

Svjetlosno onečišćenje

Bakarić, Mihaela

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:115:639398>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Mihaela Bakarić

ZAVRŠNI RAD

Sisak, srpanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

Mihaela Bakarić

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

ZAVRŠNI RAD

Voditelj: prof. dr. sc. Natalija Dolić

Članovi povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada:

prof.dr.sc. Anita Begić Hadžipašić - predsjednica

prof.dr.sc. Natalija Dolić - članica

izv.prof. dr.sc. Ivan Jandrlić - član

prof.dr.sc. Ivan Brnardić - zamjenski član

Sisak, srpanj, 2024.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET

UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

IME: Mihaela

PREZIME: Bakarić

MATIČNI BROJ: BS-93/21

Na temelju članka 19. stavak 2. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu dajem sljedeću

IZJAVU O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moj završni rad pod naslovom:

Svjetlosno onečišćenje

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Sisak, 1.7.2024.

(vlastoručni potpis)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
METALURŠKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF METALLURGY

◆ FAKULTETSKO VIJEĆE ◆

KLASA: 602-03/24-05/04

URBROJ: 2176-78-24-01-125

Sisak, 19. lipnja 2024.

Temeljem točke IX. Naputka o završnom radu i završnom ispitu Pravilnika o studiranju na preddiplomskim studijima i diplomskom studiju Metalurškog fakulteta i članka 20. Statuta Metalurškog fakulteta, Fakultetsko vijeće na svojoj 9. redovitoj sjednici u akad. god. 2023./2024. od 19. lipnja 2024. godine (t. 3), a na prijedlog Povjerenstva za nastavno područje djelovanja, donosi sljedeću

ODLUKU

o odobravanju teme, imenovanju voditelja i Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada

I.

Studentici sveučilišnog prijediplomskog studija *Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš u redovitom statusu MIHAELI BAKARIĆ* (0124125506) za voditeljicu završnog rada pod naslovom "Svjetlosno onečišćenje" ("Light pollution") imenuje se **prof. dr. sc. Natalija Dolić**.

II.

Studentici iz točke I. ove Odluke imenuje se Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada u sastavu:

1. prof. dr. sc. Anita Begić Hadžipašić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – predsjednica,
2. prof. dr. sc. Natalija Dolić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – članica,
3. izv. prof. dr. sc. Ivan Jandrić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – član.

Za zamjenskog člana imenuje se prof. dr. sc. Ivan Brnardić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet.

III.

Ova Odluka stupa na snagu danom donošenja.

IV.

Protiv ove Odluke može se uložiti prigovor Fakultetskom vijeću Metalurškog fakulteta u roku 8 dana od dana primitka iste.

Dostavljeno:

- 1 x Mihaela Bakarić
- 4 x voditeljica, članovi Povjerenstva
- 1 x Studentska referada
- 1 x Tajništvo
- 1 x pismohrana Fakultetskog vijeća
- 1 x pismohrana



Vršitelj dužnosti dekana
Metalurškog fakulteta

prof. dr. sc. Nikola Mrvac

Vario

Zahvala:

Ovom zahvalom želim izraziti svoju duboku zahvalnost svima koji su doprinijeli nastanku i završetku mog završnog rada.

Prije svega, želim zahvaliti svojoj voditeljici završnog rada, prof. dr. sc. Nataliji Dolić, na neprocjenjivoj podršci, savjetima i stručnom vodstvu kroz cijeli proces istraživanja i pisanja. Njezina stručnost i strpljenje bili su ključni za uspješan završetak ovog rada.

Također, iskreno zahvaljujem članovima povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada, na izdvojenom vremenu, detaljnom čitanju i konstruktivnim povratnim informacijama koje su značajno doprinijele kvaliteti mog rada.

Posebna zahvala ide mojoj obitelji i prijateljima na njihovoj neizmjernoj podršci, razumijevanju i ohrabrenju. Njihova ljubav i vjera u mene pružali su mi snagu i motivaciju u trenucima kada je bilo najteže.

Na kraju, ali ne i manje važno, želim zahvaliti kolegama studentima, koji su svojim savjetima, podrškom i zajedničkim radom učinili ovaj proces lakšim i ugodnijim.

POPIS SLIKA

Slika 1.	Vidljivi spektar zračenja [2]	2
Slika 2.	Raspršenje svjetlosti u vodi u koju je dodano mlijeko u prahu [6]	5
Slika 3.	Onečišćujuće, rasipno i provalno svjetlo [10]	6
Slika 4.	Svjetlotehnička mjerenja luminancije reklamnog panoa kod Nacionalne knjižnice u Zagrebu [12]	7
Slika 5.	Atlas svjetlosnog onečišćenja [14]	8
Slika 6.	Sydneyska opera noću [16]	9
Slika 7.	Bortleova ljestvica tamnog neba [19]	11
Slika 8.	Prikaz svjetlosnog onečišćenja na području Republike Hrvatske [21]	11
Slika 9.	Bliski susret sa životinjom pod utjecajem svjetlosnog onečišćenja [25]	12
Slika 10.	Umjetno svjetlo noću kao nova prijetnja oprašivanju [28]	14
Slika 11.	Pogled na Hong Kong noću [32]	16
Slika 12.	Usporedba stvarne i uređene slike neba [34]	19
Slika 13.	Grafički prikaz alata koji se koriste za različite ciljeve istraživanja [33]	21
Slika 14.	Mjerač svjetlosti, prikaz profila uređaja [33]	22
Slika 15.	Svjetlo a) bez svjetlosnog štita, b) s djelomičnim svjetlosnim štitom i c) s cijelim svjetlosnim štitom [41]	25
Slika 16.	Rezervat tamnog neba Papuk [48]	29
Slika 17.	Petrova gora noću [49]	30

POPIS TABLICA

Tablica 1. Svjetlosne učinkovitosti κ i energetske učinkovitosti η različitih žarulja [1, 5] 4

POPIS OZNAKA

OZNAKA	OPIS	MJERNA JEDINICA
κ	svjetlosna učinkovitost	lm/W
η	energetska učinkovitost	%
I_s	svjetlosna jakost	cd/m ²
\bar{L}_R	spektralna vrijednost crvenog zračenja	dsu (nW/m ² /sr/nm)
l_R	crveni sjaj u atmosferi	dsu
\bar{L}_G	spektralna vrijednost zelenog zračenja	dsu
l_G	zeleni sjaj u atmosferi	dsu
\bar{L}_B	spektralna vrijednost plavog zračenja	dsu
l_B	plavi sjaj u atmosferi	dsu
c	brzina svjetlosti u vakuumu	m/s

POPIS KRATICA I POKRATA

AWB	astronomi bez granica
DLOR	omjer izlazne svjetlosti prema dolje
DSLR	digitalni refleks s jednom lećom
DSU	jedinica tamnog neba
IDA	međunarodna udruga DarkSky
ISTIL	talijanski institut za znanost i tehnologiju svjetlosnog onečišćenja
LED	dioda koja emitira svjetlo
MILC	fotoapararat bez zrcala s izmjenivim objektivom
NPP	nacionalno partnerstvo u polarnoj orbiti
SOLA	aliijansa pametne vanjske rasvjete
SQM	mjerači kvalitete neba
TESS-W	teleskopski koder i senzor neba
ULOR	omjer izlazne svjetlosti prema gore
VIIRS	sistem za snimanje vidljive i infracrvene radijacije

SAŽETAK

Ovaj završni rad se bavi temom svjetlosnog onečišćenja, istražujući njegove vrste, uzroke, metode mjerenja te učinke na okoliš, ljude i životinje. Svjetlosno onečišćenje podrazumijeva prekomjernu ili neadekvatnu upotrebu umjetne rasvjete koja negativno utječe na noćno nebo, ekosustave i ljudsko zdravlje. Različite vrste svjetlosnog onečišćenja uključuju direktno svjetlo, raspršeno svjetlo, reflektirano svjetlo te reklamno osvjetljenje. Svaka od tih vrsta ima specifične karakteristike i utjecaje. Uzroci svjetlosnog onečišćenja uključuju urbanizaciju, neadekvatno planiranje rasvjete te upotrebu zastarjelih tehnologija rasvjete. Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na okoliš uključuje narušavanje prirodnih ciklusa svjetla i tame, što negativno utječe na biljke i životinje. Kod ljudi, svjetlosno onečišćenje može izazvati poremećaje spavanja, vizualne i psihološke učinke te povećati rizik od zdravstvenih problema, poput malignih oboljenja. Mjerenje svjetlosnog onečišćenja provodi se korištenjem različitih metoda poput fotometrijskih mjerenja, fotografskih tehnika, satelitskih snimaka i spektroskopskih analiza. Ovi podaci pomažu u kvantificiranju razine onečišćenja i razvijanju strategija za njegovo smanjenje.

Regulativa i politika usmjerene na smanjenje svjetlosnog onečišćenja uključuju zakonske propise, smjernice za urbanističko planiranje, edukaciju i podizanje svijesti te poticanje razvoja inovativnih tehnologija. Ovaj završni rad pruža sveobuhvatan pregled problema svjetlosnog onečišćenja, njegovih učinaka i mogućih rješenja, naglašavajući važnost zaštite tamnog neba za očuvanje prirodnih resursa i zdravlja ljudi.

Ključne riječi: svjetlosno onečišćenje, rasvjeta, okoliš, ljudsko zdravlje, održivost, zakonska regulativa, mjere zaštite od svjetlosnog onečišćenja

LIGHT POLLUTION

ABSTRACT

This final paper addresses the topic of light pollution, exploring its types, causes, measurement methods, and effects on the environment, humans, and animals. Light pollution involves the excessive or inadequate use of artificial lighting that negatively affects the night sky, ecosystems, and human health. The different types of light pollution include direct light, scattered light, reflected light, and advertising lighting. Each type has specific characteristics and impacts. The causes of light pollution include urbanization, inadequate lighting planning, and the use of outdated lighting technologies. The impact of light pollution on the environment includes the disruption of natural light and dark cycles, adversely affecting plants and animals. In humans, light pollution can cause sleep disorders, visual and psychological effects, and increase the risk of health problems such as malignancies. Measurement of light pollution is carried out using various methods such as photometric measurements, photographic techniques, satellite imaging, and spectroscopic analyses. These data help quantify the level of pollution and develop strategies to mitigate it.

Regulations and policies aimed at reducing light pollution include legal regulations, urban planning guidelines, education and awareness campaigns, and encouraging the development of innovative technologies. This final paper provides a comprehensive overview of the problem of light pollution, its effects, and potential solutions, emphasizing the importance of protecting the dark sky for the preservation of natural resources and human health.

Key words: light pollution, lighting, environment, human health, sustainability, legal regulations, protection measures against light pollution

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SVJETLO	2
3. VRSTE SVJETLOSNIH ONEČIŠĆENJA	3
3.1. Direktna svjetlost	3
3.2. Raspršena svjetlost	5
3.3. Svjetlosna refleksija.....	5
3.4. Upotreba nepravilne rasvjete	6
3.5. Reklamno osvjetljenje	7
4. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE U TURIZMU	8
Svjetlosno onečišćenje u turizmu u Hrvatskoj	10
5. UTJECAJ NA OKOLIŠ	10
5.1. Utjecaj na životinje.....	12
5.2. Utjecaj na biljni svijet.....	13
6. UTJECAJ NA LJUDE	15
6.1. Poremećaj spavanja	15
6.2. Vizualni učinci viška rasvjete.....	16
6.3. Psihološki učinci viška rasvjete.....	17
7. MJERENJE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA.....	17
7.1. Digitalne kamere.....	18
7.2. Mjerači kvalitete neba, SQM (eng. <i>sky quality meters</i>)	20
7.3. TESS-W (eng. <i>telescope encoder and sky sensor</i>)	21
7.4. Mjerači svjetline i osvijetljenosti.....	22
8. REGULATIVA I POLITIKA	22
9. MJERE ZA SMANJENJE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA.....	24
9.1. Primjena LED tehnologije.....	25
9.2. Korištenje prilagodljivih senzor svjetla.....	26
9.3. Primjeri inicijativa i tvrtki	26
9.3.1. International DarkSky Association	27
9.3.2. Philips Lighting	27
9.3.3 Signify	28
9.3.4. Smart Outdoor Lighting Alliance.....	28
9.3.5. Astronomers Without Borders	28

10. PRIMJERI DOBRE PRAKSE	29
11. ZAKLJUČAK	30
12. LITERATURA.....	31
ŽIVOTOPIS	35

1. UVOD

Predmet ovog završnog rada je sveobuhvatna analiza svjetlosnog onečišćenja s fokusom na njegov utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi. Razmatrat će se različiti izvori svjetlosnog onečišćenja te tehnološka rješenja koja se mogu primijeniti za smanjenje negativnih posljedica.

Glavni ciljevi rada su:

1. Identificirati glavne izvore svjetlosnog onečišćenja i njihovu ulogu u povećanju svjetlosne razine noću.
2. Analizirati utjecaj svjetlosnog onečišćenja na biljni i životinjski svijet te na ekosustave.
3. Istražiti negativne posljedice svjetlosnog onečišćenja na zdravlje ljudi, uključujući poremećaje spavanja, vizualne probleme i druge zdravstvene rizike.
4. Pregledati tehnološka rješenja i inovacije koje se mogu primijeniti za smanjenje svjetlosnog onečišćenja, uključujući primjenu energetske učinkovite rasvjete i pametnih sustava upravljanja osvjetljenjem.

Kroz analizu navedenih aspekata, ovaj rad ima za cilj potaknuti svijest o važnosti upravljanja svjetlosnim onečišćenjem te pružiti smjernice za implementaciju održivih rješenja koja će doprinijeti očuvanju okoliša i ljudskog zdravlja.

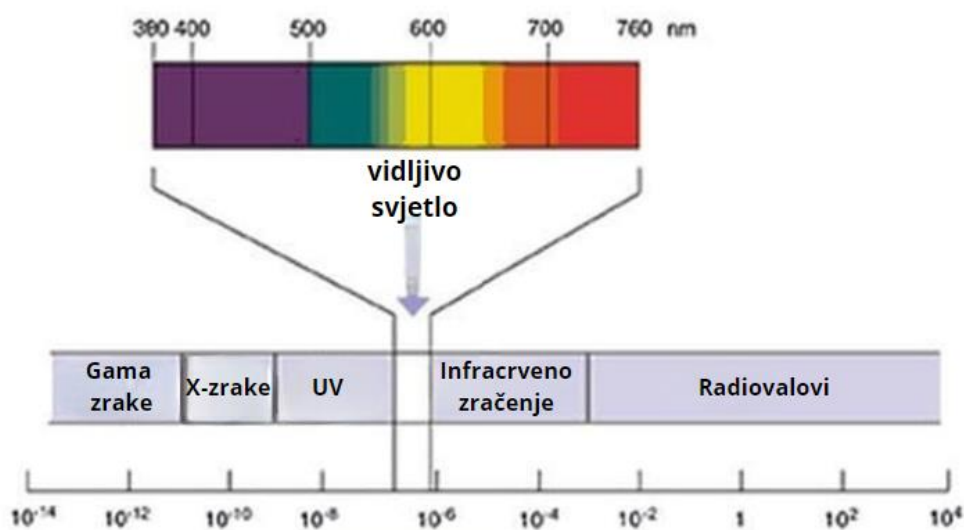
Jedan od izvora podataka su satelitski snimci, koji omogućuju pregled intenziteta noćne rasvjete na globalnoj razini. Ovi snimci pružaju vizualne podatke o rasprostranjenosti svjetlosnog onečišćenja i njegovim promjenama tijekom vremena. Analiza potrošnje energije u sektorima kao što su javna rasvjeta, industrija i domaćinstva također pruža korisne informacije o ukupnoj emisiji svjetlosti iz različitih izvora. Sveobuhvatan pristup uključuje korištenje različitih vrsta literature i izvora kako bi se dobio temeljit uvid u problematiku svjetlosnog onečišćenja i njegove implikacije.

