

Svjetlosno onečišćenje okoliša na primjeru javne rasvjete u Fužinama

Šubat, Stefani

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:287666>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Stefani Šubat

**Svjetlosno onečišćenje okoliša na primjeru javne rasvjete u
Fužinama**

Diplomski rad

Zagreb

2024.

Stefani Šubat

Svjetlosno onečišćenje na primjeru javne rasvjete u Fužinama

Diplomski rad

predan na ocjenu Sveučilištu u Zagrebu Prirodoslovno-matematičkom fakultetu,
Geografskom odsjeku,
radi stjecanja zvanja sveučilišne magistre edukacije geografije i povijesti

Zagreb

2024.

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu sveučilišnog integriranog prijediplomskog i diplomskog studija *Geografija i povijest; smjer: nastavnički* na Sveučilištu u Zagrebu Prirodoslovno-matematičkom fakultetu, Geografskom odsjeku, pod vodstvom prof. dr. sc. Nenada Buzjaka

Sveučilište u Zagrebu
 Prirodoslovno-matematički fakultet
 Geografski odsjek

Diplomski rad

Svjetlosno onečišćenje na primjeru javne rasvjete u Fužinama

Stefani Šubat

Izvadak: U skladu s globalnim prepoznavanjem svjetlosnog onečišćenja, razvijene zemlje donose zakone za kontrolu javne rasvjete. Republika Hrvatska također prepoznaje važnost te tematike i donosi zakonodavne mjere za zaštitu od ovakvog tipa onečišćenja. Cilj ovog istraživačkog rada je ispitati usklađenost javne rasvjete u Fužinama s regulativama propisanim novim zakonom. Postavljene hipoteze usmjerene su prema horizontalnoj rasvijetljenosti, regulaciji intenziteta rasvjete i postavljanju rasvjetnih tijela u skladu s propisima. Jedan od načina utvrđivanja postavljenih hipoteza je mjerenje pomoću luxmetra, uređaja za mjerenje rasvijetljenosti. Uz ovu metodu u terenskom istraživanju korišten je i daljinomjer koji je poslužio za mjerenje precizne udaljenost između mjernih postaja. Metode koje su se još koristile u sklopu terenskog istraživanja su: metoda razgovora, opservacije i fotodokumentiranja. Tome svemu je prethodila metoda prikupljanja i proučavanja podataka o svjetlosnom onečišćenju i o funkcioniranju sustava rasvjete na području Fužina. Metoda kartiranja točaka mjerenja provedena je pomoću aplikacije OruxMap i obrađena u programu QGIS 3.24.3, dok su analiza i sinteza podataka obavljene u programu MS Excel. Na samom kraju korištena je induktivno-deduktivna metoda za sumiranje cijelog istraživanja. Ovaj rad doprinosi razumijevanju problema svjetlosnog onečišćenja na lokalnoj razini te ocjenjuje usklađenost javne rasvjete Fužina s propisima, pružajući osnovu za daljnje mjere očuvanja noćnog okoliša i ekološke ravnoteže.

69 stranica, 19 grafičkih priloga, 11 tablica, 45 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: Svjetlosno onečišćenje, Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, javna rasvjeta, rasvijetljenost, svjetlostaj

Voditelj: prof. dr. sc. Nenad Buzjak

Povjerenstvo: prof. dr. sc. Nenad Buzjak
 prof. dr. sc. Martina Jakovčić
 izv. prof. dr. sc. Ružica Vuk

Tema prihvaćena: 11. 2. 2021.

Rad prihvaćen: 7. 12. 2023.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Master Thesis

Light pollution on the example of street lighting in the Fužine

Stefani Šubat

Abstract: In line with the global recognition of light pollution, developed countries enact laws to control public lighting. The Republic of Croatia also acknowledges the importance of this issue and introduces legislative measures for protection against this type of pollution. The aim of this research is to examine the compliance of public lighting in Fužine with the regulations prescribed by the new law. Hypotheses are formulated regarding horizontal illumination, light intensity regulation, and the placement of lighting fixtures in accordance with regulations. Luxmeter, a device for measuring illumination, was employed to test these hypotheses during field research. Additionally, a rangefinder was used to measure precise distances between measurement stations. Other methods utilized in the field research include discussions, observations, and photodocumentation. Preceding all these, a method of collecting and studying data on light pollution and the functioning of the lighting system in the Fužine area was employed. The mapping of measurement points was conducted using the "OruxMap" application and processed in QGIS 3.24.3, while data analysis and synthesis were performed in MS Excel. Finally, an inductive-deductive method was used to summarize the entire research. This work contributes to understanding the issue of light pollution at the local level, evaluating the compliance of public lighting in Fužine with regulations, providing a basis for further measures to preserve the nocturnal environment and ecological balance.

69 pages, 19 figures, 11 tables, 45 references; original in Croatian

Keywords: Light pollution, Light Pollution Control Act, public lighting, illuminance, luminosity

Supervisor: Nenad Buzjak, PhD, Full Professor

Reviewers: Martina Jakovčić, PhD, Associate Professor
Ružica Vuk, PhD, Associate Professor

Thesis title accepted: 11/02/2021

Thesis accepted: 07/12/2023

Thesis deposited in Central Geographic Library, University of Zagreb Faculty of Science, Trg Marka Marulića 19, Zagreb, Croatia.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Cilj rada	2
1.2 . Hipoteze istraživanja	2
1.3. Metodologija rada	3
1.4. Prostorni i vremenski obuhvat istraživanja	3
1.5. Vremenski okvir istraživanja	5
2. SVJETLOST	6
2.1. Svjetlotehničke veličine i mjerne jedinice.....	7
2.1.2. Jakost svjetlosti	7
2.1.3. Rasvijetljenost	8
2.1.4. Sjajnost (luminacija)	9
2.1.5. Svjetlosna iskoristivost.....	9
2.2.1. Izvori svjetlosti u sustavu javne rasvjete.....	11
3. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE.....	14
3.1. Oblici svjetlosnog onečišćenja	15
3.2 Astronomsko i ekološko onečišćenje	17
3.2.1. Astronomsko onečišćenje.....	18
3.2.2 Ekološko onečišćenje	19
3.3 Ekološki učinci svjetlosnog onečišćenja	19
3.3.1. Utjecaj na čovjeka	19
3.3.2. Utjecaj na životinje.....	21
3.3.3. Utjecaj na biljke	26
4. ZAKONSKE REGULATIVE	28
4.1 Hrvatski zakon i regulative	29
5. SPRIJEČAVANJE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA NA PRIMJERU ULIČNE RASVJETE	32
5.1 Primjer grada Kethuma (Idaho).....	34

6. MJERENJE RAZINE RASVJETLJENOSTI NA PRIMJERU ULIČNE RASVJETE U FUŽINAMA.....	36
6.1. Stanje javne rasvjete u Općini Fužine	36
6.2. Opis mjerenja	37
6.3. Tipovi rasvjetnih tijela na mjerenim lokacijama.....	38
6.4 Lokacije mjerenja	39
6.4.1. Lokacija Sveti križ	40
6.4.2. Lokacija šetnica Jezero.....	42
6.4.3. Lokacija Industrijska zona	44
6.4.4. Lokacija centar	47
6.4.5. Mjerenje svjetlostaja	50
7. ZAKLJUČAK	51
LITERATURA.....	53
Izvori	55
PRILOZI.....	VIII
I. Popis slika	VIII
II. Popis tablica.....	VIII
III. Metodička priprema	X

1. UVOD

Svijet se danas suočava s velikim i brzim tehnološkim promjenama koje se odražavaju na razvoj čovječanstva u svim sferama. Tehnološki napredak uvelike doprinosi ekonomskim i socijalnim aspektima čovjekovog života, međutim, istovremeno to dovodi do niza ekoloških problema. Brojne su vrste onečišćenja okoliša koja utječu na cjelokupni život na Zemlji, poput onečišćenja zraka, tla i voda. Jedno od takvih onečišćenja je i svjetlosno onečišćenje koje se u javnosti počinje spominjati tek početkom 21. stoljeća.

Takva vrsta onečišćenja direktna je pojava industrijskog razvoja koje započinje Prvom industrijskom revolucijom, dok svoj puni intenzitet doživljava drugom polovicom 20. stoljeća. Javlja se uglavnom u gusto naseljenim područjima industrijski razvijenih zemalja. Najvažniji uzroci svjetlosnog zagađenja su veliki gradovi, industrijska područja, ulična rasvjeta, svjetleće reklame i reflektori. Još neki izvori koji također značajno utječu na onečišćenju su: osvjetljavanje fasada ili spomenika te prednja svjetla motornih vozila. Najveći intenziteti umjetnog svjetla vidljivi su u neposrednoj blizini izvora svjetlosti. Unutar osvijetljenih gradskih i prigradskih područja, izravna svjetlost iz ulične rasvjete, kućnih i komercijalnih izvora, te svjetlost reflektirana od okolnih površina, mogu stvoriti vrlo nekoherentno svjetlosno okruženje. Kao najvažniji problem se zapravo izdvaja vremenski okvir rasvijetljenosti pogotovo ako se direktno govori o uličnoj rasvjeti. Naime, ulična rasvjeta obično gori od sumraka do zore, svih 365 dana u godini. Upravo to utječe na prirodnu izmjenu dana i noći, što je neophodno za funkcioniranje ekosustava, a ako to izostaje dolazi do neravnoteže i ekološkog stresa (Gaston i dr., 2013).

Pritisak na ekosustave nije jednak u svim dijelovima Zemlje, a Europa se kao jedan od najrazvijenijih kontinenata suočava s mnogim problemima koji su povezani s okolišem i prirodom te njihovom zaštitom. To vrijedi i za problem svjetlosnog onečišćenja jer je Europa među svjetlom najzagađenijim kontinentima na planetu. Prema svjetskom atlasu umjetne svjetline noćnog neba iz 2016. godine oko 60 % Europljana živi u područjima gdje je umjetno svjetlo toliko jako da je Mliječna staza gotovo trajno nevidljiva (Falchi i dr., 2016). Nekoliko godina prije nego što je objavljen atlas, započinje globalno prepoznavanje ovakvog tipa onečišćenja. Sukladno tome u većini razvijenih zemalja dolazi do kontrole javne rasvjete te se donose zakoni u cilju sprečavanja zagađenja. Većina tih zemalja je već imala zakone i propise

o svjetlosnoj energiji, međutim oni su se prvenstveno bazirali na smanjenje potrošnje iz ekonomskog aspekta (Barentine, 2018).

Republika Hrvatska također prepoznaje važnost ovakvog onečišćenja te donosi novi Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja koji stupa na snagu u travnju 2019. godine (NN 14/2019). Zakonom su propisane brojne regulative s ciljem očuvanja i zaštite prirodnog noćnog neba i krajobraza te je predviđeno donošenje triju podzakonskih akata (pravilnika). Prvi pravilnik koji stupa na snagu u studenom 2020. godine je Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljivanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima (NN 128/20), a preostala dva tek krajem veljače 2023. godine, Pravilnik o mjerenju i načinu praćenja rasvijetljenosti okoliša (NN 22/23) i Pravilnik o sadržaju, formatu i načinu izrade plana rasvjete i akcijskog plana gradnje i/ili rekonstrukcije vanjske rasvjete (NN 22/23). U skladu s donesenim zakonom i pravilnicima za problem svjetlosnog onečišćenja odgovorne su jedinice lokalne samouprave, koje u vremenskom roku od 12 mjeseci moraju izraditi planove za izgradnju ili rekonstrukciju iste, kako bi javna rasvjeta bila u skladu s propisanim (HAS, 2022).

1.1. Cilj rada

Cilj ovog istraživačkog rada je ispitati poštuju li se zadane regulative, propisane zakonom i pravilnicima, u sustavu javne rasvjete na području Fužina. S obzirom na postavljeni cilj, glavno istraživačko pitanje je postoji li svjetlosno onečišćenje u sustavu javne rasvjete u naselju Fužine.

1.2 . Hipoteze istraživanja

Postavljene su sljedeće hipoteze:

H1 - Srednja horizontalna rasvijetljenost ne prelazi maksimalnu propisanu vrijednost za pojedinu zonu rasvijetljenosti na istraživanim lokacijama naselja Fužine.

H2 - U sustavu javne rasvjete Fužina na istraživanim lokacijama provodi se svjetlostaj i/ili reguliranje intenziteta rasvjete preko noći.

H3 - Tipovi rasvjetnih tijela na istraživanim lokacijama u Fužinama adekvatno su postavljena i u skladu s propisima o zaštiti svjetlosnog onečišćenja.

1.3. Metodologija rada

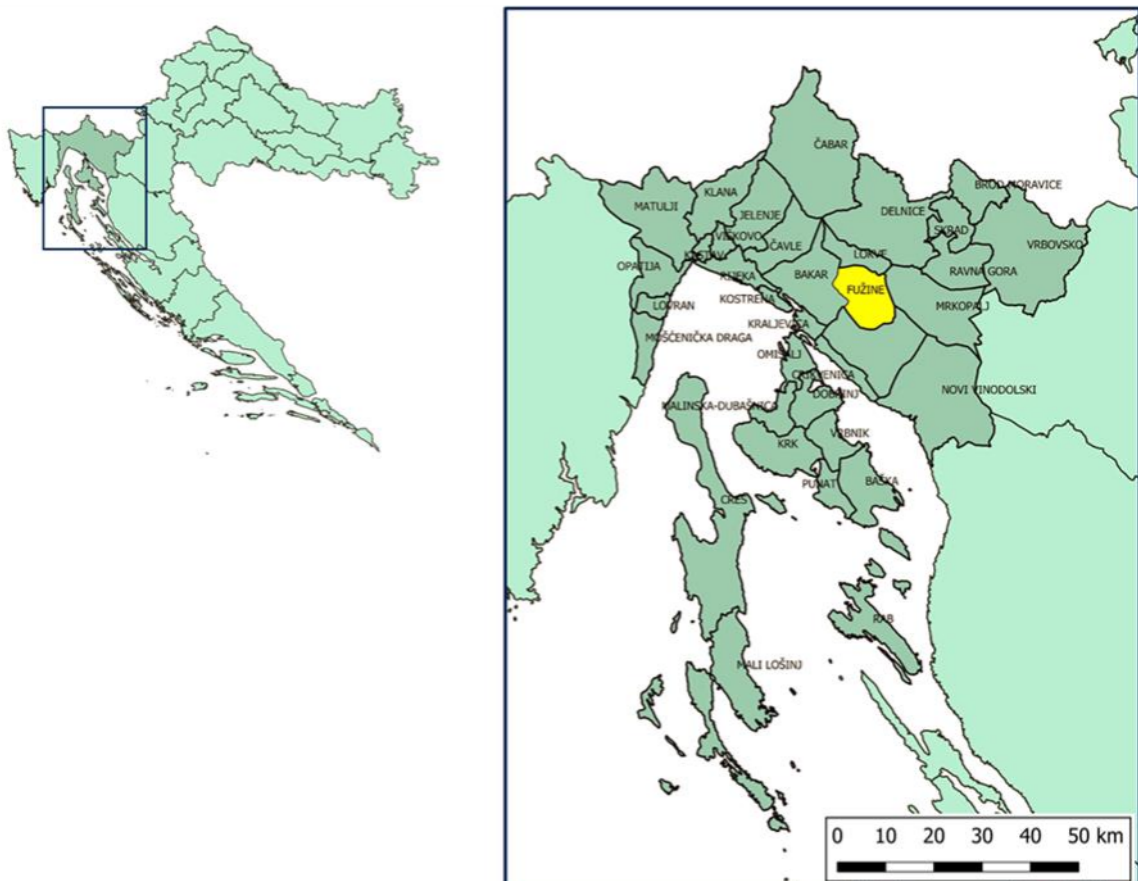
Korištene su metode proučavanja i prikupljanja podataka, terensko istraživanje (metoda razgovora, opservacije i fotodokumentiranja), metoda mjerenja, metoda kartiranja, metoda analize i sinteze te induktivno-deduktivna metoda.

Na početku je korištena metoda proučavanja stručne i znanstvene literature o temi svjetlosnog onečišćenja i istraživanjima iste. Zatim je korištena metoda prikupljanja podataka o rasvjetnim tijelima iz studije o Rekonstrukcije sustava javne rasvjete Općine Fužine i Izvješća o stanju u prostoru Općine Fužine za razdoblje od 2016. do 2019. i terenskog istraživanja. Pod terensko istraživanje spada obilazak ključnih lokacija s predstavnikom tvrtke ELEKTROINSTALACIJE Šporčić d.o.o. odabrane za održavanje javne rasvjete u Općini Fužine. Njime su zahvaćene i metode razgovora, opservacije i fotodokumentiranja tipova rasvjetnih tijela. Glavna metoda korištena u terenskom istraživanju je korištenje luxmetra i daljinomjera. Pomoću luxmetra izmjerena rasvijetljenost odabranih rasvjetnih tijela, a daljinomjer je poslužio za mjerenje što preciznije udaljenosti između mjernih mjesta. Nadalje pomoću aplikacije OruxMap izvedena je metoda kartiranja točaka mjerenja, obrađenih u programu QGIS 3.24.3. Za obradu podataka primjenom analize i sinteze korišten je program MS Excel, a na kraju je korištena induktivno-deduktivna metoda s pomoću koje su oblikovani zaključci cijelog istraživanja.

1.4. Prostorni i vremenski obuhvat istraživanja

Primorsko-goranska županija nalazi se na zapadu Republike Hrvatske te zauzima 3588 km² kopnene površine. Obuhvaća područja grada Rijeke, sjeveroistočni dio istarskog poluotoka, Kvarnerske otoke, Hrvatsko primorje i Gorski kotar (Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2022). U središnjem dijelu Primorsko-goranske županije prostire se Općina Fužine s površinom od 86 km², a sastoji se od šest naselja: Belo Selo, Benkovac Fužinski, Fužine, Lič, Slavica i Vrata. Prema posljednjem popisu stanovništva iz 2021. godine, općina broji 1404 stanovnika. Prosječna gustoća naseljenosti iznosi svega 16,3 stanovnika po četvornome kilometru. Prema zadnjem popisu samo naselje Fužine broji 685 stanovnika, što ga ujedno čini najvećim naseljem po broju stanovnika unutar Općine (DZS, 2021).

Gorski kotar ima ključno prometno značenje („hrvatski gorski prag“) za povezivanje srednjeg Podunavlja sa sjevernim i srednjim Jadranom, a kroz Općinu prolazi autocesta Zagreb-Rijeka (A6) koja je dio važnog prometnog pravca, koridora Vb (Budimpešta-Zagreb-Rijeka). Također, postoje i stare ceste Karolina (1726.) i Lujzijana (1803.). Karolina je prije bila glavna prometnica i povezivala je Karlovac i Bakar, a danas ima manje županijsko značenje (ŽC5068) (Kauzlarić-Andrić, 1985). Lujzijana ne prolazi direktno kroz naselja u općini, ali je na perifernom djelu i do izgradnje autoceste imala je važnu ulogu za povezivanje fužinarskog kraja s Rijekom. Kroz Općinu prolazi i željeznička pruga Budimpešta-Zagreb-Rijeka. Zbog svega je navedenog Općina Fužine primarno tranzitni prostor. Graniči s Kvarnerskim primorjem, te je od Rijeke udaljena 30 km, a od otoka Krka samo 22 km (Kauzlarić-Andrić, 1985).



Sl. 1. Kartografski prikaz položaja općine Fužine unutar Primorsko-goranske županije
Izvor: DGU (2018): Registar prostornih jedinica

Područje Općine relativno je visoka krška regija, pa je tako i samo naselje Fužine u kojem je obavljeno istraživanje, smješteno na 730 metara nadmorske visine. Karakterizira je razveden planinski reljef koji dijeli prostor Općine od obalnog prostora ostatka županije. Ovdje se nalazi

i najveće krško polje u cijelom Gorskom kotaru; Ličko polje kroz koje protječe ponornica Ličanka. Izgradnjom brane kraj Fužina (1952. godine) gornji tok Ličanke pretvoren je u akumulacijsko jezero Bajer, koje (s još 3 jezera) vodom napaja HE »Tribalj« (Senj). Pri izgradnji brane otkrivena je i špilja Vrelo, koja je još jedna u nizu karakteristika krškog reljefa na ovom prostoru (Kauzlarić-Andrić, 1985).

Klima ovog područja prema Köppenovoj klasifikaciji pripada tipu klime Cfb, odnosno umjereno toploj vlažnoj klimi s toplim ljetom ili tzv. „klimi bukve“ (Šegota i Filipčić, 1996). Prije navođenja osnovnih karakteristika, važno je istaknuti da se zbog dodira dvaju klimatskih područja stvaraju hladna zračna strujanja i jaki vjetrovi, posebice u zimskim mjesecima što je donekle specifično za područje Općine Fužine naspram ostalih dijelova Gorskog kotara. Osnovne karakteristike klime Cfb su veće količine padalina i niže temperature, ljetne svježine i veće količine snijega zimi. Srednja temperatura najtoplijeg mjeseca niža je od 22 °C, najmanje četiri mjeseca imaju temperaturu ≥ 10 °C, a srednja mjesečna temperatura najhladnijeg mjeseca viša je od -3 °C. U godišnjem hodu oborine nema sušnih razdoblja, najviše oborine padne u mjesecima hladnog dijela godine, a zimsko je kišno razdoblje široko rascijepano u jesensko-zimski proljetni maksimum. Zime su dosta nestabilne zbog već ranije spomenutih vjetrova, odnosno u ovom slučaju juga. Niži i uvučeni dijelovi odlikuju se sa dugotrajnim maglama, koje su uglavnom izazvane temperaturnim inverzijama, otapanjem snijega, isparavanjem jezera i tekućica, zračnim frontama i radijacijom.

