

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Lina Bajić i Luce Pavin

**Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na živi svijet**

Seminarski rad

Kolegij: Okoliš i zdravlje

Nositelj kolegija: Duje Lisičić

Zagreb, 2.12.2023.

# Sadržaj

1. UVOD .....	2
1.1. Predmet i cilj rada.....	3
1.2. Izvori svjetlosti.....	3
2. ZAKONSKE REGULATIVE .....	5
2.1. Mjere zaštite .....	6
3. MATERIJALI I METODE .....	8
4. REZULTATI .....	9
4.1 Svjetlosno onečišćenje u Hrvatskoj.....	9
4.2 Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na ljude i druge životinje.....	11
4.3 Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na biljke .....	13
5. DISKUSIJA .....	14
6. ZAKLJUČAK.....	17
7. LITERATURA .....	18

## 1. UVOD

Industrijalizacija i urbanizacija u kasnom 19. i ranom 20. stoljeću doveli su do svjetlosnog onečišćenja danas prisutnog u svijetu (IDA, n.d.). Upravo ta saznanja o svjetlosnom onečišćenju možemo uvelike zahvaliti IDA-i (Međunarodnoj organizaciji za zaštitu noćnog neba) – radi se o nevladinoj organizaciji Sjedinjenih Država koja za cilj ima podizanje svijesti o svjetlosnom onečišćenju, njegovim štetnim učincima i rad na konzervaciji prirodne ravnoteže ekosustava, ljudskog zdravlja i prirode.

Kao autoritet na području, ova organizacija definira svjetlosno onečišćenje kao "svaki štetan učinak umjetnog svjetla, uključujući povećanje svjetline noćnog neba, zasljepljivanje, rasvjetu izvan područja koje treba osvjetliti, prekomjerno osvjetljenje, smanjenje noćne vidljivosti i disperziju svjetlosne energije".

Druga definicija koja je u uporabi u Hrvatskoj dana je Zakonom o zaštiti okoliša te glasi: "Svjetlosno je onečišćenje promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovana unošenjem svjetlosti proizvedene ljudskim djelovanjem".

Ove definicije koriste razni mediji koji nas svakodnevno izvještavaju o onečišćenju vode, tla i zraka, ali i svjetlosnog zagađenja. Upravo to svjetlosno onečišćenje koje se često previdi, moramo uzeti u obzir jer, kao što će biti kasnije riječi u ovom radu, ima značajan utjecaj na noćne životinje, ali i zdravlje ljudi. U pravilu je ono rezultat nedosljednosti u znanstvenim istraživanjima i stvarnoj praksi te lošoj tehničkoj izvedbi javne rasvjete (Fuk 2019).

Nažalost, simbolično gašenje svjetla na sat vremena nema održivi značaj i vrlo malo se radi na rješavanju problema otklanjanja uzroka samog svjetlosnog onečišćenja.

Ekonomično korištenje rasvjete može smanjiti potrošnju, kao i razinu svjetlosnog onečišćenja, što također može utjecati na kvalitetu života. Za to su odgovorni djelatnici nadležnih službi, a dok se novouvedeni zakoni implementiraju i redovito kontroliraju, ovakav tip onečišćenja još uvijek će predstavljati problem za živi svijet urbanih staništa.

Problem svjetlosnog onečišćenja zbog urbanizacije, industrijalizacije, povećanja broja stanovništva zahvaća sve više naselja, često se manifestirajući većim intenzitetom (Doll i ostali 2006).

## 1.1. Predmet i cilj rada

Ovaj rad za predmet ima utjecaj svjetlosnog onečišćenja na život urbanog područja zagrebačke sredine, te na živi svijet općenito.

Nastavno na predmet, cilj nam je bio opisati uzroke svjetlosnog onečišćenja, ali i posljedice te djelotvornost zakonskih regulativa na smanjenje štetne svjetlosti. Također, cilj je revidirati trenutačno stanje svjetlosnog zagađenja u gradu Zagrebu uz pomoć stručne recentne literature i na temelju dva lokaliteta u centru grada zaključiti da li je rasvjeta postavljena u sklopu sa zakonskom regulativom.

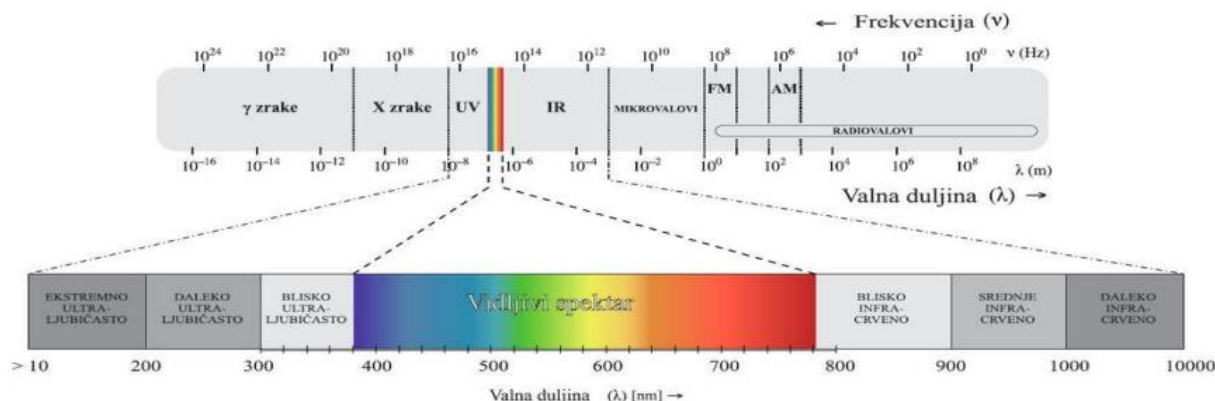
## 1.2. Izvori svjetlosti

Kako bi razumjeli pojam svjetlosnog onečišćenja, potrebno je znati o pojmu i svojstvima svjetlosti.