2. SVJETLO

Svjetlo je dio elektromagnetskog spektra, koji obuhvaća široki raspon elektromagnetskih valova različitih duljina i frekvencija. Elektromagnetski spektar se dijeli na različite dijelove, od najnižih frekvencija do najviših, što uključuje radio valove, mikrovalove, ultraljubičasto svjetlo, vidljivo svjetlo, infracrveno svjetlo, rendgenske zrake i gama zrake. Spektar elektromagnetskog zračenja je vidljiv ljudskom oku. Svjetlost obuhvaća sve vrste zračenja koje emitiraju izvor svjetlosti, tako da se osim vidljivog zračenja, svjetlošću smatraju i ultraljubičasto i infracrveno zračenje [1].

Boja svjetlosti određena je njenom valnom duljinom: kraće valne duljine povezane su s plavom i ljubičastom bojom, dok su duže valne duljine povezane s crvenom bojom. Svjetlost se može percipirati kao čestica ili foton, koji prenosi energiju proporcionalnu frekvenciji vala. Ovaj kvantni aspekt svjetlosti pomaže u objašnjavanju nekih svojstava svjetla, poput fotoelektričnog efekta i emisije svjetlosti iz atoma. Fotoelektrični učinak se javlja kada se svjetlost ili drugi oblici elektromagnetskog zračenja sudaraju s površinom materijala i izazivaju emitiranje elektrona iz tog materijala. Kada foton svjetlosti udari u atomsku ili molekularnu strukturu materijala, energija fotona može biti prenesena elektronu unutar materijala. Ako foton ima dovoljno energije da prevlada radnu funkciju, tada će elektron biti emitiran. Ovaj fenomen je ključan u mnogim aplikacijama, uključujući fotoelektrične ćelije koje pretvaraju svjetlost u električnu energiju. Emisija svjetlosti iz atoma se događa kada elektroni u atomima apsorbiraju energiju, često u obliku toplinske energije ili energije svjetlosti i privremeno se podignu na višu energetska razinu. Kada se elektron vrati na svoju nižu energetska razinu, oslobađa višak energije u obliku elektromagnetskog zračenja. Ova emisija svjetlosti može biti u vidljivom spektru, čineći atome da svijetle ili da emitiraju svjetlost pod određenim uvjetima. Primjeri ovog fenomena uključuju svjetlost koja je vidljiva od neonskih svjetiljki ili plamena svijeće.

Vidljivo svjetlo je onaj dio elektromagnetskog spektra koji se može vidjeti golim okom (slika 1). To je uski raspon elektromagnetskih valova koji uključuje boje koje percipiramo kao crvenu, žutu, narančastu, ljubičastu, zelenu, plavu i indigo. Kada se ovi valovi reflektiraju ili apsorbiraju od strane objekata, naše oči ih registriraju i interpretiraju kao boje.



Slika 1: Vidljivi spektar zračenja [2]

3. VRSTE SVJETLOSNIH ONEČIŠĆENJA

Svjetlosno onečišćenje je prekomjerno rasipanje umjetne svjetlosti izvan predviđenih područja, što uključuje nepotrebnu i pretjeranu rasvjetu. To znači promjenu prirodne razine svjetlosti tijekom noći zbog svjetlosti stvorene ljudskom aktivnošću. Najviše onečišćenja dolazi iz velikih industrijsko razvijenih gradova ili država. Jedan od najuočljivijih efekata svjetlosnog onečišćenja je povećano osvijetljenje noćnog neba, što proizlazi iz prekomjerne uporabe noćne rasvjete. To nastaje zbog raspršenja oku vidljive i nevidljive svjetlosti prirodnog ili umjetnog porijekla. Ova pojava ima štetne posljedice kako na ljude, tako i na njihov okoliš. Svjetlosno onečišćenje obuhvaća različite vrste i izvore koji pridonose neželjenom prekomjernom osvijetljenju u noćnom okolišu. Vrste svjetlosnog onečišćenja uključuju: direktnu svjetlost, raspršenu svjetlost, svjetlosnu refleksiju, upotrebu nepravilne rasvjete, noćno osvijetljenje u gradovima i reklamno osvijetljenje. Svaka od ovih vrsta svjetlosnog onečišćenja ima svoje specifične karakteristike i posljedice na okoliš i ljudsko zdravlje. Razumijevanje tih vrsta pomaže u identifikaciji izvora onečišćenja te u razvoju strategija i tehnologija za smanjenje negativnih utjecaja svjetlosnog onečišćenja na našu okolinu [3].

Izvori svjetlosnih oštećenja koje će se neke od njih u nastavku detaljnije proučiti su:

- urbani i veliki gradovi,
- ulična rasvjeta i svjetleći znakovi,
- reklamni paneli,
- cjelonoćno osvijetljeni parkinzi,
- reflektori na stadionima i terenima,
- osvijetljeni staklenici,
- tvornice i industrija,
- osvijetljenje kuća i apartmana
- proizvodnja nafte i plina,
- sateliti [4].

3.1. Direktna svjetlost

Ova vrsta svjetlosnog onečišćenja dolazi izravno iz različitih izvora rasvjete, poput uličnih svjetiljki, reflektora, reklamnih panoa i prozora. Ako je svjetlost prejaka, slabo usmjerena ili nepotrebna, može uzrokovati odbljeske, ometati noćnu viziju i doprinijeti nepotrebnom trošenju energije. Direktno svjetlo je vrsta svjetlosnog zračenja koje putuje izravno od izvora rasvjete prema promatraču ili ciljanoj površini bez ometanja ili raspršivanja. Ovu vrsta svjetla karakterizira jasna putanja od izvora do mjesta na koje svjetlost pada. Obično ima veću svjetlinu jer nije raspršeno ili reflektirano putem atmosfere ili drugih površina. Uzrok direktnog usmjerenja svjetla bez raspršivanja su oštre sjene. Direktno svjetlo je najčešće umjetno [1].

Umjetno svjetlo

Umjetno svjetlo stvara svjetlo tako što izgara ili zagrijava električnom energijom. Pod umjetne izvore svjetla ubrajaju se žarulje, svijeće, diode i ostalo. Žarulje su najrašireniji umjetni izvor svjetlosti, a dijelimo ih na:

- žarulje sa žarnom niti,
- halogene žarulje,
- fluorescentne žarulje,
- živine, natrijeve, metalhalogene žarulje (visokotlačne žarulje na izboj),
- led žarulje [1].

U tablici 1 dani su podaci o svjetlosnoj i energetskej učinkovitosti različitih vrsta žarulja.

Tablica 1. Svjetlosne učinkovitosti κ i energetske učinkovitosti η različitih žarulja [1, 5]

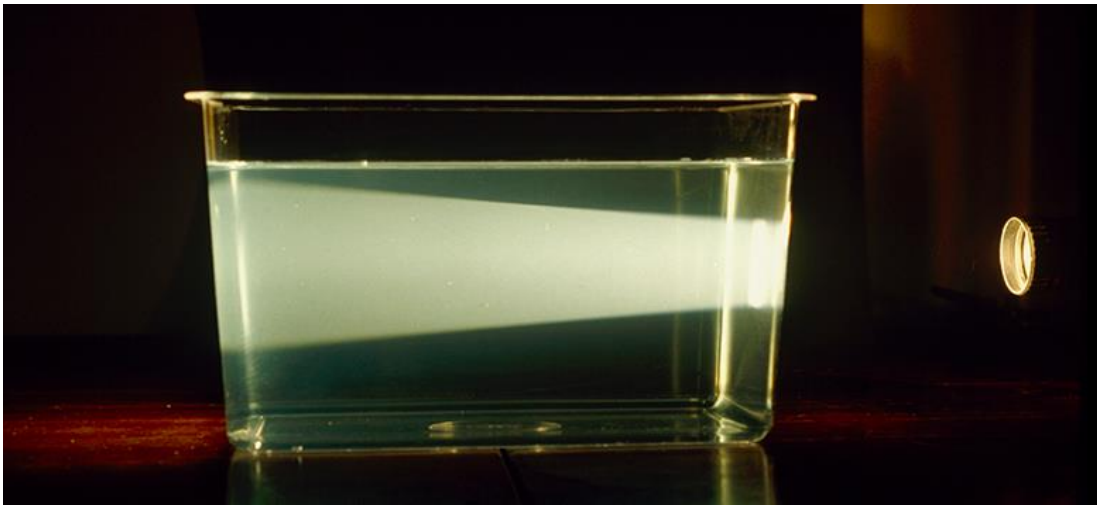
Vrsta žarulje	Svjetlosna učinkovitost κ [lm/W]	Energetska učinkovitost η [%]
Žarulja sa žarnom niti	12	1
Volframova žarulja	15	2
Halogena žarulja	20	3
Visokotlačna živina žarulja	50	5
Fluorescentna žarulja	90	9
Visokotlačna natrijeva žarulja	120	12
Niskotlačna natrijeva žarulja	160	16
Svjetleća dioda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

Energetska učinkovitost se izražava u postocima i predstavlja koliki se dio potrošene energije pretvara u svjetlost. Što je viša energetska učinkovitost, žarulja je štedljivija. Svjetlosna učinkovitost (lm/W) je mjera količine svjetlosti koju žarulja proizvodi po jedinici snage. Što je viša svjetlosna učinkovitost, to je žarulja energetski učinkovitija. Energetska učinkovitost (%) je postotak energije koju žarulja pretvara u svjetlo, a ostatak pretvara u toplinu. Što je energetska učinkovitost veća, to je žarulja energetski učinkovitija.

LED žarulja predstavlja energetski najučinkovitiji tip žarulje, s prosječnom svjetlosnom učinkovitošću od 50-90 lm/W i energetskej učinkovitošću od 7-12%. To znači da LED žarulje proizvode više svjetla po jedinici snage i pretvaraju više energije u svjetlo, a manje u toplinu, od bilo kojeg drugog tipa žarulje. Najmanje energetski učinkoviti tip žarulje je žarulja s žarnom niti, s prosječnom svjetlosnom učinkovitošću od 12 lm/W i energetskej učinkovitošću od 1%. To znači da žarulje s žarnom niti proizvode manje svjetla po jedinici snage i pretvaraju veći dio energije u toplinu, od bilo kojeg drugog tipa žarulje.

3.2. Raspršena svjetlost

Raspršena svjetlost nastaje kada se svjetlost reflektira i rasprši od različitih površina kao što su oblaci, prašina ili aerosoli u atmosferi. Ova vrsta svjetlosnog onečišćenja rezultira svjetlijim noćnim nebom, smanjuje vidljivost zvijezda i drugih nebeskih objekata te otežava astronomsko promatranje. Raspršenje svjetlosti je razlog zbog kojeg je nebo plavo. Atmosfera sadrži molekule koje djeluju sa sunčevom svjetlosti. Kada svjetlosni valovi stupaju u interakciju s česticama u atmosferi, uzrokuju titranje čestica prilikom čega te čestice reemitiraju svjetlosne valove u svim smjerovima [6]. Uz pomoć mlijeka u prahu otopljenog u vodi vidi se pojava koja je prikazana na slici 2. Svjetlost se odbija od čestica otopljene tvari i odbija se u raznim smjerovima što se naziva raspršena svjetlost.



Slika 2. Raspršenje svjetlosti u vodi u koju je dodano mlijeko u prahu [6]

Kratke valne duljine svjetlosti više se raspršuju u atmosferi. Zbog toga, atmosferske molekule najviše raspršuju ljubičastu svjetlost, slijedeći plavu, zelenu, žutu, narančastu i crvenu. Plava i ljubičasta svjetlost najviše se raspršuju, stvarajući dominantno plavo nebo, vidljivo ljudskom oku jer su ljudske oči osjetljivije na plavu svjetlost [6].

3.3. Svjetlosna refleksija

Svjetlosna refleksija događa se kada se svjetlost odbija od površina poput cesta, zgrada ili vode. Ova pojava može stvoriti odbljeske i neželjeno osvjetljenje koje može biti ometajuće za vozače, promatrače i životinje te doprinosi općem svjetlosnom onečišćenju. Refleksija se također može objasniti kao odraz u ogledalima koji nastaje jer se dio svjetla koje pada na njih reflektira i dospijeva u oči [7]. Svjetlosna refleksija sama po sebi nije oblik onečišćenja, već je prirodni fenomen koji se javlja kao rezultat interakcije svjetlosti s površinama oko nas. Međutim, svjetlosna refleksija može doprinijeti svjetlosnom onečišćenju kada je prekomjerno ili nekontrolirano.

Rasipanje svjetlosti: Nepravilna refleksija svjetlosti na različitim površinama može uzrokovati raspršivanje svjetla u više smjerova. Ovo raspršeno svjetlo može doprinijeti povećanju općeg osvjetljenja u okolini, posebno u urbanim područjima.

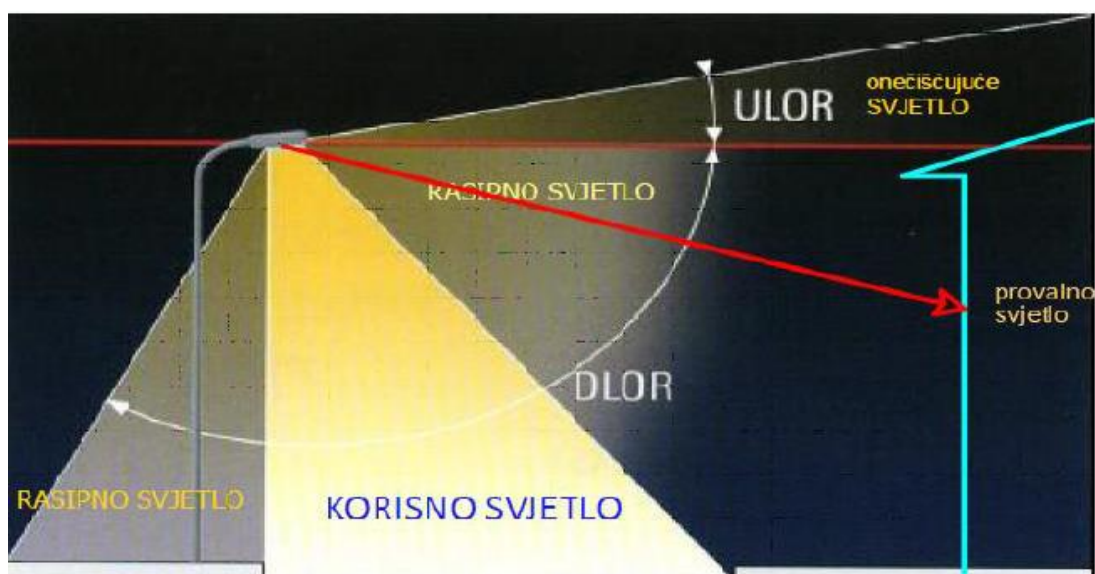
Prekomjerna rasvjeta: Ako je previše svjetlosti usmjereno prema određenim površinama, kao što su reklamni panoi, zgrade ili ulice, to može rezultirati nekontroliranom refleksijom i raspršivanjem svjetlosti. To može dovesti do povećane svjetlosti u noćnom okolišu, što je karakteristično za svjetlosno onečišćenje.

Odbljesci i ometanja: Nepravilna refleksija svjetlosti može uzrokovati odbljesci i ometanja, posebno za vozače i promatrače. Ovi odbljesci mogu biti neugodni i opasni za sigurnost u prometu i svakodnevnoj interakciji.

Upravljanje svjetlosnim onečišćenjem uključuje i kontrolu refleksije i raspršenja svjetlosti kako bi se smanjili negativni efekti na okoliš i društvo.