Svi navedeni geografski faktori i elementi pogodovali su tome da su danas Fužine jedne od najprepoznatijih destinacija za izletnički turizam na području Gorskog kotara. Same početke turizma na ovom području možemo pratiti još od kraja 19. stoljeća (Kauzlarić-Andrić, 1985).

1.5. Vremenski okvir istraživanja

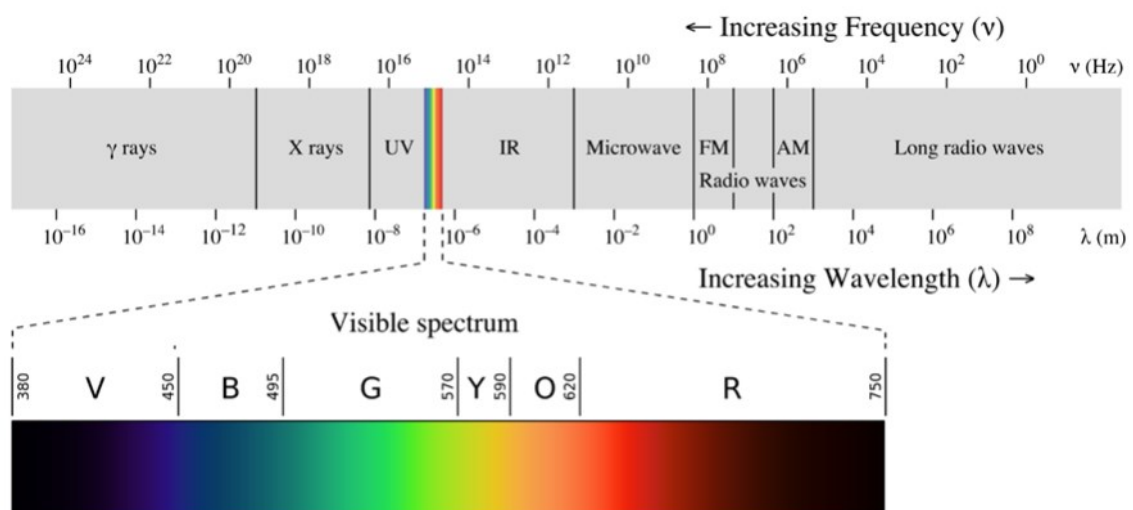
S obzirom na dosta nestabilnu klimu ovakav oblik istraživanje najbolje je obaviti u kasnim proljetnim ili ljetnim mjesecima. U ovom slučaju istraživanje je provedeno sredinom mjeseca svibnja 2022. godine. Mjerenje je provedeno u tri navrata, za vrijeme povoljnih atmosferskih uvjeta u vremenskom rasponu od 22:00 do 04:00 sata.

2. SVJETLOST

Svjetlost je vidljivi dio spektra elektromagnetskog zračenja u rasponu valnih duljina od 380 do 780 nm. Taj raspon valnih duljina ljudsko oko razlikuje kao boje, od ljubičaste s najkraćom valnom duljinom do crvene s najdužom valnom duljinom. Sunčevo zračenje sadrži valove različitih valnih duljina, koji se sastoje od ultraljubičastog zračenja, vidljive svjetlosti i infracrvenog zračenja. Nevidljivo ultraljubičasto zračenje ima valne duljine do 380 nm, a infracrveno (toplinsko) zračenje ima valne duljine veće od 780 nm. Ljudsko oko nije jednako osjetljivo na sve valne duljine elektromagnetskih valova. Najosjetljivije je na valne duljine oko 555 nm (odgovara zelenoj boji) i ne može percipirati elektromagnetske valove ispod 380 nm i iznad 780 nm (Briški, 2016).

Uz svjetlost, spektar elektromagnetskog zračenja čine još i:

- γ zračenje,
- Rendgensko zračenje (x zračenje),
- Ultraljubičasto zračenje (UV zračenje),
- Infracrveno zračenje (IR zračenje),
- Mikrovalovi,
- Radio valovi (FM i AM).



Sl. 2. Prikaz svjetlosti
Izvor: Wikipedia, (2022)

2.1. Svjetlotehničke veličine i mjerne jedinice

Razumijevanje ovog raspona ključno je za dizajn svjetlosnih sustava, poput rasvjete, ekrana i optičkih uređaja, kako bi se osiguralo da ljudsko oko pravilno percipira svjetlost. Iz tog razloga se proces vrednovanja svjetlosnih veličina temelji na sposobnostima ljudskog vida. Fizikalnim se veličinama svjetlost opisuje u onom djelu gdje svjetlost promatramo energetski, kao elektromagnetski val ili kao energetske čestice. Svjetlotehničke odnosno fotometrijske veličine vrednuju svjetlost na temelju osjetilnog efekta i ograničene su samo na vidljivo zračenje spektra 380 do 780 nm. U domeni fotometrije, za mjerenje svjetlosnih veličina koristi se poseban sustav svjetlotehničkih jedinica unutar Međunarodnog sustava jedinica. U tom kontekstu, kandela (cd) se ističe kao temeljna mjerna jedinica, predstavljajući mjeru jakosti svjetlosti. Ostale su svjetlotehničke veličine i njihove mjerene jedinice (tab.1): svjetlosni tok, rasvijetljenost (koja je ključna za provedbu istraživanja u ovom radu), sjajnost (luminacija) te jakost svjetlosne iskoristivosti (Širola, 1997).

Tab. 1. Svjetlotehničke veličine

Veličina	Oznaka	Jednadžba	Mjerna jedinica
Svjetlosni tok	Φ	$\Phi = I \times \Omega$	Lumen (lm)
Jakost svjetlosti	I	$I = \Phi / \Omega$	Candela (cd)
Rasvijetljenost	E	$E = \Phi / A$	Lux (lx)
Sjajnost (luminacija)	L	I/A	Candela po kv. metru (cd/m ²)
Svjetlosna iskoristivost	η	$\eta = \text{lm}/P$	Lumen po watu (lm/W)

Izvor: (Širola, 1997)

A – osvjetljena ili svjetleća površina (m²)

Ω – prostorni kut (steradian, sr)

2.1.2. Jakost svjetlosti

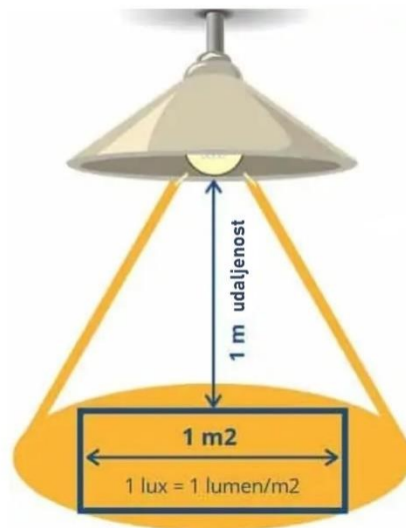
Jakost izvora svjetla podrazumijeva svjetlosni tok u određenom smjeru. Dakle, zbroj jakost svjetlosti u svim smjerovima u trodimenzionalnom prostoru oko izvora svjetlosti predstavlja svjetlosni tok. Jakost svjetlosti mjeri se u kandelama (cd) (REGEA, 2013).

U nastavku se nalaze vrijednosti jakosti svjetlosti za neke poznate izvore svjetla:

- svijeća \approx od 0,6 cd do 1 cd,
- uobičajena žarulja sa žarnom niti 100W \approx 110 cd,
- visokotlačna natrijeva žarulja 70W \approx 500 cd,
- sunce (izvan atmosfere) \approx 3×10^{27} cd (REGEA, 2013).

2.1.3. Rasvijetljenost

Rasvijetljenost ili osvjetljenje je mjera za količinu svjetlosnog toka koja pada na odabrane plohe. Mjeri se u luksima [lx] i predstavlja jednu od najčešće mjerenih veličina u fotometriji, budući da se često navodi u standardima i preporukama za rasvjetu. Jedan luks je osvjetljenje površine jednog kvadratnog metra na koju pada ravnomjerno raspodijeljen svjetlosni tok od jednog lumena (sl. 3) Rasvijetljenost neke površine ovisi o udaljenosti od izvora svjetlosti i kutu pod kojim svjetlo pada na površinu. Uz pretpostavku da je energija koju zrači izvor svjetlosti konstantna, bez obzira na udaljenost od izvora i činjenicu da se površina po kojoj se energija izvora svjetlosti distribuira povećava s kvadratom udaljenosti, slijedi da je rasvijetljenost odabrane površine obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti od izvora svjetlosti.



Sl. 3. Grafički prikaz definicije 1 lx

Izvor: Lighting info, (2023)

Rasvjetljenost horizontalne površine pri tome ovisi o visini Sunca nad obzorom i o meteorološkim uvjetima. Maksimalna rasvjetljenost za vedrog sunčanog dana u našem podneblju mijenja se između 36 000 i 110 000 luxa.

Primjeri nekih tipičnih osvjetljenosti koje se mogu naći u prirodi su:

- Suncem rasvjetljena površina na otvorenom sredinom dana \approx do 100.000lx,
- površina u sjeni na otvorenom (na primjer sjena stabala) \approx do 10.000 lx,
- radna površina u unutarnjoj prostoriji u blizini prozora \approx od 300 do 500 lx,
- javnom rasvjetom rasvjetljena cesta \approx od 2 do 10 lx,
- mjesecina \approx 0,05 lx (REGEA, 2013).

2.1.4. Sjajnost (luminacija)

Luminacija je mjera koliko nam se neka površina čini svjetlom i to je jedina fotometrijska veličina koja se može barem ugrubo procijeniti okom. Mjeri se u kandelama (cd) po kvadratnom metru (cd/m^2). U slučaju izvora svjetlosti ovisi o jakosti svjetlosti, a u slučaju pasivnih površina o rasvjetljenosti i površinskoj refleksiji. Upravo zato što luminacija opisuje fiziološki učinak svjetlosti na oko najvažniji je faktor za projektiranje javne rasvjete (Širola, 1997).

Tab. 2. Različiti izvori svjetlosti i različite luminacije

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

Izvor: Širola, 1997.

2.1.5. Svjetlosna iskoristivost

Svjetlosna iskoristivost izvora svjetlosti je mjera količine električne energije koju izvor svjetlosti pretvara u svjetlo, a ne u toplinsku energiju. Što je veća iskoristivost, možemo reći da je izvor svjetla (žarulja) štedljiviji. Izražava se u (lm/W), a neke vrijednosti karakterističnih izvora su navedene u nastavku:

- uobičajena žarulja sa žarnom niti ≈ 12 lm/W,
- fluorescentna žarulja $\approx 80-100$ lm/W,
- visokotlačna natrij žarulja $\approx 85-150$ lm/W.
- 8,7 W LED svjetiljka s navojem $\approx 69-93$ lm/W (REGEA, 2013).

Sve fizičke i svjetlotehničke mjere su zapravo predodređene za mjerenje određenih izvora svjetlosti. Pri nižim temperaturama tijelo zrači infracrveno odnosno toplinsko zračenje, dok pri visokim temperaturama, osim infracrvenog, zrači i vidljivu svjetlost (sl.1) Fizikalno tijelo s kojega dolazi takav podražaj zove se izvor svjetlosti. Izvori svjetlosti mogu biti prirodni i umjetni. Prirodni se mogu podijeliti na primarne i sekundarne.

Primarni izvori svjetlosti su ona tijela koja samostalno emitiraju svjetlosno, odnosno svijetle sama od sebe. Primjeri takvih izvora uključuju tijela visoke temperature poput Sunca, zvijezda, užarenih kovina te tijela koja proizvode svjetlost putem kemijskih procesa, kao što su fosfor ili svijetleći kukci. Također, vulkanske erupcije i munje predstavljaju primarne izvore svjetlosti (Wikiwand, 2022).

Sekundarni izvori svjetlosti su tijela od kojih svjetlost odbija. Mjesec predstavlja primjer sekundarnog izvora svjetlosti jer reflektira svjetlost koja dolazi od Sunca, igrajući ključnu ulogu kao glavni prirodni izvor svjetla noću kada je vidljiv na nebu. U trenucima kada Mjesec nije prisutan na nebeskom svodu, prirodno svjetlucanje atmosfere, poznato kao luminiscencija, preuzimaju zvijezde i Mliječna staza (Wikiwand, 2022).

Osim prirodnih izvora svjetlosti, postoje i različiti umjetni izvori svjetlosti. Ovi izvori svjetlosti mogu se podijeliti u dvije osnovne kategorije. Prvi su izvori sa žarnom niti, dakle kada se takvi predmeti zagriju na visoku temperaturu, počinju emitirati i infracrveno i vidljivo svjetlo u procesu. Svijeća i žarulja s žarnom niti predstavljaju najbolje primjere ove kategorije. Druga kategorija su luminescentni izvori koji nastaju prilikom prelaska elektrona s jedne energetske razine na drugu. Energija potrebna za taj prijelaz i pojavu luminiscencije dobiva se iz različitih izvora, a najpoznatije su žarulje na izboj plina. Ovakav tip izvora svjetlosti rezultat je ljudskog djelovanja, a jedan od ključnih produkata umjetne svjetlosti danas je javna rasvjeta, koja je ujedno i glavni predmet istraživanja u ovom istraživačkom radu (Širola, 1997).

2.2.1. Izvori svjetlosti u sustavu javne rasvjete

Do čovjekovog susreta s vatrom (procjenjuje se prije oko 400 000 godina), Sunčeva svjetlost bila je jedini stalni oblik izvora svjetlosti. Pojava vatre označila je prekretnicu u razvoju čovječanstva iz nekoliko razloga, a ona najvažnija je da su ljudi dobili novi izvor svjetlosti i topline. Kroz nekoliko razdoblja, ljudska civilizacija razvila je razna tehnološka pomagala u svrhu korištenja energije vatre. Sve do otkrića glinenih uljnih svjetiljki 600. g. pr. Kr., vatra je bila jedini izvor koji svjetlosti koji su ljudi do tada mogli kontrolirati. Glinene uljne svjetiljke pojavljuju se u grčkoj civilizaciji. Ubrzo nakon toga Rimljani otkrivaju svijeću oko 400.g.pr.Kr. Svijeća je bila glavni izvor umjetnog svijetla do pojave plina koji se počinje koristiti tek za vrijeme Prve industrijske revolucije krajem 18. stoljeća. Nedugo zatim plinska rasvjeta se počinje koristiti na ulicama Londona (Zutelija, 2015).

Ključno tehnološko dostignuće za energiju svjetlosti kakva se danas koristi je prva električna žarulja sa žarnom niti patentirana 1879. godine. Izumom struje i žarulje sa žarnom niti započinje razdoblje prave revolucije umjetne rasvjete. Užarena nit, danas najčešće izrađena od volframa, gori na zraku te je iz tog razloga od velikog značenja zaštitno staklo koje štiti nit od utjecaja atmosfere svojim zrakopraznim prostorom. Iako imaju malu energetska učinkovitost, i danas su takve žarulje u velikoj upotrebi. Upravo zbog slabe svjetlosne efikasnosti ubrzo se pojavljuju i drugi oblici žarulja kao što su: fluorescentne cijevi, halogene žarulje, žarulje s izbojem u plinovima, fluokompaktne (štedne) žarulje i visokotlačne živine žarulje (Zutelija,2015). Sredinom prošlog stoljeća, ostvaren je značajni napredak u razvoju električne rasvjete, potaknutog prepoznavanjem potencijalnih štetnosti povezanih s upotrebom žarulja koje sadrže živu.

Tada dolazi do pojave LED diode, međutim iz mnogih razloga šira uporaba ovakvog tipa rasvjete započinje tek početkom 21. stoljeća. Najvažniji razlog za to je činjenica da LED diode zrače u vrlo uskom rasponu, što je sprečavalo stvaranje izvora koji će biti oku ugodan, odnosno prihvatljiv za čovjeka. Nakon što su otkrivena prihvatljiva rješenja za sve nedostatke LED rasvjete, ona se od 2006. godine šire započinje koristiti u kućanstvima, a ubrzo započinje svoje širenje kao primarni oblik umjetne svjetlosti i na drugim mjestima. Razlog tome je što se upravo ovakav oblik rasvjete smatra kao energetska jedan od najučinkovitijih oblika svjetlosti te se konstantno radi na njihovom tehnološkom i ekonomskom razvoju (Zutelija, 2015).

Prema svjetlotehničkom priručniku, LED rasvjeta manifestira se kao znatno učinkovitija u usporedbi s klasičnim i fluorescentnim žaruljama. Pruža više svjetlosti uz istovremeno smanjenje potrošnje električne energije te karakterizira relativno nisku radnu temperaturu. U kontrastu, dok kod žarulja s niti 95% zračenja čini infracrveno zračenje, koje doživljavamo kao toplinu, LED rasvjeta djeluje suprotno. Iz tog razloga postizanje iste količine svjetlosti zahtijeva svega nekoliko vata (W) električne energije. Taj aspekt čini ovu vrstu rasvjete energetski učinkovitom opcijom koja doprinosi smanjenju potrošnje energije. Isto tako sam životni vijek LED žarulja znatno je dulji od životnog vijeka fluorescentnih ili običnih žarulja, što ih čini izuzetno trajnima. U usporedbi sa živinim žaruljama, LED rasvjeta ističe se odsutnošću štetnih sastojaka koji bi mogli štetiti živim bićima i okolišu, istovremeno pružajući izvanrednu učinkovitost. Ovaj aspekt trenutno čini LED rasvjetu ekološki najprihvatljivijim izvorom svjetlosti za potrebe modernog društva. Unatoč brojnim prednostima, neki od nedostataka LED rasvjete uključuju relativno visoku početnu cijenu u odnosu na druge vrste žarulja, kao i isijavanje veće količine plavog svjetla u usporedbi s drugim oblicima rasvjete, zbog „hladnijeg“ karaktera njihove svjetlosti (REGEA, 2013).



Sl. 4. Povijest rasvjete
Izvor: Dreamstime, 2023

U sustavima javne rasvjete koji se koriste u razvijenom svijetu, danas se uglavnom koriste izvori svjetla koji se temelje na elektroluminiscenciji - pretvaranju električne energije direktno u svjetlo, bez izboja u plinu. Tu spadaju:

- fluorescentna žarulja,
- kompaktna fluorescentna žarulja,
- visokotlačna živina žarulja,
- niskotlačna natrijeva žarulja,
- visokotlačna natrijeva žarulja,
- metalna halogena visokotlačna žarulja,
- svjetleće diode, LED diode (LED žarulje) (REGEA, 2013).

Kako kroz povijest tako i danas razvoj umjetne rasvjete ima snažan utjecaj na čovjekovu kvalitetu života. Mogućnost produljena radnih sati, tako da se obavljanje poslova i aktivnosti (rad, čitanje, obrazovanje, rekreacija i društvene djelatnosti) ne ograničava samo na dnevno svjetlo direktno je povezano s ekonomskim rastom i razvojem društva. Ona ima ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti ljudi, sprečavajući nesreće i kriminal. Dobro osvijetljeni prostori smanjuju rizik od pada, sudara i drugih nezgoda. Također, osvijetljenost javnih prostora doprinosi osjećaju sigurnosti. Uz sve to rasvjetu koristimo i za isticanje i naglašavanje ljepote (arhitekture, umjetnosti, spomenike...). Različite vrste svjetla mogu stvoriti različite atmosfere i ambijente, pružajući estetsko zadovoljstvo i time doprinijeti kvaliteti prostora. Sve navedene pozitivne karakteristike vrlo lako se mogu okrenuti u negativne ako se ne vodi računa o pravilnoj primjeni. Primjerice neefikasne svjetiljke i rasvjetna tijela mogu dodatno povećati potrošnju energije što rezultira povećanjem financijskih izdataka, a samim time i razne izazove za pojedince, tvrtke i javne institucije. Međutim, ključni problem neprimjerene i prekomjerne rasvjete su posljedice za samog čovjeka, biljke i životinje, odnosno za cijeli ekosustav (Dere, 2023).

3. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

Neprimjerena upotreba umjetne vanjske rasvjete rezultira rasipanjem svjetlosti izvan namjenskih područja, stvarajući neželjeno osvjetljenje koje se širi iznad i izvan potrebnih mjesta i dovodi do svjetlosnog onečišćenja. Kao što je već navedeno u uvodu, ovakav oblik onečišćenja najlakše je uočiti u urbanim sredinama, međutim ono obuhvaća sve lokacije na kojima se koriste visoko intenzivna svjetla ili gdje je upotreba vanjske rasvjete prekomjerna. Loše upravljanje osvjetljenjem stvara svjetlosnu zagađenost koja narušava noćno okruženje i utječe na mnogobrojne prirodne procese (Rajkhowa, 2014).

Specifičnost svjetlosnog onečišćenja je u tome što nisu svi jednako svjesni njegovog utjecaja, a razina svijesti varira među različitim društvenim skupinama i geografskim područjima. Veća razina svijesti obično postoji među stručnjacima, astronomima, ekološkim aktivistima i određenim dijelovima znanstvene zajednice. Oni uvelike mogu prepoznati posljedice svjetlosnog onečišćenja na noćno nebo, bioraznolikost i ljudsko zdravlje i aktivno se zalažu za smanjenje i kontrolu svjetlosnog onečišćenja. Za učinkovito rješavanje ovog problema potrebno je podignuti senzibilitet javnosti uz pomoć masovnih medija, inicijative ekoloških i drugih udruga i kroz edukaciju (Rajkhowa, 2014).

Iako su stručnjaci primijetili negativan utjecaj već polovicom 20. stoljeća, prva se organizacija vezana za ovu problematiku osniva tek 1988. godine pod nazivom Međunarodna udruga za tamno nebo (*IDA- International Dark-Sky Association*). To je danas vodeća svjetska organizacija čija je svrha smanjenje svjetlosnog onečišćenja i očuvanje tamnog neba. Glavna misija ove organizacije može se izraziti geslom: „zaštititi noć od svjetlosnog onečišćenja“. Kroz različite tehnike i resurse dopiru do pojedinaca, političkih grupacija i industrijskog sektora u cilju smanjenja svjetlosnog onečišćenja i promoviranja prikladne vanjske rasvjete. IDA isto tako sudjeluje u edukaciji dizajnera rasvjete, proizvođača, tehničkih odbora i javnost o kontroli svjetlosnog onečišćenja (DarkSky, 2023).