Po stručnoj definiciji, svjetlost je „elektromagnetsko zračenje u vidljivom i nevidljivom dijelu spektra“. Umjetni izvori svjetlosti, koji su temelj svjetlosnog onečišćenja, su „uređaji koji pretvaraju električnu energiju u svjetlo“, a javna je rasvjeta „sustav rasvjetnih tijela projektiran na propisani način čija je svrha osvjetljivanje okoline umjetnom svjetlosti“. Ovih smo se definicija i mi držali u radu.

Rasvijetljenost možemo definirati kao mjeru količinu svjetlosnog toka koji osvjetljava neku površinu, a izražava se u luxima [lx]. Vanjska rasvjeta koristi se osvjetljavanje okoliša, a uključuje: cestovnu, javnu, dekorativnu, krajobraznu, prigodnu te rasvjetu za zaštitu i oglasne ploče.

Spektar elektromagnetskog zračenja (Slika 1.) prema valnim duljinama dijelimo na: gama zračenje ( $< 0,03$  nm), X-zračenje ( $0,03 - 300$  nm), UV zračenje ( $0,30 - 0,38$   $\mu$ m), ljudskom oku vidljiv dio spektra ( $0,38 - 0,72$   $\mu$ m), infracrveni dio spektra ( $0,72 - 1\ 000$   $\mu$ m (1 mm)), mikrovalni dio spektra (1 mm – 30 cm) i radiovalovi ( $> 30$  cm) (Campbell i Wayne, 2011).



Slika 1. Elektromagnetski spektar (izvor: Ratkajec, 2014)

Što se tiče izvora svjetlosti, razlikujemo primarne, sekundarne, prirodne i umjetne. Primarni izvori svjetlosti, ujedno i prirodni izvori svjetlosti, su Sunce, zvijezde, užareni metali, tijela visoke temperature, tijela koja emitiraju svjetlost zbog unutarnjih kemijskih procesa (svjetleći kukci, fosfor).

Sekundarni izvori svjetlosti u pravilu su sva tijela od kojih se svjetlost reflektira, odnosno tijelo koje nije samo po sebi izvor, može djelovati kao izvor svjetlosti kada se svjetlost reflektira od njegove površine. Najbolji primjer prirodnog sekundarnog izvora svjetlosti je Mjesec, no oni mogu biti raznoliki.

Radi sigurnosti, obavezno je osigurati da napajanje električnog sustava bude pri niskim temperaturama. Žarulje su najčešći izvori umjetne svjetlosti u svijetu i dijelimo ih na: žarulje sa žarnom niti, halogene svjetiljke, fluorescentne svjetiljke, žarulje od žive, natrija i metalhalogene žarulje (visokotlačne žarulje) i najekonomičniji oblik – LED žarulje.

## 2. ZAKONSKE REGULATIVE

Kako bi problematiku svjetlosnog onečišćenja stavili pod kontrolu, problemi u praksi pravno se reguliraju zakonima. Problem svjetlosnoga onečišćenja je relativno nov za Hrvatsku i zakonska regulativna je još uvijek jako ograničena.

Zakon o zaštiti okoliša ključni je zakonski akt vezan uz svjetlosno onečišćenje, pogotovo njegov članak 31.: "(1) Svjetlosno onečišćenje je promjena razine prirodne svjetlosti u noćnim uvjetima uzrokovana unošenjem svjetlosti proizvedene ljudskim djelovanjem. (2) Zaštita od svjetlosnog onečišćenja obuhvaća mjere zaštite od nepotrebnih, nekorisnih ili štetnih emisija svjetlosti u prostor u zoni i izvan zone koju je potrebno osvijetliti te mjere zaštite noćnog neba od prekomjernog osvjetljenja. (3) Zaštita od svjetlosnog onečišćenja određuje se na temelju zdravstvenih, bioloških, ekonomskih, kulturoloških, pravnih, sigurnosnih, astronomskih i drugih standarda." Ovom se zakonskom regulativnom definiraju problemi vezani uz svjetlosno onečišćenje, no za daljnje provođenje potrebno je propisati sankcije za kršenje odredaba ovoga članka jer se u protivnom on ne može provoditi.

Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja (NN 14/19) stupa na snagu relativno recentno, 2019. godine. Cilj ovog Zakona je „zaštita od svjetlosnog onečišćenja koje uzrokuje emitiranje svjetlosti umjetnih izvora svjetlosti u okoliš, čijem su nepovoljnom i štetnom utjecaju izloženi ljudi i cjelokupna flora i fauna“. Također, ovaj Zakon ima ekonomski održivi cilj, tj. „smanjenje potrošnje dobara za javnu rasvjetu“, koje bi za posljedicu trebalo imati racionalnije iskorištavanje električne energije što bi finalno imalo i pozitivan utjecaj na okoliš.

Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvijetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima navodi kako u Hrvatskoj postoji nekoliko zona: E0 – područja prirodne rasvijetljenosti, E1 – područja tamnog krajolika, E2 – područja niske ambijentalne rasvijetljenosti, E3 – područja srednje ambijentalne rasvijetljenosti i E4 – područja visoke ambijentalne rasvijetljenosti. One se određuju na temelju točno propisanih kriterija te imaju različit značaj za živi svijet. E0 i E1 zona svojim površinama obuhvaćaju divlje slobodno-živoće životinje. E2 možemo promatrati kao prijelaznu zonu jer se odnosi na zone korištenja unutar parkova prirode i nacionalnih parkova te na zaštićena područja unutar granica naselja. E3 i E4 zone povezane su s onim životinjskim vrstama koje obitavaju unutar i u blizini gradova, kao i na ljude te udomaćene životinje. Razlika rasvijetljenosti među zonama dvojaka je: zone se definiraju prema postojećoj rasvijetljenosti, no svaka pojedina zona ima maksimalne razine različitih vrsta

rasvjetljenosti (NN 128/2020).