3.4. Upotreba nepravilne rasvjete

Upotreba nepravilne rasvjete uključuje korištenje prejake ili nepravilno usmjerene rasvjete koja se širi na nepotrebne površine. Ova vrsta svjetlosnog onečišćenja može biti posebno izražena u urbanim područjima gdje se svjetlost nekontrolirano rasipa i stvara svjetlosno onečišćenje. Kada je nebo osvijetljeno prekomjernom umjetnom rasvjetom, stvara se svjetlosna zagađenost koja smanjuje vidljivost astronomskih tijela. Gradska rasvjeta šalje veliku količinu svjetla prema gore, čineći noćno nebo svjetlijim. Ovaj fenomen poznat je kao „neba koja svijetle“ [8]. Višak svjetlosti u gradovima onemogućuje vidljivost zvijezda i Mjeseca, dok je u manjim mjestima to moguće. Osim posljedica koje uključuju životinje i ljude, postoji i velika potrošnja električne energije, koja pripomaže globalnom zatopljenju i stakleničkim plinovima. Proizvodnja te izgubljene električne energije uključuje spaljivanje fosilnih goriva, stvarajući staklenički plin, koji dodatno onečišćuje okoliš [9]. Na slici 3 se vidi kolika je zapravo količina svjetla potrebna, a koliko „rasipamo“ bespotrebno.



Slika 3: Onečišćujuće, rasipno i provalno svjetlo [10]

ULOR (eng. *upward light output ratio*) predstavlja omjer izlazne svjetlosti prema gore, dok DLOR (eng. *downward light output ratio*) predstavlja omjer izlazne svjetlosti prema dolje. Onečišćujuće svjetlo je onaj dio ukupnog svjetlosnog toka svjetiljke (ULOR) koji se isijava iznad horizontale prema nebu u odnosu na ukupni svjetlosni tok. Rasipno svjetlo je onaj dio svjetlosnog toka svjetiljke (DLOR) koji rasvjetljava prostor između korisnog svjetla i horizontale obzorja svjetiljke za koje ne postoji namjera rasvjetljavanja. Provalno svjetlo je onaj dio svjetlosnog toka (DLOR) koji rasvjetljava prostor između korisnog svjetla i horizontale obzorja svjetiljke i koji zahvaća površinu u susjedstvu koja nije u vlasništvu investitora rasvjete [10].

3.5. Reklamno osvjetljenje

Reklamno osvjetljenje je ključni dio marketinške strategije mnogih tvrtki i *brandova* te se koristi kako bi se istaknule reklamne poruke i privukla pažnja potrošača. Ovo obuhvaća upotrebu različitih vrsta svjetlosnih elemenata i tehnika kako bi se reklamni materijali istaknuli i bili vidljivi u različitim uvjetima osvjetljenja. Reklamno osvjetljenje često ima estetsku svrhu kako bi privuklo pozornost i stvorilo određenu atmosferu. Mnogi reklamni panoi ili natpisi opremljeni su osvjetljenjem koje omogućuje njihovu vidljivost čak i noću ili u lošim vremenskim uvjetima. Dakle, čak i kad je mrak i slaba vidljivost, njihovo je svjetlo dovoljno jako da je moguće vidjeti ga i s velike udaljenosti. Važno je napomenuti da reklamno osvjetljenje može imati i negativne aspekte, posebno kada je prekomjerno ili nepravilno usmjereno. Prejako osvjetljenje ili svjetlosno onečišćenje može ometati noćnu viziju, poremetiti prirodne obrasce spavanja i imati negativan utjecaj na okoliš. Upravljanje reklamnim osvjetljenjem često uključuje balansiranje između marketinških potreba i održivosti, što podrazumijeva primjenu naprednih tehnologija i strategija kako bi se postigla učinkovita i privlačna rasvjeta uz minimalan utjecaj na okoliš i ljude. Najviše dopuštene vrijednosti svjetline oglasnih ploča ili medija za oglašavanje su 20 cd/m^2 [11]. U Zagrebu prilikom mjerenja, reklama s najviše kandela (cd) po m^2 je imala rekordnih $51,48 \text{ cd/m}^2$ (slika 4), što je više nego duplo prekoračilo dozvoljenu granicu. Samo su dvije reklame imale vrijednosti jačine svjetla unutar dozvoljenih vrijednosti [11].

Reklamni pano je svijetlio toliko jako da je ometao vozače, otežavajući im vožnju i stanare u blizini, ometajući njihov san. Nakon brojnih pritužbi, nije bilo drugog rješenja nego uklanjanje tog reklamnog panoa kako bi se riješio problem.



Slika 4. Svjetlotehnička mjerenja luminancije reklamnog panoa kod Nacionalne knjižnice u Zagrebu [12]

4. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE U TURIZMU

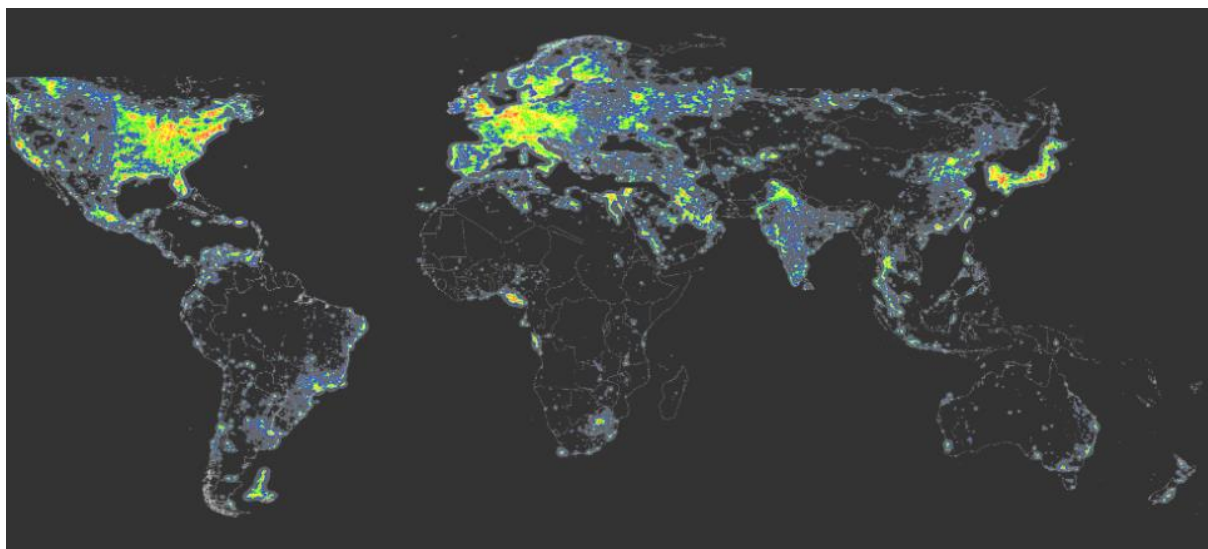
Svjetlosno onečišćenje može imati značajan utjecaj na turizam, kako na destinacije, tako i na iskustva posjetitelja.

Prvo, svjetlosno onečišćenje može narušiti ljepotu prirodnih krajolika i pejzaža. Za mnoge turističke destinacije, posebno one koje su poznate po svojoj prirodnoj ljepoti, poput nacionalnih parkova ili planinskih područja, čisto noćno nebo s milijunima zvijezda predstavlja važan element privlačnosti. Svjetlosno onečišćenje smanjuje vidljivost zvijezda i planetarnih fenomena, što može razočarati posjetitelje i smanjiti atraktivnost odredišta.

Drugo, svjetlosno onečišćenje može imati negativan utjecaj na promatranje noćnih životinjskih aktivnosti, kao i na mogućnost promatranja noćnih nebeskih pojava poput meteorskih kiša ili sjajnih noćnih nebula.

Također, prekomjerna rasvjeta u turističkim područjima može uzrokovati smetnje i nelagodu gostima. Intenzivna i nepravilno usmjerena rasvjeta može ometati noćni odmor i opuštanje, što može rezultirati lošijim iskustvom gostiju i negativnim recenzijama.

Najjednostavniji način za analizu svjetlosnog onečišćenja je korištenje mapa ili atlasa svjetlosnog onečišćenja. Jedan od temeljnih atlasa svjetlosnog onečišćenja je onaj koji je kreirao talijanski ISTIL (tal. *Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso*), institut specijaliziran za proučavanje svjetlosnog onečišćenja [13]. Na slici 5 se može vidjeti njihov atlas svjetlosnog onečišćenja koji se konstantno ažurira.



Slika 5. Atlas svjetlosnog onečišćenja [14]

Uz pomoć atlasa se može odrediti koji kontinenti najviše onečišćuju okoliš svjetlom. Najizraženije je na jednom dijelu Sjeverne Amerike te u Europi i Aziji, točnije Japan. Atlas dokazuje kako broj stanovnika ne mora nužno značiti i više svjetlosnog onečišćenja. Kina i Indija, države koje su poznate po velikoj populaciji, imaju manji intenzitet sveukupnog svjetla nego SAD, Japan i Europa.

Da bi se moglo doći do zaključka kako i u kolikoj mjeri turizam utječe na svjetlosno onečišćenje, potrebno je pregledati podatke o dolaznosti turista u najatraktivnije turističke

zemlje i gradove. Francuska je vodeća zemlja po dolascima u svijetu. U 2023. godini dolasci u Francusku iznosili su 100 milijuna. Prvih 5 zemalja (ostale su Španjolska, SAD, Italija i Turska) čine 2.8% od svih dolazaka u svijetu. Ukupni svjetski dolasci procijenjeni su na 1.3 bilijuna u 2023. godini [15].

Francuska, kao jedna od najposjećenijih zemalja na svijetu, ima značajan utjecaj na svjetlosno onečišćenje zbog velikog broja turista i gustoće naseljenosti u urbanim područjima. Velike gradske aglomeracije poput Pariza, Marseillea i Lyona često su obilježene intenzivnom noćnom rasvjetom koja pridonosi svjetlosnom onečišćenju. Osim toga, turistički atraktivne lokacije poput Eiffelovog tornja, Versaillesa ili Francuske rivijere često su osvijetljene za turističke svrhe, što dodatno pridonosi ukupnom svjetlosnom opterećenju. Samo Eiffelov toranj je osvijetljen s više od 20 000 žarulja. Kako bi se smanjio negativan utjecaj svjetlosnog onečišćenja, Francuska poduzima mjere poput regulacije osvijetljenja, promicanja energetski učinkovitih rasvjetnih sustava i promoviranja svijesti o važnosti očuvanja noćnog neba.

Sydneyska Opera House, kao jedan od simbola grada Sydneya i jedna od najpoznatijih svjetskih znamenitosti, poznata je i po svojoj spektakularnoj rasvjeti koja je često istaknuta tijekom noći. Međutim, ova jarka rasvjeta koja obasjava opernu kuću mogu doprinijeti svjetlosnom onečišćenju u urbanom području oko luke Darling Harbour. Iako ova rasvjeta doprinosi estetskom doživljaju turista i stanovnika, prekomjerna upotreba jakih svjetlosnih izvora može imati negativne učinke na okoliš, uključujući ometanje noćnih životinjskih aktivnosti i smanjenje vidljivosti zvijezda na noćnom nebu. Na slici 6 prikazana je Sydneyska opera noću.



Slika 6: Sydneyska opera noću [16]

Kako bi se smanjili negativni učinci svjetlosnog onečišćenja na turizam, važno je poduzeti mjere za kontrolu i smanjenje intenziteta rasvjete u turističkim područjima. To može uključivati upotrebu niskoemisijских rasvjetnih izvora, usmjeravanje svjetla prema dolje kako bi se smanjila rasipanja svjetlosti prema nebu te promicanje osviještenosti o važnosti očuvanja prirodne noćne tamnosti za turističku atraktivnost destinacija.

Svjetlosno onečišćenje u turizmu u Hrvatskoj

Svjetlosno onečišćenje ima svoj utjecaj i na turizam u Hrvatskoj, posebno u obalnim područjima koja su popularna turistička odredišta. Primjerice, obalni gradovi poput Dubrovnika, Splita ili Rovinja često su obilježeni intenzivnom noćnom rasvjetom koja može pridonijeti svjetlosnom onečišćenju. Ova svjetlost može umanjiti atraktivnost noćnog neba za posjetitelje koji dolaze u potrazi za tamnim nebom kako bi promatrali zvijezde ili mjesečeve pejzaže.

Zagreb je dobio nagradu za najljepši advent u Europi tri godine zaredom (2016., 2017., 2018.) što potvrđuje njegovu reputaciju kao vrhunske turističke destinacije tijekom zimskih blagdana [17]. Ova nagrada odražava izvanrednu organizaciju i atmosferu adventa u Zagrebu, koja uključuje prekrasno ukrašene trgove, tradicionalne božićne sajmove, bogat kulturni program i obilje ukusnih gastronomskih delicija. Advent u Zagrebu privlači posjetitelje iz cijelog svijeta koji dolaze uživati u čarobnom ozračju i božićnom duhu koji vlada gradom tijekom blagdana. Ova nagrada dodatno potvrđuje Zagreb kao jedno od najpopularnijih zimskih odredišta u Europi. Samo na Zrinjevcu je 2023. godine gorjelo preko 6 milijuna lampica. Iako je to nezamisliva količina svjetla, utješna informacija je što su sve LED štedne lampice.

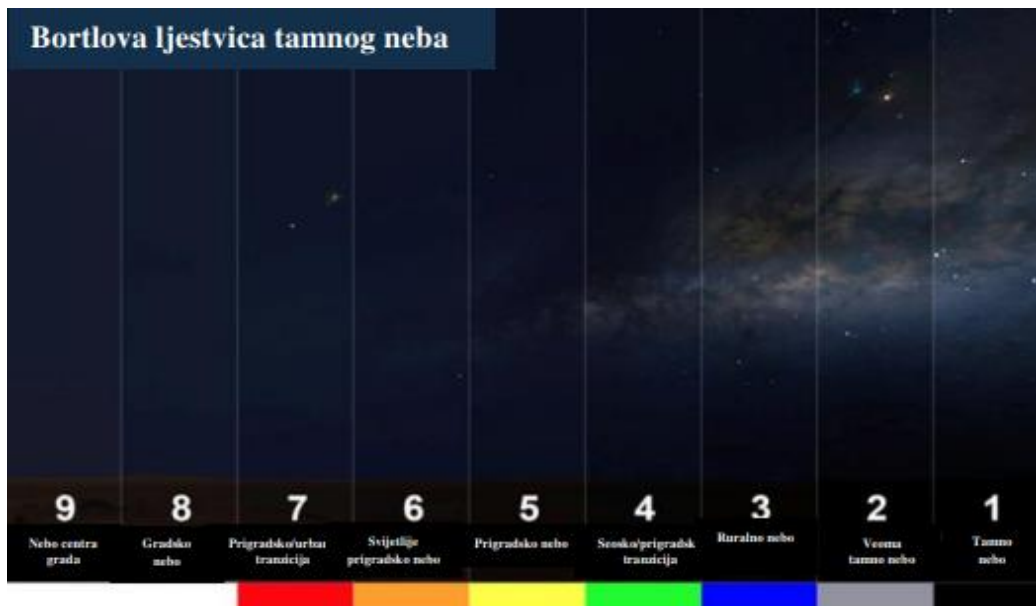
Iako je to pohvalno za Hrvatsku, rastuća količina svjetlosnog onečišćenja u gradovima predstavlja izazov za njegovu dugoročnu održivost. Intenzivna noćna rasvjeta tijekom adventa i blagdana može doprinijeti povećanju svjetlosnog onečišćenja, što može negativno utjecati na kvalitetu noćnog neba, zdravlje ljudi i ekosustave. Prekomjerna rasvjeta može poremetiti prirodne obrasce spavanja kod ljudi, ometati noćne životinje i izazvati disbalans u ekosustavu.

Kako bi se smanjili negativni učinci svjetlosnog onečišćenja na turizam u Hrvatskoj, važno je poduzeti mjere za kontrolu i smanjenje intenziteta rasvjete u turističkim područjima. To može uključivati korištenje niskoemisivskih rasvjetnih izvora, usmjeravanje svjetla prema dolje kako bi se smanjila rasipanja svjetlosti prema nebu, kao i promicanje osviještenosti o važnosti očuvanja prirodne noćne tamnosti za turističku atraktivnost destinacija. Očuvanje prirodnog okoliša i noćnog neba ključno je za dugoročnu održivost turizma u Hrvatskoj.

