Bennie, T.W. Davies, D. Cruse, K. J. Gaston: Ecological effects of artificial light at night on wild plants; Environment and Sustainability Institute, University of Exeter
- [17] K. Korlević, A. Krajnović: Razvoj astroturizma u Višnjanu, Tour. hosp. manag. God. 5, Br. 1-2, Str. 85-96
- [18] Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima, Narodne novine broj 14/19
- [19] Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti; pristupljeno: kolovoz 2021., dostupno na: <https://www.fzoeu.hr>
- [20] Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, Narodne novine broj 14/19

- [21] Zakon o zaštiti okoliša, Narodne novine broj 110/07
- [22] Zakon o sigurnosti prometa na cestama, Narodne novine broj 70/2019
- [23] B. Fuk: Svjetlosno onečišćenje; Sigurnost: časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini, Vol. 61 No. 4, 2019.
- [24] European Commission: Green Public Procurement Street Lighting and Traffic Lights, 2011., dostupno na: https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/tbr/street_lighting_tbr.pdf
- [25] <https://conxcorp.com/understanding-light-pollution/>, pristupljeno: kolovoz 2021.
- [26] Ž. Andreić, K. Korlević, D. Andreić, A. Bonaca, P. Korlević, M. Kramar: Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj, 2010.
- [27] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SkyQualityMeterQM-LFlou.jpg>, pristupljeno: kolovoz 2021.
- [28] <https://www.home.uni-osnabrueck.de/ahaenel/darksky/westhavelland/whl.html>, pristupljeno: kolovoz 2021.
- [29] <http://www.darkskiesawareness.org/nomogram.php>, pristupljeno: kolovoz 2021.
- [30] <https://www.lightpollutionmap.info/>, pristupljeno: kolovoz 2021.

7. SAŽETAK

U završnom radu objašnjeni su općeniti pojmovi svjetlosti, kako ona nastaje, njezine fizikalne veličine i aspekti njenog utjecaja. Razvitkom tehnologije umjetnog svjetla došlo je do stvaranja štetnih posljedica, odnosno određena umjetna svjetla stvaraju različite štetne utjecaje na sva živa bića i bioraznolikost. Nakon štetnosti razmotrit će se i utjecaj svjetlosnog onečišćenja na rad jedne od najproduktivnijih zvjezdarnica na svijetu koja se nalazi u Višnjanu. Bitan faktor u planiranju javne vanjske rasvjete su zakonom formirani propisi koji ujedno doprinose smanjenju svjetlosnog onečišćenja i racionalnije korištenje električne energije što je u tekstu objašnjeno.

KLJUČNE RIJEČI: svjetlosno onečišćenje, svjetlost, zdravlje, zakoni, okoliš, energija, umjetna rasvjeta

8. ABSTRACT

The final paper explains the general concepts of light, how it originates, its physical quantities and the aspects of its influence. With the development of artificial light technology, harmful consequences have also happened, ie certain artificial lights create various harmful effects on all living beings and biodiversity. After its damage, further will the impact of light pollution on the operation of one of the most productive observatories in the world located in Višnjan be considered. An important factor in the planning of public outdoor lighting are the regulations formed by law, which also contribute to the reduction of light pollution and more rational use of electricity, which is explained in the text.

KEY WORDS: light pollution, light, health, laws, environment, energy, artificial light

9. ŽIVOTOPIS

Robert Glavaš rođen je 23. svibnja 1999. u Našicama. Pohađao je Osnovnu školu Vladimira Nazora Feričanci u periodu 2006.-2014. Nakon toga upisuje III. gimnaziju Osijek (prirodoslovno matematička gimnazija) koju pohađa u periodu 2014.-2018. godine. Tijekom osnovnog i srednjoškolskog školovanja sudjeluje na brojnim natjecanjima iz fizike, informatike i matematike. Nakon završetka srednje škole i uspješno položene državne mature, 2018. godine upisuje preddiplomski smjer elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku te se na drugoj godini studija odlučuje za izborni blok elektroenergetika.