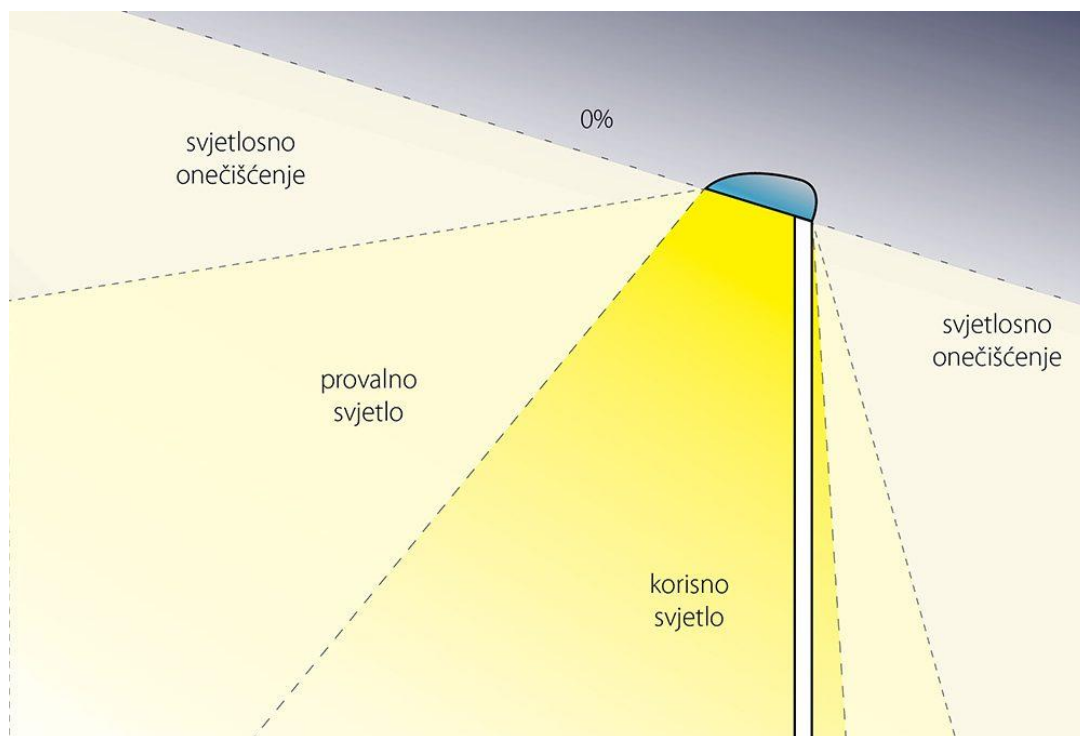
## 2.1. Mjere zaštite

Mjere zaštite od svjetlosnog onečišćenja donekle su propisane zakonom te se navodi kako „jedinice lokalne samouprave, pravne i fizičke osobe koje su operateri rasvjete, investitori, arhitekti i izvođači rasvjete imaju dužnost provesti određene mjere zaštite od svjetlosnog onečišćenja, te osigurati kontroliranje njihovog daljnjeg provođenja u skladu sa Zakonom“ (Fuk 2019). Iako je to jasno u teoriji, često se ne provodi u praksi.

Mjere zaštite ključan su alat u borbi protiv štetnog i neefektivnog osvjetljenja javnog prostora. To se postiže time što se osvjetljava samo ciljano područje, dakle bez osvjetljavanja noćnog neba te prirodnih površina kao što su vodena tijela i zaštićena područja. Ove se mjere provode kroz minimiziranje emisija svjetlosti, smanjenje postojeće rasvjete okoliša na dopuštenu količinu, osiguravanje zaštite i sprječavanje ugroze režima sigurnosti i rada rasvjetnih tijela, kao i način njihova postavljanja, a planovi javne rasvjete trebali bi biti dostupni za pregled široj javnosti. Na slici 2. može se vidjeti jedan od tih mjera – adekvatna javna rasvjeta kojoj trebamo težiti.

Neke od obaveznih mjera podrazumijevaju sljedeće stavke:

- pri ugradnji novih izvora svjetlosti planiranje postavljanja mora biti u skladu s Zakonom;
- zabranjeno je emitiranje svjetlosti čija je valna duljina ispod 500 nm;
- određivanje i rekonstrukcija javne vanjske rasvjete mora biti u skladu s akcijskim planom (Čelebićanin 2023).



Slika 2. Primjer adekvatne vanjske rasvjete (izvor: <https://www.sutivan.hr/novosti/javna-rasvjeta-do-likve/>)



### 3. MATERIJALI I METODE

Za procjenu trenutnog stanja svjetlosnog zagađenja u gradu Zagrebu koristili smo se najrecentnijom dostupnom literaturom, pretraživanjem online baza podataka (Web of Science, ProQuest i Google Scholar).

Napravljen je jedan izlazak na teren u centar grada Zagreba u večernjim satima kako bi utvrdili je li vanjska javna rasvjeta postavljena po zakonskim regulativama.

Karakteristike koje moraju biti zadovoljene su propisane Zakonom o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja:

- umjereni intenzitet svjetlosti,
- opravdanost rasvjete – površina koja se osvjetljava mora biti svrhovito i opravdano izabrana,
- zasjenjena i usmjerena rasvjeta – rasvjeta ne smije raspršivati svjetlost u nebo i obavezno je da bude usmjerena prema tlu,
- odgovarajuće boje svjetlosti.

Prvi lokalitet je bio na križanju Frankopanske ulice i Ilice, poviše tramvajske pruge.

Rasvjeta poviše pruge opravdano je postavljena – longitudinalna je i prati prugu. Umjerenog je intenziteta i izrazito žute boje svjetlosti. Karakteristika koja ne prati propise je stupanj zasjenjenosti. Naime, žarulja poviše tramvajske pruge u Ilici jajolikog je oblika što znači da svjetlost raspršuje djelomično prema nebu, a velikom količinom i van ciljane osvjetljene površine, prema fasadama stambenih zgrada. Također, svakih 10 do 15 metara postavljena je druga žarulja, što čini okolni prostor prezasićenim svjetlom.