5. UTJECAJ NA OKOLIŠ

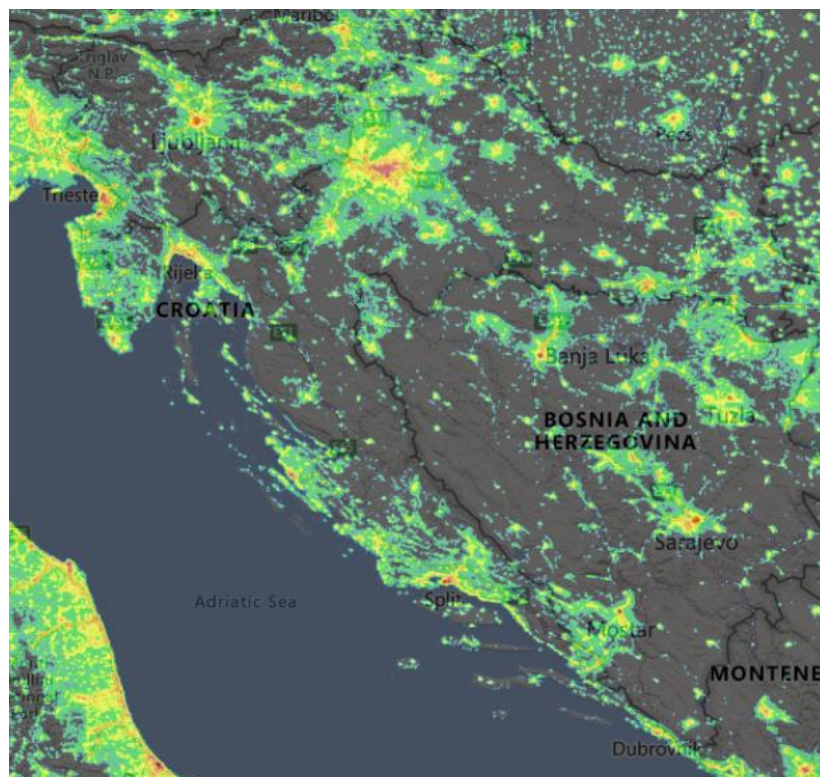
Svjetlosno onečišćenje ima značajan utjecaj na okoliš, kako na ekosustave, tako i na ljudsko zdravlje. Prekomjerna i nekontrolirana emisija svjetla narušava prirodne obrasce dnevnih i noćnih aktivnosti mnogih životinjskih vrsta, što može dovesti do poremećaja u njihovom ponašanju, migracijama i reprodukciji. Osim toga, svjetlosno onečišćenje negativno utječe na kvalitetu noćnog neba, otežavajući promatranje zvijezda i astronomskih fenomena. Stoga je važno poduzeti mjere za smanjenje svjetlosnog onečišćenja radi očuvanja okoliša i zdravlja planeta.

John E. Bortle je stvorio ljestvicu tamnog neba, koja je vidljiva na slici 7, kako bi se moglo pratiti i okarakterizirati svjetlosno onečišćenje [18]. Ljestvica ocjenjuje koliko dobro ljudi mogu vidjeti nebeska tijela poput planeta i zvijezda, pod utjecajem nebeskog sjaja. Podijeljena je u 9 dijelova i prikazuje zagađenost neba, odnosno procijenjenu vidljivost čistog noćnog neba.



Slika 7: Bortleova ljestvica tamnog neba [19]

VIIRS (eng. *visible infrared imaging radiometer suite* - set za snimanje vidljive i infracrvene radiometrije) je jedan od pet ključnih instrumenata na svemirskom brodu Suomi NPP, koji je lansiran 28. listopada 2011. godine. Preciznije, to je senzor na meteorološkim satelitima. Slika 8 prikazuje snimku s navedenog satelita [20].



Slika 8: Prikaz svjetlosnog onečišćenja na području Republike Hrvatske [21]

5.1. Utjecaj na životinje

Svjetlosno onečišćenje ima dubok i često nepovoljan utjecaj na životinjski svijet. Mnoge životinjske vrste ovise o prirodnim ciklusima svjetlosti i tame za navigaciju, prepoznavanje vremena za hranjenje, spavanje i razmnožavanje. Puno životinja je aktivno samo noću, a pojedine i danju i noću. To je razlog zbog kojeg svjetlosno onečišćenje ima veći utjecaj na njih nego što mislimo. Svjetlost po noći pomaže grabežljivcima u pronalaženju svog plijena te zbog toga manje i druge životinje imaju ograničen prostor kretanja. Zbog opasnosti da ne budu lak plijen na svjetlosti, bila to mjesečeva ili umjetna, iz svojih tamnih skrovišta ne izlaze čak ni zbog hrane. Biljojedi smanjuju svoj unos hrane tijekom mjesečine kako bi izbjegli predatore. Umjetna rasvjeta može stvoriti iluziju da je noć svijetla kao noć punog Mjeseca, što onda dovodi do toga da se životinje premalo hrane [22].

Prekomjerna svjetlost noću može poremetiti ove obrasce ponašanja, dovodeći do promjena u migracijama, reprodukciji i interakcijama među vrstama. Primjerice, noćne ptice koje love noću mogu biti ometene prejakim gradskim svjetlima, dok neki morski organizmi mogu biti privučeni svjetlosnim refleksijama s obale, što ih odvaja od prirodnih staništa i može uzrokovati njihovu smrt. Noćne ptice i ptice selice prilikom migracija navigiraju se pomoću Mjeseca i zvijezda. Njihovu orijentaciju ometaju umjetna osvjetljenja, koja ih privlače i otežavaju da napuste tu lokaciju. U takvim situacijama, životinje često nalijeću na osvijetljene televizijske tornjeve ili zgrade. Neki čak lete u krug oko njih sve dok ne padnu od iscrpljenosti. Kada završe na tlu, budu omamljene ili ozlijeđene i postaju lak plijen za grabežljivce [23].

Znanstvenici su primijetili da veće osvjetljenje na autocestama ne doprinosi smanjenju broja automobilskih nesreća sa životinjama [24]. Sisavci koji su aktivni noću češće su uzrok automobilskih nesreća jer im smeta umjetno noćno svjetlo. Sisavci koji najčešće nastradaju su srne. Noćne životinje koje se orijentiraju pomoću štapićastih stanica u očima postanu slijepe te se upravo zbog toga „zalede“ pred svjetlima automobila. Mrežnica se zasiti svjetlom i životinja nije u mogućnosti vidjeti u kojem smjeru treba pobjeći. Slika 9 prikazuje kako srna trči izravno prema autu, iako može stati i pričekati, ona bježi u strahu od opasnosti.



Slika 9: Bliski susret sa životinjom pod utjecajem svjetlosnog onečišćenja [25]

Svjetlosno onečišćenje također može doprinijeti prijenosu bolesti među životinjama. Šišmiši se uobičajeno hrane kukcima i ostalim živim bićima u blizini ulične rasvjete te tako sve životinje koje su zaražene budu pojedene što uzrokuje zarazu predatora i tako prenose bolesti. Postoje tri vrste kretanja insekata koje uključuju svjetlo. Fiksni efekt uzrokuje zaustavljanje kukca pred svjetlom na određenoj udaljenosti. Nakon zaustavljanja kukci se ne pomiču s tog mjesta sve dok se to svjetlo ne ugasi ili dok ne svane sunce. Kada su tako zarobljeni svjetlom ne mogu obavljati svoje osnovne životne funkcije, kao što su pronalazak hrane ili reprodukcija [26]. Drugi kukci imaju izravni nalet na izvor svjetlosti, što najčešće rezultira njihovom smrću. Treća vrsta kukaca misli da je umjetno svjetlo zapravo Mjesec. Rezultat toga je da se njihovo letenje pretvori u oblik kruga, zbog čega su lak plijen ili uginu od iscrpljenja.

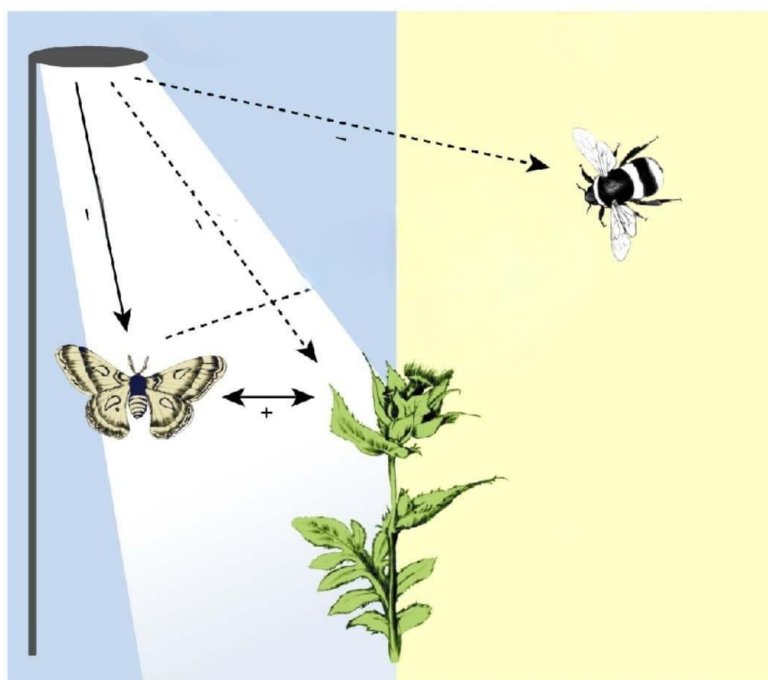
Druga dva efekta uključuju efekt barijere sudara, gdje je niz svjetla, poput onih duž ceste koja prelazi putanju leta insekata, postaju stvarna ograda tim insektima, zabranjujući njihov prijelaz. Ovaj učinak zaustavlja kretanje insekata preko zemlje. Konačni učinak je učinak usisavača, gdje se insekti izvlače iz svoje okoline u smrt svjetlom koje čini krajolik evakuiranim od života.

Važno je razumjeti i smanjiti utjecaj svjetlosnog onečišćenja na životinje radi očuvanja bioraznolikosti i ekosustava.

5.2. Utjecaj na biljni svijet

Biljke su jedini organizmi koji koriste proces fotosinteze kako bi pretvorili sunčevu svjetlost u energiju koja im je potrebna za rast i razvoj. Međutim, umjetna svjetlost može poremetiti prirodni ritam biljaka u velikoj mjeri.

Jedan od ključnih aspekata je poremećaj u ritmu fotonastije, odnosno prirodnom kretanju biljaka prema svjetlosti. Fotonastija je biljni odgovor na svjetlost koji rezultira promjenom položaja ili oblika biljnih organa, poput cvjetova ili lišća, pod utjecajem svjetla. U normalnim uvjetima, svjetlost uzrokuje otvaranje pupoljaka biljaka tako što povećava potencijalni osmotski tlak u njima, što rezultira povećanim pritiskom unutar stanica u pupoljku u usporedbi sa susjednim stanicama. Spektar svjetlosti koji efikasno pokreće ovu reakciju naziva se fotosintetski aktivna radijacija uz dodatni učinak plave svjetlosti [27]. Intenzivna vanjska rasvjeta može poremetiti ovaj proces, što može utjecati na rast, razvoj i reprodukciju biljaka. Također, prekomjerno svjetlosno zagađenje može poremetiti i cirkadijalni ritam biljaka, koji regulira njihove biološke procese kao što su otvaranje i zatvaranje cvjetova ili fotosinteza. Ovaj proces može biti izražen kod mnogih biljaka i igra važnu ulogu u njihovom rastu, razvoju i reprodukciji. Utjecaj svjetla na fotonastiju može biti složen i ovisi o različitim čimbenicima, uključujući intenzitet, trajanje i spektralni sastav svjetla. Na primjer, svjetlost može potaknuti otvaranje ili zatvaranje cvjetova tijekom dana ili noći. Izloženost neprekidnoj umjetnoj rasvjeti noću može poremetiti prirodne ritmove otvaranja i zatvaranja cvjetova, što može utjecati na njihovu sposobnost privlačenja oprašivača i uspješno razmnožavanje. Ovo je važno za biljke koje se oprašuju insektima jer im omogućuje optimalno vrijeme za privlačenje oprašivača. Na slici 10 može se vidjeti kako s lijeve strane ulična rasvjeta privlači noćnog leptira na svjetlo.



Slika 10: Umjetno svjetlo noću kao nova prijetnja oprašivanju [28]

S desne strane je ista ta biljka tokom dana, ona sama privlači pčelu. Ukoliko je biljka duže pod utjecajem noćne rasvjete to znači da se ona možda neće u pravo vrijeme otvoriti za oprašivanje. Iako je moguće da i pčela i noćni leptir opraše cvijet, pčeli je potrebnije, no zbog noćne rasvjete možda neće biti u mogućnosti oprašiti cvijet i samim time proizvesti med. Iako su noćni leptiri važni oprašivači, poneki mogu i štetno utjecati na biljke, pa čak i ljude. Neke vrste noćnih leptira mogu štetno djelovati na ljude, posebice gusjenice čije dlačice mogu izazvati snažne alergijske reakcije. Također, leptiri nekih vrsta mogu prouzročiti veliku štetu u poljoprivredi, šumarstvu, skladištima i vrtovima. Njihove gusjenice oštećuju biljke i sjemenje [29].

Nadalje, svjetlosno onečišćenje može utjecati i na migracije i navigaciju noćnih insekata koji su ključni za oprašivanje biljaka. Dakle, utjecaj na životinje, ali ne sve, je povezan s utjecajima na biljke. Prekomjerna umjetna rasvjeta može privući insekte i promijeniti njihove obrasce kretanja, što može rezultirati smanjenim oprašivanjem biljaka.

Svjetlost također može utjecati na orijentaciju lišća ili cvjetova prema izvoru svjetlosti kako bi maksimalno iskoristili sunčevu energiju za fotosintezu. Međutim, prekomjerna ili nepravilna svjetlost može poremetiti normalne fotonastičke odgovore biljaka. Također, nepravilno usmjerena svjetlost može izazvati nenormalne obrasce rasta i razvoja biljaka, što može imati negativne posljedice na njihovu sposobnost preživljavanja i prilagodbe na okolišne uvjete. Stoga je važno upravljati svjetlom u okolišu biljaka kako bi se osiguralo optimalno okruženje za njihov rast, razvoj i reprodukciju.

Osim toga, svjetlosno onečišćenje može uzrokovati svjetlosnu konkurenciju, gdje umjetna rasvjeta preuzima nadmoć nad prirodnim izvorima svjetlosti, poput sunca, i smanjuje količinu dostupne svjetlosti za biljke [30]. To može smanjiti efikasnost fotosinteze i rasta biljaka, posebno u urbanim područjima gdje je intenzitet umjetne rasvjete visok. Svjetlosna konkurencija je pojava koja se javlja kada različiti izvori svjetla međusobno konkuriraju jedni s drugima. Primjeri svjetlosne konkurencije mogu uključivati borbu između umjetne rasvjete i prirodne svjetlosti u urbanim područjima, gdje prekomjerna rasvjeta može zasjeniti prirodno svjetlo sunca ili mjeseca. Također, svjetlosna konkurencija može se dogoditi između različitih

umjetnih izvora svjetlosti, poput reklamnih panoa ili ulične rasvjete, koji mogu uzrokovati konfuziju ili prekomjerno osvjetljenje. U prirodi, svjetlosna konkurencija može se pojaviti između biljaka koje se natječu za sunčevu svjetlost radi fotosinteze ili za privlačenje oprašivača tijekom cvatnje.

U cjelini, svjetlosno onečišćenje može imati složene i dugoročne posljedice na biljni svijet, uključujući smanjenje biodiverziteta, promjene u ekosustavima i smanjenje reproduktivnog uspjeha biljaka. Stoga je važno provoditi mjere za smanjenje svjetlosnog onečišćenja kako bi se očuvala priroda i biljni svijet.