Pored IDA-e danas postoje razne organizacije osnovane s istim ili sličnim ciljevima. Tako je za Dark Sky Society primaran cilj podržati obrazovne i zakonodavne napore za uklanjanje svjetlosnog onečišćenja. International Commission on Illumination (CIE) međunarodna je organizacija koja okuplja stručnjake iz područja rasvjete i osvjetljenja, a bave se istraživanjem,

standardizacijom i smjernicama za pravilno osvjetljenje, uključujući i smanjenje svjetlosnog onečišćenja (Narisada i Schreuder, 2004).

Osim globalnih organizacija, postoje i lokalne i regionalne udruge posvećene zaštiti noćnog okoliša i borbi protiv svjetlosnog onečišćenja na lokalnoj razini. Ove udruge često surađuju s lokalnim vlastima, organizacijama i pojedincima kako bi educirale i zagovarale promjene u rasvjeti na lokalnoj razini.

U Republici Hrvatskoj najvažnija udruga „Naše nebo“ osnovana je 2010. godine od strane članova nekoliko hrvatskih astronomskih udruga kao specijalizirana udruga koja će se baviti problemom svjetlosnog onečišćenja. Njen cilj je očuvanje prirodno noćnog neba i krajobraza, prirode, okoliša i bioraznolikosti kao temeljnih vrijednosti društva, te prihvatljivo gospodarenje prirodnim resursima primjernom odrednicom održivog razvoja i energetske učinkovitosti te promicanje inovacija u tehnologiji rasvjete (HAS, 2022). Udruga izravno surađuje sa IDA-om, te se uključuje u razne međunarodne projekte od kojih je najpoznatiji „Međunarodni tjedan tamnog neba“. Ideju za cijeli projekt dala je srednjoškolka Jennifer Barlow 2003. godine. Projekt vrlo brzo postaje svjetski događaj i ključna komponenta Globalnog mjeseca astronomije (travanj). Međunarodni tjedan tamnog neba skreće pozornost na probleme povezane sa svjetlosnim onečišćenjem i promovira jednostavna rješenja za njegovo ublažavanje (DarkSky, 2023).

3.1. Oblici svjetlosnog onečišćenja

Svjetlosno onečišćenje može uzrokovati nekoliko problema koji se grupiraju u sljedeće kategorije: sjaj neba (*skyglow*), gomilanje svjetla (*light clutter*), bliještanje (*glare*), prekomjerno osvjetljenje (*over-illumination*) i prekoračenje svjetlom (*light trespass*) (sl. 5). Samo jedno loše postavljeno rasvjetno tijelo može se svrstati u jednu ili nekoliko navedenih kategorija (Rajkhowa, 2014).



Sl. 5. Vrste svjetlosnog onečišćenja
Izvor: Padikkal i dr., (2013)

Prekoračenje svjetlom (*light trespass*) uglavnom je uzrokovano neprikladnom umjetnom rasvjetom. Upad svjetla predstavlja smetnju što je posebno zabrinjavajuće ako svjetlo prodire kroz prozore u stambene zgrade i privatne posjede. Umjetno svjetlo koje dopire do prostorija predviđenih za spavanje dovodi do nedostatka sna, a samim time različitih posljedica za ljudsko zdravlje (više o tome u poglavlju 3.3.1 Utjecaj na čovjeka).

Prekomjerno osvjetljenje (*over-illumination*) može se definirati kao prisutnost intenziteta osvjetljenja (osvijetljenosti) iznad potrebnog za određenu aktivnost. Takva nepotrebna potrošnja energije i nepotrebno osvjetljavanje nastaje u slučajevima prekomjerno postavljenih rasvjetnih tijela za određeno područje i/ili svrhu te korištenje žarulja neprimjerene jakosti. Ova prekomjerna potrošnja doprinosi ukupnoj potrošnji električne energije, čime se povećava potreba za proizvodnjom iste. Povećana potrošnja električne energije također dovodi do veće potrebe za prijenosom između proizvodnih postrojenja i potrošačkih lokacija. S obzirom na gubitke energije tijekom prijenosa električne energije, prekomjerno osvjetljenje doprinosi dodatnim gubicima u cijelom sustavu (ERA, 2020). Blještanje (*glare*) je učinak koji nastaje kad su oči izložene jakom svjetlu. Intenzivan svjetlosni izvor usmjeren u oči izaziva privremeno zaslepljenje, što je osobito opasno za vozače jer uslijed kratkotrajnog zaslepljenja mogu izgubiti kontrolu nad vozilom i uzrokovati prometnu nesreću. Najčešći uzroci bliještanja su jaka ulična svjetla i svjetla automobila. Slično tome je gomilanje svjetla (*lightclutter*) koje se odnosi na akumulaciju suvišne i nepotrebne umjetne svjetlosti na određenom području, a nastaje kada se svjetlosni izvori postavljaju blizu jedan drugom ili kada se koriste nepotrebno snažni svjetlosni izvori na malom prostoru što rezultira prekomjerno osvjetljenim područjem, stvarajući vizualni kaos i smanjujući vidljivost važnih detalja i objekata. Gomilanje se može posebno uočiti u urbanim sredinama gdje se svjetlosni izvori, poput reklama, svjetlećih znakova, ulične rasvjete i drugih, često postavljaju blizu jedan drugome. *Skyglow*, poznat i kao

„nebeska svjetlost“ ili „noćno svjetlosno onečišćenje“, je pojava gdje se noćno nebo osvjetljava svjetlom koje se raspršuje i reflektira od čestica u atmosferi. Ova svjetlost potječe iz različitih izvora, uključujući urbano osvjetljenje, industrijske instalacije, prometne rute te druge oblike umjetne rasvjete. *Skyglow* rezultira vidljivom svjetlosnom maglicom koja prekriva noćno nebo iznad urbaniziranih područja. Ova pojava ima negativan utjecaj na vidljivost zvijezda, planeta i drugih nebeskih objekata, što značajno smanjuje uočljivost astronomskih pojava. Svjetlosno onečišćenje, uključujući *skyglow*, postalo je sve izraženiji problem kako su gradovi i naselja rasla, povećavajući količinu nepotrebne svjetlosti koja se izliva prema nebu, što ne samo da ometa astronomsku promatranja, već ima i negativne posljedice na noćni ekosustav, ljudsko zdravlje i općenito kvalitetu noćnog okoliša (ERA, 2020).

3.2 Astronomsko i ekološko onečišćenje

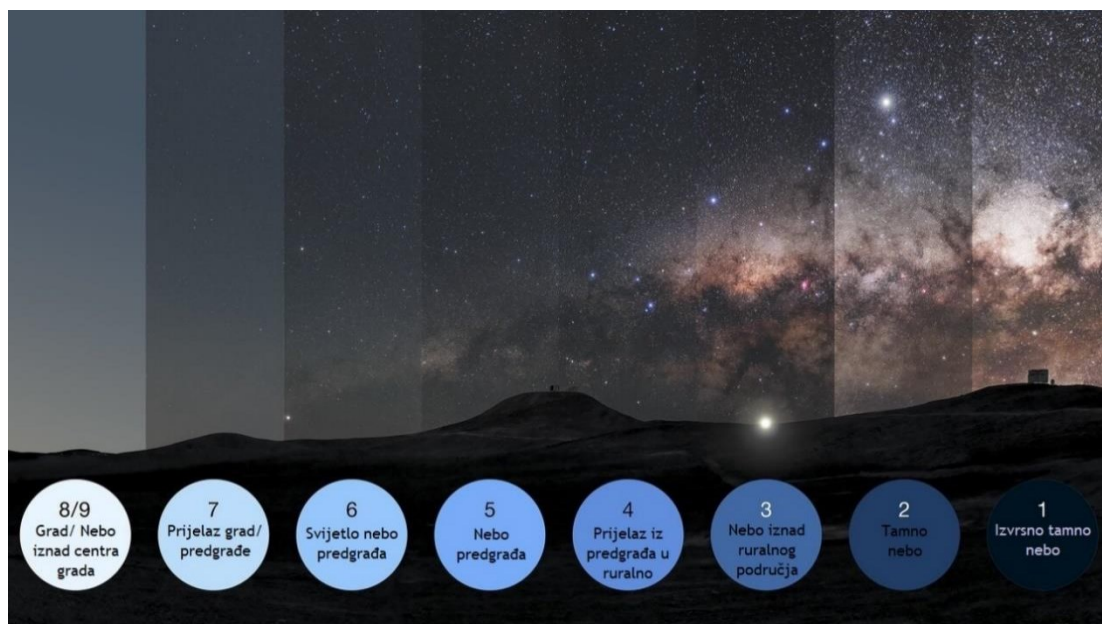
Prema Ministarstvu razvoja i održivog razvoja RH svjetlosno onečišćenje je „... *promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovana emisijom svjetlosti iz umjetnih izvora svjetlosti, koja štetno djeluje na ljudsko zdravlje i ugrožava sigurnost u prometu zbog bliještanja, neposrednog ili posrednog zračenja svjetlosti prema nebu ometa život i/ili seobu ptica, šišmiša, kukaca i drugih životinja te remeti rast biljaka, ugrožava prirodnu ravnotežu na zaštićenim područjima, ometa profesionalno i/ili amatersko astronomsko promatranje neba i nepotrebno troši energiju te narušava sliku noćnog krajobraza*“ (MINGOR, 2019)

Iako navedena definicija „svjetlosnog onečišćenja“ obuhvaća sve ključne karakteristike istoga bitno je naglasiti da se unutar nje zapravo nalaze dvije skupine svjetlosnog onečišćenja. To su „astronomsko svjetlosno onečišćenje“ koje onemogućuje jasna opažanja noćnog neba i „ekološko svjetlosno onečišćenje“ koje interferira sa prirodnom noćnom svjetlosti. Upravo radi toga 1985. godine predložen je izraz „fotopolucija“ s kojim bi se trebalo detaljnije izraziti negativan utjecaj umjetne rasvjete na ekosustav. Međutim prijevod „*photopollution*“ zapravo znači „svjetlosno onečišćenje“ tako da se i dalje sve do danas pojam uvelike shvaća i koristi samo za opis degradacije pogleda na noćno nebo i ljudsko iskustvo noći, a to ujedno utječe i na širenje same svijesti o svim negativnim učincima ovog tipa onečišćenja okoliša (Goronczy, 2021).

3.2.1. Astronomsko onečišćenje

Astronomsko svjetlosno onečišćenje odnosi se na smetnje i ometanja koja svjetlo iz gradova i drugih izvora stvara za promatranje nebeskih objekata na noćnom nebu. Ovo onečišćenje uzrokuje da svjetlosni izvori u okolini preplave noćno nebo svjetlom, smanjujući kontrast između svijetlih i tamnih dijelova neba. Kao rezultat toga, teže je promatrati i istraživati zvijezde, planete, galaksije i druge nebeske objekte i pojave. Astronomsko svjetlosno onečišćenje naročito pogađa astronomske opservatorije i amatere, ograničavajući njihove mogućnosti promatranja i istraživanja svemira. Astronomska mjerenja svjetlosnog onečišćenja uključuju kvantificiranje utjecaja umjetnog svjetla na vidljivost nebeskih tijela na noćnom nebu (Goronczy, 2021).

Za procjenu svjetlosnog onečišćenja pojedinog područja koriste se različite metode i instrumenti. Jedna od tih metoda je i Bortleova ljestvica pomoću koje se onečišćenje može



Sl. 6. Bortleova ljestvica
Izvor: ESO, 2023

svrstati u devet kategorija počevši od nezagađenih područja (razred 1) do vrlo snažno zagađenih područja (razred 9 ili više) (sl.6). Dobiveni podaci mogu se analizirati i usporediti s drugim područjima ili prethodnim mjerenjima. To može pomoći u procjeni promjena u svjetlosnom onečišćenju tijekom vremena (ESO, 2022).

3.2.2 Ekološko onečišćenje

Ekološko svjetlosno onečišćenje odnosi se na štetne učinke viška umjetnog svjetla na prirodne ekosustave i biološke ritmove u okolišu. Ovo onečišćenje može utjecati na životinje, biljke i čitav ekosustav na različite načine. Prekomjerno umjetno noćno svjetlo može zbuniti životinje koje su ovisne o mraku, poput noćnih ptica, insekata i nekih vrsta gmazova, što može utjecati na njihovu prehranu, razmnožavanje i opstanak. Osim toga, ekološko svjetlosno onečišćenje može narušiti biološke ritmove i smanjit bioraznolikost u ekosustavima. Isto tako može imati veliki utjecaj na ljudsko zdravlje (Narisada i Schreuder, 2004).

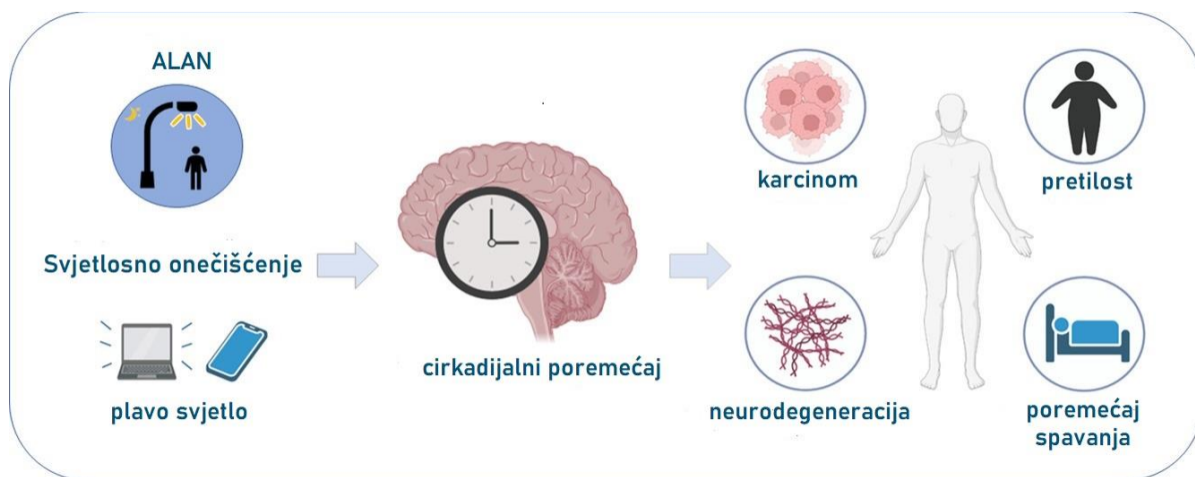
3.3 Ekološki učinci svjetlosnog onečišćenja

3.3.1. Utjecaj na čovjeka

Ljudi prikupljaju informacije uglavnom putem vida, jer je njihovo okruženje vizualni svijet. Oko je najvažnije osjetilo preko kojeg čovjek upija više od 80% svih informacija. To se postiže pomoću svjetla, medijem koji omogućuje vizualnu percepciju. Brzina prijenosa informacija gotovo je 10 puta veća nego kod sluha. Osim što pomoću svjetla čovjek kreira svoju stvarnost (slike, informacije, oblici, boje...), ono uvelike utječe i na ljudske emocije. Zahvaljujući njoj može osjetiti sigurnost, opasnost, blagostanje, interes, radost i tugu. Dakle, vizualni podražaji pomažu kod stvaranja emocija u našem mozgu, a time i površinskog ponašanja i raspoloženja. Svjetlost isto tako utječe i na samu biologiju čovjeka (Širola, 1997).

Oko ima tri različita svjetlosna receptora na mrežnici: čunjiće, štapiće i ganglijske stanice. Dok su čunjići odgovorni za dnevni vid i percepciju boja, a štapići za noćni vid, ganglijske stanice percipiraju samo svjetlosne podražaje (svijetlo i tamno) i ne služe za percepciju oblika i boja. Ganglijske stanice raspoređene su po cijeloj mrežnici, a posebnu osjetljivost imaju u donjem dijelu oka. Ovisno o osvjetljenosti okoline, oni reguliraju biološke procese u tijelu kao što je refleks zjenice ili lučenje ili potiskivanje različitih hormona. Ljudsko tijelo se prilagodilo reguliranom dnevno-noćnom sustavu puno prije sustava umjetne rasvjete. Upravo iz tog razloga dolazi do zabrinutosti da će fizički, mentalni i bihevioralni mehanizmi koji su na bilo koji način izloženi imati poremećaj u cikadijalnom ritmu. Samim time započinje sve veći interes za

proučavanje odnosa između izloženosti ALAN¹ -a i potencijalnih zdravstvenih posljedica. Većina organizama ima "unutarnji sat", koji se naziva cirkadijalni ritam, pa tako i čovjek. Ovaj ritam regulira različite procese, na primjer proizvodnju različitih hormona kod ljudi u određeno doba dana ili regulaciju fotosinteze u biljkama. Unutarnji satovi koji određuju cirkadijalni ritam uglavnom su različite razine svjetline tijekom dnevne i noćne faze, te različite valne duljine svjetlosti (Goronczy, 2021). Prekomjerna svjetlost noću može narušiti prirodne cikluse spavanja i buđenja. Naša tijela se prilagođavaju ciklusima svjetlosti i tame, a prekomjerna svjetlost noću može smanjiti proizvodnju hormona melatonina² koji regulira spavanje. To može dovesti do nesanice i poremećaja spavanja, što ima štetne posljedice po opće zdravlje. Iako bilo kakva neprikladna svjetlost može utjecati na takvu pojavu, brojna istraživanja su pokazala je upravo izlaganje tzv. plavoj svjetlosti noću za čovjeka najštetnija. Na slici 1. jasno se iščitava da plavi dio spektra (fluorescentna i halogena svjetla) kod vidljive svjetlosti ima manju valnu duljinu, a to najviše ometa sintezu melatonina u ljudskom organizmu. Ono što je sigurno jest da melatonin ima presudan utjecaj na rast i razvoj raka. Kao dobar primjer uzima se istraživanje provedeno na Nacionalnom institutu za rak u Marylandu (*National Cancer Institute in Maryland*). Rezultat je pokazao da je rast raka kod štakora podvrgnutih melatoninu bio značajno sporiji od rasta neliječenih životinja (Martinis i Martinis-Mikuta, 2008).



Sl. 7. Shematski prikaz utjecaja svjetlosnog onečišćenja na ljudski organizam
Izvor: Cao i dr., (2023)

¹ ALAN – kratica za „Artificial Light at Night“ u prijevodu na hrvatski „Umjetno svjetlo noću“

² Melatonin - „(grč.), hormon epifize koji se pojačano luči pri izlaganju organizma svjetlu. U mnogih životinja utječe na reproduktivne cikluse i na sezonsku boju krzna. U ljudi utječe na budnost i spavanje, raspoloženje, ovarijske cikluse i pubertet.“ (Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <https://proleksis.lzmk.hr/4104/> 22.06.2022.)

Dakle dosadašnja istraživanja su pokazala da svjetlosno onečišćenje može imati direktan ili indirektan utjecaj na čovjekov san, a to dovodi do niza ozbiljnih posljedica vezanih za ljudsko zdravlje. Neke od njih su:

- Poremećaji endokrinog sustava: svjetlosno onečišćenje može poremetiti endokrini sustav, uključujući hormone kao što su melatonin i kortizol. To može imati negativne posljedice na reproduktivno zdravlje, regulaciju apetita, stresni odgovor i druge biološke funkcije.
- Povećan rizik od kroničnih bolesti: povezanost između svjetlosnog onečišćenja i povećanog rizika od različitih kroničnih bolesti kao što su pretilost, dijabetes, srčane bolesti i čak određeni tipovi karcinoma je istraživana. Pretpostavlja se da ova povezanost dijelom proizlazi iz utjecaja na hormonsku ravnotežu i poremećaje u unutarnjim biološkim ritmovima.
- Psihološki učinci: konstantna izloženost svjetlu noću može imati negativne učinke na mentalno zdravlje. Postoji veza između svjetlosnog onečišćenja i povećane incidencije depresije, anksioznosti i drugih psihičkih poremećaja (Martinis i Martinis-Mikuta, 2008).

3.3.2. Utjecaj na životinje

Ekološko svjetlosno onečišćenje ima potvrđene posljedice na ponašanje i populacijsku ekologiju organizama u prirodnim staništima. Sveukupno, ovi učinci proizlaze iz promjena u orijentaciji, dezorijentacije ili pogrešne orijentacije, te privlačnosti ili odbijanja izmijenjenog svjetlosnog okruženja. Ove promjene mogu imati značajan utjecaj na aktivnosti kao što su traženje hrane, reprodukcija, migracija i komunikacija kod organizama (sl. 8) (Narisada i Schreuder, 2004).



Sl. 8. Shematski prikaz utjecaja umjetne rasvjete kod životinja u njihovom prirodnom staništu
Izvor: Longcore i Rich, (2004)

➤ Orijentacija/dezorijentiranost i privlačnost/odbojnost

Odgovori organizama na svjetlo uključuju orijentaciju i dezorijentaciju prema ambijentalnom osvjetljenju te privlačnost i odbojnost prema samim izvorima svjetlosti. Povećano osvjetljenje može promijeniti dnevno ili noćno ponašanje, omogućujući životinjama bolju orijentaciju. Na primjer, neke ptice i gmazovi, koji su inače aktivni tijekom dana, traže hranu pod umjetnim svjetlom, što se naziva „niša noćnog svjetla“ (Longcore i Rich, 2004).