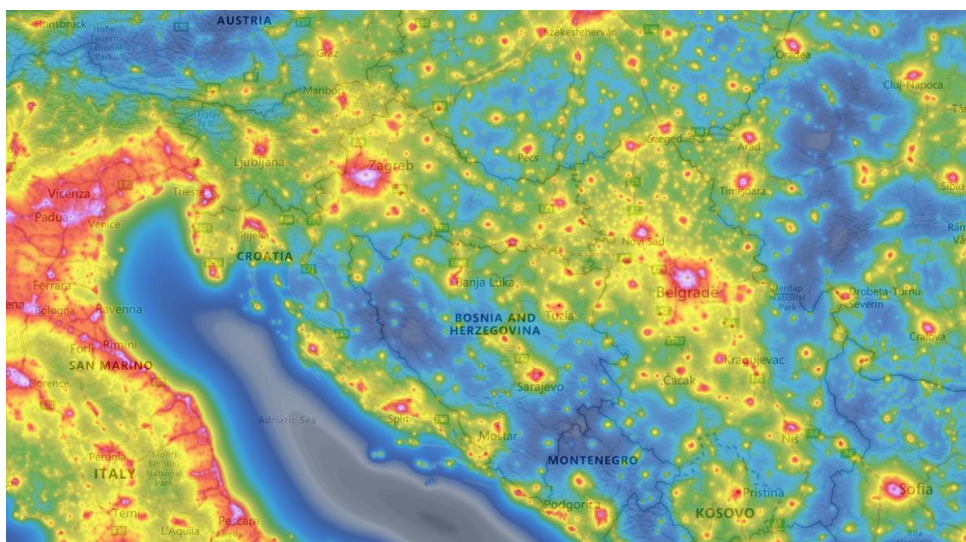
Drugi lokalitet je bio u Ratkajevom prolazu. Rasvjetu u ulici koja je duga 170 m čini 5 stupova javne rasvjete koji su međusobno udaljeni otprilike 30 metara. Intenzitet svjetla je umjeren, dovoljan za osvjetljavanje dvije prometne trake u ulici i nogostup s obje strane. Količina raspršenog svjetla je minimizirana i snop svjetla je usmjeren direktno okomito prema cesti zbog efikasno postavljenog izvora svjetlosti tj. žarulje.

## 4. REZULTATI

### 4.1 Svjetlosno onečišćenje u Hrvatskoj

Pretraživanjem dostupne znanstvene literature, zakona i satelitskih snimaka, utvrđeno je kako Republika Hrvatska ima izražen stupanj svjetlosnog onečišćenja. Ono nije prisutno samo u velikim urbanim sredinama, već diljem cijele zemlje, a jedina područja bez svjetlosnog onečišćenja nalaze se na velikim nadmorskim visinama, pučinskim otocima te nenaseljenim dijelovima Republike Hrvatske (Fuk 2019).

Ovi se podaci jasno mogu predočiti pomoću karte svjetlosnog onečišćenja (Slika 3.) iz koje je vidljivo da velika urbana središta imaju najviši stupanj onečišćenja, no i njegova prisutnost na većini površine. Pri razmatranju učinka ovog problema, potrebno je obratiti pozornost i na susjedne države te svjetlosno onečišćenje u blizini granica (Andreić i ostali 2011).



Slika 3. Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj i na njenim granicama. Tamno plavom bojom označeni su dijelovi s najmanje ili bez svjetlosnog onečišćenja, dok su crvenom i ružičastom bojom označeni najviše pogođeni dijelovi. Preuzeto s

<https://www.lightpollutionmap.info>.

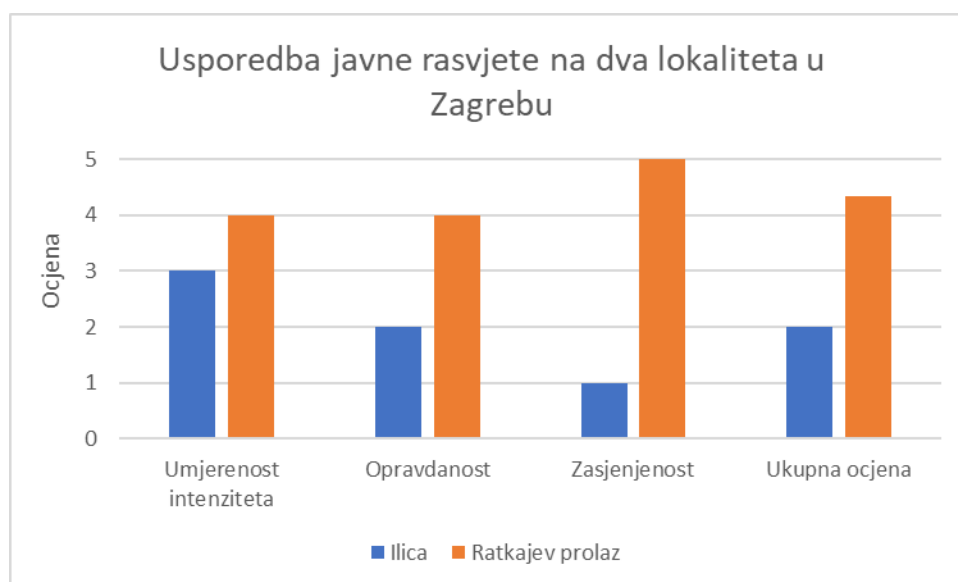
Starija literatura predlaže donošenje novih zakona o svjetlosnom onečišćenju kao rješenje ovog problema. Danas postoji već spomenuti Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja (NN 14/2019) te brojni pravilnici (NN 128/2020; NN 22/2023) čija je uloga definiranje pristupa svjetlosnom

onečišćenju te upravljanje rasvjetljavanjem okoliša i rasvjetnim sustavima. Doduše, o stanju rasvjetljavanja okoliša u pravilu izvješćuju organizacije građanske inicijative (Internetski izvor 1) ili neovisni znanstveni radovi (Andrečić i ostali 2011), dok je često teško pronaći potrebne informacije na službenim stranicama ministarstava ili državnih zavoda.

Iz tog su razloga procjene javne rasvjete u gradu Zagrebu i ostalim hrvatskim gradovima teško dostupne, tj. nema sustavnih mjerenja čiji su rezultati javno prikazani. Neki izvori uspoređuju Zagreb s drugim svjetskim metropolama kao što su Beč ili Budimpešta, te se analiziraju pojedini primjeri loše javne rasvjete, no prave analize stanja još uvijek nema. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja (NN 14/2019) u punoj je primjeri tek od početka 2023., a rok za raspis Plana rasvjete još uvijek traje. Nakon formiranja Plana rasvjete, lokalne jedinice u Hrvatskoj imat će 11 godina vremena za njegovu provedbu (Internetski izvor 2).