6. UTJECAJ NA LJUDE

Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na ljude je sveprisutan i složen. Prekomjerna izloženost umjetnoj svjetlosti noću može imati negativne posljedice na zdravlje ljudi. Studije pokazuju da svjetlosno onečišćenje remeti prirodne cikluse spavanja, što može rezultirati nesanicom, umorom i smanjenim osjećajem opuštenosti. Ljudsko tijelo funkcionira unutar stroge unutarnje „biološke“ vremenske strukture, poznate kao cirkadijalni ciklus, koji kontrolira različite biokemijske, fiziološke i ponašajne procese. Ovaj ciklus je usklađen s prirodnim ritmovima dana i noći, svjetla i tame, zahvaljujući „biološkom satu“. Biološki sat usklađuje unutarnje ritmove tijela s vanjskim promjenama kako bi se prilagodio prirodnim ciklusima. Svjetlost igra ključnu ulogu u održavanju ovih bioloških ritmova, uključujući cikluse spavanja i buđenja te utječe na različite aspekte ljudske fiziologije poput tjelesne temperature, krvnog tlaka i izlučivanja hormona. Osim unutarnjih čimbenika, vanjski faktori, posebno svjetlost, imaju značajan utjecaj na funkcioniranje unutarnjeg biološkog sata. Osim toga, dugotrajna izloženost jakom svjetlu noću povezana je s povećanim rizikom od razvoja bolesti poput kardiovaskularnih problema, metaboličkih poremećaja i depresije. Negativni učinci svjetlosnog onečišćenja na ljudsko zdravlje prvenstveno se odnose na proizvodnju hormona melatonina. Prema određenim istraživanjima, svjetlosno onečišćenje smanjuje proizvodnju ovog hormona, što može povećati rizik od razvoja malignih bolesti poput raka dojke, prostate i debelog crijeva. [31]. Rizik od malignih oboljenja izravno proizlazi iz prisutnosti tumorskih stanica u tijelu, koje obično drži pod kontrolom imunološki sustav. Međutim, u slučaju poremećaja u tijelu te stanice se počnu nekontrolirano dijeliti. Ovaj proces označava početak malignog oboljenja. Prilikom izlaganja umjetnoj svjetlosti određenih karakteristika tvorba melatonina biva umanjena ili u određenim slučajevima u organizmu u potpunosti izostaje stvaranje ovog hormona. To negativno utječe na imunološki sustav, slabeći ga i otežavajući kontroliranje tumorskih stanica u organizmu [31]. Stoga je važno razumjeti utjecaj svjetlosnog onečišćenja na ljudsko zdravlje te poduzeti korake kako bi se smanjila izloženost nepotrebnom svjetlu i očuvalo dobrobit ljudi.

6.1. Poremećaj spavanja

Poremećaji spavanja predstavljaju širok spektar stanja koja mogu utjecati na kvalitetu i uzorak spavanja pojedinca. Ti poremećaji mogu uključivati nesanicu, poremećaje disanja tijekom spavanja poput apneje ili sindroma nemirnih nogu, poremećaje ritma spavanja kao što su sindrom odgođenog sna, narkolepsiju i noćne more. Ovi poremećaji mogu rezultirati umorom, smanjenom kognitivnom funkcijom, emocionalnim nestabilnostima i drugim negativnim zdravstvenim posljedicama. Uzroci poremećaja spavanja mogu biti raznoliki, uključujući stres,

anksioznost, hormonalne promjene, lijekove i druga medicinska stanja. Poremećaji spavanja mogu biti uzrokovani i pogoršani svjetlosnim onečišćenjem. Prekomjerna izloženost umjetnoj svjetlosti noću može poremetiti prirodne ritmove spavanja i budnosti, što dovodi do poremećaja poput nesanice i loše kvalitete sna. Svjetlosno onečišćenje može inhibirati proizvodnju hormona melatonina, koji je ključan za regulaciju ciklusa spavanja i budnosti. Sve to zajedno može dovesti do pojave depresije. Ona može uzrokovati probleme u privatnom životu koji se odražavaju i na posao. Teže je voditi socijalne kontakte i teže je fokusirati se na posao, što znači da su takve osobe manje produktivne. Osim toga, svjetlosno onečišćenje može uzrokovati i održavati stres i anksioznost, što dodatno otežava spavanje i održavanje kvalitetnog sna. Važno je smanjiti izloženost nepotrebnom svjetlu noću kako bi se očuvala prirodna regulacija spavanja i promoviralo zdravo spavanje.

6.2. Vizualni učinci viška rasvjete

Suvišna rasvjeta može imati niz štetnih vizualnih učinaka na ljude, posebno kada je izloženost prekomjerna ili nepravilno usmjerena. Ovi učinci mogu biti izraženiji u urbanim područjima, gdje je svjetlosno onečišćenje često prisutno. Kao primjer toga može se uzeti fotografija Hong Kong-a koja je bila prvoplasirana fotografija s fotografskog natjecanja svjetlosnog onečišćenja 2014., slika 11 (zasluge: L. Hoi Kit) [32].



Slika 11: Pogled na Hong Kong noću [32]

Odbljesci su jedan od glavnih problema koje uzrokuje prekomjerna rasvjeta. Odbljesci nastaju kada se svjetlost reflektira od sjajnih površina poput cesta, zgrada ili automobilskih stakala, što ometa vidljivost i može uzrokovati zasljepljenost vozača i pješaka. Osim toga, odbljesci mogu biti posebno problematični u noćnim uvjetima kada se rasvjeta intenzivira, što otežava pravilno percipiranje okoline i povećava rizik od nesreća.

Sjene su još jedan učinak suviše rasvjete koji može otežati vidljivost i stvoriti nepredvidljive situacije, posebno u prometnim područjima. Intenzivno osvijetljene površine mogu stvarati izražene sjene koje otežavaju prepoznavanje prepreka i drugih sudionika u prometu.

Zaslijepljenost je također čest problem koji proizlazi iz prekomjerne rasvjete. Iznenadno izlaganje jakom svjetlu može privremeno smanjiti sposobnost vida, što predstavlja ozbiljan rizik u situacijama poput vožnje ili kretanja po opasnim terenima.

Pored toga, dugotrajna izloženost prekomjernoj rasvjeti može dovesti do umora očiju, glavobolja i napetosti u području vrata i ramena. To može biti osobito problematično za ljude koji rade u prostorima s jakom rasvjetom, poput ureda ili trgovina.

Da bi se smanjili negativni vizualni učinci suvišne rasvjete, važno je pravilno planirati i upravljati osvjetljenjem. To uključuje korištenje prigušivača, reflektora i difuzora kako bi se kontrolirala jakost i smjer svjetlosti, kao i izbjegavanje nepotrebnih izvora svjetlosti. Također je važno educirati ljude o štetnim učincima prekomjerne rasvjete i promicati odgovorno osvjetljenje u urbanim i ruralnim područjima.

6.3. Psihološki učinci viška rasvjete

Suvišna rasvjeta može imati i psihološke učinke na ljude, što može utjecati na njihovo raspoloženje, dobrobit i kvalitetu života. Evo nekih psiholoških učinaka suvišne rasvjete:

Poremećaji spavanja: Prekomjerna izloženost svjetlu noću može poremetiti prirodne cikluse spavanja i budnosti, što može dovesti do nesanice i loše kvalitete sna. Nedostatak sna može dalje uzrokovati umor, razdražljivost i smanjenu koncentraciju tijekom dana.

Stres i anksioznost: Intenzivna rasvjeta može stvarati osjećaj stalne napetosti i nelagode, što može povećati razinu stresa i anksioznosti kod ljudi. Ovo može posebno utjecati na ljude koji su osjetljivi na svjetlost ili imaju poremećaje anksioznosti.

Poremećaji raspoloženja: Dugotrajna izloženost prekomjernoj rasvjeti može utjecati na raspoloženje i emocionalno stanje pojedinca. Osjećaj stalne izloženosti svjetlu može dovesti do osjećaja nelagode, depresije i tjeskobe.

Povećana napetost: Intenzivna svjetlost može izazvati osjećaj povećane napetosti i nervoze kod ljudi, što može utjecati na njihovu sposobnost opuštanja i uživanja u svakodnevnim aktivnostima.

Ometanje mentalnog fokusa: Suvišna rasvjeta može ometati koncentraciju i mentalni fokus, što može utjecati na produktivnost i performanse u obavljanju svakodnevnih zadataka.

Za rješavanje ovih psiholoških učinaka suvišne rasvjete, važno je pravilno upravljati osvjetljenjem i osigurati da je svjetlost prilagođena potrebama i preferencijama pojedinaca. Također je važno educirati ljude o štetnim učincima prekomjerne rasvjete i promicati odgovorno korištenje svjetla radi očuvanja mentalnog zdravlja i dobrobiti.

7. MJERENJE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA

Mjerenje svjetlosnog onečišćenja obuhvaća upotrebu različitih metoda i alata kako bi se kvantificirala razina i distribucija svjetlosnog onečišćenja u okolini. Za kvantificiranje svjetla koriste se mnoga različita mjerenja i jedinice. Na primjer, zračenje mjeri količinu elektromagnetskog zračenja koje dolazi na površinu, dok sjaj mjeri svjetlinu te površine. Kada se na spektralnu distribuciju energije primijene različiti ponderi, dobivaju se različite jedinice.

Na primjer, kada se prilagođava mjerenje svjetlosti prema tome kako ljudsko oko reagira na različite valne duljine svjetlosti (380 nm do 780 nm), zračenje i sjaj poznati su kao osvjetljenje i osvijetljenost. Osvjetljenje se mjeri u luksima (lx), a osvijetljenost u kandelama po m² (cd/m²) [33].

Alat za mjerenje svjetlosnog onečišćenja se dijeli u više kategorija, a one su:

- sateliti,
- senzori u zraku (avioni, dronovi/baloni),
- zemaljski pankromatski senzori (mjerači svjetla, osvjetljenja i kvalitete neba),
- zemaljski senzori za snimanje (spektrometri, aplikacije, digitalne i hiperspektralne kamere).

Evo nekoliko metoda koje se često koriste za mjerenje svjetlosnog onečišćenja [33]:

Fotometrijska mjerenja: Ova metoda koristi fotometre ili spektrofotometre za kvantitativno mjerenje intenziteta svjetlosti u određenim točkama ili područjima. Fotometrijska mjerenja omogućuju procjenu osvijetljenosti ili svjetlosnog fluksa u okolini i identifikaciju područja s prekomjernim svjetlosnim izvorima.

Fotografska dokumentacija: Korištenje fotografskih tehnika za dokumentiranje noćnog neba omogućuje vizualnu procjenu razine svjetlosnog onečišćenja. Fotografije se mogu analizirati kako bi se identificirali uzroci svjetlosnog onečišćenja i praćenje promjena tijekom vremena.

Satelitska snimanja: Satelitske snimke iz svemira mogu pružiti pregled šireg područja i identificirati područja s visokom razinom svjetlosnog onečišćenja. Ova tehnika omogućuje procjenu urbanizacije i raspodjele umjetne rasvjete na regionalnoj i globalnoj razini.

Anketiranje stanovništva: Anketiranje stanovništva ili upotreba mobilnih aplikacija omogućuje prikupljanje subjektivnog dojma o svjetlosnom onečišćenju i identifikaciju područja s visokom razinom nezadovoljstva stanovnika.

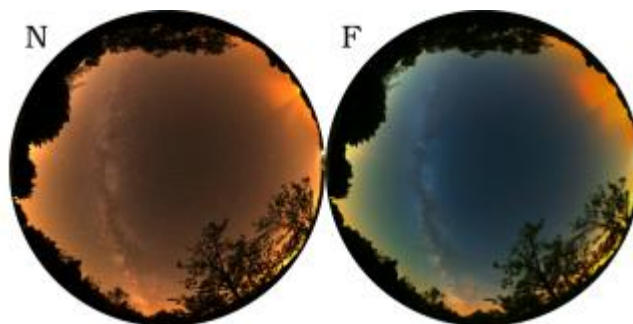
Spektroskopska mjerenja: Korištenje spektrometara za analizu spektralne distribucije svjetlosti omogućuje identifikaciju izvora svjetlosnog onečišćenja i procjenu doprinosa različitih izvora svjetlosti spektralnom onečišćenju.

Kombinacija različitih metoda mjerenja omogućuje sveobuhvatnu procjenu svjetlosnog onečišćenja i identifikaciju strategija za njegovo smanjenje ili upravljanje.

7.1. Digitalne kamere

Mjerenje svjetlosnog onečišćenja digitalnim kamerama postaje sve češća metoda u istraživanjima o svjetlosnom onečišćenju.

Za analizu boja slike bitno je znati stvarne boje noćnog neba. Na slici 12 prikazana je usporedba slike neba koja je stvarna i uređena. Lijeva slika je prikazana u stvarnim bojama. Jarko plavkaste slike astrofotografa često varaju, jer ručno poboljšavaju boje kako bi bile spektakularnije, ali postaju i manje realistične. Također se koristi specifično poboljšanje boje na temelju dobro definirane pretvorbe boja koja može naglasiti različite izvore onečišćujućih tvari, koji se vide na slici desno [34].



Slika 12: Usporedba stvarne i uređene slike neba [34]

Postupak mjerenja svjetlosnog onečišćenja digitalnim kamerama obično uključuje sljedeće korake:

Postavljanje kamere: Digitalne kamere postavljaju se na odabrane lokacije kako bi se snimile slike ili videozapisi okoline pod utjecajem noćne rasvjete.

Snimanje slika: Kamere snimaju slike ili videozapise tijekom određenog vremenskog razdoblja, obično tijekom noći kada su svjetlosni učinci najizraženiji. Snimanje se može obaviti s različitim postavkama ekspozicije i osjetljivosti kako bi se zabilježile različite razine svjetlosnog onečišćenja.

Analiza slika: Nakon snimanja, slike se analiziraju pomoću računalnih programa ili aplikacija za obradu slika kako bi se kvantificirala razina svjetlosnog onečišćenja. To može uključivati mjerenje osvijetljenosti ili svjetlosnog intenziteta na različitim dijelovima slike, identifikaciju izvora svjetla i procjenu njihovog utjecaja na okolinu.

Tumačenje rezultata: Konačni korak u procesu je tumačenje rezultata analize slika kako bi se procijenila razina svjetlosnog onečišćenja u istraživanom području. Ovi rezultati mogu se koristiti za identifikaciju područja s visokom razinom onečišćenja, praćenje promjena tijekom vremena i razvoj strategija za smanjenje svjetlosnog onečišćenja.

Mjerenje svjetlosnog onečišćenja digitalnim kamerama omogućuje brzo i praktično prikupljanje podataka o svjetlosnom onečišćenju na širem području te može biti korisna tehnika u istraživanju i praćenju ovog problema.

Digitalni fotoaparati DSLR (eng. *digital single-lens reflex*) ili MILC (eng. *mirrorless interchangeable lens camera*) pružaju mogućnost mjerenja sjaja noćnog neba. Nedavno je uvedena nova metrika za određivanje kvalitete noćnog neba [35]. Preporučena metrika je spektralno zračenje prosjeka pojasa s jedinicom $nW/m^2/sr/nm$, kratica dsu (eng. *dark sky unit* - jedinica tamnog neba). Crveni, zeleni i plavi kanali pružaju tri spektralne vrijednosti zračenja prosječne u pojasa: \bar{L}_R, \bar{L}_G i \bar{L}_B . Da bi se odredile boje te se količine mogu normalizirati kako bi se dobile oznake $l_x = c \cdot \bar{L}_x$ i $l_R + l_G + l_B = 1$. Ovom normalizacijom \bar{L}_G, l_R i l_G pružaju potpuni opis mjerenja digitalnog fotoaparata nebeskog sjaja u određenom smjeru [34].