Isto tako stalna umjetna noćna rasvjeta može uzrokovati dezorijentaciju organizama prilagođenih tamnom okolišu. Jedan od najpoznatiji primjera za to je dezorijentacija morskih kornjača koje se izlegu na osvjetljenim plažama. One se obično izlegu pod tamnim siluetama, omogućujući im brz put do oceana. Osvjetljenje mijenja tu siluetu, što dovodi do dezorijentacije mladunaca. Također, utječe na ponašanje ženki morskih kornjača pri polaganju jaja. Promjene u svjetlu mogu poremetiti orijentaciju noćnih životinja, a brzi porast svjetla može zasljepiti životinje. Na primjer, žabama brzo povećanje osvjetljenja smanjuje vidnu sposobnost, a privikavanje na svjetlo može ih privući.

Ptice noću mogu biti dezorijentirane i zarobljene svjetlima. Jednom kada je ptica unutar osvijetljenog područja noću, može postati „zarobljena“ i neće napustiti osvijetljeno područje. Stoga je veliki broj ptica koje migriraju noću zahvaćen ovim procesom. To zna ovisiti o meteorološkim uvjetima ili kasno noću kada imaju tendenciju da niže lete. Unutar svjetlosne sfere, ptice se mogu sudariti jedna s drugom ili određenim objektom, postati iscrpljene ili mogu stradati od grabežljivca. Ptice koje noću obitavaju uz zgrade u urbanim područjima često umiru u sudaru s prozorima dok pokušavaju poletjeti u svitanje. Umjetna rasvjeta privlači ptice u dimnjake, svjetionike, tornjeve za emitiranje, brodove, staklenike, naftne platforme i druge objekte noću, što rezultirala velikom smrtnošću, a time i ometanje migracijskih ruta (Longcore i Rich 2004).

Veliku većinu insekata privlače svjetla, a jedan od najpoznatijih primjera su moljci. Međutim i ostale skupine također pokazuju istu privlačnost ka svjetlosnim izvorima, a neki od primjera su: čipkare, kornjaši, kukci, mušice, ose, cvrčci, itd. Privlačnost zapravo ovisi o spektru svjetla. Iako su sposobni opažati svjetlost u spektru od 300 do 650 nm, insekti pokazuju preferenciju prema valnim duljinama od 300 do 420 nm, uključujući UV svjetlost (sl.1). Najvažniji faktor privlačnosti insekata prema svjetlu vjerojatno je povezan s UV efektom. Mnoge svjetlosne zamke za insekte koriste UV ili crno svjetlo kao izvor privlačnosti jer upravo ono privlači većinu insekata (Goronczy, 2021). Člankonošci koji ne lete drugačije se odnose prema svjetlosti. Neki noćni pauzi imaju negativnu fototaktičnost³ (tj. odbija ih svjetlost), dok će drugi iskoristavati svjetlost ako je dostupna. Kod nekih kukaca mogu se izdvojiti skupine koje su uvijek pozitivno fototaktični, a drugi su uvijek fotonegativni, dok kod člankonožaca na ove reakcije osim svjetlosti često utječu vlažnosti i temperatura (Narisada i Schreuder, 2004).

Upravitelji prirodnim resursima mogu iskoristiti reakcije životinja na svjetlo u različite svrhe. Primjerice, svjetla se povremeno koriste kako bi privukla ribe prema ljestvama, omogućavajući im da zaobiđu brane i elektrane. Slično tome, svjetlosni izvori mogu privući ličinke riba prema koraljnim grebenima. Na kopnenom području, planinski lavovi koji izbjegavaju osvijetljena područja mogu se odvratiti od ulaska u staništa blizu ljudskih naselja postavljanjem svjetala. Ova strategija koristi se kako bi se očuvala sigurnost i ravnoteža između divlje faune i čovjeka (Longcore i Rich, 2004).

³ Fototaksija → Fototaksija je vrsta taksija ili lokomotornog kretanja koje se događa kada se cijeli organizam kreće prema ili od svjetlosnog podražaja.

➤ Reprodukcijska

Reproduktivno ponašanje može biti promijenjeno umjetnom noćnom rasvjetom. Npr. ženke žaba (*Physalaemus pustulosus*) žaba manje su selektivne u odabiru partnera kada je razina svjetla povećana, vjerojatno preferiraju brzo parenje i izbjegavaju povećani rizik od grabežljivaca tijekom aktivnosti parenja. Noćno osvjetljenje također može spriječiti kretanje vodozemaca do i od područja razmnožavanja stimulirajući fototaktičko ponašanje. Postoje izvještaji da su žabe u eksperimentalnom ograđenom prostoru prekinule aktivnost parenja tijekom noćnih nogometnih utakmica, kada su svjetla s obližnjeg stadiona pojačala sjaj neba. Zborovi parenja nastavili su se tek kad je nastamba bila pokrivena kako bi se žabe zaštitile od svjetla (Longcore i Rich, 2004).

Kod pojedinih vrsta ptica istraživanja upućuju na to da umjetna noćna rasvjeta utječe na izbor mjesta gnijezda. Tijekom razdoblja od dvije godine, praćena je gustoća razmnožavanja kod crnorepe božice (*Limosa limosa*) uspoređujući uvjete s umjetnom rasvjetom i bez nje, kako u blizini ceste tako i u područjima daleko od ceste, gdje su postavljeni rasvjetni stupovi na vlažnom travnjaku. Nakon uzimanja u obzir svih drugih faktora vezanih uz stanište, utvrđeno je da je gustoća gnijezda bila značajno manja unutar udaljenosti od 300 metara od rasvjete na kolniku u usporedbi s kontrolnim područjima (Longcore i Rich, 2004).

➤ Komunikacijska

Na vizualnu komunikaciju unutar i između vrsta može utjecati umjetno noćno osvjetljenje. Neke vrste koriste svjetlost za komunikaciju i stoga su posebno osjetljive na poremećaje. Primjerice ženke svjetlećih crva privlače mužjake na udaljenosti do 45 m bioluminiscentnim⁴ bljeskovima; prisutnost umjetne rasvjete smanjuje vidljivost ovih komunikacija. Slično tome, složeni sustav vizualne komunikacije krijesnica može biti oštećen zalutalim svjetlom.

Umjetno noćno osvjetljenje također može promijeniti komunikacijske obrasce kao sekundarni učinak. Kojoti (*Canis latrans*) grupno zavijaju najviše za vrijeme mladog mjeseca, kada je najtamnije. Njima je takva komunikacija neophodna ili iz razloga da bi se spriječilo ulaženje drugih čopora ili kako bi se čopori sastavili za lov na veći plijen u mračnim uvjetima. Nebeski

⁴ Bioluminescencija je hladno svijetljenje u živih organizama koji procesom izmjene tvari proizvode energiju, što se gotovo potpuno pretvara u svjetlost, a samo se neznatan dio pretvara u toplinu

sjaj mogao bi povećati ambijentalno osvjetljenje kako bi se eliminirao ovaj obrazac u pogođenim područjima (Longcore i Rich, 2004).

S obzirom na ključnu ulogu vida u orijentaciji i ponašanju većine životinja, nije iznenađujuće što umjetna rasvjeta djeluje na njihovo ponašanje. Ova promjena izaziva zabrinutost za očuvanje određenih vrsta, dok se kod drugih vrsta može činiti pozitivnom. Važno je napomenuti da takvi "pozitivni" učinci, unatoč prividnim prednostima, mogu imati negativne posljedice u kontekstu ekologije zajednice (Narisada i Schreuder, 2004).

➤ Kompetencija

Interakcije među vrstama koje dijele isti životni prostor mogu biti narušene umjetnom noćnom rasvjetom npr. u slučaju da im je vrijeme hranjenja uvjetovano razinom osvjetljenja. Dobar primjer za to pronalazimo kod određenih vrsta žaba. Dakle, žaba *Hyla squirella* sposobna je orijentirati se i tražiti hranu pri vrlo niskim razinama osvjetljenja, svega 10-5 luksa, te obično prekida traženje hrane kada je osvjetljenje iznad 10-3 luksa u prirodnim uvjetima. Zapadna žaba krastača *Bufo boreas* traži hranu samo pri osvjetljenju između 10-1 i 10-5 luksa, dok vrsta *Ascaphus truei* traži hranu isključivo tijekom najmračnijeg dijela noći pri osvjetljenju ispod 10-5 luksa. Iako ove tri vrste nisu nužno sinpatrične (tj. ne nastanjuju isto područje) i razlikuju se u drugim dimenzijama niše, ilustriraju podjelu svjetlosnog gradijenta među tražiteljima hrane.

Kao sličan primjer može se navesti i slučaj kod šišmiša. Dakle, mnoge vrste šišmiša privlače insekte koji se okupljaju oko izvora svjetlosti. Iako bi se moglo činiti da je to pozitivan učinak, povećana koncentracija hrane koristi samo vrstama koje iskorištavaju izvore svjetlosti i stoga može rezultirati promijenjenom strukturom zajednice. Brže leteće vrste šišmiša okupljaju se oko svjetala kako bi se hranile insektima, dok druge, sporije vrste izbjegavaju svjetla (Longcore i Rich 2004).

➤ Predatorstvo

Iako se na prvi pogled može činiti korisnim za neke diurnalne vrste (one koje su aktivne danju) da mogu duže vremena tražiti hranu zbog umjetne noćne rasvjete, time se ujedno povećava rizik napada predatora. Ravnoteža između dobitka vremena za potragu hrane i rizika od napada predatora predmet je intenzivnih istraživanja kod malih sisavaca, gmazova i ptica. Za neke

skupine zmija, šišmiša, riba i manjih sisavaca primijećeno je da im se vrijeme potrage za hranom u uvjetima prevelike osvjetljenosti skraćuje, vjerojatno kako bi se smanjila mogućnost napada predatora (Narisada i Schreuder, 2004).

➤ Primjer krijesnica

Jedan od zanimljivijih primjera kod životinjskog svijeta vezano za ovu temu su krijesnice. One koriste svoju bioluminiscenciju, kemijsku reakciju koja proizvodi svjetlost, za komunikaciju parenja. Odrasle jedinke jednog ili oba spola (ovisno o vrsti) emitiraju specifične bljeskove koje prima drugi spol. Tijekom sezone parenja, krijesnice bljeskaju kasno u danu, ubrzo nakon zalaska sunca, kada je razina svjetlosti niska. Visoke razine umjetnog svjetla mogu omesti ovu signalnu aktivnost (Eklöf, 2023).

U prisutnosti umjetnog svjetla, krijesnice su prisiljene potrošiti više energije u pokušaju da bljeskaju jače i da potencijalni partneri zamijete njihove signale, iako se učinci razlikuju među vrstama koje su osjetljive na različite valne duljine.

Krijesnice su vrlo osjetljive na znakove ambijentalnog svjetla jer su njihove aktivnosti udvaranja ograničene na određeno doba dana. Kao što je već prethodno navedeno noćni kukci općenito su prilagođeni prirodnim svjetlosnim režimima pa su izrazito osjetljivi na umjetno svjetlo koje ih može dezorijentirati, privući, odbiti ili zaslijepiti. Iako su dostupni ograničeni podaci o populacijama noćnih i bioluminiscentnih insekata, istraživači diljem svijeta primijetili su sve manju prisutnost insekata kao što su krijesnice. Iz čega se može zaključiti, da svjetlosno onečišćenje direktno utječe na stanište ovog kukca (Sharma, 2022).

3.3.3. Utjecaj na biljke

U zelenim biljkama, svjetlost za fotosintezu apsorbiraju klorofili i karotenoidi na valnim duljinama između 400 i 700 nm. Iako ovaj raspon obuhvaća velik dio vidljivih emisija umjetnih svjetala, u većini slučajeva razine fotosintetski aktivnog zračenja (Photosynthetically Active Radiation, PAR) povezane s noćnim svjetlosnim onečišćenjem iznimno su niske u odnosu na uvjete osvjetljenosti Suncem. Kombinirani PAR tok od sjaja neba u urbanom području i mjesečine od punog mjeseca teoretski bi mogao premašiti donju granicu za fotosintezu. U većini slučajeva samo izravno osvjetljenje u neposrednoj blizini izvora svjetlosti, za npr. lišće drveća unutar nekoliko centimetara od ulične rasvjete, vjerojatno će biti dovoljno za održavanje

neto fiksacije ugljika tijekom noći, a pri nižim razinama osvjetljenja nadoknaditi noćne respiratorne gubitke. Posljedice ovog vrlo lokaliziranog učinka na pojedinačne biljke i na ekosustave uglavnom su neistražene (Gaston i dr., 2013).

Jedno okruženje koje je zanimljivo spomenuti, vezano je za direktan utjecaj svjetlosti na špiljske sustave. Uvođenjem rasvjete u špilje koje se koriste kao atrakcija za posjetitelje promiče visoko lokalizirani rast zajednica „*lampenflora*“ potpuno ovisnih o umjetnom svjetlu kao izvoru energije. Te zajednice mogu uključivati autotrofe kao što su fotosintetske alge, mahovine i paprati koje rastu u blizini rasvjetnih tijela, kao i gljive i druge heterotrofe koji koriste unos organske tvari. Ove zajednice mogu istisnuti ili poremetiti trofičku ekologiju energetski ograničenih špiljskih ekosustava iz tog razloga je potrebno prilagoditi rasvjetu i sve ostale uvjete koji mogu omogućiti stvaranje lampenflora. Prema speleološkom priručniku (Božić, 2016) špiljska rasvjeta treba biti prilagođena kako bi posjetitelji sigurno prolazili, ali i kako bi detalji špilje bili dobro osvjetljeni. Postavljanje svjetala u špiljama za istraživanje i turističke svrhe zahtijeva pažljivo planiranje kako bi se minimizirao negativan utjecaj na špiljski ekosustav. Stoga je važno je odabrati rasvjetu koja će pružiti dovoljno svjetla bez stvaranja topline, što bi značilo da je upravo upotreba LED rasvjete s bijelim svjetlom najpogodnija jer ispunjava zahtjeve. S druge strane, upotreba tradicionalnih svjetiljki sa žarnom niti može potencijalno uzrokovati pojavu lampenflore - zelenog obraštaja cijanobakterija, algi i mahovina. Održavanje špiljskog okoliša zahtijeva pažljiv odabir rasvjete i primjenu mjera kako bi se spriječilo negativno djelovanje na biološku raznolikost i očuvanje prirodnih karakteristika špilje.

4. ZAKONSKE REGULATIVE

Nakon kratkog pregleda literature o direktnim i ne direktnim učincima umjetne rasvjete na ljudsko zdravlje, životinjski i biljni svijet te astronomska promatranja, može se zaključiti da je problematika svjetlosnog onečišćenja uvelike podcijenjen problem. Neki od prvih koraka koji vode ka regulaciji i zaštiti od svjetlosnog onečišćenja mogu se poduzeti u zakonodavstvu pojedinačnih država i/ ili kroz suradnju i partnerstvo velikih organizacija ili unija. Zakon može ograničiti nepotrebno jaku ili nepravilnu usmjerenu svjetlost koja utječe na biološke ritmove, migracije i prehranu organizama te smanjenje bioraznolikosti.

Sve ove inicijative i pristupi svjedoče o tome da EU prepoznaje svjetlosno onečišćenje kao važan ekološki i društveni izazov. Razne mjere i suradnja na nacionalnim i regionalnim razinama doprinose smanjenju negativnih učinaka svjetlosnog onečišćenja. Za rješavanje ovog problema donesen je niz javnih politika na nacionalnoj razini. Regionalna politika u talijanskoj Sjevernoj Lombardiji i nacionalni zakoni u Sloveniji i Francuskoj stupili su na snagu posljednjih godina s namjerom da se smanji utjecaj vanjske rasvjete u dijelovima Europe i pomogne u održavanju integriteta prirodne noćne tame tamo gdje ona još uvijek postoji (Barentine, 2018).

Iako su mnogi od ovih zakona vezani uz ciljeve Europske unije (EU) koji su konkretno namijenjeni za smanjenje emisija ugljika kako bi se ispunile obveze prema međunarodnim pravnim konvencijama koje imaju za cilj smanjenje klimatskih promjena, ipak dolazi do promjena. Godine 2021. usvojen je „Akcijski plan za nulto onečišćenje“ kao ključni rezultat Europskog zelenog dogovora od strane Europske komisije. Tada je svjetlosno onečišćenje nazvano onečišćenje u nastajanju te je uvršteno u praćenje nultog onečišćenja. Nedugo zatim, za vrijeme predsjedanja Češke Europskom unijom 2022. godine napravljena je analiza na razini europskih zemalja, od kojih je većina već poduzela mjere za rješavanje problema svjetlosnog onečišćenja na nacionalnoj razini. Mjere koje su države donijele uglavnom sve idu u istom smjeru i obuhvaćaju: zakonodavstvo, strategije, tehničke standarde, priručnike ili smjernice za podizanje svijesti, istraživačke projekte ili proglašenje područja tamnog neba. Također, ono što je najvažnije svjetlosnim zagađenjem počinje se baviti, ne samo iz perspektive energetske učinkovitosti već iz kuta negativnog utjecaja na čovjeka zdravlje i bioraznolikost (Ministarstvo okoliša Češke Republike, 2022).

4.1 Hrvatski zakon i regulative

Inspirirana europskim primjerima, Hrvatska već 2011. godine donosi zakon koji se odnosi na svjetlosno onečišćenje (NN 114/11), međutim s današnjeg gledišta propisi su se pokazali neučinkovitim u rješavanju ovog problema. Kako je Europska unija objavila nove ekološke standarde 2015. godine sve smjernice su se trebale ažurirati i uskladiti s istim. Hrvatsko Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018. godine saziva radnu skupinu koju čine djelatnici različitih vladinih ministarstava, kao i članovi hrvatskih astronomskih društava i već ranije spomenutog (3.1.) društva *Naše nebo*. Javna rasprava o predloženom zakonu odvijala se u srpnju iste godine, a Sabor je zakon razmotrio krajem rujna, dok je zakon konačno stupi na snagu u travnju 2019. godine (Barentine, 2018).

Dakle novi Zakon o suzbijanju svjetlosnog onečišćenja regulira temeljna načela zaštite, nadležna tijela za provođenje mjera zaštite, postupak utvrđivanja normativa za upravljanje svjetlom s ciljem smanjenja potrošnje električne i drugih energija, zahtjeve i mjere zaštite od prekomjerne rasvjete, ograničenja i zabrane svjetlosnog zagađenja, planiranje izgradnje, održavanje i preinake rasvjete te odgovornost proizvođača rasvjetnih proizvoda (NN 14/2019).

Neke od najznačajnijih mjera zakona su:

- **Jasno navedeni ciljevi (članci 2. i 8.):** Postavljeni su konkretni ciljevi, uključujući smanjenje svjetlosnog onečišćenja, zaštitu zdravlja ljudi, očuvanje biološke raznolikosti, ekologije i poticanje održivog razvoja. Također, naglašava se važnost pravilnog dizajna rasvjete prije ugradnje te smanjenje ukupne potrošnje električne energije rasvjete.
- **Ograničena izuzeća (članak 3.):** Zakon predviđa određena izuzeća, poput privremene rasvjete na gradilištima, potrebne rasvjete u izvanrednim situacijama i katastrofama, te korištenja rasvjete od strane vojske. Također, dopušteno je korištenje rasvjete u određenim situacijama na radnom mjestu, kao što su tvornice.
- **Definicije pojmova (Članak 5.) :** U zakonu su jasno definirani pojmovi koji se koriste, uključujući i "ekološko osvjetljenje," što predstavlja potpuno zaštićeno osvjetljenje s nula posto svjetlosti iznad horizontale, uz CCT⁵ ispod 2700 K⁶. Ova definicija predstavlja značajan napredak u odnosu na postojeće nacionalne zakone u svijetu.

⁵ CCT → Correlated Color Temperature ili korelirana temperatura boje → boja svjetla je termin kojim se označava boja nekog izvora svjetlosti. Izražava se u jedinici Kelvin.

⁶ K → SI oznaka za Kelvin

- **Licenca za instalatere rasvjete (Članak 10.):** Zakon propisuje da instalateri rasvjete moraju posjedovati licencu koju izdaje država. Također, općine u lokalnim samoupravama obvezane su proaktivno primjenjivati Zakon (Članak 6.).
- **Zabranjeni oblici rasvjete (Članak 11.):** Novim zakonom zabranjeni su određeni oblici rasvjete na ekološki osjetljivim mjestima, poput nebeskih zraka, osvjetljenja prozora i vrata, te svjetlećih znakova i lampi čija temperatura boje prelazi 2200K.
- **Zahtjev za podnošenje planova rasvjete (Članci 12. i 13.):** Zakon zahtijeva da se podnesu planovi rasvjete kako bi se osigurala usklađenost sa zakonom.
- **Strogi inspekcijski režim (Članci 16., 17. i 18.):** Implementacija zakona provodi se kroz detaljan inspekcijski režim kako bi se osiguralo poštivanje propisa (Barentine, 2018).

Iako je sam zakon stupio na snagu 2019. godine, od njega nije bilo prevelike koristi sve dok nisu napisana i puštena u primjenu sva tri predviđena pravilnika koja dolaze uz sam zakon. Prvi pravilnik donesen je 2020. godine, Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvijetljivanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima. *„Ovim pravilnikom se propisuju načini i uvjeti upravljanja rasvjetljavanjem, zone rasvjetljavanja i zaštite, najviše dopuštene vrijednosti rasvjetljavanja, uvjeti za odabir i postavljanje svjetiljki, kriteriji energetske učinkovitosti, uvjeti i najviše dopuštene vrijednosti korelirane temperature boja izvora svjetlosti, obveze jedinica lokalne samouprave(vezano za propise standarde)“* (NN/ 128/20). Svi relevantni pojmovi ključni za sustav rasvjete su precizno navedeni zajedno s njihovim značenjima. Posebno je važan članak 5. u kojem se nalaze podaci o zonama rasvijetljenosti i njihovim dopuštenim vrijednostima te definicija svjetlostaja *„Vremenski period noći za čijeg trajanja se vanjska rasvjeta gasi ili smanjuje na propisanu odgovarajući razinu... Noć u smislu ovog pravilnika predstavlja period od sumraka do zore.“* (NN/ 128/20).