Iako se o renovaciji javne rasvjete govori već neko vrijeme (City of Zagreb 2017), prvi ugovor za veći projekt sklopio se tek 2021. „RePubLEEC - Energetski učinkovita obnova javne rasvjete u Zagrebu“ odnosi se na plan modernizacije javne rasvjete u periodu od 17 godina u kojem bi se trebalo optimizirati „najmanje 70% cjelokupnog sustava“ javne rasvjete (Internetski izvor 3). Također, kao i po pitanju trenutnog stanja javne rasvjete, malo je podataka dostupno javnosti o tijeku projekta, osim početnih obavijesti.

Iz tog je razloga u sklopu ovog rada provedeno kratko terensko istraživanje metodom opisanom u prethodnom poglavlju. Analizirala se javna rasvjeta na dva lokaliteta u gradu Zagrebu; prvi je standardan primjer stare javne rasvjete, dok se na drugom nalazi modernizirani tip. Rasvjetna tijela ocijenjena su po nekoliko parametara na oba lokaliteta, a jasna usporedba njihove učinkovitosti vidljiva je na slici 4. Parametri su bili umjerenost intenziteta svjetlosti, opravdanost (svrhovitost osvjetljavanja površine) te zasjenjenost (usmjerenost). Na lokalitetu Ilica javna je rasvjeta prihvatljivog intenziteta, no postavljena je suviše gusto i oblik je takav da itekako doprinosi svjetlosnom onečišćenju grada. Drugi lokalitet, Ratkajev prolaz ima moderniziranu rasvjetu koja osvjetljava samo prostor ispod sebe te je raspoređena tako da ukupna svjetlina ulice bude prihvatljiva.



Slika 4. Rezultati terenskog istraživanja; ocjene javne rasvjete dvaju lokaliteta u centru Zagreba po tri parametra (Izvor: Autori)

Češće od sustavnih terenskih provjera provode se ankete građana. O informiranosti građana na području Hrvatske te Bosne i Hercegovine dobro govore rezultati istraživanja u osnovnim (Marušić i ostali 2019) i srednjim školama (Grofelnik i ostali 2021). U prvom istraživanju, velik broj učenika osnovnih škola nema dojam o štetnosti svjetlosnog onečišćenja niti su u stanju samostalno definirati taj pojam. Imaju neku ideju o štetnosti rasvjete na kukce, no puno slabiju o poveznici između svjetlosnog onečišćenja te izumiranja biljnih i životinjskih vrsta (Marušić i ostali 2019). U srednjim je školama situacija nešto bolja gdje je većina učenika iznijela dojam kako bi trebalo smanjiti rasvjetu noću te sposobnost prepoznavanja tipa rasvjete koji najmanje zagađuje okoliš.

#### 4.2 Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na ljude i druge životinje

U literaturnom pregledu najveći broj istraživanja odnosi se na vrste koje žive unutar ili u blizini gradova jer se pretpostavlja da je učinak svjetlosnog onečišćenja na njih najveći. Unutar te skupine, naglasak je na noćnim životinjama čiji su okolišni uvjeti uvelike promijenjeni u odnosu na one u prirodi. Osim noćnih, ističu se i migratorne vrste te one čiji razvoj i razmnožavanje intenzivno ovisi o cikličkom periodu svjetlost-tama.

Raznolika skupina koja obuhvaća migratorne i noćne vrste su ptice, te su upravo one među

najčešćim stanovnicima urbanih sredina. Umjetna rasvjeta ima niz utjecaja na ovu skupinu. Prvo, dnevne ptice koje su tijekom noći izložene umjetnom svjetlu, kraće spavaju te se ranije bude (Raap i ostali 2015). Na migratorne vrste, umjetna rasvjeta ima dezorijentacijski učinak, no on ovisi o dijelu spektra svjetla. Pokazalo se da bijela i crvena svjetlost uvelike utječu na magnetni kompas ptica, dok plava i zelena nemaju negativan učinak. Budući da se orijentacija magnetizmom koristi za kretanje na velikim udaljenostima, ovaj učinak može biti od velikog negativnog značaja kako za jedinku, tako i za populaciju (Marquenie i ostali 2008).

Osim problema s navigacijom, umjetna rasvjeta omogućava i veću vidljivost predatorima raznih vrsta što ima negativne posljedice na populacije ptica, šišmiša, kukaca i morskih kornjača. Neke ili sve vrste ovih skupina oslanjaju se na mrak kao zaštitu te se stoga hrane, kreću ili provode važne razvojne korake noću. Zbog umjetne rasvjete u gradovima, ali i na obali, povećava se stupanj predacije te veličine populacija ovih vrsta opadaju. Pritom se produžuje period hranjenja dnevnih predatora, a smanjuje period noćnih, što opet ima utjecaj i na populacije predatora. (Katabaro i ostali 2022).

Umjetna rasvjeta može povećati mortalitet populacije direktno, bez da utječe na odnos s predatorom. Velik broj kukaca, s naglaskom na skupinu Diptera, pokazuju pozitivnu fototaksiju što u slučaju umjetne rasvjete dovodi do velike količine jedinki na izvoru svjetlosti. Velik stupanj smrtnosti uzrokovan je vrućim žaruljama, nakupljanjem u svjetiljkama ili pretjeranom aktivnosti i repetitivnim udaranjem u izvor svjetla (Katabaro i ostali 2022). Pritom se ne šteti samo jedinkama, već i cijeloj populaciji kojoj se mijenja biomasa i gustoća, ali i relativan sastav (Hölker i ostali 2010).

