

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE U METROPOLAMA

Pavlić, Ira

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:869620>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE U METROPOLAMA

Rijeka, rujan 2023.

Ira Pavlić

0069089995

SVEUČILIŠTE RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE U METROPOLAMA

Mentor: doc. dr. sc. Dunja Legović

Rijeka, rujan 2023.

Ira Pavlić

0069089995

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Rijeka, 13. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morske tehnologije**
Predmet: **Zaštita okoliša**
Grana: **2.16.01 inženjerstvo okoliša**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Ira Pavlić (0069089995)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE U METROPOLAMA / URBAN LIGHT POLLUTION**


Opis zadatka:

Opisati pojam i rasprostranjenost svjetlosnog onečišćenja. Navesti i obrazložiti utjecaj svjetlosnog onečišćenja na živa bića i okoliš. Na temelju odabranih primjera metropola, analizirati korelaciju između porasta populacije, potrošnje električne energije i svjetlosnog onečišćenja. Osvrnuti se na primjere gradova koji su se u posljednjem desetljeću posvetili metodama za smanjenje osvijetljenosti u noćnim satima. Prikazati i obrazložiti zaključke na odgovarajući način.


Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.


Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:


Doc. dr. sc. Dunja Legović

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:


Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZVEDBI RADA

Izjavljujem da sam se prilikom samostalnog pisanja završnog rada pod nazivom Svjetlosno onečišćenje u metropolama služila znanjem stečenim na predmetu „Zaštita okoliša“ te literaturom koja je navedena u nastavku završnog rada.

U Rijeci, 12.09.2023

Ira Pavlić

ZAHVALA

Ovim putem htijela bih se zahvaliti svima koji su mi pomogli na bilo koji način tijekom mog školovanja i izrade ovoga rada. Na samom početku zahvalila bih se svojim roditeljima Regini i Željku, dečku Stjepanu, sestri Ani, prijateljima i kolegama koji su mi pružili moralnu i materijalnu podršku.

Zahvaljuem se svojim profesorima na studiju, koji su mi kroz predavanja prijenjeli određeno znanje, a naročito svojoj mentorici doc. dr. sc. Dunji Legović koja mi je pomogla u izradi ove radnje.

SADRŽAJ:

1. UVOD U SVJETLOST	1
1.1. Općenito o svjetlosti	2
1.2. Pojave vezane uz svjetlost.....	3
1.2.1. Refleksija	3
1.2.2. Refrakcija.....	4
1.2.3. Ogib.....	5
1.2.4. Interferencija.....	5
1.2.5. Polarizacija	6
2. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE.....	7
2.1. Uzroci svjetlosnog onečišćenja	8
2.2. Izvori svjetlosnog onečišćenja.....	9
2.3. Posljedice svjetlosnog onečišćenja	10
2.3.1. Negativni energetske i ekonomski trošci	10
2.3.2. Posljedice u prometu	11
2.3.3. Prometnice hrvatske u usporedbi sa razvijenim zemljama EU	12
2.3.4. Posljedice za astronomska promatranja	13
2.4. Utjecaj na živa bića.....	14
2.4.1. Utjecaj na biljni i životinjski svijet	14
2.4.2. Utjecaj na ljudsko zdravlje	15
2.4.3. Cirkadijalna rasvjeta.....	17
2.5. Pravilno postavljanje ulične rasvjete	18
3. METROPOLE U BORBI PROTIV SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA	20
3.1. Singapur	20
3.2. Hong Kong	21
3.3. 10 najsajnijih metropola u usporedbi sa globalnim urbanim prosjekom	22
3.4. Statistika svjetlosnog onečišćenja u svijetu	27

3.5. Smanjenje svjetlosnog onečišćenja.....	30
3.5.1. Organizacije za smanjenje svjetlosnog onečišćenja.....	31
3.5.2. „Lights out“ program	31
4. ZAKLJUČAK	32
5. LITERATURA	33
6. POPIS SLIKA	39
7. SAŽETAK.....	41
8. SUMMARY	42

1. UVOD U SVJETLOST

Teorije vezane uz svjetlost mjenjale su se i razvijale tijekom vremena. Kako bi objasnio pravocrtno širenje svjetlosti i fenomen refleksije i refrakcije, Isaac Newton (slika 1) je 1672. godine iznio teoriju u kojoj govori da se svjetlost sastoji od skupine sićušnih čestica koje se kreću određenom brzinom, ta teorija se naziva korpuskularna teorija.[1]