Znanstvenici su proveli prošireno spektralno istraživanje u parku tamnog neba Zselic u Mađarskoj. Zselic je poznato područje u Mađarskoj koje je popularno među astronomima zbog svoje niske razine svjetlosnog onečišćenja, što ga čini idealnim mjestom za promatranje noćnog neba. Mjerenja svjetlosnog onečišćenja u Zselicu imaju za cilj kvantificirati razinu prirodnog i umjetnog svjetla kako bi se bolje razumjela kvaliteta tamnog neba i potencijalno razvile strategije za očuvanje ovog dragocjenog resursa [34].

U slučaju Zselic mjerenja, zeleni sadržaj (l_R) ima vrlo uzak raspon, što ukazuje na nisku razinu zračnog sjaja. Međutim, blizu horizonta povećava se razina komponente svjetlosnog onečišćenja, što rezultira povećanim l_R i razinom sjaja [34].

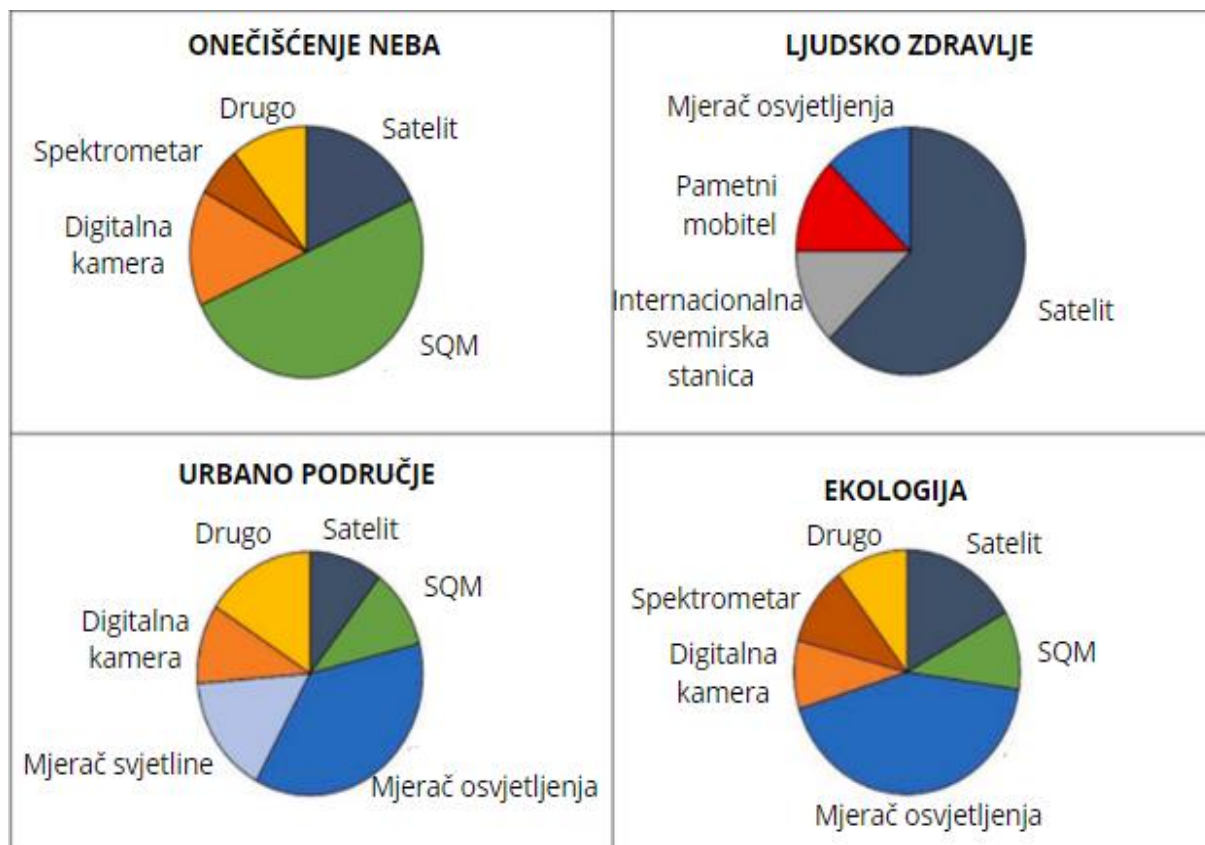
Istraživanje je dokazalo kako se za razlikovanje raznih izvora noćnog sjaja mogu koristiti boje kamere. Istraživanje se temelji samo na slikama boje neba iznad 30° nadmorske visine iznad horizonta. Time je osigurano da se nisu promatrala crvenila blizu horizonta, koja nastaju zbog raspršenja svjetlosti i svjetlosnog onečišćenja.

7.2. Mjerači kvalitete neba, SQM (eng. *sky quality meters*)

Mjerači kvalitete neba pripadaju u kategoriju zemaljskih pankromatskih senzora. Mjerači kvalitete neba (SQM) su povoljni uređaji za trenutna mjerenja koji su popularni među istraživačima i amaterskim astronomima. Međutim, za razliku od satelita, SQM je osjetljiviji na kratke valne duljine [33]. Ovaj spektralni odgovor može dovesti do nepouzdanih prikaza učinaka zamjene LED dioda na svjetlosno onečišćenje neba. Unatoč tvrdnji literature proizvođača da se mjeri u astronomskim jedinicama postoji spektralna neusklađenost između SQM odgovora i astronomskog V pojasa. Astronomski V pojas odnosi se na specifičan raspon valnih duljina svjetlosti u vidljivom spektru koji astronomi koriste za fotometrijska mjerenja. Ovaj pojas, središnje valne duljine oko 550 nm, posebno je koristan za mjerenje sjaja zvijezda i drugih nebeskih objekata, jer je blizu vrhuncu osjetljivosti ljudskog oka i često se koristi u standardnoj fotometriji za usporedbu svjetlosti. Neki istraživači prepoznaju ovu razliku i koriste SQM indeks za upućivanje na svoje rezultate u smislu $\text{mag}_{\text{sqm}} / \text{arcsec}^2$ (eng. *magnitudes per square arcsecond* - magnituda po kvadratnoj lučnoj sekundi). SQM zahtijevaju precizne postupke mjerenja kako bi se smanjile pogreške uzrokovane zalutalom svjetlošću. Unatoč ovim izazovima, SQM se pokazao korisnim u istraživanjima. Postoji sedam vrsta uređaja. Originalni SQM uređaj je ručni i ima široko vidno polje. Kasnije je razvijen ručni uređaj uskog polja, SQM-L, koji ima smanjeno vidno polje kako bi se učinci susjednog svjetla sveli na najmanju moguću mjeru. Ostali uređaji dijele iste osnovne kvalitete, jedina razlika je način rada.

Upute proizvođača, odnosno korisnički vodič preporučuje odbacivanje prvog očitavanja ručnog SQM-a zbog temperature jedinice pri napajanju. Suradnička kampanja za mjerenje preporučuje precizan postupak mjerenja ručnim SQM-L uređajem kako bi se smanjile pogreške uzrokovane zalutalom svjetlošću. Ovaj pristup uključuje usmjeravanje mjerača prema vertikali i prosječno uzimanje četiri očitavanja dok istraživač stoji na četiri točke kompasa. Preporuka je odbaciti podatke ako očitavanja nisu u bliskom dogovoru (maksimalno $\approx 0,2 \text{ mag}_{\text{sqm}}/\text{arcsec}^2$). Dodatni savjeti sugeriraju da se očitavanja ne bi trebala raditi u vedrim noćima osvijetljenima mjesečinom.

Slika 13. dokazuje kako se SQM uređaji koriste i u ostalim istraživanjima, iako su najzastupljeniji u istraživanju nebeskog onečišćenja. Osim u onečišćenju neba koristi se i u ekologiji te u proučavanju urbanih područja. Također se može vidjeti da se mjerač osvijetljenja koristi u svim navedenim područjima osim u onečišćenju neba. Za onečišćenje neba se najmanje koristi spektrometar, a digitalne kamere i sateliti podjednako.



Slika 13: Grafički prikaz alata koji se koriste za različite ciljeve istraživanja [33]

7.3. TESS-W (eng. *telescope encoder and sky sensor*)

TESS je kratica za teleskopski koder i senzor neba, dok se W odnosi na njegovu WiFi vezu. Dizajniran je kao dio mreže za praćenje svjetlosnog onečišćenja. TESS-W je uređaj koji se svrstava u skupinu zemaljskih pankromatskih senzora za mjerenje svjetlosnog onečišćenja. Koristi istu fotodiodu kao SQM s dikromnim filtrom za proširenje spektralnog odziva duge valne duljine. Njegova glavna funkcija je prikupljanje podataka o svjetlosnim uvjetima u različitim okolišima, posebno u urbanim i ruralnim područjima. TESS-W uređaj može precizno mjeriti intenzitet svjetlosti, omogućavajući istraživačima da kvantificiraju razinu svjetlosnog onečišćenja. Opremljen je sposobnošću analiziranja spektralnog sastava svjetlosti, što pomaže u identificiranju izvora svjetlosnog onečišćenja. Kontinuirano prikuplja podatke tijekom noći, čime se osigurava detaljna i kontinuirana slika svjetlosnih uvjeta. TESS-W uređaji mogu biti dio mreže senzora, omogućujući prikupljanje podataka s više lokacija i stvaranje sveobuhvatne mape svjetlosnog onečišćenja. Primjenjuje se u znanstvenim studijama koje istražuju učinke svjetlosnog onečišćenja na okoliš, ljudsko zdravlje i astronomiju.

7.4. Mjerači svjetline i osvjetljenosti

Mjerači svjetline i mjerači osvjetljenosti pripadaju skupini zemaljskih pankromatskih senzora. Da bi bolje razumjeli razliku između pojmova svjetlost i osvjetljenost, potrebno je usporediti njihove definicije. Osvjetljenost ili iluminacija je mjera količine svjetlosti koja pada na površinu i izražava se u luksima (lx), gdje je jedan luks jednak jednom lumenu po m² (lm/ m²). Svjetlina ili luminancija je mjera intenziteta svjetlosti koja dolazi s određenog područja ili površine i percipira se okom, izražena u jedinicama kao što su kandela po m² (cd/m²).

Mjerači osvjetljenosti često se nazivaju „luksmetri“ zbog jedinica u kojima mjere. Ovi ručni mjerači su pankromatski i dizajnirani su da oponašaju odziv ljudskog fotopijskog oka. Lokacija brojila ključna je za omogućavanje točnih očitavanja. Mjerači osvjetljenja također imaju problema s osjetljivošću pri niskim razinama osvjetljenja [36].

Poput mjerača osvjetljenosti, mjerači svjetlosti su pankromatski uređaji dizajnirani da oponašaju odgovor ljudskog fotopijskog oka. Primjer takvog uređaja prikazan je na slici 14. Da bi koristio mjerač osvjetljenja, korisnik pregledava tražilo i usredotočuje nišan instrumenta na područje interesa. Zatim se očitava u kandelama po m² (cd/m²). Slično mjeracima osvjetljenosti, kaže se da mjerači svjetlosti imaju problema s mjerenjem pri niskim razinama osvjetljenja. Utvrđeno je da mjerač osvjetljenja nije prikladan za mjerenje nestatičkih reklamnih znakova, jer senzor nije imao dovoljno vremena da se usredotoči na zaslon [37].



Slika 14: Mjerač svjetlosti, prikaz profila uređaja [33]

8. REGULATIVA I POLITIKA

Regulacija i politika vezane uz svjetlosno onečišćenje imaju u cilju ublaživanje njegovih štetnih učinaka na okoliš, zdravlje ljudi i astronomiju. Različite zemlje i lokalne zajednice razvijaju zakone i smjernice za kontrolu i smanjenje nepotrebne rasvjete. Primjeri uključuju ograničavanje intenziteta i trajanja rasvjete, korištenje ekološki prihvatljivih rasvjetnih tijela te implementaciju zaklona koji usmjeravaju svjetlost samo na potrebna područja.

Cilj Zakona o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja je zaštita od svjetlosnog onečišćenja koje je uzrokovano emisijama svjetlosti koje dolazi iz umjetnih izvora svjetlosti, a izloženi su joj ljudi, biljke, životinje u vodi i zraku [38].

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 zdravlja, zdravlja i temelj koncepta održivog razvitka [38].

Zaštita od svjetlosnog onečišćenja provodi se tijekom noći te danonoćno u prirodnim podzemnim (speleološkim) objektima.

Cilj je ovog Zakona u smislu energetske učinkovitosti smanjiti potrošnju električne energije za javnu rasvjetu.

Novčanom kaznom u iznosu od 25.000,00 do 50.000,00 kuna kaznit će se za prekršaj pravna osoba operator vanjske rasvjete koji u propisanom roku ne izradi akcijski plan i ne dostavi ga Ministarstvu [38]. Novčanom kaznom u iznosu od 25.000,00 do 100.000,00 kuna kaznit će se za prekršaj pravna osoba koja obavlja djelatnost mjerenja rasvijetljenosti okoliša bez akreditacije Hrvatske akreditacijske agencije.

Novčanom kaznom u iznosu od 25.000,00 do 100.000,00 kuna kaznit će se pravna osoba operator vanjske rasvjete koji:

- ~ ne osigura da je tijekom dana vanjska rasvjeta ugašena,
- ~ rabi svjetlosne snopove bilo kakve vrste ili oblika usmjerene prema nebu,
- ~ vanjskom rasvjetom rasvijetljava otvore zaštićenog ili stambenog prostora,
- ~ u građevinama s transparentnom fasadom svjetiljke interijera usmjerava prema vidljivom dijelu neba,
- ~ ugrađuje svjetiljke i ostale izvore svjetlosti protivno obveznom načinu upravljanja rasvijetljavanjem i koji prelaze najviše dopuštene razine rasvijetljavanja okoliša za vanjsku rasvjetu,
- ~ ugrađuje ekološki neprihvatljive svjetiljke,
- ~ postavlja svjetiljke tako da svijetle u horizont i iznad njega,
- ~ u zaštićenim područjima postavlja svjetiljke korelirane temperature boje svjetlosti iznad 2200 K te osvijetljene oglasne ploče,
- ~ cestovnom i javnom rasvjetom rasvijetljava prirodna vodna tijela tako da svojim usmjerenjem i izlaznim tijekom svjetlosti na vodenoj površini emitiraju svjetlost veću od dozvoljene,
- ~ oglasnim pločama zaklanja ili smanjuje vidljivost postavljenih prometnih znakova ili zasljepljuje sudionike u prometu ili odvraća njihovu pozornost u mjeri koja može biti opasna za sigurnost prometa,
- ~ rabi dekorativnu ili prigodnu vanjsku rasvjetu zgrada i drugih građevina te javnih površina tijekom trajanja blagdana i raznih manifestacija u trajanju dužem od dopuštenog trajanja dekorativne ili prigodne vanjske rasvjete određenog planom dekorativne ili prigodne vanjske rasvjete jedinica lokalne samouprave odnosno Grada Zagreba.

Mjere zaštite od svjetlosnog onečišćenja određuju se radi:

- ~ sprječavanja nastajanja prekomjernih emisija svjetlosti,
- ~ smanjivanja postojeće rasvijetljenosti okoliša na dopuštene vrijednosti,

- ~ udovoljavanja osnovnim zahtjevima za zaštitu koja se odnose na rasvjetna tijela, režim rada rasvjetnih tijela i način uspostavljanja rasvjetnih tijela,
- ~ osiguravanja dostupnosti javnosti informacija planova rasvjete i akcijskih planova gradnje i/ili rekonstrukcije vanjske rasvjete.

Mnoge regije uvode politike za zaštitu tamnog neba, koje su posebno važne u blizini astronomskih opservatorija. Ove politike često uključuju zahtjeve za korištenje niskointenzivne, toplije svjetlosti i zabranu upotrebe određenih vrsta rasvjete tijekom noćnih sati. Također, edukacija javnosti i podizanje svijesti o problemima svjetlosnog onečišćenja ključni su elementi u provođenju ovih regulacija.