Zone rasvijetljenosti su definirane zavisno od sadržaja i aktivnosti koje se u tom prostoru nalaze. Postoji pet zona koje su kategorizirane od područja prirodne svijetlosti (E0) do visoke ambijentalne rasvijetljenosti (E4), s time da se pored zona E0 jedino može nalaziti zona E1.

Uz zone propisane su i granične vrijednosti vertikalnog i horizontalnog rasvjetljavanja. Za potrebe istraživanja u ovom radu bitne su tablice horizontalnog rasvjetljavanja za *Javne prometnice s motornim prometom* (tab. 3) i *Pješačke i biciklističke staze na nogostupima, zaustavne trake i parkirališta uz cestu* (tab. 4) (NN/ 128/20).

Tab. 3. Maksimalne vrijednosti srednje horizontalne rasvijetljenosti javnih prometnica s motornim prometom

Opis	Dio noći	Zone rasvijetljenosti				
		E0 (lx)	E1 (lx)	E2(lx)	E3 (lx)	E4 (lx)
Horizontalna rasvijetljenost	Prije svjetlostaja					
	Svjetlostaj	1	12	20	30	30
		0	3	5	8	8

Izvor: NN 128/20

Tab. 4. Pješačke i biciklističke staze na nogostupima, zaustavne trake i parkirališta uz cestu

Opis	Dio noći	Zone rasvijetljenosti				
		E0 (lx)	E1 (lx)	E2 (lx)	E3 (lx)	E4 (lx)
Horizontalna rasvijetljenost	Prije svjetlostaja					
	Svjetlostaj	1	8	10	15	15
		0	2	3	4	4

Izvor: NN 128/20

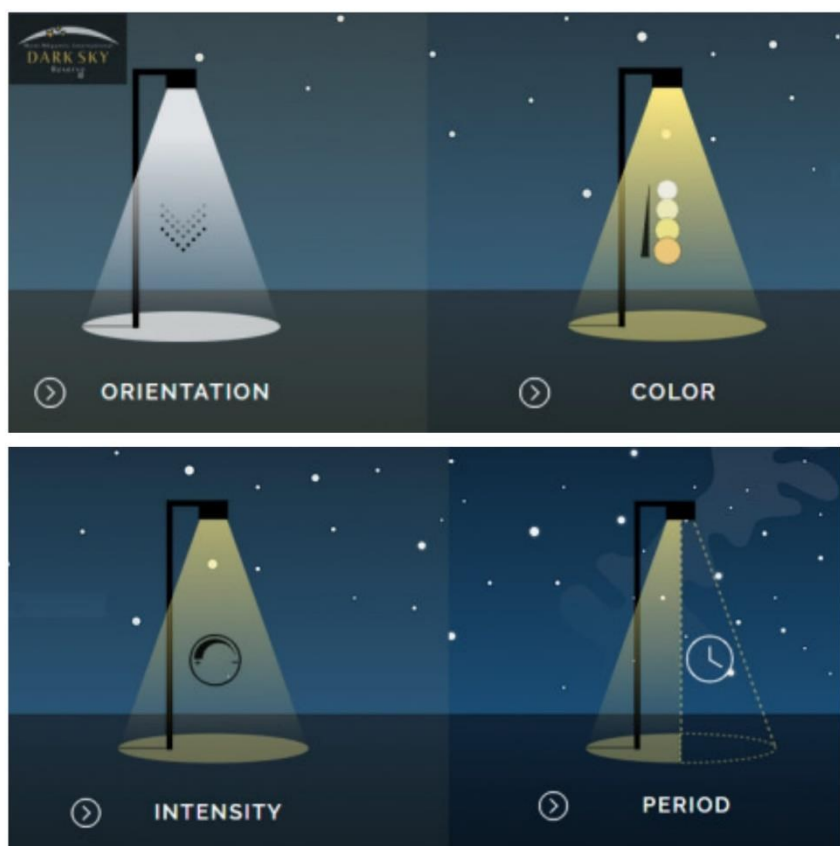
Preostala dva pravilnika na snagu su stupila u veljači 2023. godine te je od tada zakon u punoj primjeni. Pravilnik o mjerenju i načinu praćenja rasvijetljenosti okoliša (NN 22/2023) precizira specifičnosti vezane uz sadržaj, strukturu i postupak predaje plana rasvjete i akcijskog plana za izgradnju ili obnovu vanjske rasvjete. Također, njime su definirani mehanizmi informiranja javnosti o tim planovima, način dostave podataka za potrebe informacijskog sustava zaštite okoliša i prirode te drugi relevantni aspekti vezani za to. U Pravilniku o sadržaju, formatu i načinu izrade plana rasvjete i akcijskog plana gradnje i/ili rekonstrukcije vanjske rasvjete (NN 22/2023) precizirana je metodologija za mjerenje osvjetljenja okoline. Također određeno je što treba obuhvatiti izvješće o provedenom mjerenju te specificira postupak mjerenja s ciljem utvrđivanja razine osvjetljenja. Kako je već navedeno u uvodu lokalnim samoupravama i operatorima javne rasvjete postavljeni su rokovi od 12 mjeseci za izradu Plana rasvjete i Akcijskog plana gradnje i/ili rekonstrukcije vanjske rasvjete, a krajnji rok za usklađivanje vanjske rasvjete je 12 godina (MINGOR, 2023).

5. SPRIJEČAVANJE SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA NA PRIMJERU ULIČNE RASVJETE

U praksi, kada se govori o sprječavanju svjetlosnog onečišćenja, često se čini da to uključuje potpuni prestanak upotrebe svjetla tijekom noći. U stvarnosti, ostvarivanje tog cilja može biti teško provedivo. Primjerice, za uličnu rasvjetu ključ smanjenja onečišćenja leži u maksimalnom iskorištavanju njezine funkcionalnosti, umjesto u potpunom isključivanju. Kako bi se to postiglo treba obratiti pažnju pri odabiru i postavljanju rasvjetnih tijela (Karagoz-Kucuk i Ekren, 2021). Pravilno postavljena ulična rasvjeta igra ključnu ulogu u stvaranju sigurnijih, ugodnijih i energetski učinkovitijih urbanih okoliša, što je već ranije spomenuto (2.2.1). Neka od načela i smjernica za pravilno postavljanje ulične rasvjete su: analiza potreba lokacije ili prostora, planiranje svjetlosnog dizajna, osvjetljavanje ključnih područja, kontrola svjetlosnog onečišćenja, uporaba senzora, pravilna visina svjetiljki, kvalitetni materijali i tehnologije, estetski faktor, održavanje sustava te na posljetku suradnja sa zajednicom. (Karagoz-Kucuk i Ekren, 2021). Sve to potrebno je za pravilno funkcioniranje sustava javne rasvjete, no kada govorimo o zasebnom rasvjetnom tijelu bitno je slijediti osnovna četiri principa pomoću kojih dolazi do sprječavanja svjetlosnog onečišćenja: **orijentacija, boja, intenzitet i vremensko ograničenje** (sl.9).

Orijentacija → svjetlo u pravilu ne bitno trebalo biti usmjereno iznad horizonta ili vlastitog posjeda, ovakve svjetiljke ili rasvjetna tijela smanjuju odsjaj, efikasnije koriste svoje svjetlo i ograničavaju svjetlost prema nebu. Isto tako dodatno, usmjeravanje svjetlosti prema tlu omogućava bolju distribuciju svjetla na specifična područja, što povećava vidljivost i smanjuje potrebu za intenzivnijom rasvjetom.

Boja → upotreba jantarnih izvora svjetlosti i svjetala s toplim bojama. Bijelo svjetlo, zbog svoje prirode, može generirati intenzivniji sjaj i veći odsjaj te imati štetnije posljedice po ljudsko zdravlje i okoliš. S ciljem smanjenja nepoželjnih efekata, preporučuje se korištenje izvora svjetlosti s temperaturom boje od 2200K ili nižom. Ovaj pristup ne samo da pridonosi vizualnom ugođaju već i minimalizira potencijalne negativne utjecaje na okolinu i dobrobit ljudi.



Sl. 9. Četiri osnovna principa za pravilno postavljanje rasvjetnih tijela
Izvor: Megantic Dark Sky, (2023)

Vremensko ograničenje → prilagodba vremenskog okvira i dužinu trajanja vanjske rasvjete prema potrebama. To se može postići pomoću postavljanja mjerača vremena, senzora pokreta ili potpunim gašenjem svjetala u određenom dijelu noći. Osnovna svrha ovog principa je zapravo koristiti rasvjetu onda kada je ona zaista potrebna (CIDSRS, 2023).

Prema Karagoz-Kucuk i Ekren (2021), upravo kroz primjenu ova četiri osnovna principa pri odabiru rasvjetnih tijela dolazi do stvaranja pametne vanjske rasvjete koja se danas sve više spominje unutar pametnih gradova, koji se danas sve više spominju u literaturi, a i u široj javnosti. Jedna od najvažnijih prednosti pametnih gradova s aspekta okoliša i ekologije je smanjiti svjetlosno onečišćenje, a samim time spriječiti njegove negativne posljedice. Jedan primjer takvog pametnog grada se nalazi unutar savezne države Idaho, u Sjedinjenim Američkim Državama.

5.1 Primjer grada Kethuma (Idaho)

U prosincu 2017., Međunarodna udruga tamnog neba određuje 1416 četvornih milja (oko 3700 četvornih kilometara) zemlje u Idaho za stvaranje prvog rezervata tamnog neba zlatne razine u Sjedinjenim Američkim Državama. Ovo je rijedak status, s obzirom na samo 11 sličnih rezervata u svijetu, od kojih se pet nalazi u Europi: Izra Dark-Sky Park (Poljska, Češka), Istočno-karpatski rezervat (Slovačka, Poljska, Ukrajina), Kerry International Dark-Sky Reserve (Irska), Pic du Midi de Bigorre (Francuska) i Sark (Ujedinjeno Kraljevstvo). Glavna svrha projekta jest zaštita izuzetnih krajolika i noćnog neba na određenom području, imajući u vidu znanost, obrazovanje, kulturu i javno uživanje (Dark sky, 2023). Rezervat tamnog neba obuhvaća tri zajednice u središnjem Idaho: Sun Valley, Ketchum i Stanley, gdje je svjetlosno zagađenje gotovo nepostojeće. Inicijativu je prvi pokrenuo grad Ketchum (sl.10) početkom 2017., a ostali gradovi su slijedili taj primjer (CIDSRS, 2023).



Sl. 10. Glavna ulica u Kethumu, prikaz javne gradske rasvjete
Izvor: Only in Your State, (2018)

Grad Ketchum objavljuje kodeks koji precizira ciljeve i svrhe stvaranja rezervata tamnog neba. Ovaj kodeks predstavlja potencijalni model za druge lokalne uprave, pružajući smjernice o tome kako efikasno sastaviti propise radi regulacije i smanjenja svjetlosnog onečišćenja. Poglavlje kodeksa 17.132 ističe opću svrhu zaštite i promicanja javnog zdravlja, sigurnosti,

dobrobiti, kvalitete života i mogućnosti promatranja noćnog neba putem postavljanja regulativa i postupaka pregleda vanjske rasvjete. Ključni ciljevi tog poglavlja uključuju zaštitu od blještavila, osiguranje sigurnih prometnica, očuvanje mogućnosti promatranja noćnog neba, sprječavanje svjetlosnog onečišćenja u cijelom gradu, poticanje učinkovite rasvjete, pružanje dovoljnog osvjetljenja gdje je potrebno za sigurnost, fleksibilnost u stilu rasvjetnih tijela, pomoć vlasnicima neusklađenih svjetala te suradnju s drugim jurisdikcijama kako bi se ostvarili ciljevi propisanog poglavlja (KODEKS ODREDBI, 2023).

Osim dobro osmišljenog pravilnika u gradu sve dobro funkcionira i u praksi. Ovo se može pripisati edukaciji i aktivnom uključivanju šire javnosti u sam proces. Gradski kodeks lako je dostupan na web stranicama grada, jasno je koncipiran, što značajno olakšava pridržavanje njegovih smjernica. Većina navedenih smjernica također se može pronaći u okviru hrvatskog Zakona o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, s iznimkom jednog dijela - shematskog prikaza prikladnih i neprikladnih javnih tijela za korištenje u javnoj rasvjeti ili na privatnim posjedima. Grad Ketchum, iako već poznat kao turistička destinacija, posebno u zimskim mjesecima, posljednjih postaje prepoznatljiv kao jedno od vodećih odredišta za promatranje tamnog neba diljem svijeta (KODEKS ODREDBI, 2023).

6. MJERENJE RAZINE RASVJETLJENOSTI NA PRIMJERU ULIČNE RASVJETE U FUŽINAMA

6.1. Stanje javne rasvjete u Općini Fužine

U rujnu 2016. godine napisan je elektrotehnički projekt s troškovnikom koji obuhvaća sva naselja na području Općine Fužine (22 mjerna mjesta s približno 960 svjetiljki). Projektom je definiran cjeloviti sustava mjera za rekonstrukciju postojećih instalacija javne rasvjete na održivim načelima (Otočan i dr., 2016). Ovo je temeljni izvor podataka za provedbu samog mjerenja i analizu istoga. Kao primarni zadatak projekta navedeno je uklanjanje kritičnih točaka s najvećim opterećenjem energetskog sustava i okoliša u postojećem sustavu javne rasvjete a to su:

- a. nezasjenjene kuglaste svjetiljke
- b. predimenzionirane instalacije javne i vanjske rasvjete
- c. živini izvori svjetlosti
- d. reflektorska rasvjeta spomeničke i građevinske baštine.

Od početka provedbe projekta rekonstrukcije javne rasvjete u zadnjem izvješću o stanju u prostoru Općine Fužine za razdoblje od 2016. do 2019. godine očituju se provedene promjene. Tako se natrijeve žarulje, koje su krajem 2017. godine činile 86% rasvjetnih tijela postepeno zamjenjuju LED tehnologijom. Krajem 2019. godine udio natrijevih žarulja smanjen je na 52% (sa 735 žarulja na 482) dok je udio LED žarulja povećan s 2 % na 41 % (sa 17 na 375). Zbog manje potrošnje LED žarulja smanjena je i ukupna potrošnja električne energije usprkos činjenici da je ukupni broj rasvjetnih tijela od kraja 2017. godine povećan za 7,5 %. Ukupna godišnja potrošnja električne energije na javnu rasvjetu u predmetnom razdoblju smanjena je za 17 % i to s 350 MWh krajem 2016., na 291 MWh krajem (Izvješće, 2021).

6.2. Opis mjerenja

Nakon proučene literature i prikupljenih podataka za potrebe mjerenje rasvjetljenosti, odabrane su lokacije mjerenja. Lokacije su odabrane po različitim zonama rasvjetljenosti, pri tome pazeći da većina rasvjetnih tijela nije LED iz razloga što je uređaj svjetlomjer kalibriran za žarulje sa žarnom niti. Dakle, svjetlomjer (sl. 11) je prijenosni uređaj koji se sastoji od elemenata osjetljivih na svjetlost, mjernog uređaja i mlaznice koja apsorbira svjetlost (Peskiadmin, 2022).



Sl. 11. Svjetlomjer ili luxmetar

Izvor: Lutron instruments, (2023)

Mjerenje je obavljeno modelom svjetlomjera PCE-174, tvrtke PCE, a bio je podešen na natrijeve žarulje budući da se na njima provodilo mjerenje. Za potrebe mjerenja korišten je i daljinomjer tvrtke UNI-T, model UT391A, da bi se mogle odrediti točni razmaci između izabranih točki mjerenja.





Kao što je već prethodno navedeno u uvodu (1.4) mjerenja su provedena kroz nekoliko noći na odabranim lokacijama. Nakon što su određene lokacije i tipovi rasvjetnih tijela, izmjerena je rasvjetljenost. Prvo je mjerenja rasvjetljenost na području najveće rasvjetljenosti od rasvjetnog tijela, zatim na suprotnom rubu kolnika i potom između dvaju rasvjetnih tijela.




Zabilježeni rezultat je srednja izmjerena vrijednost prikazana na luxmetru. Mjerilo se na visini od 1,5 metara.

6.3. Tipovi rasvjetnih tijela na mjerenim lokacijama

Tablica 5. daje prikaz tipova rasvjetnih tijela koja se nalaze u odabranim zonama mjerenja. Tipovi su označeni od Tip 1 do Tip 7 dok je LED rasvjeta posebno obilježena. Za svaki tip navedene su određene karakteristike: oblik i visina stupa, model rasvjetnog tijela, broj svjetiljki na stupu i snaga žarulje (W) u vatima. Ova tablica služi za lakši prikaz rezultata mjerenja jer je upravo pomoću nje lako mogu objasniti pojedina odstupanja u izmjenom.

Tab. 5. Tipovi rasvjetnih tijela na mjernim lokacijama

Tipovi rasvjetnih tijela					
Tip RT	Oblik i visina stupa	Model RT	Broj svjetiljki na stupu	Tip žarulje	Snaga žarulje [W]
Tip 1 	Fe3, 2,5 m	TEP Tivoli KN 133, 70W	1	NAV	70
Tip 2 	FeZn, 8,0 m	Phillips Malaga 150W, NAV	1	NAV	100
Tip 3 	Fe4, 3,6 m	Dekorativna rasvjeta	1, 2 ili 3	NAV	100
Tip 4 	Beton, 7,5 m	OMS Triton 70W, NAV	1	NAV	70

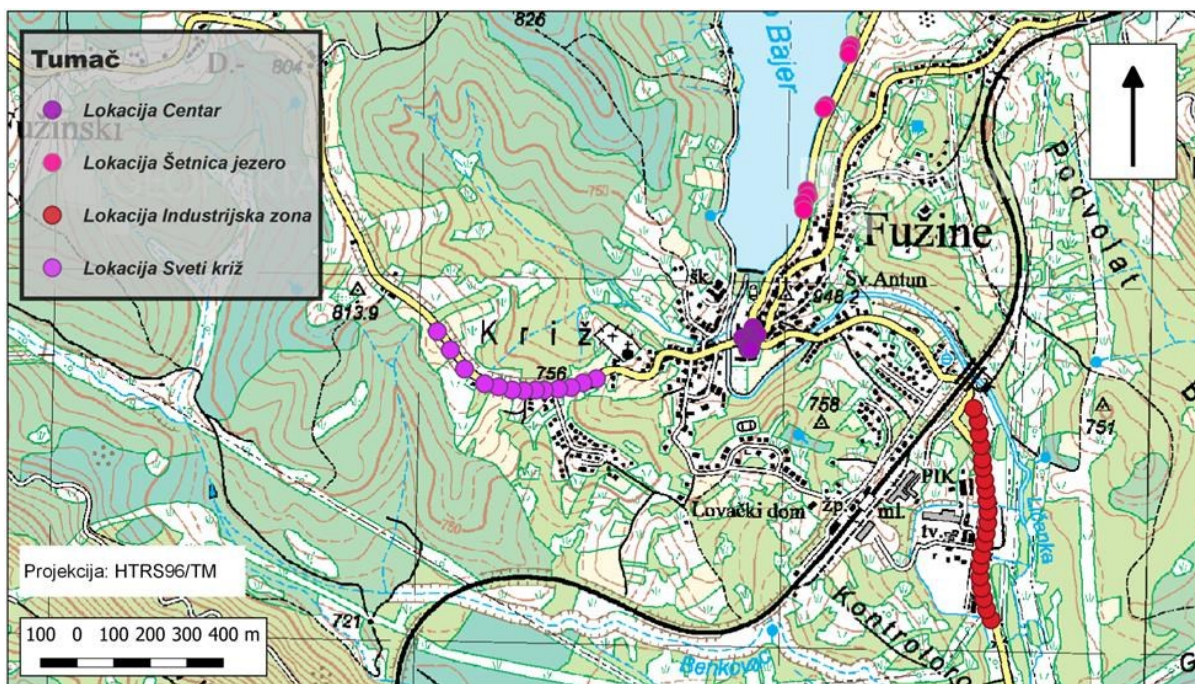
Tip 5 	Beton, 7,5 m	Phillips Malaga 70W, NAV	1	NAV	150
Tip 6 	Beton, 7,5 m	Phillips Malaga 70W, NAV	1	NAV	110
Tip 7 	Zidna, 6,2 m	/	1	NAV	100
LED	L	/	/	LED	/

Izvor: Otočan i dr., 2016.

6.4 Lokacije mjerenja

Lokacije (sl. 12) su odabrane na temelju Priloga III. iz već prethodno spomenutog Pravilnik o zonama rasvjetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima, tablice s vrijednostima prikazane su u poglavlju 4.1. poglavlju, tab. 3 *Maksimalne vrijednosti srednje horizontalne rasvjetljenosti javnih prometnica s motornim prometom* i tab. 4 *Maksimalne vrijednosti srednje horizontalne rasvjetljenosti pješačkih i biciklističkih staza na nogostupima, zaustavnim trakama i parkiralištima uz cestu*.