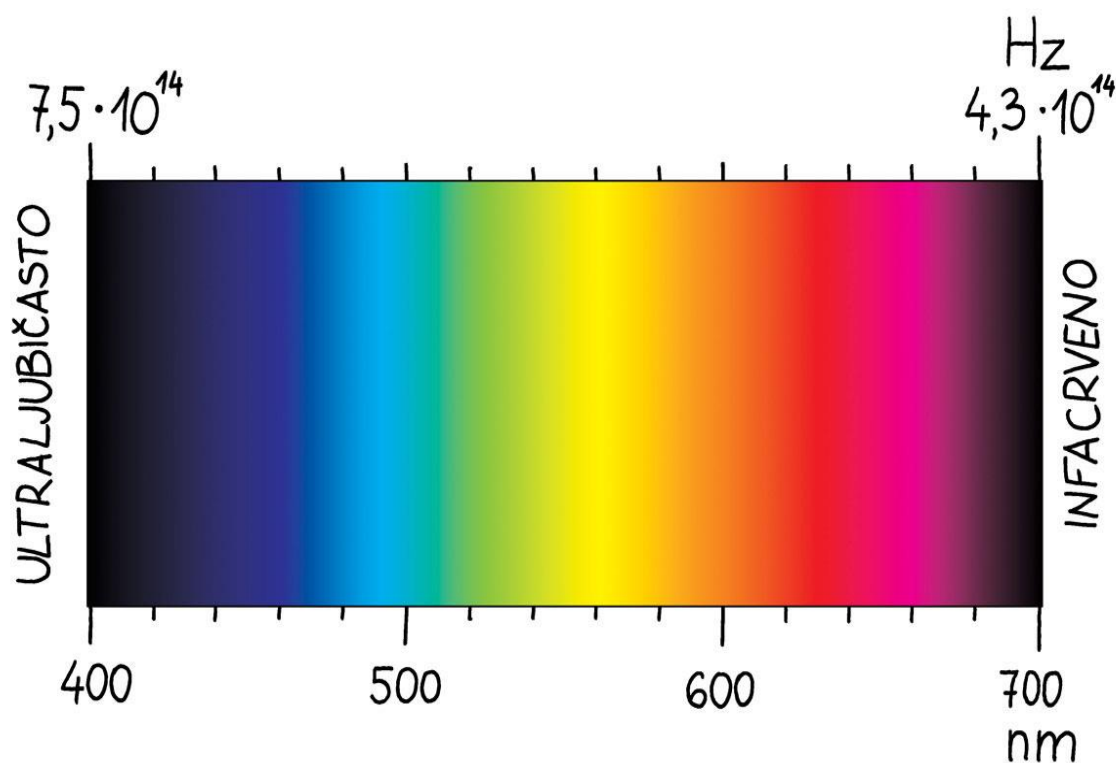
Slika 1. Isaac Newton [19]

Nakon Newtona Christian Huygens iznosi valnu teoriju. Početkom devetnaestog stoljeća otkrivene su interferencija i difrakcija svjetlosti, a otkrićem polarizacije svjetlosti otkrivena je veza između svjetlosti i elektromagnetskih pojava. 1873. James Clerk Maxwell iznosi teoriju svjetlosti i elektriciteta. Prema ovoj teoriji, svjetlost je elektromagnetski val vrlo visoke frekvencije koji vibrira okomito na smjer svog širenja. 1905. Albert Einstein svoju teoriju svjetlosti temelji na česticama. Prema Einsteinu, svjetlost je roj čestica, fotona, kod kojih je energija dana Planckovom

relacijom $E = hv$, gdje je h Planckova konstanta, a v frekvencija. Fotoni su čestice svjetlosti koji se šire brzinom svjetlosti i kada su u stanju mirovanja masa im je nula.[1]

1.1. Općenito o svjetlosti

Svjetlost je vidljivo elektromagnetsko zračenje koje se nalazi u rasponu valnih duljina od 380 do 780 nm ljudsko oko razlikuje kao boje. Najmanja valna duljina koje ljudsko oko vidi je ultraljubišasta, a najveća infracrvena (slika 2). Poput svih drugih elektromagnetskih zračenja, svjetlost putuje konačnom brzinom c , koja je 299 792 458 m/s u vakuumu. U prozirnim materijalima ta se brzina varira u omjeru $c_{mat} = c_{vak}/n$, gdje je n indeks loma određenog materijala, koji je ovisan o frekvenciji svjetlosti i uvijek je veći od jedan. Prema relativističkoj fizici, brzina svjetlosti u vakuumu je konstanta, jednaka u svim sustavima, bez obzira na njihove relativne brzine. To je ujedno i najveća moguća brzina širenja signala. Svjetlost je osjet koji nastaje stimulacijom vidnog očnog živca. Ovaj podražaj dolazi od određenih tijela oko nas, pa ih tako vidimo.[1]



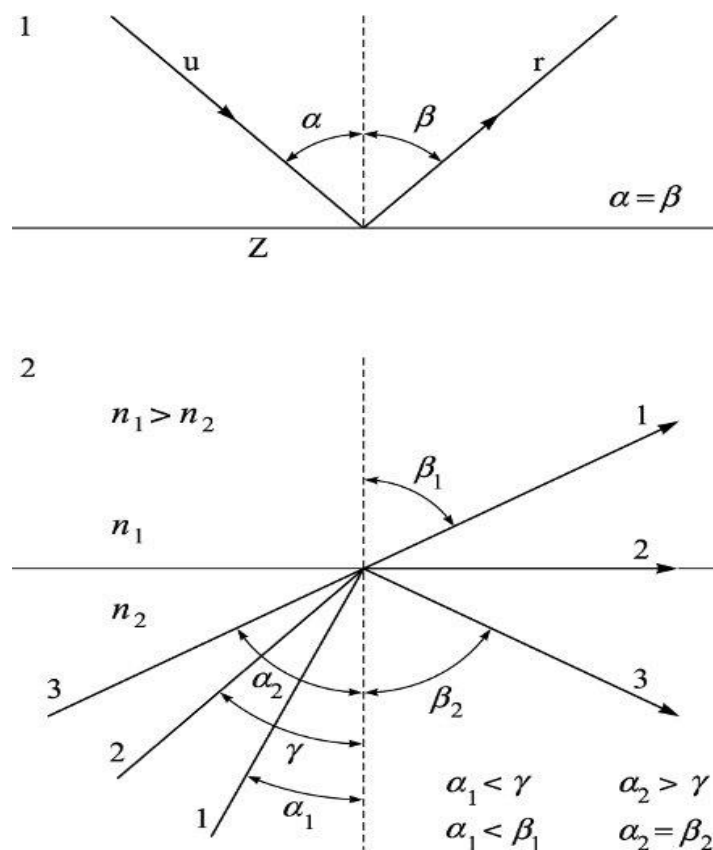
Slika 2. Razlaganje svjetlosti na boje [20]

1.2. Pojave vezane uz svjetlost

Osnovne su pojave vezano uz širenje svjetlosti: refleksija, refrakcija, ogib, interferencija i polarizacija svjetlosti.