Učinkovita provedba regulativa zahtijeva suradnju između vlada, industrije, znanstvenika i zajednica. Među najboljim praksama su redovita mjerenja svjetlosnog onečišćenja, korištenje tehnoloških inovacija u rasvjeti te kontinuirano praćenje i prilagodba zakona prema najnovijim znanstvenim saznanjima i tehnološkim dostignućima. Implementacijom ovih mjera moguće je postići održivu ravnotežu između potrebe za javnom rasvjetom i očuvanja tamnog noćnog neba.

Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja propisuje osnovna načela zaštite, određuje tko je odgovoran za provedbu zaštite, postavlja standarde za upravljanje osvjetljenjem radi smanjenja potrošnje energije te propisuje obavezne načine osvjetljenja. Također, zakon definira mjere zaštite od prekomjerne rasvjete te ograničava i zabranjuje aktivnosti povezane sa svjetlosnim onečišćenjem. Nadalje, zakon regulira planiranje, održavanje i obnovu rasvjete te propisuje odgovornost proizvođača proizvoda koji se koriste za osvjetljavanje. Pravilnik o zonama osvjetljenosti, dopuštenim vrijednostima osvjetljenja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima, propisuje obvezne metode i uvjete upravljanja osvjetljenjem, definira zone osvjetljenosti, postavlja mjere zaštite, utvrđuje maksimalne dopuštene vrijednosti osvjetljenja te propisuje uvjete za odabir i postavljanje svjetiljki [10]. Također, pravilnik postavlja kriterije energetske učinkovitosti, maksimalne dopuštene vrijednosti korelirane temperature boje izvora svjetlosti te potiče upotrebu ekološki prihvatljivih svjetiljki [10, 35].

9. MJERE ZA SMANJENJE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA

Mjere za smanjenje svjetlosnog onečišćenja uključuju niz postupaka i pristupa koji su usmjereni na kontrolu i smanjenje nepotrebnog osvjetljenja te na promicanje ekološki prihvatljivih rasvjetnih rješenja. To može uključivati primjenu tehnologija smanjenog intenziteta svjetlosti, kao što su prigušivači ili senzori pokreta koji reguliraju osvjetljenje prema stvarnim potrebama. Također, važno je educirati javnost o učincima svjetlosnog onečišćenja i promicati svijest o potrebi za racionalnim korištenjem rasvjete. Regulacija i provedba zakona o osvjetljenju također su ključni koraci u borbi protiv svjetlosnog onečišćenja, uz poticanje na korištenje ekološki prihvatljivih svjetlosnih rješenja u urbanom planiranju i arhitekturi. Osim toga, suradnja između vlada, znanstvenika, industrije i lokalnih zajednica od ključne je važnosti kako bi se uspješno implementirala rješenja za smanjenje svjetlosnog onečišćenja i osigurala održiva budućnost.

9.1. Primjena LED tehnologije

Light-emitting diode, LED rasvjeta je danas najčešća i najraširenija vrsta svjetla koja se koristi u kućanstvu, industriji i na ulicama. LED žarulje su vrlo važne za poljoprivredu, hortikulturu i uzgoj kućnih biljaka. One su izuzetno učinkovite, proizvode vrlo malo topline u odnosu na količinu svjetlosti koju pružaju, te nude širok spektar izbora u veličini, namjeni i opcijama. LED svjetla za uzgoj obično pružaju osvjetljenje punog spektra, a mnoga se mogu i prilagoditi. Osim što pružaju puni spektar svjetlosti, ova svjetla su i vrlo ekonomski isplativa.

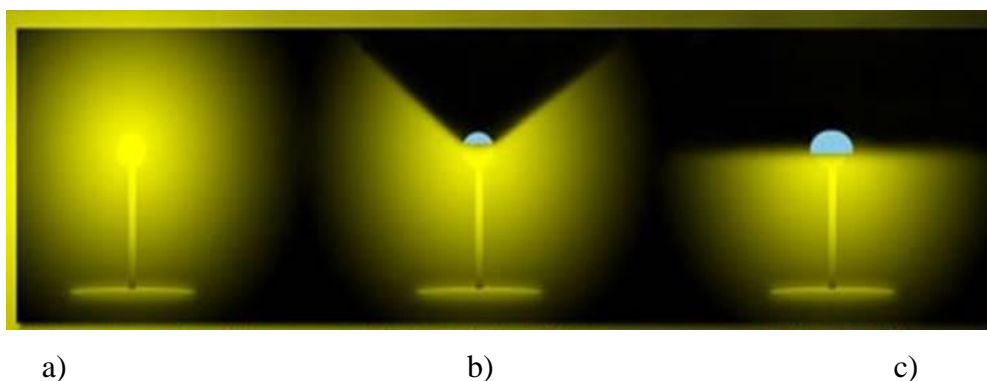
Iako su LED svjetla energetske učinkovitija, ona emitiraju snažnu komponentu plave boje. Atmosfera najviše raspršuje plavu svjetlost, pa bi korištenje LED svjetla povećalo količinu plave svjetlosti noću. Ova neprirodna plava svjetlost stvara dojam dana, remeteći san i noćni vid [23].

LED rasvjeta je zapravo napravljena s ciljem da se smanji potrošnja električne energije. Koliko je korisna, toliko je i štetna. LED žarulje su popularne zbog svoje energetske učinkovitosti i minimalne proizvodnje topline u usporedbi s tradicionalnim halogenim žaruljama. Njihova niska potrošnja električne energije rezultira smanjenjem troškova električne energije i doprinosi očuvanju okoliša. Također, zbog svoje dugotrajnosti, LED žarulje zahtijevaju manje zamjena i održavanja. Međutim, iako su LED žarulje općenito vrlo učinkovite, neki korisnici smatraju da imaju previsoku svjetlinu u odnosu na halogenske žarulje. Prekomjerna svjetlina može biti problematična jer dodatno doprinosi svjetlosnom onečišćenju.

Tijekom proteklog desetljeća, znanstvenici su otkrili da se noćno nebo gotovo 10% svake godine povećava u svjetlini zbog umjetne rasvjete, uglavnom zbog LED svjetala koja emitiraju previše sjaja. Rasvjeta na ulicama samo je dio problema, kao i izvori poput osvijetljenih reklamnih panoa i reflektora na stadionima [39].

„Zagađenje svjetlošću može biti poboljšano LED svjetlima, ali treba posvetiti puno pažnje dizajnu“, rekla je biologinja A. Pipkin iz National Park Service, koautorica studije o svjetlosnom onečišćenju u okrugu Chelan [40].

Rješenje svjetlosnog zagađenja se neće riješiti postavljanjem LED rasvjete i ostalog osvjetljenja, promjene započinju s odabirom vrste LED svjetla koje kupiti. Primjer pogrešnog korištenja su rasvjeta oko kuće, nije potrebno svjetlo koje raspršuje svjetlost na sve strane, dovoljna je lampa koja ima tzv. „svjetlosni štit“ kako bi svjetlost doprinijela samo na površinu gdje je potrebno osvjetljenje. Slika 15 prikazuje svjetlo bez svjetlosnog štita (a) u odnosu na svjetla s djelomičnim (b) i cijelim svjetlosnim štitom (c).



Slika 15: Svjetlo a) bez svjetlosnog štita, b) s djelomičnim svjetlosnim štitom i c) s cijelim svjetlosnim štitom [41]

9.2. Korištenje prilagodljivih senzor svjetla

Korištenje prilagodljivih senzora svjetla postaje sve popularnije zbog njihove sposobnosti automatskog prilagođavanja osvjetljenju prema vanjskim uvjetima. Ovi senzori detektiraju promjene u svjetlosti okoline te reguliraju intenzitet rasvjete ili uključuju/isključuju svjetla prema potrebi. Primjena senzora svjetla može rezultirati znatnom uštedom energije i smanjenjem svjetlosnog onečišćenja, jer se svjetla koriste samo kada su zaista potrebna. Također, ovi senzori pridonose većoj udobnosti i sigurnosti, posebno u vanjskim područjima poput parkirališta ili ulične rasvjete, gdje se osvjetljenje može prilagoditi prometu i prisutnosti ljudi [42].

Kombiniranje prilagodljivih senzora svjetla s LED rasvjetom pruža dodatne prednosti u efikasnosti i prilagodljivosti rasvjete. LED svjetla su poznata po svojoj visokoj energetskej učinkovitosti i dugom vijeku trajanja, što ih čini idealnim partnerom za senzorski upravljane sustave rasvjete. Kombiniranjem ove tehnologije, rasvjeta se može automatski prilagoditi prema stvarnim potrebama, što rezultira dodatnom uštedom energije i smanjenjem troškova. Osim toga, prilagodljivi senzori svjetla omogućuju kontrolu nad osvjetljenjem, omogućavajući precizno podešavanje intenziteta svjetla prema promjenama okoliša ili potrebama korisnika. To stvara udobnije i sigurnije okruženje, dok istovremeno doprinosi smanjenju negativnih utjecaja na okoliš poput svjetlosnog onečišćenja [43].

Svjetla sa sensorima mogu se koristiti u različitim okruženjima kako bi se poboljšala učinkovitost i udobnost. Primjene ovih svjetala nisu ograničene samo na vanjske prostore ili domaćinstva, već ih se često može vidjeti i u javnim prostorima poput javnih toaleta, hodnika, stubišta, parkirališta, skladišta ili uredskih prostora. U javnim toaletima, na primjer, svjetla sa sensorima omogućuju automatsko uključivanje i gašenje svjetla kada se korisnici kreću prostorijom, što pomaže u uštedi energije i osigurava da svjetlo nije nepotrebno upaljeno kada prostor nije u upotrebi. Ova tehnologija dodatno pruža i higijensku prednost, jer se svjetlo može automatski upaliti bez dodirivanja prekidača.

Svjetla sa sensorima obično imaju mogućnost da se preko dana automatski isključe ili smanje intenzitet svjetla. To se postiže integriranim sensorom svjetla koji detektira prisutnost dnevnog svjetla. Kada je dovoljno svjetlo vani, senzor prepoznaje tu promjenu i isključuje ili smanjuje svjetla kako bi se uštedjela energija. Ova funkcionalnost osigurava da se svjetla neće nepotrebno paliti tijekom dana kada je prirodna osvjetljenost dovoljna. Svjetla sa sensorima i solarnim punjenjem kombiniraju tehnologije kako bi osigurali učinkovito i održivo osvjetljenje. Ova vrsta svjetala koristi solarnu energiju za punjenje baterija tijekom dana pomoću solarnih panela veličine dlana, čime se eliminira potreba za električnim priključkom ili baterijama koje se mijenjaju. Senzor svjetla omogućuje automatsko uključivanje svjetla kada detektira pad mraka ili kada registrira pokret u blizini. Ova kombinacija tehnologija pruža praktično rješenje za osvjetljenje vanjskih prostora koje je ekološki prihvatljivo, energetski učinkovito i jednostavno za instalaciju.

9.3. Primjeri inicijativa i tvrtki

Postoji niz inicijativa i tvrtki koje su prepoznale važnost borbe protiv svjetlosnog onečišćenja i aktivno sudjeluju u promicanju održivih rasvjetnih rješenja. Primjerice, neke lokalne vlasti provode programe zamjene postojećih rasvjetnih tijela energetski učinkovitijim LED svjetlima ili implementiraju zakonske propise koji ograničavaju intenzitet i smjer rasvjete. Također,

postoje organizacije koje se bave educiranjem javnosti o štetnim učincima svjetlosnog onečišćenja i promiču korištenje prirodnih svjetlosnih resursa. Na tržištu postoje tvrtke koje proizvode visokokvalitetna svjetla s tehnologijom senzora i solarnim punjenjem, pružajući ekološki prihvatljiva rješenja za vanjsku rasvjetu.

Primjeri inicijativa i tvrtki koje se bave problemom svjetlosnog onečišćenja i promiču održive rasvjetne prakse:

1. IDA (eng. *international DarkSky association*) - Međunarodna organizacija posvećena zaštiti tamnog neba i borbi protiv svjetlosnog onečišćenja. Promiču svjetlosno prijateljske prakse i certificiraju mjesta s minimalnom svjetlosnom zagađenosti.
2. Philips Lighting - Tvrtka koja proizvodi LED rasvjetu visoke energetske učinkovitosti i aktivno radi na razvoju inovativnih rješenja za smanjenje svjetlosnog onečišćenja.
3. Signify (bivši Philips Lighting) - Još jedan globalni lider u proizvodnji rasvjetnih rješenja, koji se ističe u proizvodnji LED svjetala s tehnologijom senzora i solarnim punjenjem.
4. SOLA (eng. *smart outdoor lighting alliance*) - Inicijativa koja okuplja gradove, tehnološke tvrtke i istraživače kako bi promovirali pametna rješenja za vanjsku rasvjetu, uključujući senzorske tehnologije za učinkovito upravljanje svjetlom.
5. AWB (eng. *astronomers without borders*) - Organizacija koja se bavi promicanjem astronomije diljem svijeta, uključujući i borbu protiv svjetlosnog onečišćenja koje ometa promatranje neba. AWB organizira edukativne programe i kampanje za očuvanje tamnog neba.

9.3.1. International DarkSky Association

International DarkSky Association je međunarodna neprofitna organizacija posvećena zaštiti noćnog neba od svjetlosnog onečišćenja i promicanju pravilne upotrebe rasvjete kako bi se očuvale tamne noći [44]. Osnovana je 1988. godine, a njezini ciljevi uključuju educiranje javnosti o negativnim utjecajima svjetlosnog onečišćenja, promicanje politika i propisa koji ograničavaju nepotrebnu rasvjetu te certificiranje Dark Sky Parkova i rezervata diljem svijeta. IDA surađuje s lokalnim vlastima, industrijom, znanstvenicima i zajednicama kako bi podigla svijest o važnosti očuvanja tamnog neba i pružila smjernice za smanjenje svjetlosnog onečišćenja. Također, organizira različite inicijative poput Noćnice (eng. *Night sky week*), događanja koja promiču uživanje u tamnom nebu i promatranje zvijezda. Jedan od ključnih projekata IDA-e je certificiranje Dark Sky Parkova, područja koja su zaštićena od svjetlosnog onečišćenja i pružaju idealne uvjete za promatranje zvijezda. Ovi parkovi postaju centri za promicanje svijesti o važnosti očuvanja tamnog neba i ekosustava koji ovise o njemu. Također, IDA razvija i aplikaciju Dark Sky Finder koja omogućava ljudima da pronađu Dark Sky Parkove i druge lokacije pogodne za promatranje noćnog neba diljem svijeta.

9.3.2. Philips Lighting

Philips Lighting, jedna od vodećih svjetskih tvrtka u području rasvjete, prepoznala je važnost odgovornog korištenja rasvjete kako bi se smanjilo svjetlosno onečišćenje i očuvala okolišna ravnoteža. Kroz svoje inovativne proizvode i tehnologije, Philips Lighting promiče koncept održive rasvjete koja kombinira visoku učinkovitost s minimalnim utjecajem na okoliš [45].

Tvrtka je razvila široku paletu proizvoda koji su usmjereni na smanjenje potrošnje energije i smanjenje svjetlosnog onečišćenja. To uključuje LED svjetiljke visoke učinkovitosti, pametne upravljačke sustave koji omogućavaju precizno upravljanje osvjetljenjem te proizvode koji su certificirani prema standardima očuvanja tamnog neba. Kroz svoje poslovanje, Philips Lighting nastoji postaviti primjer odgovornog korporativnog ponašanja i doprinijeti globalnim naporima za smanjenje svjetlosnog onečišćenja i očuvanje noćnog neba za buduće generacije.