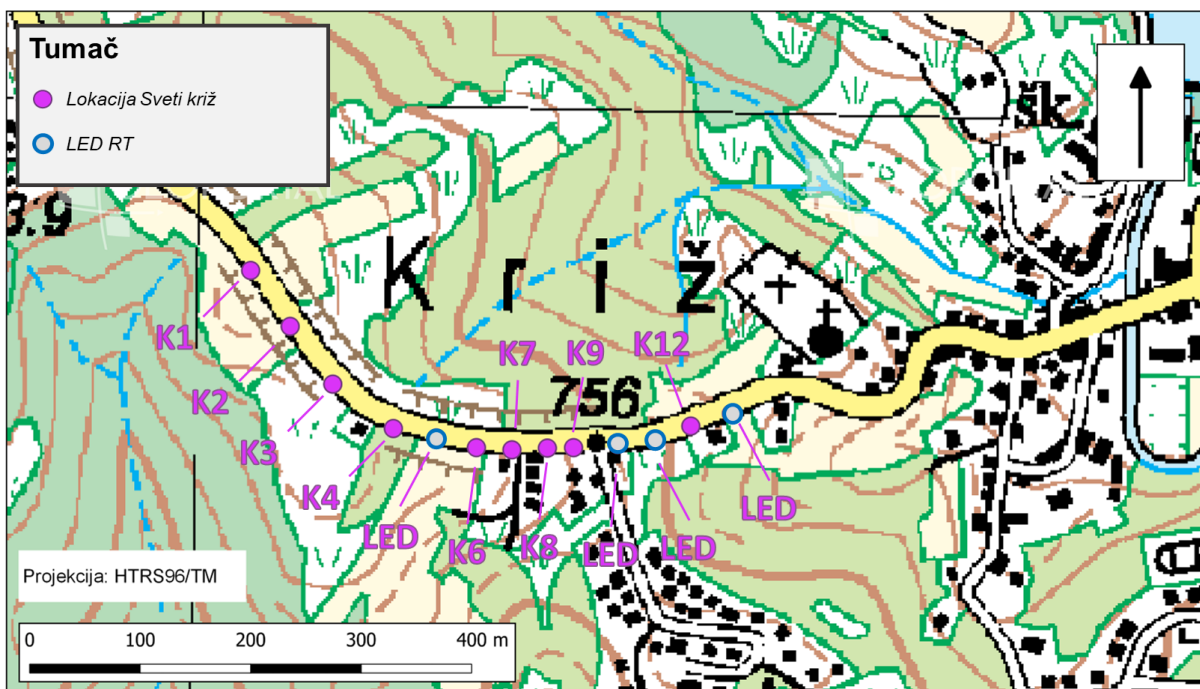
Odabrane su četiri lokacije: centar Fužina, šetnica uz jezero Bajer, Ulica Sveti križ i Industrijska zona uz Drvenjaču Fužine. Svaka od ovih lokacija pripada u jednu od kategorija zona rasvjetljenosti.



Sl. 12. Prikaz lokacija na kojem su izvršena mjerenja rasvjetljenosti
Kartografska podloga: TK25, Geoportal DGU

6.4.1. Lokacija Sveti križ

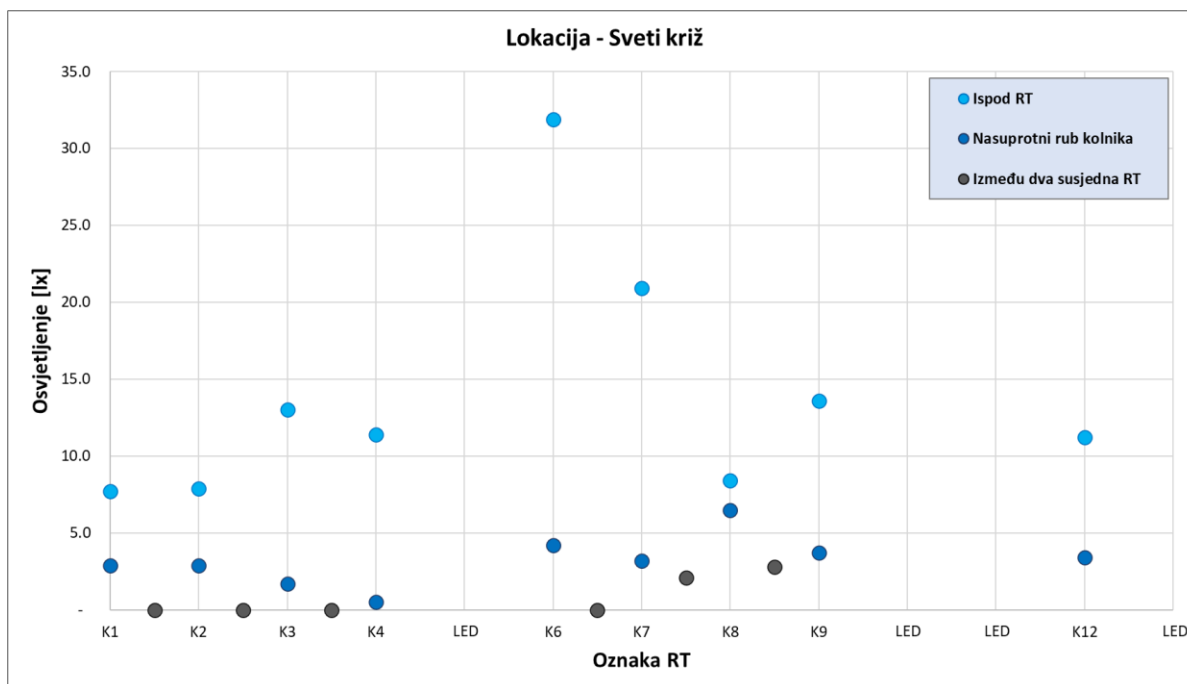
Od ukupno 17 rasvjetnih tijela mjerenje je izvršeno kod njih 13 jer su preostala četiri imali žarulju tipa LED (sl.13) Rezultati mjerenja su prikazani u tablici 6 i na slici 14.



Sl. 13. Kartografski prikaz lokacije Sveti križ
Kartografska podloga: TK25, Geoportal DGU

Tab. 6. Rezultati mjerenja na lokaciji Sveti križ

Lokacija: Sveti križ							
Zona rasvjetljenosti		E2					
Visina RT [m]		7,5					
Ukupan broj RT		13					
Broj LED RT		4					
Broj isključenih RT		0					
Oznaka RT	Tip RT	Ispod RT	Nasuprotni rub kolnika		Na polovici udaljenosti između dva susjedna RT		Komentar
		Osvjetljenje [lx]	Osvjetljenje [lx]	Horizontalna udaljenost od RT [m]	Osvjetljenje [lx]	Udaljenost od najbližeg aktivnog RT [m]	
K1	4	7,7	2,9	7,5	0,0	/	Susjedna RT se međusobno "ne vide"
K2	4	7,9	2,9	7,0	0,0	60	Susjedna RT se međusobno "ne vide"
K3	4	13,0	1,7	7,0	0,0	60	Susjedna RT se međusobno "ne vide"
K4	4	11,4	0,5	15,8	0,0	60	RT na privatnom posjedu, mjerenje izvršeno na 3m
LED	L	/	/	/	/	/	
K6	5	31,9	4,2	7,0	/	40	
K7	6	20,9	3,2	7,0	0,0	30	Susjedna RT su u ravnini
K8	4	8,4	6,5	7,0	2,1	30	
K9	4	13,6	3,7	7,0	2,8	30	Dodatno osvjetljenje iz dvorišta obližnje kuće
LED	L	/	/	/	/	/	
LED	L	/	/	/	/	/	
K12	4	11,2	3,4	7,0	/	/	Susjedno RT je LED
LED	L	/	/	/	/	/	

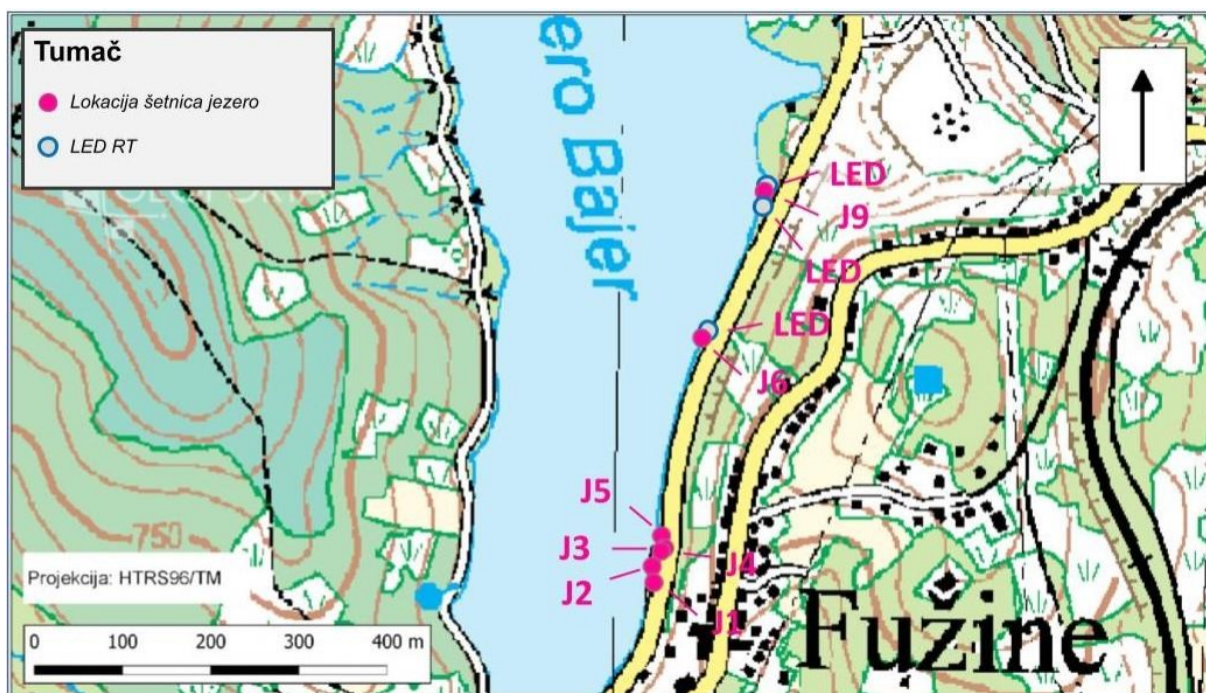


Sl. 14. Rezultat mjerenja na lokaciji Sveti križ

Lokacija spada u zonu E2 odnosno u područje niske ambijentalne rasvjetljenosti. U toj zoni najveća dopuštena rasvjetljenost iznosi 20 luxa u razdoblju rasvjetljavanja prije svjetlostaja. Dakle dobiveni rezultati pokazuju odstupanje kod dva rasvjetna tijela K6 i K7. Rezultat kod K6 iznosi 31.9 luxa, a kod K7 20.9 luxa. Razlog zašto su ove točke mjerenja pokazale više vrijednosti od propisanog je drugačiji tip rasvjetnog tijela (Tip 5 i Tip 6) te međusobna udaljenost između tih dvaju rasvjetnih tijela koja iznosi 40 metara.

6.4.2. Lokacija šetnica Jezero

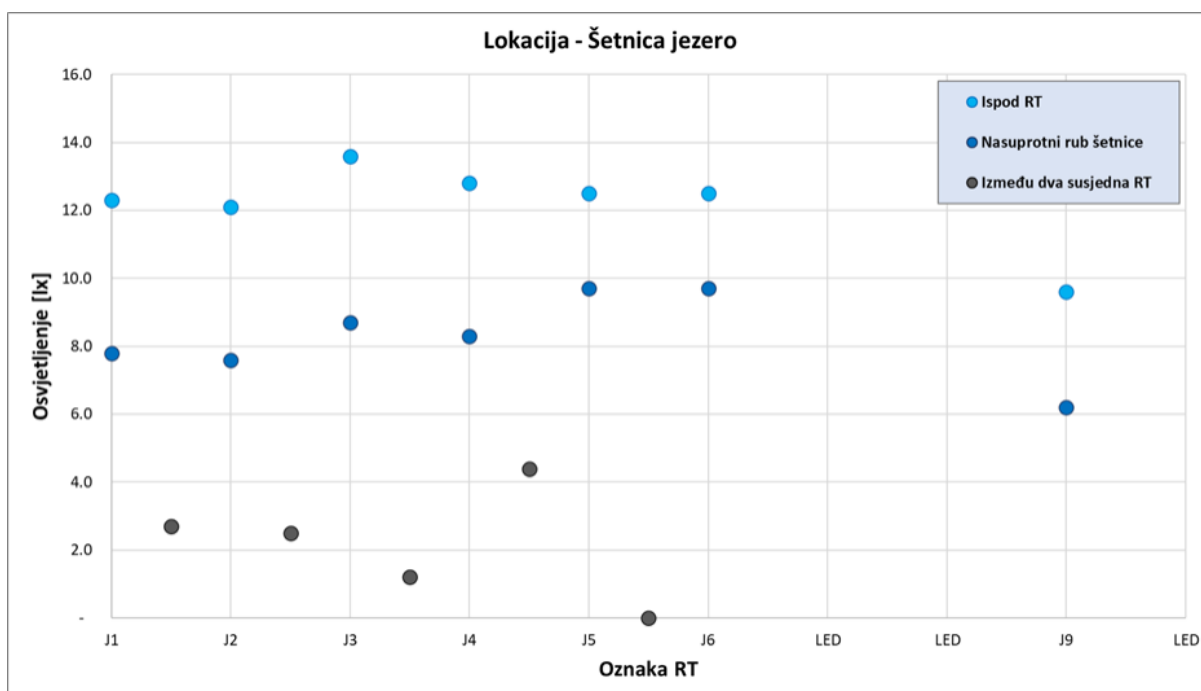
Od svih lokacija na kojima su provedena mjerenja ova lokacija (sl. 15) je izuzeta od uprave Općine Fužine. Njom upravlja Hrvatska elektroprivreda (HEP). Ono što je vidljivo iz kartografskog prikaza ove lokacije raspršen je odnosno isprekidan niz rasvjetnih tijela što je uvelike imalo utjecaj na rezultate mjerenja. Od ukupno 13 rasvjetnih tijela mjerenje je izvršeno kod njih 10 jer su preostala tri imala žarulju tipa LED. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 7 i na slici 16.



Sl. 15. Kartografski prikaz lokacije šetnica Jezero
Kartografska podloga: TK25, Geoportal DGU

Tab. 7 Prikaz izmjerenih podataka na lokaciji šetnica Jezero

Lokacija: šetnica Jezero						
Zona rasvjetljenosti		E1				
Visina RT [m]		2,5				
Ukupan broj RT		10				
Broj LED RT		3				
Broj isključenih RT		0				
Tip RT	Ispod RT	Rub šetnice		Na polovici udaljenosti između dva susjedna RT		Komentar
	Osvjetljenje [lx]	Osvjetljenje [lx]	Horizontalna udaljenost od RT [m]	Osvjetljenje [lx]	Udaljenost od najbližeg aktivnog RT [m]	
1	12,3	7,8	2,5	/	/	
1	12,1	7,6	2,5	2,7	12,0	Susjedna RT su u ravnini
1	13,6	8,7	2,5	2,5	12,0	Susjedna RT su u ravnini
1	12,8	8,3	2,5	1,2	16,0	Susjedna RT su u ravnini
1	12,5	9,7	2,5	4,4	6,0	Drvena kućica između
1	12,5	9,7	2,5	/	/	Susjedno RT je LED
L	/	/	/	/	/	
L	/	/	/	/	/	
1	9,6	6,2	2,5	/	/	Susjedna RT su LED
L	/	/	/	/	/	

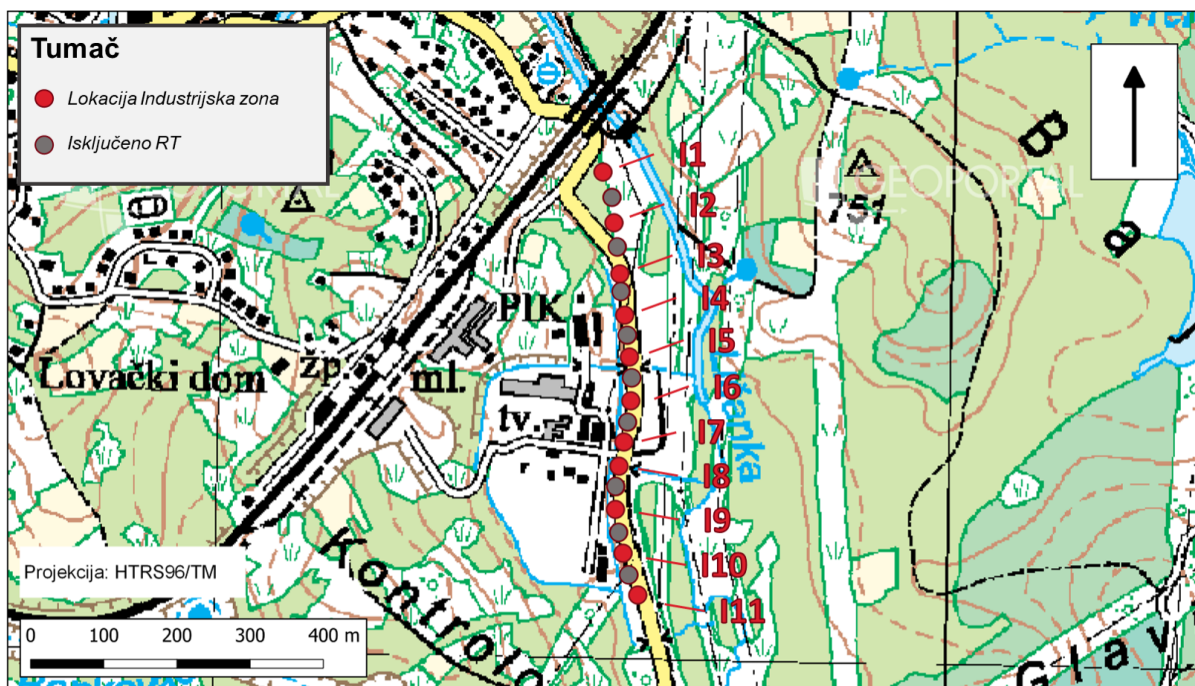


Sl. 16. Rezultat mjerenja na lokaciji šetnica Jezero

Lokacija koja pripada u zonu E1, odnosno u područje tamnog krajolika. U toj zoni najveća dopuštena rasvijetljenost iznosi 8 luxa u razdoblju rasvjetljavanja prije svjetlostaja. Svi dobiveni rezultati mjerenja prekoračuju dopuštenu vrijednost (sl. 16). Razlog tome je tip rasvjetnog tijela koji se koristi na ovoj lokaciji (Tip 1) koji je ujedno i glavni primjer za neučinkovita rasvjetna tijela.

6.4.3. Lokacija Industrijska zona

Na kartografskom prikazu (sl. 17) su sivom bojom prikazana rasvjetna tijela koja su isključena odnosno ne rade, a crvenom bojom upaljena rasvjetna tijela. Od tih 11 upaljenih RT mjerenje je izvršeno na njih 9 iz razloga što su preostala dva bila LED. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 8 i na slici 18.

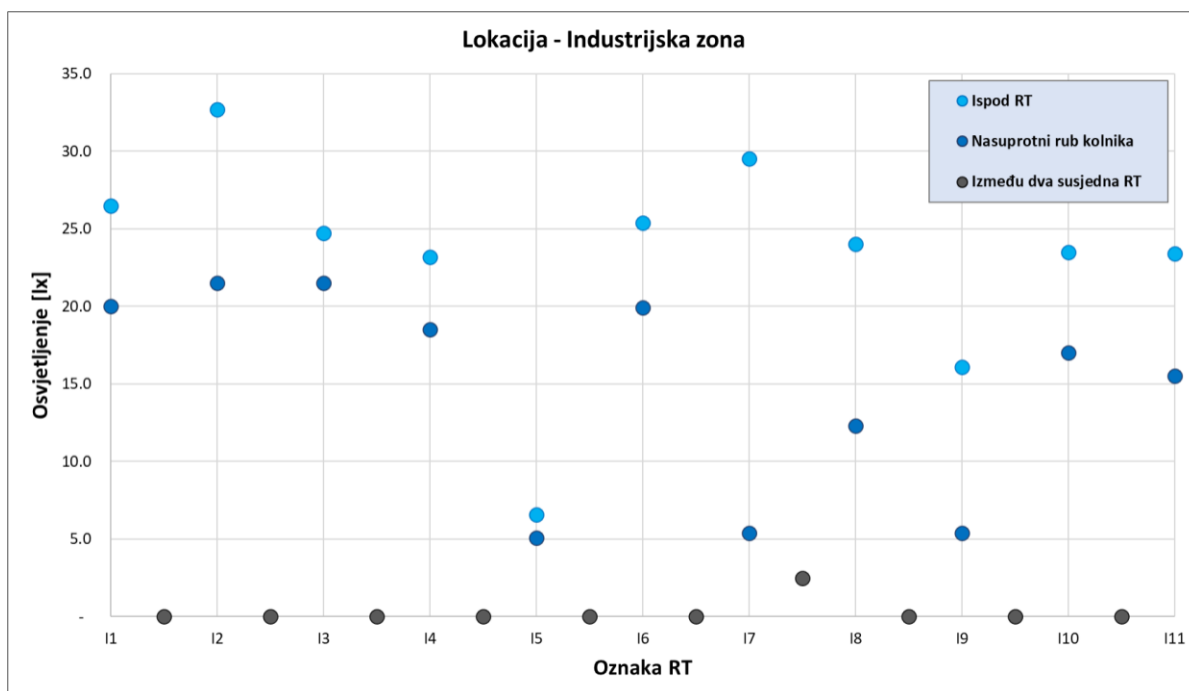


Sl. 17. Prikaz rasvjetnih tijela na kojima su izvršena mjerenja na lokaciji Industrijska zona
Kartografska podloga: TK25, Geoportal DGU

Tab. 8. Prikaz izmjerenih podataka na lokaciji Industrijska zona

Lokacija: Industrijska zona								
		Zona rasvijetljenosti		E3				
		Visina RT [m]		8,0				
		Ukupan broj RT		11				
		Broj LED RT		0				
		Broj isključenih RT		9				
Oznaka RT	Tip RT	Ispod RT		Nasuprotni rub kolnika		Na polovici udaljenosti između dvaju susjednih RT		Komentar
		Osvjetljenje [lx]	Osvjetljenje [lx]	Horizontalna udaljenost od RT [m]	Osvjetljenje [lx]	Udaljenost od najbližeg aktivnog RT [m]		
I1	2	26,5	20,0	7,5	0,0	/		
I2	2	32,7	21,5	7,5	0,0	70,0		
I3	2	24,7	21,5	7,5	0,0	70,0		
I4	2	23,2	18,5	7,5	0,0	70,0		
I5	2	6,6	5,1	7,5	0,0	70,0		
I6	2	25,4	19,9	7,5	0,0	70,0	Ulaz u industrijsko postrojenje	
I7	2	29,5	5,4	7,5	2,5	35,0	Ulaz u industrijsko postrojenje	