1.2.1. Refleksija

Refleksija je odbijanje ravnih valova na graničnoj površini dvaju optičkih sredstava ili medija. Ukoliko je granična ploha glatka, pojavljuje se pravilna refleksija, a u suprotnom nastaje difuzna refleksija što znači da se valovi reflektiraju u svim smjerovima. Koeficijent refleksije je omjer reflektirane i upadne energije, odnosno omjer amplitude reflektiranog i upadnog vala. Zraka koja pada na ravninu Z odbija se tako da je upadni kut α jednak kutu refleksije β , a upadna zraka i odbijena zraka r leže u istoj ravnini N , koja je okomita na ravninu Z . Reflektirana svjetlost je uvijek manje svjetlosne jakosti nego upadna, jer dio energije se izgubi apsorpcijom pri prelasku u drugo sredstvo.[2]

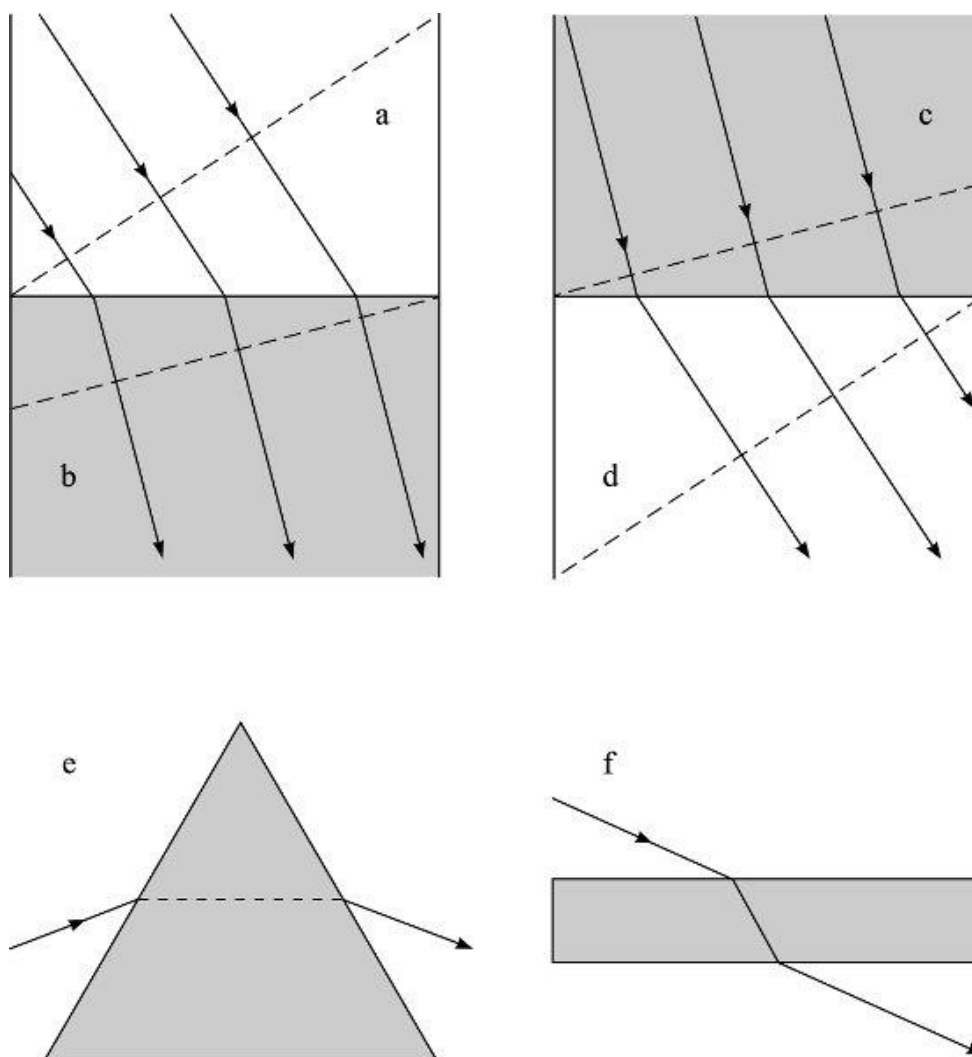


Slika 3. Refleksija svjetlosti [2]

1.2.2. Refrakcija

Refrakcija odnosno lom svjetlosti, valova, skretanje svjetlosnih zraka ili drugih valova kao što je zvuk tijekom prijelaza s jednog optičkog sredstva ili medija u drugi zbog razlike u brzini širenja valova u različitim medijima.[3] Kod refrakcije postoje dva zakona :