Negativni učinci umjetne rasvjete ne odnose se samo na migratorne vrste i beskralježnjake, već i na mnoge druge uključujući čovjeka. Ciklus dan-noć u prirodi regulira mnoge aspekte života različitih vrsta. Na temelju fotoperioda i izmjene dana i noći djeluje cirkadijani ritam kod ljudi i drugih životinja. Njegova je uloga prilagodba fizioloških i ponašajnih aspekata organizma na takav ciklični okoliš. Shodno očekivanjima, istraživanja su pokazala kako umjetna rasvjeta i svjetlosno zagađenje imaju učinak na cirkadijani ritam mnogih životinja stvarajući promjene u ponašanju, ali i fiziološkim procesima. Kod ptica pjevica, vrijeme izvedbe pjesme pomiče se ovisno o osvjetljenju, stoga one kreću s pjesmom ranije ujutro. Budući da pjesma ima ulogu u razmnožavanju, svjetlosno onečišćenje neposredno djeluje na reprodukciju ptica pjevica u urbanim sredinama (Katabaro i ostali 2022).

Još je intenzivniji učinak narušavanja cirkadijanog ritma kod ljudi i drugih sisavaca. Intenzivne promjene u ciklusu dan-noć, dovode do metaboličkih promjena te izmijenjenog lučenja

testosterona, vazopresina i kortikosterona. Ključan faktor održavanja cirkadijanih ritmova je melatonin, a izlaganje umjetnoj rasvjeti snažno utječe i na njegove koncentracije u organizmu. Upravo su koncentracije melatonina dobar pokazatelj učinka svjetlosnog zagađenja, tj. kvantitativna mjera kojom se ono može opisati (Zeman i ostali 2023). Osim regulacije cirkadijanih ritmova, melatonin ima imunosnu, antioksidativnu i anti-onkogenu ulogu zbog čega se poremećaji u ciklusu melatonina povezuju s rakom dojke i prostate (Grubisic i ostali 2019).

Smatra se da metaboličke promjene neposredno uzrokovane svjetlosnim zagađenjem uzrokuju povećanje tjelesne mase i usporavaju razgradnju glukoze kod sisavaca. Ova metabolička oštećenja najčešće su prisutna kod ljudi koji imaju u potpunosti zamijenjen dan za noć, no rezultati su potencijalno primjenjivi i na prosječnog čovjeka zbog količine svjetlosno onečišćenja u okolišu (Fonken i Nelson 2014).

#### 4.3 Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na biljke

Poremećaji ciklusa dan-noć imaju izrazito velik utjecaj na biljke. Budući da je fotoperiod velik izvor informacija ovoj skupini, promijenjena informacija može dovesti do velikih izmjena u životu biljke. Umjetno svjetlo tijekom noći može utjecati na rast, cvjetanje, zarastanje, klijanje i razne druge procese. Pritom različiti dijelovi spektra imaju različite učinke na ovu skupinu – umjetna rasvjeta koja pretežito koristi jedan dio spektra potaknut će određenu aktivnost biljke neovisno o okolišnim uvjetima. Neki su učinci inhibitorni, dok na primjer, crveni dijelovi spektra uzrokuju neometan rast i time sprečavaju dormantne periode u doba godine kad su oni potrebni (Katabaro i ostali 2022).

## 5. DISKUSIJA

Unatoč navedenim zakonskim odredbama i planovima modernizacije, svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj vrlo je izraženo. Činjenica da se Zagreb može usporediti i nadići druge velike svjetske gradove kao što su Beč ili Budimpešta po pitanju svjetlosno zagađene površine govori mnogo o javnoj rasvjeti u gradu (Pavlič i Andreić 2020).

Iz našeg je kratkog terenskog istraživanja jasno da se i bez sofisticiranih mjernih uređaja može prepoznati kako je ekološka rasvjeta bolje rješenje za okoliš od standardne umjetne rasvjete. Iako će ona predstavljati velik trošak u budućnosti, dio Plana rasvjete bi zapravo trebao predstavljati štednju. Količina rasvjetnih tijela u Zagrebu je na mnogim mjestima prevelika, tj. ona su gusto postavljena za što nema potrebe. Ulaganjem u skuplju ekološku rasvjetu i smanjenjem broja ukupnih tijela može se postići financijska ravnoteža, a plan se uistinu provesti u djelo.

Iako je Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja velik korak unaprijed, važno je kritički gledati na njegove dijelove i rezultate. Zone rasvjetljenja o kojima je bilo riječi imaju različite razine rasvjetljenosti pa je stoga utjecaj onečišćenja drukčiji na različite vrste i manje ili više pogađa vrste neovisno o njihovoj prirodnoj osjetljivosti na svjetlo. Dodatan faktor u tome je koliko su osjetljive – na temelju toga provodi se svojevrsna selekcija nad vrstama u urbanim sredinama. Također, vrste izrazito osjetljive na svjetlost odmicat će se od rastućih urbanih sredina što će direktno utjecati na njihovu rasprostranjenost. Dakle, granice do kojih dolaze divlje životinje još su veće od promjera samih gradova te ponekad sežu onoliko koliko seže pripadajuće svjetlosno onečišćenje. Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na ekosustave često je zanemaren, no činjenica je da se promjenom ciklusa dan-noć mijenja broj i raspodjela ekoloških niša, stupanj predacije, primarna produkcija i mnogi drugi ključni čimbenici svakog ekosustava (Katabaro i ostali 2022).

Kad govorimo o utjecaju svjetlosnog onečišćenja na živi svijet, potrebno je uzeti u obzir opseg značaja svjetlosti u prirodi. Ne smije se promatrati samo jačina umjetne rasvjete, već i njena kvaliteta te vrijeme djelovanja (Slika 5). Sve su to faktori koji na jedan ili drugi način utječu na mnogobrojne procese živih organizama. Kao što je vidljivo iz Rezultata, svjetlost određene valne duljine ima slabiji učinak na ptice pa se nameće kao moguće rješenje, dok kod biljaka različiti tipovi svjetlosti imaju zasebne uloge. Upravo na temelju te raspodjele mogu se formirati planovi rasvjete u skladu s prirodom.