I8	2	24,0	12,3	7,5	0,0	70,0	
I9	2	16,1	5,4	7,5	0,0	70,0	
I10	2	23,5	17,0	7,5	0,0	70,0	
I11	2	23,4	15,5	7,5	0,0	70,0	

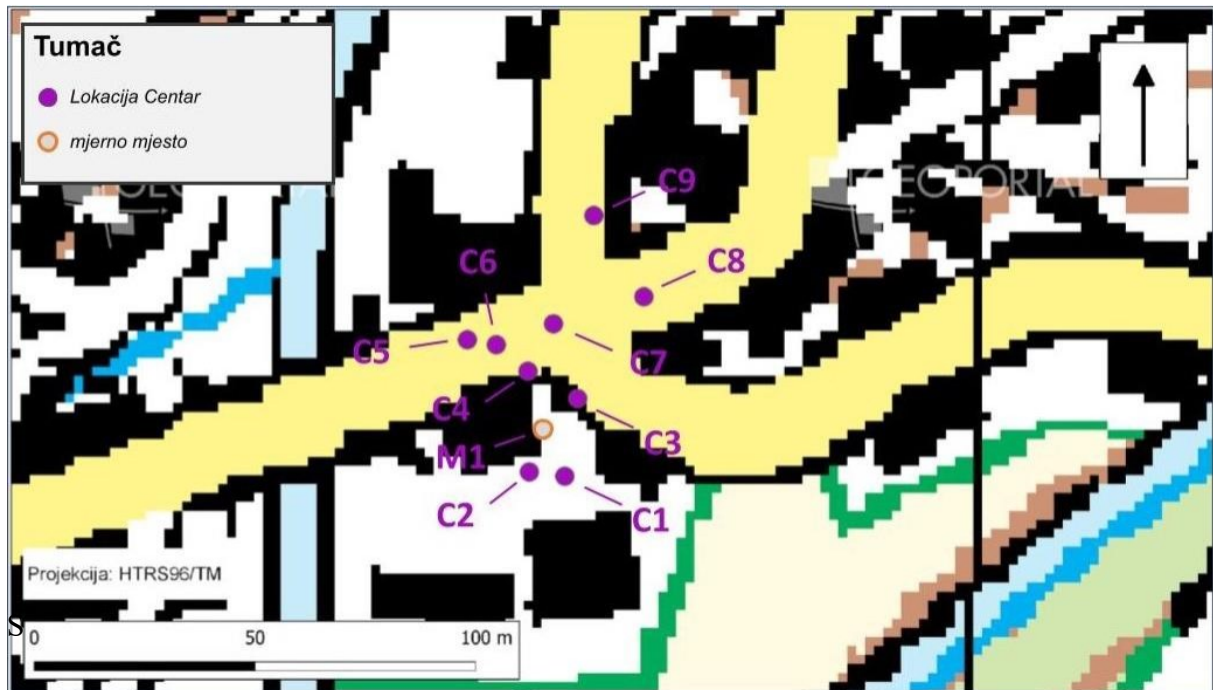


Sl. 18. Rezultat mjerenja na lokaciji Industrijska zona

Lokacija spada u zonu E3 odnosno u područja srednje ambijentalne rasvjetljenosti. U toj zoni najveća dopuštena rasvjetljenost iznosi 30 luxa u razdoblju rasvjetljavanja prije svjetlostaja. Svi dobiveni rezultati mjerenja su u granicama dopuštene vrijednosti osim kod rasvjetnog tijela I2 čija je vrijednost 32,7 luxa, iz razloga što su na istom stupu postavljena dva rasvjetna tijela (sl. 18). Još je jedna visoka vrijednost kod RT I7. To rasvjetno tijelo postavljeno je na ulazu u industrijsko postrojenje i manje je udaljeno od susjednog izvora svjetlosti.

6.4.4. Lokacija centar

Slično kao i kod lokacije šetnica Jezero rasvjetna tijela nepravilno su raspoređena s različitim međusobnim udaljenostima (sl. 19). Ova lokacija pripada u zonu E2 odnosno u područje niske ambijentalne rasvijetljenosti, gdje je najveća moguća dopuštenost 20 luxa u razdoblju rasvjetljavanja prije svjetlostaja.



Sl. 19. Prikaz rasvjetnih tijela na kojima su izvršena mjerenja na lokaciji Centar
Kartografska podloga: TK25, Geoportal, DGU

Lokacija pripada u zonu E2 odnosno u područje niske ambijentalne rasvijetljenosti. U toj zoni najveća dopuštena rasvijetljenost iznosi 20 luxa u razdoblju rasvjetljavanja prije svjetlostaja. Dobiveni rezultati pokazuju prekoračenje kod svih mjernih točaka, ispod rasvjetnih tijela i između njih (tab. 9). Tip rasvjetnih tijela na kojima je izvršeno mjerenje su T3 i T7. Takva rasvjetna tijela uglavnom su namijenjena za ukrasnu rasvjetu. Na ovoj lokaciji mala i nepravilna udaljenost između rasvjetnih tijela te sam odabir tipova rasvjetnih tijela dovodi do velikog prekoračenja rasvijetljenosti s obzirom na pripadnost zoni rasvijetljenosti E2. Dijagram za ovu lokaciju nije izrađen zbog nepravilnosti podataka i prevelikih odstupanja.

Tab. 9. Prikaz izmjerenih podataka na lokaciji Centar

Lokacija: Centar			
	Zona rasvijetljenosti		E2
	Visina RT [m]		3,6 / 6,2
	Ukupan broj RT		14
	Broj LED RT		0
	Broj isključenih RT		0
		Ispod RT	Komentar
Oznaka RT	Tip RT	Osvjetljenje [lx]	
C1	3	23,6	Dodatno osvjetljenje iz ugostiteljskog objekta
C2	3	48,6	Više RT na jednom stupu
C2	3	43,1	Više RT na jednom stupu
C3	3	85,8	Više RT na jednom stupu
C3	3	54,1	Više RT na jednom stupu
C3	3	40,1	Više RT na jednom stupu
C4	3	39,8	Više RT na jednom stupu
C4	3	79,5	Više RT na jednom stupu
C4	3	97,0	Više RT na jednom stupu
C5	7	19,0	/
C6	7	29,0	/
C7	7	23,8	/
C8	3	53,8	Nagib terena
C9	3	60,0	Dodatno osvjetljenje iz ugostiteljskog objekta
M1	/		

Na svakoj od lokacija izmjerena je barem jedna vrijednost koja prelazi maksimalno dopušteno osvjetljenje prema zoni rasvjetljenosti kojoj pripada (tab. 10). Međutim, na lokacijama Sveti Križ i Industrijska zona srednja vrijednost osvjetljenja lokacije ne prelazi maksimalno dopušteno osvjetljenje prema zoni rasvjetljenosti što je označeno zelenom bojom. Dok na lokacijama šetnica Jezero i Centar srednja vrijednost prelazi maksimalno dopušteno osvjetljenje. Najveće odstupanje srednje vrijednosti od maksimalne dopuštene rasvjetljenosti izmjereno je na lokaciji Centar.

Tab. 10. Usklađenost osvjetljenja prema zonama rasvjetljenosti

Usklađenost osvjetljenja prema zonama rasvjetljenosti				
Lokacija	Zona rasvjetljenosti	Maksimalno dopušteno osvjetljenje prema zoni rasvjetljenosti [lx]	Maksimalna izmjerena vrijednost osvjetljenja [lx]	Srednja vrijednost osvjetljenja lokacije [lx]
Sveti Križ	E2	20,0	31,9	14,0
šetnica Jezero	E1	8,0	13,6	12,2
Industrijska zona	E3	30,0	32,7	23,2
Centar	E2	20,0	97,0	49,8

6.4.5. Mjerenje svjetlostaja

Vodeći se definicijom svjetlostaja iz pravilnika koja je navedena u poglavlju 4.1., preispitivanje svjetlostaja zabilježeno je četiri puta kroz noć, u već navedena tri navrata, za vrijeme povoljnih vremenskih uvjeta. Zbog blizine lokacija Centar i Sveti Križ mjerene su kroz istu noć, dok su dvije druge lokacije mjerene u druga dva navrata.

Mjerenje je obavljeno četiri puta kroz noć iz razloga što u izvoru (Otočan i dr., 2016) koji se koristio za dobivanje svih potrebnih podataka o sustavu javne rasvjete u Fužinama, svjetlostaj nigdje nije bio spomenut. Rezultati mjerenja prikazani su u tablici 11.

Tab. 11. Svjetlostaj na svim lokacijama

Svjetlostaj					
		Vrijeme mjerenja			
		22:00 h	00:00 h	02:00 h	04:00 h
Lokacija	Oznaka RT	Osvjetljenje [lx]	Osvjetljenje [lx]	Osvjetljenje [lx]	Osvjetljenje [lx]
Sveti križ	K4	11,5	11,3	11,3	11,4
Šetnica Jezero	J1	12,1	12,3	12,6	12,1
Industrijska zona	I4	23,2	23,1	23,2	23,2
Centar	C9	58,9	60,0	58,7	58,7

Uzimajući u obzir definiciju svjetlostaja, mjerenja su izvršena kod jednog izabranog rasvjetnog tijela sa svake lokacije. Prema dobivenim rezultatima utvrđuje se da svjetlostaj ne provodi na odabranim lokacijama.

7. ZAKLJUČAK

Svjetlost ima ključnu ulogu u čovjekovoj percepciji okoline, svakodnevnim aktivnostima te osiguravanju sigurnosti. Proučavanje svjetlotehničkih veličina ističe se važnost razumijevanja percepcije svjetlosti i unapređenje dizajna svjetlosnih sustava. Razvoj rasvjete, iako obilježen pozitivnim aspektima, donosi i negativne strane, posebice neprimjereno korištenje umjetne vanjske rasvjete. U proučenoj literaturi o svjetlosnom onečišćenju ističe se problem uzrokovan nepropisnom postavkom rasvjetnih tijela, s ozbiljnim posljedicama na astronomski i ekološki aspekt. Ekološko svjetlosno onečišćenje negativno utječe na prirodne ekosustave, narušava biološke ritmove, smanjuje bioraznolikost i istovremeno značajno utječe na ljudsko zdravlje.

Stoga, prije prelaska na rješavanje ovog problema bitno je povećati svijest o istome, s naglaskom na ekološkim i zdravstvenim aspektima. Različite organizacije, uključujući Međunarodnu udruhu za tamno nebo i udruhu „Naše nebo“ u Republici Hrvatskoj, već dugi niz godina aktivno rade na podizanju svijesti i sudjeluju u borbi protiv svjetlosnog onečišćenja. One kao i veliki broj stručnjaka za trajno rješenje ove problematike predlažu održivo korištenje rasvjete, dok se potpuno isključivanje noćne rasvjete čini suviše ekstremno i nepotrebno. Pravilno postavljena ulična rasvjeta, uz načela poput analize potreba, svjetlosnog dizajna, kontrole onečišćenja i suradnje s zajednicom, igra ključnu ulogu u stvaranju sigurnijih, ugodnijih i energetski učinkovitijih urbanih okoliša. Implementacija osnovnih principa poput orijentacije, boje, intenziteta i vremenskog ograničenja rasvjetnih tijela pridonosi sprječavanju svjetlosnog onečišćenja te omogućuje pametnu vanjsku rasvjete, ključnu u kontekstu pametnih gradova i održivog urbanog razvoja.

Prvi koraci prema regulaciji svjetlosnog onečišćenja mogu se poduzeti putem zakonodavstva država ili kroz suradnju velikih organizacija. Tako i sama Republika Hrvatska donosi novi zakon o Svjetlosnom onečišćenju koji stupa na snagu u travnju 2019. godine, s obzirom da su se propisi iz 2011. godine pokazali neučinkovitima. Prema polazištima iz objavljenih propisa i pravilnika spomenutog zakona, napravljen je istraživački dio ovog rada.

U istraživačkom dijelu rada, sve hipoteze postavljene na početku rada su ispitane. Prva hipoteza **(H1) -H1- Srednja horizontalna rasvijetljenost ne prelazi maksimalnu propisanu vrijednost za pojedinu zonu rasvijetljenosti na istraživanim lokacijama naselja Fužine** - nije potvrđena. Na svakoj od mjernih lokacija evidentirana je barem jedna vrijednost koja premašuje maksimalno dopušteno osvijetljenje u skladu s pripadajućom zonom rasvijetljenosti. Sveukupno, ove analize naglašavaju varijacije u razini osvijetljenja na istraživanim lokacijama, s posebnim naglaskom na problematično odstupanje na lokaciji Centar.

H2 - U sustavu javne rasvjete Fužina na istraživanim lokacijama provodi se svjetlostaj i/ili reguliranje intenziteta rasvjete preko noći - nije potvrđena. Analizom dobivenih rezultata zaključuje se da prema definiciji svjetlostaj nije usklađen na odabranim lokacijama.

H3 - Tipovi rasvjetnih tijela na istraživanim lokacijama u Fužinama adekvatno su postavljene i u skladu s propisima o zaštiti svjetlosnog onečišćenja - dijelomično potvrđena. Na svakoj lokaciji mjerenja postoji barem jedno neodgovarajuće rasvjetno tijelo bilo da se govori o dizajnu, broju svjetiljki na stupu ili snazi žarulje. Na lokacijama Centar i šetnica Jezero većinom su postavljena neadekvatna rasvjetna tijela, što dovodi do stvaranja onečišćenja.

Pomoću rezultata ispitanih hipoteza dolazimo do zaključka i odgovora na istraživačko pitanje da na mjerenim lokacijama naselja Fužine postoji svjetlosno onečišćenje u sustavu javne rasvjete. Obzirom na to da je plan rekonstrukcije javne rasvjete u Fužinama objavljen 2016. godine, odnosno tri godine prije donošenja novog zakona o Zaštiti od svjetlosnog onečišćenja RH, dobiveni rezultati su donekle opravdani.

Primjer grada Ketchuma uvelike može poslužiti kao pozitivan primjer za naselje i cijelu Općinu Fužine kako iskoristiti svoj puni potencijal. Dobrim planom nadogradnje i rekonstrukcije u skladu s novim zakonom i pravilnicima, osim održivog razvoja ovo područje može zasigurno dobiti još jednu atrakcijsku osnovu iskoristivu u turističkoj ponudi.

LITERATURA

1. Baković, N., 2016: *Širenje lampenflore u špilji Veternici* (Park prirode Medvednica) u razdoblju od 2012. do 2014. Godine. *Subterranea Croatica*, 14(1), 26–30. <https://hrcak.srce.hr/199912>
2. Božić, V., 2016: *Razvoj rasvjete za speleološke potrebe- speleološki priručnik*, Hrvatski speleološki savez, Zagreb, 27-31.
3. Barentine, J., 2018: Croatia Set To Enact One Of The World's Most Advanced National Light Pollution Laws, <https://darksky.org/news/croatian-light-pollution-law/> (14.04.2022.)
4. Briški, F., 2016: *Zaštita okoliša*. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb (250-257) str.
5. Dere, E., 2023: *What is Artificial Lighting*, <https://tekled.co.uk/blogs/blog/lighting-what-artificial/> (5.6.2023.)
6. Eklöf, J., 2023: *The Darkness Manifesto, On Light Pollution, Night Ecology, and the Ancient Rhythms That Sustain Life*, Scribner
7. ENVIROMENT & RESOURCES AUTHORITY (ERA), 2020: „*Guidelines for the Reduction of Light Pollution in the Maltese Islands, public consultation document*,” <https://era.org.mt/wp-content/uploads/2020/06/Guidelines-for-the-Reduction-of-Light-Pollution-in-the-MI-PC-Draft.pdf/> (6.6.2023.)
8. Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, Kimberly., Portnov, Boris A., Rybnikova, N., Furgoni, R.. 2016: *The new world atlas of artificial night sky brightness*. Science Advances, 2(6)
9. Gaston, K.J., Bennie J., Davies T.W. 2013: „*The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal*,” *Biological Reviews* (88) 912-927.
10. Goronczy, E. E. 2021: *Light Pollution in Metropolises ;Analysis, Impacts and Solutions*, Springer Nature, Hannover, Germany.
11. IZVJEŠĆE O STANJU U PROSTORU OPĆINE FUŽINE ZA RAZDOBLJE OD 2016. DO 2019. GODINE: Općina Fužine, Primorsko-goranska županija, 2021.
12. KODEKS ODREDBI- Grad Ketchum Idaho, *Poglavlje tamno nebo*, 17.132, https://library.municode.com/id/ketchum/codes/code_of_ordinances?nodeId=TIT17Z_17.132DASK, 2023.
13. Karagoz-Kucuk, Z., Ekren, N., 2021: *Light Pollution and Smart Outdoor Lighting*, Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 9, No. 2, str. 191-200

14. Kauzlarić-Andrić, N., 1985: *Fužine, Lič, Vrata, Belo Selo, Slavica, Benkovac: U povodu 200. godišnjice Škole Fužine 1785-1985*. Fužine.
15. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, (2013–2024). *Primorsko-goranska županija. Hrvatska enciklopedija*, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/primorsko-goranska-zupanija/> (6.4.2022.)
16. Longcore, T., Rich, C: *Ecological light pollution, Frontiers in Ecological Environment* 2004; 2(4), str.191–198
17. Martinis, M., Mikuta-Martinis V., 2008: *Život pod umjetnom rasvjetom i zdravlje; Sigurnost; Zagreb; br.50 (2); str. 97-103*
18. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, *Svjetlosno onečišćenje*, 2019., <https://mingor.gov.hr/>
19. Ministarstvo okoliša Češke Republike, *Radni dokument za međunarodnu radionicu: Svjetlosno onečišćenje 2022.*, 2022
20. Narisada, K. and Schreuder, D., 2004: *Light pollution handbook*, Dordrecht: Springer.
21. REGIONALNA ENERGETSKO-KLIMATSKA AGENCIJA SJEVEROZAPADNE HRVATSKE (REGEA), 2013: *Svjetlotehnički priručnik, katalog energetske učinkovite rasvjete*
22. Rajkhowa, R., 2014: „*Light Pollution and Impact of Light Pollution*“, International Journal of Science and Research (IJSR) 3 (10), 861-867.
23. Sharma, S., 2022: *How are fireflies affected by light pollution?*, <https://india.mongabay.com/2022/06/explainer-how-are-fireflies-affected-by-light-pollution/> (22.07.2023.)
24. Šegota, T., Filipčić, A., 1996: *Klimatologija za geografe*, Školska knjiga, Zagreb.
25. Širola, E., 1997: *Cestovna rasvjeta*, Esing, Zagreb.
26. Zakon o zaštiti svjetlosnog onečišćenja, Narodne novine 14/19
27. Zutelija, B., 2015: "Razvoj svjetla kroz povijest," <https://prezi.com/ljf0j1uoao-s/razvoj-svjetla-kroz-povijest/> (21.05.2023.)

Izvori

1. Central Idaho Dark sky reserve, <https://idahodarksky.org/> (8.8.2023.)
2. DarkSky, <https://darksky.org/who-we-are/> (23.05.2023.)
3. Dreams time, <https://www.dreamstime.com/stock-photos-history-lighting-illustration-development-light-image36481903/> (23.03.2023.)
4. Državni zavod za statistiku – *Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2021. godine – Područno ustrojstvo Republike Hrvatske*
5. Državni zavod za statistiku – *Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011. godine – Područno ustrojstvo Republike Hrvatske*
6. ESO, <https://www.eso.org/public/images/dark-skies/> (21.07.2023.)
7. HAS, <https://www.astronomskisavez.hr/index.php/o-nama/povijest/> (24.05.2022.)
8. Lighting info: <https://ledlightinginfo.com/difference-between-lumen-and-lux/> (20.04.2023.)
9. MONT-MÉGANTIC INTERNATIONAL DARK SKY RESERVE, <https://en.cieleteilemontmegantic.org/pourtous/> (08.11.2023.)
10. Otočan, G. i dr., 2016: *REKONSTRUKCIJA SUSTAVA JAVNE RASVJETE OPĆINE FUŽINE*, Rijeka
11. Only in Your State: <https://www.onlyinyourstate.com/idaho/dark-sky-town-id/> (16.05.2022.)
12. Peskiadmin, <https://peskiadmin.ru/hr/formuly-po-svetodiodnomu-osveshcheniyu-kolichestvo-vatt-na-kvadratnyi-metr.html/> (20. 05. 2022.)
13. Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima, Narodne novine 128/20
14. Pravilnik o sadržaju, formatu i načinu izrade plana rasvjete i akcijskog plana gradnje i/ili rekonstrukcije vanjske rasvjete Narodne novine 22/23
15. Pravilnik o mjerenju i načinu praćenja rasvijetljenosti okoliša, Narodne novine 22/23
16. Registar prostornih jedinica RH, Državna geodetska uprava, Zagreb, 2018
17. Science direct,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074222003291/>
(22.06.2022.)
18. Wikipedia, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Svjetlost/> (16.05.2022.)
19. Wikiwand, https://www.wikiwand.com/sh/Izvori_svjetla/ (23.05.2022.)