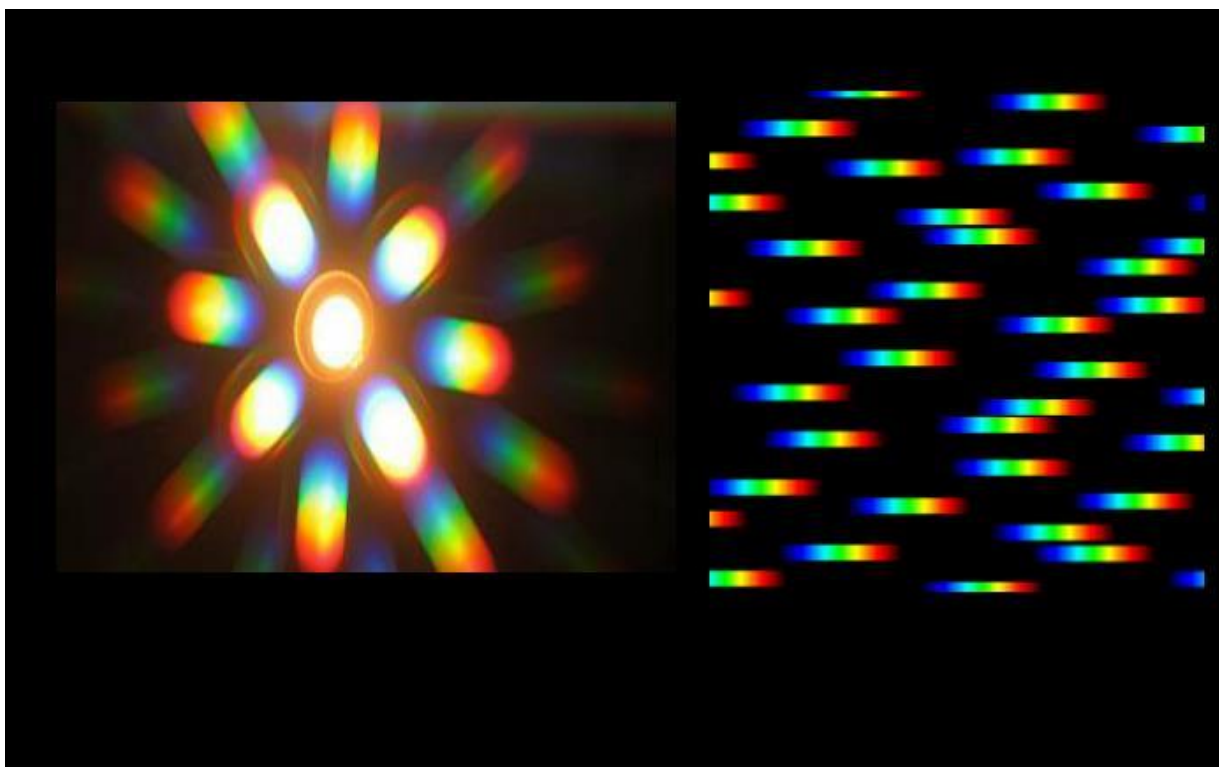
1. Upadna zraka, lomljena zraka i zraka koja je okomita na granicu medija leže u istoj ravnini.[3]
2. Snelliusov zakon - $\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1$, gdje je α kut upadne zrake, β kut loma, a n_1 i n_2 indeksi loma medija iz kojeg zrake izlaze i ulaze. Ako zrake potječu iz optički gušćeg medija, a zatim prelaze u optički rjeđi medij, javlja se granični kut koji se još uvijek pridržava Snelliusovog zakona. Pod kutovima većim od graničnog, sva svjetlost se potpuno reflektira[3]



Slika 4. Refrakcija svjetlosti [3]

1.2.3. Ogib

Ogib ili difrakcija je promjena smjera širenja vala prilikom prelaska prepreke ili prolaska kroz pukotinu zbog koje val iza prepreke ulazi u područje geometrijske sjene. Ukoliko valovi naiđu na neku prepreku približno jednaku valnoj duljini vala, zbog ogiba će, u takozvanoj sjeni koju čini prepreka, nastati interferencija valova koji dolaze s jednog i drugoga ruba prepreke. Ogib se može vidjeti u sjeni svih vrsta valova, npr. mehaničkih valova (valovi koji se nalaze na površini vode, zvučni valovi), elektromagnetskih valova itd. Uočavanje ogiba svjetlosnih valova prva je eksperimentalna potvrda valne prirode svjetlosti. Ogib je prvi primjetio talijanski astronom Francesco Maria Grimaldi. Joseph Fraunhofer prvi je propušenjem svjetlost kroz optičku rešetku omogućio dobivanje oštrije i više kontrastne interferencijske slike, a utemeljili teorije su Leonhard Euler i Augustin Fresnel.[4]



Slika 5. Primjer ogiba [21]

1.2.4. Interferencija

Interferencija valova je međudjelovanje dva ili više valova koji prolaze istim prostorom u istom trenutku. To vrijedi za sve valove (elastični, elektromagnetski, vodeni valovi), i općenito za sva

periodična gibanja. Amplituda resultantnoga vala može biti veća ili manja od amplituda pojedinih izvornih valova, što ovisi o odnosu među njihovim fazama. Na primjer, valovi iste valne duljine, amplitude i faze se povećavaju to se još naziva i konstruktivna interferencija, a ako se faza jednog pomakne za polovicu valne duljine u odnosu na drugi, njihov se učinak poništava to predstavlja destruktivnu interferenciju. Interferenciju možemo uočiti samo ako je zadovoljen uvjet koherentnosti, budući da to osigurava dosljednu prostornu distribuciju minimuma i maksimuma rezultirajućeg vala.[5]

1.2.5. Polarizacija

Polarizacija svjetlosti nastaje međudjelovanjem svjetlosti i određenih tvari tj. pojavama poput refleksije, raspršenjem itd. Kažemo da je svjetlost linearno polarizirana ako električno polje stalno titra u istoj ravnini, kružno polarizirana ako se ravnina titranja električnoga polja jednoliko vrti u bilo kojem smjeru, djelomično polarizirana ako titranje električnoga polja nije jednakih amplituda u svim ravninama te nepolarizirana ako je titranje električno polja jednako u svim ravninama koje su okomite na smjer širenja svjetlosti.[6]



Slika 6. Polarna svjetlost na nebu u Rusiji [22]

2. SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

Svjetlosno onečišćenje odnosi se na svako suvišno rasipanje umjetne svjetlosti izvan područja koje je potrebno osvijetliti, što rezultira nepotrebnom i prekomjernom rasvjetom. To se događa kada umjetna svjetlost mijenja prirodnu razinu svjetlosti tijekom noći[9]. Kao posljedice svjetlosnog onečišćenja javljaju se zdravstveni problemi, narušava se globalni ekosustava te se remete astronomska promatranja. Od 1980-tih godina počeo se razvijati pokret protiv svjetlosnog onečišćenja s ciljem njegova smanjenja. Neke države su svjesne problematike ove pojave, pa su sukladno time donjeli brojne zakone koji reguliraju odnosno smanjuju svjetlosno onečišćenje. Najveće svjetlosno onečišćenje stvaraju razvijene industrijske države.[7]

Danas je svjetlosno onečišćenje postalo globalni problem koji sa sobom ostavlja ekonomske, astronomske, sigurnosne i zdravstvene probleme. Svjetlosno onečišćenje je većem broju ljudi idalje nepoznat problem te ga ne smatraju bitnim.

Jedan od najuočljivijih posljedica svjetlosnog onečišćenja je povećana svjetlina noćnog neba, do koje dolazi zbog neadekvatno postavljene rasvjete, pretjerane upotrebe rasvjete te raspršenja vidljive i nevidljive svjetlosti (ultraljubičastog i infracrvenog svjetla) prirodnog ili umjetnog porijekla i za sobom donosi štetne posljedice na čovjeka i okoliš. Pojam „svjetlosno onečišćenje“ se izvorno odnosi na svaku nepotrebnu emisiju svjetlosti odnosno emisija u prostor izvan prostora kojeg treba osvijetliti. Prema Zakonu o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja (Narodne novine, broj 114/11)[29], svjetlosno onečišćenje definirano je kao promjena razine prirodnog osvjetljenja tijekom noćni uslijed svjetlosti proizvedene ljudskim djelovanjem. Glavni uzročnici svjetlosnog onečišćenja su nepravilno postavljena vanjska rasvjetna tijela, ona koja svojom konstrukcijom rasipaju svjetlost oko površine umjesto prema površini koju je potrebno osvijetliti, također i postavljanje neekoloških rasvjetnih tijela jedan je od glavnih uzročnika svjetlosnog onečišćenja.[8] Thomas A. Edison je 1879. godine napravio prvu električnu žarulju što je dovelo do značajnog povećanja emisije umjetnog svijetla, posebno u američkim gradovima s rastućom populacijom. Kako bi riješila problem povećanja emisije svjetlosti, koja je u početku predstavljala prijetnju astronomskim promatranjima, u Arizoni je 1957. donesen prvi zakon o noćnoj rasvjeti s ciljem poticanja smanjenja razine svjetlosnog onečišćenja.[8]



Slika 7. Primjer svjetlosnog onečišćenja [23]

2.1. Uzroci svjetlosnog onečišćenja

Svjetlosno onečišćenje nuspojava je industrijske civilizacije, neadekvatnog planiranja, nedostatka stručnosti i svijesti. Problem pretjeranog osvjetljenja je isto tako i ekonomski problem, jer je cijena koja se plaća za rasipanje energije velika. Za sigurnost putnika, umjetna noćna rasvjeta je u određenoj mjeri neophodna. Potrebe su različite, pa tako malo selo nema istu potrebu za noćnom rasvjetom kao veliki grad. Ceste s malo prometa koje koriste samo motorna vozila, ne i pješaci, potrebno je manje osvjetljenja od glavnih cesta s mnogo pješačkih prijelaza. Međutim, loša vanjska rasvjeta nije jedini razlog.[7]

Svjetlosno onečišćenje prouzrokuju i ostale pojave kao što su:

- pretjerana rasvjeta u reklamne svrhe
- nepostojanje učinkovitog rasporeda isključivanja i uključivanja rasvjete, budući da je rasvjeta u mnogim slučajevima nepotrebna za aktivnosti planirane u tom specifičnom prostoru.
- nezasijenjene svjetiljke
- neispravno ugrađene svjetiljke

Važno je uzeti u obzir da posljedice svjetlosnog onečišćenja ne pogađaju samo područja u kojima se javlja, kao što su velika naseljena središta, komercijalna područja, industrijska područja, ceste i komunikacijski pravci itd., već da se njegovi učinci prenose i kroz atmosferu kilometrima od izvora nastanka.[10]

2.2. Izvori svjetlosnog onečišćenja

Svjetlosne izvore možemo podijeliti na prirodne i umjetne izvore svjetlosti. Izvor svjetlosti smatramo fizikalno tijelo sa kojeg dolazi podražaj.[12]

Izvori svjetlosti mogu biti:

- Primarni (prirodni)
- Sekundarni

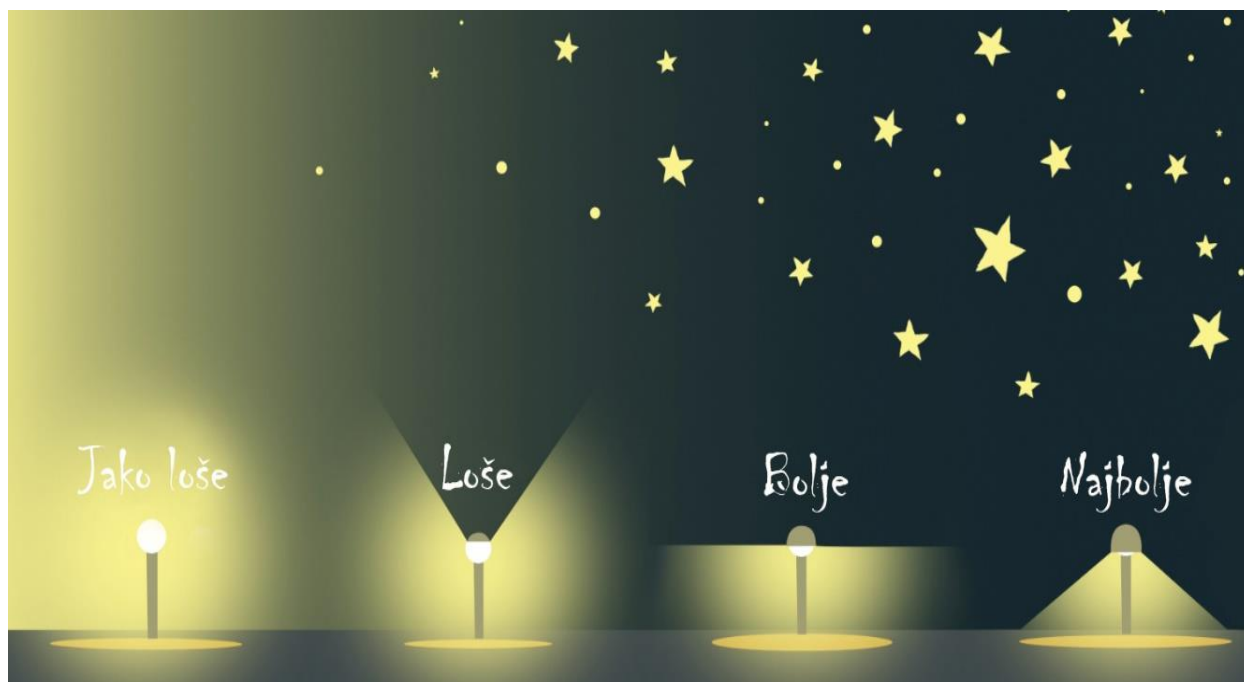
Primarni, prirodni izvori svjetlosti su oni koji sami emitiraju svjetlost. Pod njih smatramo sunce, zvijezde, užarene kovine, objekte visoke temperature i objekte koji emitiraju svjetlost na temelju kemijskih procesa koji se odvijaju u njima (svjetleći kukci, fosfor), te objekte koji emitiraju svjetlost zbog elektriciteta (razrijeđeni plin u svjetiljci). Sekundarni izvori svjetlosti su svi objekti koji reflektiraju svjetlost, tj. tamna tijela mogu djelovati kao izvori svjetlosti kada svjetlost padne na njih i reflektira se od njihovih površina. Najbolji primjer sekundarnog izvora svjetlosti je Mjesec, gdje sunčeva svjetlost pada kao na tamno tijelo i odbija se od njegove površine. Neki sekundarni izvori svjetlosti mogu biti i umjetni. Umjetni izvori svjetlosti odnose se na izvore svjetlosti koji stvaraju svjetlost izgaranjem ili zagrijavanjem električnom energijom na visokim temperaturama. Umjetni izvori svjetlosti uključuju baklje, svijeće, žarulje i električne lukove.[11]

Izvori svjetlosnog onečišćenja su:

- nezasijenjene svjetiljke
- neispravno postavljene svjetiljke
- projektori ili laserski topovi
- svjetleći reklamni panoi

Korištenjem jednosmjerne rasvjete, poput svjetala koja svijetle u nebo na isti način kao i tlo, posebno je štetno. Za smanjenje svjetlosnog onečišćenja važno je da svjetla ne svijetle vodoravno. Manja je vjerojatnost okomitog raspršivanja svjetlosti. Ovo svjetlosno zagađenje najjasnije se vidi na slici 8. kako različiti modeli javne rasvjete emitiraju svjetlost. Na primjer,

ako je javna rasvjeta okrugla i svijetli kroz cijeli svoj plašt, svjetlost će se smiriti posvuda i jako će osvijetliti noćno nebo, stvarajući svjetlosno onečišćenje. Ako javna rasvjeta ima ograničenu svjetleću površinu, koja je samo usmjerena prema tlu, te na taj način ispunjava svoju namjenu korištenja noću, noćno nebo iznad nje neće biti osvijetljeno umjetnom svjetlošću, već će ga obasjati zvijezde i neće proizvoditi svjetlosno onečišćenje[13]



Slika 8. Prikaz različitih vrsta rasvjete [24]