9.3.3 Signify

Iako je Signify bivši Philips Lighting, nakon odvajanja od Philipsa, nastavio je svoj put prema promicanju održive rasvjete i borbi protiv svjetlosnog onečišćenja. Ova transformacija omogućila je tvrtki veću fleksibilnost i fokusiranost na inovacije u području energetske učinkovitosti i ekološke održivosti. Unatoč promjeni imena, Signify i dalje čuva naslijeđe Philipsa kao lidera u području rasvjete, nastavljajući razvijati visokokvalitetne proizvode i tehnologije. Njihov angažman u istraživanju i razvoju omogućio im je stvaranje naprednih LED svjetiljki i sustava upravljanja koji pružaju učinkovitu rasvjetu uz minimalan utjecaj na okoliš.

9.3.4. Smart Outdoor Lighting Alliance

Smart Outdoor Lighting Alliance je organizacija koja promiče upotrebu pametne vanjske rasvjete radi poboljšanja energetske učinkovitosti, sigurnosti i estetike u urbanim okruženjima [46]. Njihova misija je poticanje inovativnih tehnologija i praksi u području vanjske rasvjete kako bi se stvorila pametnija i održivija urbana infrastruktura. SOLA okuplja različite dionike, uključujući gradove, industriju rasvjete, akademske institucije i nevladine organizacije, radi promicanja standarda i smjernica za implementaciju pametne vanjske rasvjete. Njihov rad obuhvaća istraživanje, edukaciju i promociju najboljih praksi u području pametne rasvjete, kao i lobiranje za politike koje potiču njezinu širu primjenu. Kroz svoje projekte i inicijative, SOLA podržava razvoj inovativnih rješenja koja kombiniraju tehnologiju, estetiku i održivost.

9.3.5. Astronomers Without Borders

Astronomers Without Borders je međunarodna neprofitna organizacija koja okuplja zaljubljenike u astronomiju diljem svijeta radi promicanja znanja o svemiru i popularizacije astronomije [47]. Osnovana je s ciljem poticanja suradnje i razmjene iskustava između astronomske entuzijasta, profesionalnih astronomske organizacije, edukatora i javnosti. AWB provodi različite programe i aktivnosti, uključujući organizaciju događaja promatranja neba, radionica, obrazovnih programa i humanitarnih projekata koji omogućuju pristup astronomiji ljudima diljem svijeta. Njihov rad uključuje i podizanje svijesti o važnosti očuvanja tamnog noćnog neba radi očuvanja astronomske opservatorija i promicanja borbe protiv svjetlosnog onečišćenja.

10. PRIMJERI DOBRE PRAKSE

Zbog svjetlosnog onečišćenja i nemogućnosti gledanja u zvijezde, ljudi su osnovali rezervate tamnog neba, kojih na svijetu ima nešto više od stotinu [44]. Dark Sky Parks su posebno zaštićena područja, često nacionalni parkovi ili rezervati, gdje se poduzimaju mjere kako bi se minimaliziralo svjetlosno onečišćenje i omogućilo promatranje zvijezda i noćnog neba u najboljim uvjetima. Ova mjesta su dizajnirana tako da nude posjetiteljima jedinstveno iskustvo tamnog neba bez smetnji umjetne svjetlosti. Područja su odabrana na temelju stroge kontrole nad rasvjetom kako bi se osigurala minimalna svjetlosna zagađenja i očuvao tamni noćni pejzaž. Osim što omogućuju promatranje zvijezda, ova mjesta često služe i kao centri edukacije o važnosti očuvanja tamnog neba i borbe protiv svjetlosnog onečišćenja. Aplikacije poput „*Dark Sky Finder*“ ili „*Dark Sky Parks*“ omogućuju korisnicima da pronađu i istraže Dark Sky Parks diljem svijeta. Ove aplikacije pružaju informacije o lokacijama, aktivnostima i uslugama koje su dostupne u svakom parku, kao i savjete za najbolje vrijeme za posjet i promatranje zvijezda. Osim toga, neke od njih omogućuju korisnicima da dijele svoja iskustva i fotografije s drugim ljubiteljima tamnog neba. Ove aplikacije pomažu u promicanju svijesti o važnosti očuvanja tamnog neba i potiču ljude da istraže i uživaju u prirodnom svjetlu noćnog neba.

Primjer jednog od Dark Sky Parkova u Hrvatskoj je Papuk Nature Park, slika 16, koji se nalazi u blizini grada Požege.



Slika 16: Rezervat tamnog neba Papuk [48]

Ovo područje nudi izvanredne uvjete za promatranje noćnog neba zbog minimalnog svjetlosnog onečišćenja te se redovito organiziraju događaji poput noćnih promatranja zvijezda kako bi se posjetitelji educirali o očuvanju tamnog neba. Hrvatska ima ukupno dvije takve lokacije. Drugi rezervat tamnog neba je Petrova gora u blizini Zagreba koji je prikazan na slici 17.



Slika 17: Petrova gora noću [49]

11. ZAKLJUČAK

Zaključno, svjetlosno onečišćenje predstavlja složen problem koji značajno utječe na okoliš, zdravlje ljudi i astronomiju. Različite vrste svjetlosnog onečišćenja uključuju rasipanje svjetlosti, prekomjernu upotrebu umjetne rasvjete te nepravilno usmjeravanje svjetlosnih izvora. Ovo onečišćenje ima širok spektar negativnih utjecaja, uključujući poremećaje u cirkadijalnom ritmu, smetnje u promatranju noćnog neba te ometanje migracija ptica i drugih životinja. Mjerenje svjetlosnog onečišćenja ključno je za razumijevanje njegove rasprostranjenosti i ozbiljnosti problema te za procjenu učinkovitosti poduzetih mjera za njegovo suzbijanje.

Različita rješenja sukladna su potrebama pojedinih područja i zajednica, uključujući korištenje energetski učinkovite rasvjete, upotrebu senzora za prilagodbu svjetlosnih izvora, implementaciju zakonskih regulativa koje ograničavaju svjetlosno onečišćenje te podizanje svijesti javnosti o važnosti očuvanja tamnog noćnog neba. Tehnološka rješenja poput LED rasvjete nude mogućnosti za smanjenje potrošnje energije i emisije svjetlosnog onečišćenja, ali je važno provesti i edukaciju o pravilnom korištenju tih tehnologija.

Uz suradnju između vladinih institucija, znanstvenika, industrije i lokalnih zajednica, moguće je postići značajan napredak u borbi protiv svjetlosnog onečišćenja i očuvati ljepotu noćnog neba. S kontinuiranim istraživanjem, implementacijom regulativa te tehnološkim inovacijama, moguće je stvoriti okoliš u kojem je svjetlost prijateljska prema okolišu i ljudima, osiguravajući balans između potreba za osvjetljenjem i očuvanja prirodnih ekosustava.

12. LITERATURA

1. K. Bakmaz, Svjetlosno onečišćenje, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2021.
2. Vidljivi spektar zračenja:
<https://rasvjeta-mea-futura.com/images/uploads/e1.jpg> (06.05.2024.)
3. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, svjetlosno onečišćenje:
<https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-klimatske-aktivnosti-1879/svjetlosno-oneciscenje/1324> (06.05.2024.)
4. DarkSky, uzroci svjetlosnog onečišćenja: <https://darksky.org/resources/what-is-light-pollution/causes/> (06.05.2024.)
5. <https://www.lipapromet.hr/Usluge/ProjektiranjeSvjetlotehnike/Rasvjetaznanjeiiskustva/tabid/72/ctl/details/itemid/185/mid/531/arulje.aspx> (06.05.2024.)
6. Fizika 4, raspršenje svjetlosti:
<https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/2251080/rasprsenje-svjetlosti.html> (07.05.2024)
7. Cutnell & Johnson: Physics, 9th edition, John Wiley and Sons, (2012).
8. Jutarnji list: Kad ste zadnji puta ugledali zvijezde u svom gradu? Poveznica:
<https://www.jutarnji.hr/promo/kad-ste-zadnji-puta-ugledali-zvijezde-u-svom-gradu-15345795> (07.05.2024)
9. R. Glavaš, Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2021.
10. Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima (NN 128/2020):
https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_11_128_2442.html (10.5.2024.)
11. Zagreb info:
<https://www.zagreb.info/zagrebake-price/nimalo-bezopasne-svjetlece-reklame-pocitavom-gradu-uzrokuju-trenutno-slijepilo-ali-i-poremecaj-vaznog-hormona/561611/> (10.5.2024.)
12. Svjetlotehnička mjerenja luminancije reklamnog displaya kod Nacionalne knjižnice u Zagrebu:
<https://www.zagreb.info/wp-content/uploads/2023/11/bl-Mjerenje-jacine-svjetla-panoa-kod-NSK-zel.jpg> (10.5.2024.)
13. M. Vučković, Svjetlosno onečišćenje u turizmu, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu Ekonomski fakultet, Split, 2020.
14. Atlas svjetlosnog onečišćenja, The Night sky in the World, Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso:
<http://www.lightpollution.it/worldatlas/pages/fig1.htm> (10.5.2024.)

15. Countries with the highest number of international tourist arrivals worldwide from 2019 to 2023 :
<https://www.statista.com/statistics/261726/countries-ranked-by-number-of-international-tourist-arrivals/> (24. 06.2024.)
16. Sydneyska opera noću:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cd/Sydneyoperahouse_at_night.jpg/800px-Sydneyoperahouse_at_night.jpg (16.05.2024.)
17. Grad Zagreb, official website, Zanimljivosti (priznanja i nagrade):
<https://zagreb.hr/en/zanimljivosti-priznanja-i-nagrade/104852> 06.05.2024 16.05.2024.)
18. Live Science, Light pollution: Environmental impact, health risks and facts:
<https://www.livescience.com/light-pollution> (16.05.2024.)
19. Bortleova ljestvica tamnog neba:
<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTZ-RLW2-0cEUxNjhLR8FD9VI4PoSpdbdhxVw&s> (16.05.2024.)
20. VIIRS, Earthdata, NASA:
<https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/viirs> (17.5.2024.)
21. Prikaz svjetlosnog onečišćenja na području Republike Hrvatske, Light pollution map:
<https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=6.20&lat=45.2092&lon=15.3758&state=eyJiYXNlbWFWIjoiTGF5ZlZlCaW5nUm9hZCIsIm92ZXJsYXkiOiJ3YV8yMDE1Iiwib3ZlcmxheWNvbG9yIjpmYWxzZSwib3ZlcmxheW9wYWNPdHkiOjYwLCJmZWFOdXJlc29wYWNPdHkiOjg1fQ> (17.5.2024.)
22. Florida Atlantic University Astronomical Observatory, Light Pollution Affects Mammals in the Environment:
https://cescos.fau.edu/observatory/lightpol-Mammals.html#Beier_LAN_Mammals (17.5.2024.)
23. Florida Atlantic University Astronomical Observatory, Light Pollution Kills Birds in the Environment:
<https://cescos.fau.edu/observatory/lightpol-Birds.html> (17.05.2024.)
24. B. Lisak, Svjetlosno onečišćenje okoliša, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet, Varaždin, 2022.
25. Bliski susret sa životinjom pod utjecajem svjetlosnog onečišćenja:
<https://www.newsflare.com/video/140551/roe-deer-got-slight-hit-from-car-on-road-in-estonia> (17.05.2024.)
26. Florida Atlantic University Astronomical Observatory, Light Pollution Decimates Insects in the Environment:
<https://cescos.fau.edu/observatory/lightpol-Insects.html> (17.05.2024.)
27. B. Lazarević, M. Poljak, Fiziologija biljaka, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, 2019.

28. Umjetno svjetlo noću kao nova prijatna oprašivanje:
https://media.springernature.com/full/springer-static/image/art%3A10.1038%2Fnature23288/MediaObjects/41586_2017_Article_BF_nature23288_Fig1_HTML.jpg (18.05.2024.)
29. Zašto su važni noćni leptiri?:
<https://www.zagorje-priroda.hr/zasto-su-vazni-nocni-leptiri/> (18.05.2024)
30. A. Eskelinen, W. S. Harpole, M. T. Jassen, R. Virtanen, Y. Hautier, Light competition drives herbivore and nutrient effects on plant diversity, *Nature*, **611**(2022), 301-305.
31. T. Sofilić, Zdravlje i okoliš, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak, 2015.
32. Hong Kong pod Castle Peak:
https://www.hku.hk/press/news_detail_11253.html (18.05.2024)
33. S. Mander, R. Lovreglio, F. Alam, M. Ooi, How to measure light pollution - A systematic review of methods and applications, *Sustainable Cities and Society*, **92**(2023), 104465.
34. Z. Kolláth, A. Cool, A. Jechow, K. Kolláth, D. Száz, K.P. Tong, Introducing the Dark Sky Unit for multi-spectral measurement of the night sky quality with commercial digital cameras, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, **253**(2020), 107162.
35. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja:
<https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-klimatske-aktivnosti-1879/svjetlosno-oneciscenje/1324> (18.05.2024)
36. A. Hanel, at all, Measuring night sky brightness: Methods and challenges, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **205**(2018), 278-290.
37. K. M. Zielinska-Dabkowska, K. Xavia, Global approaches to reduce light pollution from media architecture and non-static, self-luminous LED displays for mixed-use urban developments, *Sustainability*, **11**(2019)12, 3446.
38. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja (NN 14/2019):
https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_02_14_271.html (18.05.2024)
39. LED lights are meant to save energy. They're creating glaring problems, National Park Service,
https://www.hs.mh.tum.de/fileadmin/w00bbr/mh/my_direct_uploads/The_Washington_Post.pdf (18.05.2024)
40. L.W. Hung, S. J. Anderson, A. Pipkin, K. Fristrup, Changes in night sky brightness after a countywide LED retrofit, *Journal of Environmental Management*, **292**(2021), 112776.
41. <https://benkallos.com/legislation/introduction-1575-2017-fully-shielded-light-fixture-requirement-city-street-lights> (18.05.2024.)
42. TechHive Smart home guide for beginners: Make your home more convenient to live in without spending lots of time or money:
<https://www.techhive.com/article/3297744/smart-home-guide-for-beginners-how-to-make-your-home-more-convenient-to-live-in.html> (20.5.2024.)

43. I. Bošnjak, Tehnologija pametne kuće, Završni rad, Sveučilište u Rijeci Filozofski fakultet, Rijeka, 2021.
44. DarkSky International:
<https://darksky.org> (20.05.2024.)
45. About us, Philips lighting:
<https://www.lighting.philips.com/about-us> (20.05.2024.)
46. About us, Smart Outdoor Lighting Alliance:
<https://volt.org/sample-page/about-us/> (20.05.2024.)
47. Astronomers without borders:
<https://astronomerswithoutborders.org/about-us/vision-mission-and-goals>
(20.05.2024.)
48. Rezervat tamnog neba Papuk:
<https://www.visitdaruvar.hr/en/international-dark-sky-park.aspx> (20.05.2024.)
49. Petrova gora noću:
<https://riportal.net.hr/vijesti/video-prizori-oduzimaju-dah-hrvatska-sada-ima-dva-parka-tamnog-neba/135948/> (20.05.2024.)

ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI

Ime i prezime: Mihaela Bakarić

Datum rođenja: 26.11.2002.

Adresa: Ljudevita Posavskog 65, 44210 Sunja

Kontakt: 0996601299

e-mail: mbakar@simet.hr

mihelabakaic@gmail.com

OBRAZOVANJE

- 2021. - 2024. Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet
- 2017. - 2021. Strukovna škola Sisak, smjer Nautičar unutarnje plovidbe
- 2009. - 2017. Osnovna škola Sunja

RADNO ISKUSTVO

- 2022. - 2024. McDonald's Sisak

VJEŠTINE

- Rad na računalu- aktivno korištenje Microsoft office
- Strani jezici:
 - Engleski jezik- aktivno korištenje govora i pisma
 - Njemački jezik- osnove govora i pisma

AKTIVNOSTI ZA VRIJEME STUDIJA

- Sudjelovanje na XXIV., XXV. i XXVI. međunarodnoj Tehnologijadi

OSOBNOST

- Kreativna, prilagodljiva, pouzdana, sposobna, samostalna