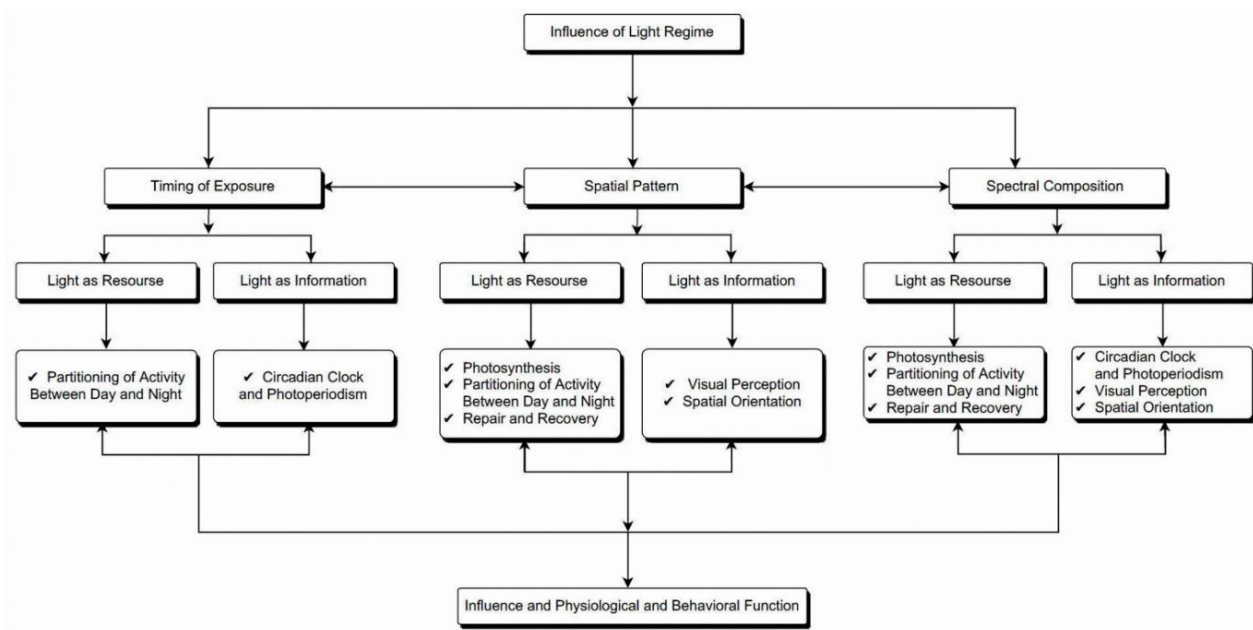
Skupina koja je najizloženija svjetlosnom onečišćenju su ljudi. Nijedna druga vrsta nije u ovolikoj mjeri okružena umjetnom rasvjetom – uistinu, količina vremena koju prosječan čovjek provede pod umjetnom rasvjetom može se usporediti samo s laboratorijskim pokusima nad životinjama.

Zato je važno uzeti u obzir rezultate istraživanja koji ukazuju na korelaciju između svjetlosnog onečišćenja i poremećaja metabolizma, raka dojke i prostate, kvalitete sna i drugog. Problem u ovim slučajevima je što se simptomi ne javljaju istovremeno, nego nakon dugog perioda pa su potrebna longitudinalna istraživanja i ponekad je teško povući jasnu poveznicu (Fonken i Nelson 2014; Grubisic i ostali 2019).

Opći je dojam da je i bez obilja longitudinalnih istraživanja ljudska populacija općenito svjesna učinka svjetlosnog onečišćenja. Doduše, iz Rezultata je jasno da je tema svjetlosnog onečišćenja u osnovnim školama nedovoljno pokrivena, dok i razina svijesti kod učenika srednjih škola o ovom problemu nije zadovoljavajuća. Važan rezultat iz istraživanja Grofelnik (2021) jest taj da učenici prepoznaju kako „zbog ulične rasvjete i reklama dolazi do poremećaja u životnom ciklusu ljudi, životinja i biljaka“, ali puno manji broj smatra „da svjetlost ulične rasvjete i reklame tijekom noći utječe na kvalitetu vašeg sna“. Iz ovoga se nameće zaključak kako se nedovoljno raspravlja o utjecaju umjetne rasvjete na ljudsko zdravlje kako u obrazovnom sustavu, tako i u medijima.

Kroz istraživanje literature naišli smo i na slučajeve u kojima ista umjetna rasvjeta koja predstavlja svjetlosno zagađenje jednim vrstama, potencijalno služi kao pomoć drugima. Naime, u urbanim sredinama gdje je malo zelenih površina, biljke se sade u gustim nasadima te teško dolaze do Sunčeve svjetlosti zbog obližnjih zgrada. Umjetna bi rasvjeta u tom slučaju mogla poslužiti kao nadomjesni izvor svjetlosti (Kataro i ostali 2022). Problem je što pritom ne govorimo o samoniklim biljkama, već o ljudskim nasadima – dakle, jedna antropogena promjena za sobom povlači iduću. U ovakvim slučajevima važno je odvagnuti prednosti i mane – jedino s moderniziranom rasvjetom koja ne bi imala štetan utjecaj na životinjski svijet bi ovakvo rješenje imalo smisla za biljke.





Slika 5. Shematski prikaz utjecaja različitih aspekata svjetlosti na žive organizme, preuzeto iz (Katabaro i ostali 2022)

## 6. ZAKLJUČAK

Svjetlosno onečišćenje problem je modernog svijeta kojeg su svi donekle svjesni. Prosječni čovjek zna da ulična lampa privlači kukce te da ne bi trebao gledati u ekran prije spavanja. Doduše, pravo znanje o ovom problemu čini se nije rašireno u javnosti. Bez javno dostupnih planova rasvjete, ali i sustavnih mjerenja i istraživanja efikasnosti iste rasvjete, ne može se doći daleko. Čak i da se u obrazovne programe uvede više sadržaja posvećenog svjetlosnom onečišćenju (što je potrebno), ključni faktor je sama država i jedinice lokalne samouprave. Zagreb je grad površinom manji od mnogih svjetskih gradova s kojima se lako može dovesti u istu kategoriju po stupnju svjetlosnog onečišćenja. Stoga su modernizacija javne rasvjete i dobro razrađen Plan rasvjete nužni za napredovanje.