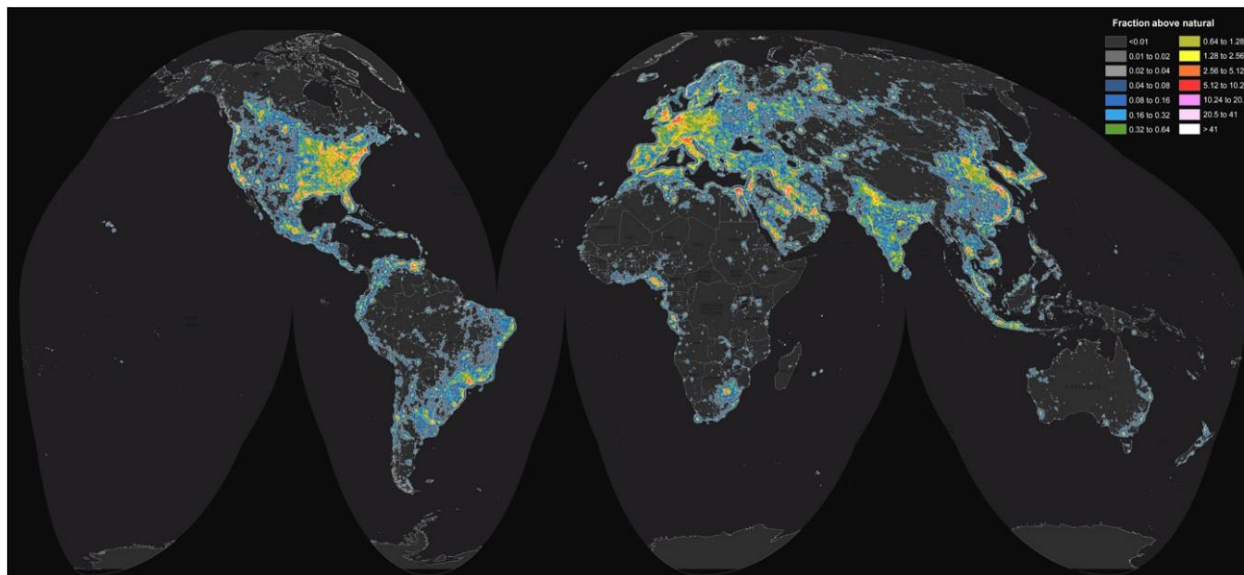
2.3. Posljedice svjetlosnog onečišćenja

Posljedice svjetlosnog onečišćenja su mnogobrojne, a neke od njih navedene su u nastavku.

2.3.1. Negativni energetske i ekonomski utrošci

Pretjerane i nepotrebne instalacije javne rasvjete, koje emitiraju previše svjetla, ne samo da uzrokuju svjetlosno onečišćenje, već uzrokuju i nepotrebnu potrošnju električne energije, koja je čak 30% do 40% veća nego kada je u potpunosti iskorištena uporabom zaštićenih rasvjetnih tijela s odgovarajućim izvorima svjetlosti koji daju istu ili bolju razinu osvijetljenja.[8] Neadekvatno osvijetljenje može rezultirati raspršivanjem svjetla i slabom osvijetljenošću ciljane površine. Naša komunalna služba pokušala je to popraviti ugradnjom dodatnih rasvjetnih tijela. Takvi postupci povećavaju potrošnju električne energije i povećavaju troškove nabave i održavanja rasvjete. Uz

neposredne ekonomske posljedice, povećano svjetlosno onečišćenje dovest će tokom godina do većih troškova za zdravstveni sustav. Isto tako će poljoprivrednici snositi dio štete zbog gubitka bioraznolikosti i klimatskih promjena. Potrebno je imati svijest o tome kako svaku novu nekvalitetnu uličnu rasvjetu plaćamo mi novcem i zdravljem. Stoga se smatra da cestovna rasvjeta nije u potpunosti potrebna. Ceste s malom količinom prometa kao i one koje se nalaze izvan



Slika 9. Prikaz svjetlosnog onečišćenja u svijetu ovisno o stupnju razvijenosti [25]

naseljenih mjesta i autocesta ne bi trebale biti osvijetljene. Osim toga, bilo bi korisno uspostaviti ograničenje za maksimalne razine svjetlosnog zračenja i osigurati odgovarajuću udaljenost između rasvjetnih stupova. Trenutačno većina postavljene rasvjete je na premaloj udaljenosti jedna od druge, što ne predstavlja nikakvu korist za sigurnost ljudi i prometa, već naprotiv čine troškove i stvaraju svjetlosno onečišćenje.

2.3.2. Posljedice u prometu

Neadekvatna rasvjeta ometa sudionike u prometu (slika 10). Rasvjeta uz prometnice direktno zasjepljuje vozače ako nije zasjenjena, dok ih indirektno zasjepljuje svjetlost koja se odbija sa mokre ceste. Također naglim prijelazom iz osvijetljenog u neosvijetljeno područje i obratno zbog velikog kontrasta rezultiraju privremeno oslabljenim vidom. Blještavilo izaziva umor i manjak pažnje kod vozača ali i nepravilno postavljena i loše usmjerena rasvjeta može biti loša za vozače. Blještavilo smanjuje osjetljivost na kontrast kao i oštrinu i brzinu zapažanja, što su bitni čimbenici sigurnosti prometa. O zasjepljivanju umjetnom rasvjetom govori se u zakonu o sigurnosti prometa na cestama (Zakon, NN 108/2017-2491)[28] koji nalaže pravilno postavljanje predmeta

koji zaslijepljuju ili ometaju sudionike u prometu i time ugrožavaju sigurnost prometa. Drugi problem koji se javlja je boja spektra koju emitira umjetni izvor svjetlosti, točnije plavi spektar. Plavi spektar nastoji se više raspršiti u atmosferu, što dovodi do stvaranja efekta "plavog zida" u uvjetima slabe vidljivosti na cestama, poput magle ili kiše. Ovaj efekt značajno smanjuje vidljivost za 40 m u usporedbi s vidljivošću koju pruža klasična natrijeva rasvjeta.[16]