PRILOZI

I. Popis slika

Sl. 1. Kartografski prikaz položaja općine Fužine unutar Primorsko-goranske županije	4
Sl. 2. Prikaz svjetlosti	6
Sl. 3. Grafički prikaz definicije 1 lx	8
Sl. 4. Povijest rasvjete	12
Sl. 5. Vrste svjetlosnog onečišćenja	16
Sl. 6. Bortleova ljestvica	18
Sl. 7. Shematski prikaz utjecaja svjetlosnog onečišćenja na ljudski organizam.....	20
Sl. 8. Shematski prikaz utjecaja umjetne rasvjete kod životinja u njihovom prirodnom staništu	22
Sl. 9. Četiri osnovna principa za pravilno postavljanje rasvjetnih tijela	33
Sl. 10. Glavna ulica u Kethumu, prikaz ambijentalne rasvjete	34
Sl. 11. Svjetlomjer ili luxmetar	37
Sl. 12. Prikaz lokacija na kojem su izvršena mjerenja rasvjetljenosti.....	40
Sl. 13. Kartografski prikaz lokacije Sveti križ	40
Sl. 14. Rezultat mjerenja na lokaciji Sveti križ	42
Sl. 15. Kartografski prikaz lokacije šetnica Jezero	43
Sl. 16. Rezultat mjerenja na lokaciji šetnica Jezero	44
Sl. 17. Prikaz rasvjetnih tijela na kojima su izvršena mjerenja na lokaciji Industrijska zona..	45
Sl. 18. Rezultat mjerenja na lokaciji Industrijska zona	46
Sl. 19. Prikaz rasvjetnih tijela na kojima su izvršena mjerenja na lokaciji Centar	47

II. Popis tablica

Tab. 1. Svjetlotehničke veličine	7
Tab. 2. Različiti izvori svjetlosti i različite Luminacije	9
Tab. 3. Maksimalne vrijednosti srednje horizontalne rasvjetljenosti javnih prometnica s motornim prometom.....	31
Tab. 4. Pješачke i biciklističke staze na nogostupima, zaustavne trake i parkirališta uz cestu	31
Tab. 5. Tipovi rasvjetnih tijela na mjernim lokacijama	38
Tab. 6. Rezultati mjerenja na lokaciji Sveti križ	41

Tab. 7 Prikaz izmjerenih podataka na lokaciji šetnica Jezero.....	43
Tab. 8. Prikaz izmjerenih podataka na lokaciji Industrijska zona.....	45
Tab. 9. Prikaz izmjerenih podataka na lokaciji Centar	48
Tab. 10. Usklađenost osvjetljenja prema zonama rasvijetljenosti	49
Tab. 11. Svjetlostaj na svim lokacijama.....	50

III. Metodička priprema

Naziv nastavnog sata	Svjetlosno onečišćenje	
Razred	4.b	
Tip sata	Kombinirani sat	
1. Odgojno-obrazovni ishodi nastavnoga predmeta - GEOGRAFIJA GEO SŠ B.3.1.*+ Učenik provodi geografsko istraživanje povezano sa sadržajima odabranoga ishoda* i predstavlja rezultate istraživačkoga rada. Odabrani ishod: *GEO SŠ C.3.5.+ Učenik analizira važnost održivoga razvoja na primjerima iz zavičaja i Hrvatske.	Ishodi učenja	Zadaci kojima ću provjeriti ishode učenja u završnom dijelu sata
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificira ključne odredbe novog zakona o svjetlosnom onečišćenju u Republici Hrvatskoj. 2. Razumije ulogu zakona i pravilnika u promicanju održivog korištenja resursa. 3. Vrednuje rad ostalih skupina na primjeru analize zadanog zakona/pravilnika. 4. Provjerava primjenu mjera zakona o svjetlosnom onečišćenju u praksi. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Koje su tri ključne odredbe novog zakona o svjetlosnom onečišćenju u Republici Hrvatskoj? 2) Kako biste ukratko objasnili ulogu zakona i pravilnika u promicanju održivog korištenja resursa? (2-3 rečenice) 3) Hoćete li sažetak moći koristiti u izradi projekta? Što vam se najviše sviđa kod određenog sažetka? Da li odgovara prvotno danim uputama? 4) Zadani projekti zadatak!
2. Povezanost s očekivanjima MPT učiti kako učiti	<p>uku A.3.1. Učenik samostalno traži nove informacije iz različitih izvora, transformira ih u novo znanje i uspješno primjenjuje pri rješavanju problema.</p> <p>uku A.4/5.2. Primjena strategija učenja i rješavanje problema. Učenik se koristi različitim strategijama učenja i samostalno ih primjenjuje u ostvarivanju ciljeva učenja i rješavanju problema u svim područjima učenja.</p> <p>uku A.4/5.4. Kritičko mišljenje. Učenik samostalno kritički promišlja i vrednuje ideje.</p>	

<p>3. Povezanost s očekivanjima MPT osobni i socijalni razvoj</p>	<p>osr A.3.3. Razvija osobne potencijale. – Planira korake radi unapređenja ponašanja u skladu sa svojim interesima i očekivanjima.</p> <p>osr B.3.2. Razvija komunikacijske kompetencije i uvažavajuće odnose s drugima. – Pokazuje vještine dogovaranja, pregovaranja i postizanja kompromisa.</p> <p>osr B.3.4. Suradnički uči i radi u timu. – Primjenjuje vještine prezentacije.</p> <p>osr C.3.2. Prepoznaje važnost odgovornosti pojedinca u društvu. – Odgovorno se ponaša u zajedničkim aktivnostima.</p>
<p>4. Povezanost s očekivanjima MPT IKT</p>	<p>ikt B.3.1. Učenik samostalno komunicira s poznatim osobama u sigurnome digitalnom okružju – razvija komunikacijske i prezentacijske vještine.</p> <p>ikt B.3.2. Učenik samostalno surađuje s poznatim osobama u sigurnome digitalnom okružju. – samostalno sudjeluje u suradničkim aktivnostima s poznatim osobama.</p> <p>ikt C.3.1. Učenik samostalno provodi jednostavno istraživanje, a uz učiteljevu pomoć složeno istraživanje radi rješavanja problema u digitalnome okružju. – razvija znatiželju i istraživački duh</p> <p>ikt C.3.2. Učenik samostalno i djelotvorno provodi jednostavno pretraživanje, a uz učiteljevu pomoć složeno pretraživanje informacija u digitalnome okružju.</p> <p>ikt C.3.3. Učenik samostalno ili uz manju pomoć učitelja procjenjuje i odabire potrebne među pronađenim informacijama.</p> <p>ikt C.3.4. Učenik uz učiteljevu pomoć ili samostalno odgovorno upravlja prikupljenim informacijama.</p> <p>ikt D.3.3. Učenik stvara nove uratke i ideje složenije strukture.</p>
<p>5. Povezanost s očekivanjima drugih MPT-a i/ili odgojno-obrazovnim</p>	<p>odr A.3.3. Razmatra uzroke ugroženosti prirode.</p>

ishodima drugih nastavnih predmeta		odr A.3.4. Objašnjava povezanost ekonomskih aktivnosti sa stanjem u okolišu i društvu. odr B.3.1. Prosuđuje kako različiti oblici djelovanja utječu na održivi razvoj. odr C.3.1. Može objasniti kako stanje u okolišu utječe na dobrobit.
Tijek nastavnog sata		
Etape sata	Cilj etape	Aktivnosti učenika¹
Uvod (8)	poticanje znatiželje provjera predznanja	<p>Učenici dobivaju zadatak u što kraćem roku odgovoriti na zadano pitanje prikazanog na PP prezentaciji: <i>Kada je izdan novi zakon o svjetlosnom onečišćenju u Republici Hrvatskoj?</i> (očekivani odgovor: 2019. godine) Pritom koristeći se mobilnim uređajem.</p> <p>Učenici se prisjećaju naučenog iz prethodnih razreda i odgovaraju na nastavnikova pitanja vezana za temu svjetlosnog onečišćenja. <i>Što je svjetlosno onečišćenje?</i> (Svjetlosno onečišćenje je nepoželjna prisutnost viška umjetnog svjetla u okolišu, što ima štetne učinke na prirodu, ljude i astronomsku promatranost) <i>Kako definiramo rasvijetljenost?</i> (Rasvijetljenost je mjera svjetlosti koja pada na određenu površinu. Izražava se u lumenima po četvornom metru-lux) <i>Što prouzrokuje više od polovice svjetlosnog onečišćenja?</i> (prekomjerna i nepotrebna uporaba vanjske umjetne rasvjete.) <i>Tipovi onečišćenja na primjeru javne rasvjete?</i> (sjaj neba, gomilanje svjetla, bliještanje, prekomjerno osvjetljenje i prekoračenje svijetlom) <i>S koja dva aspekta možemo promatrati svjetlosno onečišćenje?</i> (astronomsko i ekološko) <i>Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na ljude?</i> (Svjetlosno onečišćenje može uzrokovati poremećaje spavanja, stres, oštećenje vida te uvelike određenih bolesti) <i>Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na biljni i životinjski svijet?</i></p>

	najava cilja nastavnog sata	(može biološke ritmove i prirodne procese, uzrokujući ozbiljne posljedice na ekosustave.) Nakon datih odgovora, postavlja se još jedno pitanje učenicima: „Što bi po vama bio prvi korak u sprečavanju ovakvog tipa onečišćenja?“ Cilj je potaknuti raspravu i razmišljanje o mogućim rješenjima. Metodom razgovora, učenici dolaze do ispravnog odgovora, prepoznajući donošenje zakona kao prvi korak u sprečavanju onečišćenja.
Glavni dio sata (27)	razvijati vještine: pronalaska zadanog članka u Narodnim novinama, čitanja zadanog teksta s razumijevanjem, interpretiranja teksta i grafičkih prikaza, usmenog i pisanog izražavanja, organiziranja, dogovaranja, pridržavanja pravila rada u grupi	Na početku ovog dijela sata učenici će se raspodijeliti u 4 skupine (5 ili 6 učenika u skupini), s ciljem poticanja međusobne suradnje i razmjene informacija. Učenici će pomoću PowerPoint prezentacije biti upoznati s ciljem nastavne aktivnosti koja će služiti kao uvod u projektni zadatak. Naime svaka skupina će pomoću mobilnih uređaja proučiti određene dijelove novog zakona ili pravilnika o svjetlosnom onečišćenju, te ih zatim prezentirati razredu i napisati na ploču, a po potrebi međusobno podijeliti u digitalnom obliku. Svaka skupina dobiti će posebno napisane smjernice za obavljanje svog zadatka (prilog 1.). <u>Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja</u> obraditi će skupina 1., skupina 2 obraditi će <u>Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima</u> , a preostala dva pravilnika skupina 3 i skupina 4. Osim glavnog razloga izvedbe ove aktivnosti, a to je uvod u projektni zadatak, učenici će razviti ili utvrditi nekoliko vještina. Korištenje pametnih telefona za pronalaženje pravnih dokumenata, poput zakona i pravilnika, stječu vještinu istraživanja i analize relevantnih informacija. Proučavanje odabranih pravnih dokumenata potiče razvoj sposobnosti razumijevanja složene pravne

		<p>terminologije te identificiranja ključnih odredbi. Posebna pozornost na određene dijelove dokumenata potiče analitičko razmišljanje i fokusiranje na bitne informacije. Nakon zadanog vremena za obavljanje zadatka svaka skupina izabire pojedinca koji će iznijeti najvažnije informacije iz njihovog dijela zakona ili pravilnika i zapisati ih na školskoj ploči. Učenici će po potrebi biti usmjereni kako ispravnije napisati pojedinu natuknicu i dodati podatak ako je potrebno, od strane nastavnika. Svaka skupina će svoje bilješke u digitalnom obliku (fotografijom ili word dokumentom) proslijediti ostalim učenicima. Pisanjem sažetaka, učenici razvijaju vještinu sinteze informacija i izdvajanja ključnih karakteristika zakona ili pravilnika. Odabir predstavnika skupine poslužit će kao dodatni poticaj za razvoj sigurnosti prilikom izlaganja i organizacije timskog rada. Predstavnik će ukratko iznijeti najvažnije natuknice svoje skupine, dok će učenici moći pratiti njegovo izlaganje na svojim mobilnim uređajima i na ploči (pomoću projektora).</p> <p>Učenici razumiju zašto je bilo važno proći kroz zakon i pravilnike o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, te dobivaju nastavni listić s uputama za pisanje projektnog zadatka (prilog 2.). Bilješke koje su sami izradili o pojedinom pravilniku ili samom zakonu koristit će kao temelj za izradu projekta. U nastavku, učenici će zajedno s nastavnicom proći kroz upute o sadržaju, izvedbi mjerenja, obradi podataka i samom izlaganju projekta na spomenutim nastavnim listićima. Posebna pozornost biti će rad sa svjetlomjerom, kako bi još jednom ponovili kako ispravno rukovati uređajem (prethodno naučeno na satima Fizike). Nakon što učenici prouče pravila, zajedno s nastavnicom i međusobno će provjerit jesu li ona dovoljno jasna. Zadani rok za provedbu projekta je 6 tjedana.</p>
--	--	--

		Tada će učenici prezentirati svoje projekte i ocjenjivati druge projekte prema pripremljenom obrascu (prilog 3.) te će tako odlučiti koji je projekt najbolje napisan.
Završni dio sata (10)	primijeniti naučeno Formativno vrednovanje	Na kraju sata učenici će pismeno odgovoriti na pitanja 1) <i>Koje su tri ključne odredbe novog zakona o svjetlosnom onečišćenju u Republici Hrvatskoj?</i> 2) <i>Kako biste ukratko objasnili ulogu zakona i pravilnika u promicanju održivog korištenja resursa? (2-3 rečenice).</i> Odgovore će napisati na prazan list papira i pri završetku, list s odgovorima proslijediti učenika koji se nalazi u klupi iza njih. Tako će pri otvaranju točnih odgovora na PP učenici jedni drugima provjeriti odgovore. Nakon toga sve skupine će usmeno vrednovati sažetke uz pomoć pitanja također projicirana na PP prezentaciji <i>Odgovara li sažetak prvotno danim uputama?, Što vam se najviše sviđa kod određenog sažetka?, Hoćete li sažetak moći koristiti u izradi projekta?</i> One skupine čiji sadržaj nije pregledan ili dovoljno ispunjen informacijama, morati će to nadopuniti i ponovno poslati ostalim učenicima.

Plan školske ploče

Svjetlosno onečišćenje

→ natuknice svake grupe

→ nastavni listići

Nastavne metode i oblici rada

Tradicionalne nastavne metode: Metoda razgovora, metoda pisanja, metoda demonstracije, metoda usmenog izlaganja, metoda rada na tekstu

Suvremene didaktičke strategije: suradničko učenje, korištenje pametnog telefona

Oblici rada: frontalni i grupni rad

Nastavna sredstva i pomagala

Tekstualna nastavna sredstva i pomagala: pribor za pisanje, plan ploče, bilježnica, nastavni listići s uputama, računalo, pametni telefon/tablet, zakon i pravilnici

Audiovizualna nastavna sredstva i pomagala: LCD projektor, osobno računalo (internet), mobilni uređaji, PowerPoint prezentacija, slike s uputama na prezentaciji

Popis literature i izvora za učitelja/nastavnika

Matas, M., 1998: *Metodika nastave geografije*, drugo izdanje, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb

Matijević, M., Bilić, V., Opić, S., 2006: *Pedagogija za učitelje i nastavnike*, Školska knjiga, Zagreb

Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima, Narodne novine 128/20

Pravilnik o sadržaju, formatu i načinu izrade plana rasvjete i akcijskog plana gradnje i/ili rekonstrukcije vanjske rasvjete Narodne novine 22/23

Pravilnik o mjerenju i načinu praćenja rasvijetljenosti okoliša, Narodne novine 22/23

Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, Narodne novine 14/19

Popis priloga

PP prezentacija -posebno priložena

Prilog 1. Upute za grupni rad na satu

Grupa 1.

- koristeći pametni telefon, pronađite Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenju u Narodnim novinama (Narodne novine 14/19)
- proučite zadani Zakon i zapišite osnovne informacije o njemu
- posebnu pozornost obratite na pojedine članke (2.-8., 10.-13., 16.-18., 21., 27., 29.-30.)
- napišite sažetak koji obuhvaća ključne karakteristike ovog zakona tako da identificirate i istaknete najvažnije odredbe koje se odnose na suzbijanje svjetlosnog onečišćenja
- odaberite predstavnika grupe koji će najvažnije prezentirati i napisati na školsku ploču

Grupa 2.

- koristeći pametni telefon, pronađite Pravilnik o zonama rasvjetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima u Narodnim novinama (Narodne novine 128/20)
- proučite zadani Pravilnik te posebnu pozornost obratite na članak 3 (točke 3, 7, 13), članak 4., članak 5., članak 13.
- u prilogu 1. i 3. nalaze se najvažniji podaci koje će vam koristiti u izradi projekta, stoga tome pridodajte posebnu pažnju
- napišite osnovno o Pravilniku, obuhvaćajući ključne karakteristike i odredbe istaknute u člancima i priložima.
- odaberite predstavnika grupe koji će najvažnije prezentirati i napisati na školsku ploču.

Grupa 3.

- koristeći pametni telefon, pronađite Pravilnik o sadržaju, formatu i načinu izrade plana rasvjete i akcijskog plana gradnje i/ili rekonstrukcije vanjske rasvjete u Narodnim novinama (Narodne novine 22/23)

- proučite zadani Pravilnik i zapišite osnovne informacije o njemu
- posebnu pozornost obratite na članke (2., 5., 11., 13., 17. – 19.)
- odaberite predstavnika grupe koji će najvažnije prezentirati i napisati na školsku ploču.

Grupa 4.

- koristeći pametni telefon, pronađite Pravilnik o mjerenju i načinu praćenja rasvijetljenosti okoliša u Narodnim novinama (Narodne novine 22/23).
- proučite zadani Pravilnik i zapišite osnovne informacije o njemu
- posebnu pozornost obratite na članke (5.-7., 10., 18) i prilog III.
- napišite osnovno o Pravilniku, obuhvaćajući ključne karakteristike i odredbe istaknute u člancima
- odaberite predstavnika grupe koji će najvažnije prezentirati i napisati na školsku ploču

Prilog 2. Uputa za izradu projektnog zadatka na temu "Svjetlosno onečišćenje u pojedinoj zoni rasvjetljenosti" za učenike 4. razreda srednje škole

Naslov projekta: Postoji li svjetlosno onečišćenje u određenim zonama rasvjetljenosti u mom gradu/mjestu ?

Cilj projekta: Istražiti postoji li svjetlosno onečišćenje na odabranoj lokaciji unutar zadane zone rasvjetljenosti te analizirati podatke kako biste bolje razumjeli utjecaj umjetne rasvjete na okoliš.

- 1. Odabir prikladne lokacije:** odabrati lokaciju za određenu zonu rasvjetljenosti (na dnu listića raspoređene zone po grupama). To može uključivati park, trg, prometnicu ili drugu javnu površinu. Opisati razloge odabira lokacije i kako ta lokacija predstavlja tipičan primjer područja pod utjecajem umjetne rasvjete.
- 2. Konzultacije s lokalnom upravom:** Kontaktirati lokalnu upravu ili nadležno tijelo kako biste dobili informacije o vrstama rasvjetnih tijela koja se koriste na odabranoj lokaciji. Zatražiti informacije o vrsti žarulja, njihovoj snazi, orijentaciji, rasporedu, te eventualnim planovima o zamjeni ili modernizaciji rasvjete.
- 3. Izvršavanje mjerenja prema pavilniku:** Izmjeriti različite parametre svjetlosnog onečišćenja na odabranoj lokaciji koristeći odgovarajuće instrumente (luxmetar, daljinomjer, itd.). Pratiti smjernice iz relevantnih pravnika i propisanih standarda o svjetlosnom onečišćenju tijekom mjerenja. Bilježiti vrijeme, uvjete i bilo koje specifičnosti koje mogu utjecati na rezultate.
- 4. Analiza podataka u Excelu i GIS-u:** Prikupljenje podatke obraditi u Excelu te ih organizirati prema stanju i potrebama konačno izvještaja. Isto tako potrebno je izračunati statističke pokazatelje, npr. srednju vrijednost, varijancu ili udaljenost od normi, kako biste kvantificirali stupanj svjetlosnog onečišćenja. Mogućnost korištenja programa GIS(Geografski informacijski sustav) za vizualizaciju i analizu prostornih podataka. To može uključivati kartografski prikaz lokacije, svjetlosnog onečišćenja i drugih relevantnih faktora.
- 5. Prezentacija projekta:** Sastaviti izvještaj koji uključuje sve faze projekta, rezultate mjerenja, analize podataka i zaključke. Prezentirati prijedloge za poboljšanje situacije, uključujući moguće smjernice za smanjenje svjetlosnog onečišćenja.

Grupa 1: E0 i E1 zona rasvjetljenosti

Grupa 2: E2 zona rasvjetljenosti

Grupa 3: E3 zona rasvjetljenosti

Grupa 4: E3 zona rasvjetljenosti

Prilog 3. Tablica vrednovanja projektnog zadatka

Zadatak	Kriterij za vrednovanje	Ocjenjivanje (0-3 boda)
1. Odabir prikladne lokacije	Lokacija pripada u zadanu zonu rasvijetljenosti	
	Kreativnost u odabiru lokacije	
2. Konzultacije s lokalnom upravom	Relevantnost dobivenih informacija od strane lokalne uprave	
	Identifikacija mogućih izazova i problema	
3. Izvršavanje mjerenja prema pravilniku i uputama sa sata	Poštivanje smjernica i propisanih standarda	
	Pravilno korištenje instrumenata	
	Detaljan zapis o uvjetima i specifičnostima mjerenja	
4. Analiza podataka u Excelu i GIS-u	Pravilan prikaz podatak u Excelu	
	Kvaliteta kartografskog prikaza	
5. Prezentacija projekta	Kvaliteta prezentacije rezultata	
	Kvaliteta i kreativnost izvještaja	
	Kritičko mišljenje o upravljanju javnom rasvjetom na određenoj lokaciji (pozitivno/negativno)	
	Vještina prezentiranja	
		Ukupno