Svjetlosno onečišćenje Republike Hrvatske bilo bi puno gore kad u statističke analize ne bi ulazile velike nadmorske visine i pučinski otoci. Budući da se radi o nenaseljenim mjestima, daleko od urbanih sredina, oni zapravo popravljaju prosjek. Dakle, činjenicu da Hrvatska ne zauzima još niže mjesto na ljestvici svjetlosnog onečišćenja duguje divljoj prirodi, a ne dobro osmišljenoj javnoj rasvjeti ni ekološkoj svijesti diljem zemlje, što bi trebao biti slučaj.

Ista ta divlja priroda koja održava prosjek zemlje je ona kojoj svjetlosno onečišćenje šteti. U ovom su radu nabrojani samo neki najizraženiji učinci svjetlosnog onečišćenja, dok se javlja još niz drugih kroz različite vrste i carstva živog svijeta. Promjene u cirkadijanom ritmu istaknute su kod ljudi, no njihov je učinak velik kod brojnih drugih životinja. Ako je san ključno vrijeme za odmor i ozdravljenje, onda promjene u njemu moraju imati jake posljedice na organizam. Prethodno je spomenuto kako su neke posljedice poremećaja u ritmu melatonina vidljive tek nakon određenog broja godina. Upravo zbog toga važno je na vrijeme istražiti, definirati i javno predstaviti štetne učinke svjetlosnog onečišćenja na čovjeka i ostali živi svijet – kako bi se spriječile „bolesti civilizacije“.

Negativan učinak svjetlosnog onečišćenja na živi svijet isključujući čovjeka trebao bi biti dostatna motivacija za unaprjeđenje sustava javne rasvjete, no to je rijetko tako. Moguće mjere zaštite bile bi naglasak na ugrožene i autohtone vrste te utjecaj umjetne rasvjete na njih u javnim kampanjama. Nije moguće ići u krajnosti, budući da umjetna rasvjeta pruža sigurnost i funkcionalnost ljudskoj populaciji, no dovoljno je voditi se istraženim podacima – točno odrediti utjecaj pojedinih dijelova spektra na žive organizme koji bi mogli biti izloženi te pronaći optimalni tip rasvjete, uključujući kvalitetu, usmjerenost, period i jačinu. Tek usklađivanjem javne rasvjete s istraživanjima te provođenjem sustavnih provjera moglo bi se doći do smanjenja svjetlosnog zagađenja do prihvatljive točke.

## 7. LITERATURA

Andreić, Ž., Korlević, K., Andreić, D., Bonaca, A., Korlević, P. i Kramar, M. 2011. Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj. *Građevinar* 63(8), str. 757–764.

Čelebićanin, B. 2023. Analiza svjetlosnog onečišćenja u Hrvatskoj Analiza svjetlosnog onečišćenja u Hrvatskoj Diplomski rad.

City of Zagreb 2017. *Result Oriented Report Project ZagEE*. Zagreb.

Doll, C.N.H., Muller, J.-P. i Morley, J.G. 2006. Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. *Ecological Economics* 57(1), str. 75–92. doi: 10.1016/j.ecolecon.2005.03.007.

Fonken, L.K. i Nelson, R.J. 2014. The Effects of Light at Night on Circadian Clocks and Metabolism. *Endocrine Reviews* 35(August), str. 648–670. doi: 10.1210/er.2013-1051.

Fuk, B. 2019. Svjetlosno onečišćenje. *Sigurnost* 61(4), str. 401–405.

Grofelnik, H., Miočić, M. i Golubić, T. 2021. Sensitivity of Croatian High School Students to Light Pollution. *Sociologija i Prostor* 59(2), str. 183–202. doi: 10.5673/sip.59.2.3.

Grubisic, M. i ostali 2019. Light Pollution , Circadian Photoreception , and Melatonin in Vertebrates. *Sustainability* 11(6400)

Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E.K. i Tockner, K. 2010. Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology and Evolution* 25(12), str. 681–682. doi: 10.1016/j.tree.2010.09.007.

Katabaro, J.M., Yan, Y., Hu, T., Yu, Q. i Cheng, X. 2022. A review of the effects of artificial light at night in urban areas on the ecosystem level and the remedial measures. *Frontiers in Public Health* 10(5). doi: 10.3389/fpubh.2022.969945.

Marquenie, J.M., Poot, H., Ens, B.J., Vries, H. De, Donners, M.A.H. i Wernand, M.R. 2008. Green Light for Nocturnally Migrating Birds. *Ecology and Society* 13(2)

Marušić, O., Planinić, A. i Madžar, I. 2019. *Informiranost učenika osnovne škole o problemu svjetlosnog onečišćenja*.

Narodne Novine 2019. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja.

Narodne Novine 2020. Pravilnik o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima.

Narodne Novine 2023. Pravilnik o mjerenju i načinu praćenja rasvijetljenosti okoliša.

Pavlić, K. i Andreić, Ž. 2020. Comparison of night sky brightness above Zagreb and a nearby rural location 2014-2017. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik* 35(2), str. 45–55. doi: 10.17794/rgn.2020.2.5.

Raap, T., Pinxten, R. i Eens, M. 2015. Light pollution disrupts sleep in free-living animals. *Scientific Reports* 5, str. 1–8. doi: 10.1038/srep13557.

Zeman, M., Okuliarova, M. i Rumanova, V.S. 2023. Disturbances of Hormonal Circadian Rhythms by Light Pollution. *International Journal of Molecular Sciences* 24(7255)

Internetski izvori:

Internetski izvor 1: Ekorasvjeta – svjetlosno onečišćenje. <https://www.ekorasvjeta.net/>  
(pristupljeno 20.11.2023.)

Internetski izvor 2: Hrvatska radio-televizija, Svjetlosno onečišćenje u Hrvatskoj ozbiljan problem.

<https://vijesti.hrt.hr/hrvatska/svjetlosno-oneciscenje-u-hrvatskoj-ozbiljan-problem-11123004>  
(pristupljeno 28.11.2023.)

Internetski izvor 3: Grad Zagreb, RePubLEEC - Energetski učinkovita obnova javne rasvjete u Zagrebu. <https://www.zagreb.hr/en/republic-energetski-ucinkovita-obnova-javne-rasvj/138730>  
(pristupljeno 23.11.2023.)