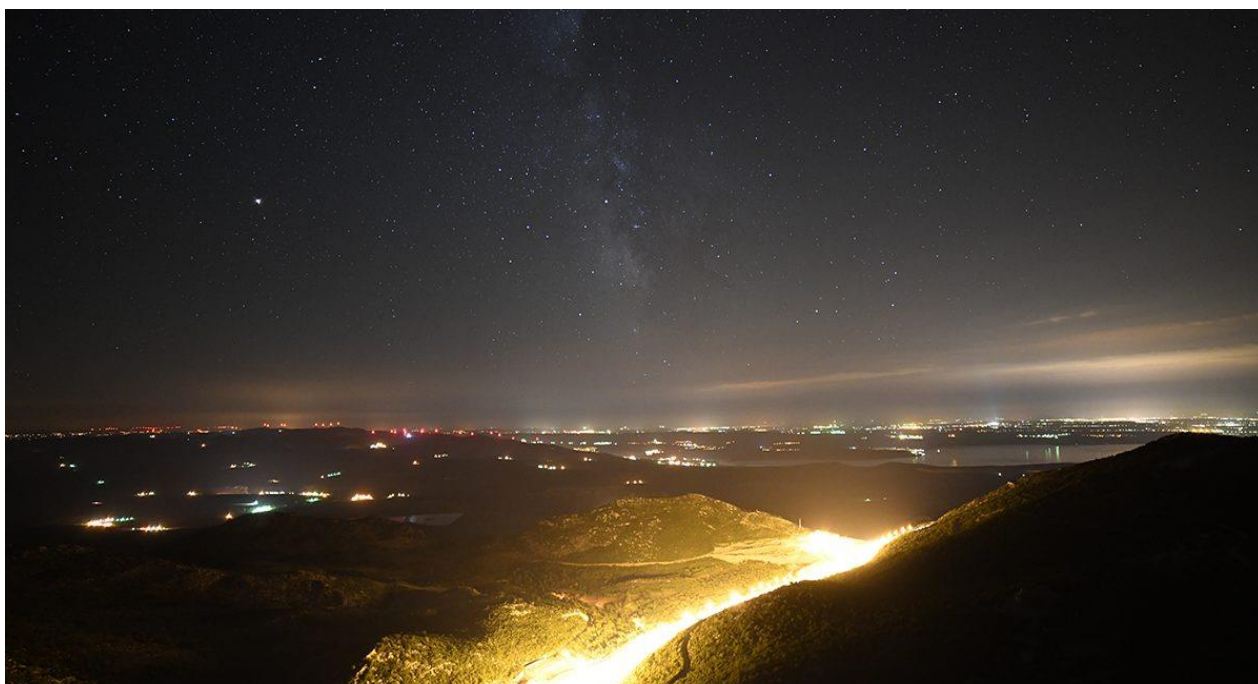


Slika 10. Neadekvatna rasvjeta na autocesti [26]

2.3.3. Prometnice hrvatske u usporedbi sa razvijenim zemljama EU

Njemačka na svojih 14.000 kilometara autoceste nema rasvjetu. Za Njemačkom se počela povoditi i Belgija. Prema statistici, vidljivo je da je Hrvatska među zemljama s relativno većim brojem smrtno stradalih po broju stanovnika u prometnim nesrećama (77 na milijun stanovnika), dok se Njemačka smatra jednom od najsigurnijih zemalja (39). U Europi Hrvatska je jedna od država s najvećim rastom svjetlosnog onečišćenja[17]. Rasvjeta na autocesti, kao što je prije spomenuto, nije samo sigurnosni problem, već ima i druge implikacije. U Hrvatskoj je rasvjeta na autocestama pretjerano jaka i često se koriste neekološke svjetiljke, što rezultira godišnjom potrošnjom od 40 do 80 milijuna kuna. Važno je uzeti u obzir da Hrvatska ima 1400 km autocesta u odnosu na Njemačku koja ima 14 000 km. Nadalje, položaj odmarališta i čvorišta u prirodnim područjima dovodi do značajne štete ekosustavu. Primjerice, rasvjeta je negativno utjecala na tunel Sveti Rok - Park prirode Velebit (slika11), uzrokujući potpuno uništenje njegovog ekosustava. Vrijedi

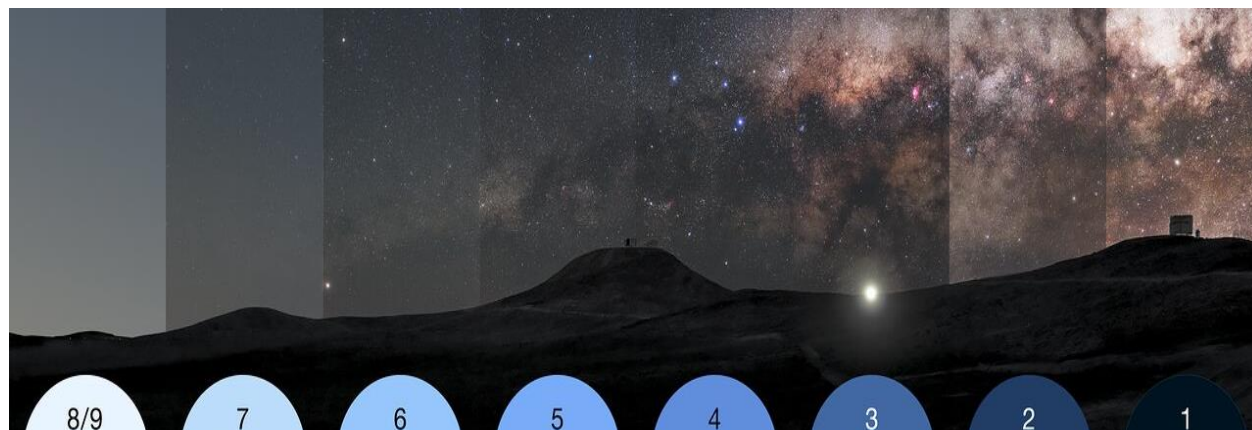
napomenuti da postoji samo jedno raskrižje na autocesti u Hrvatskoj koje nije osvijetljeno i to je ono za Jastrebarsko.[17]



Slika 11. Izlaz iz tunela Sveti Rok [17]

2.3.4. Posljedice za astronomska promatranja

Trenutno je prilično neuobičajeno svjedočiti mnoštvu nebeskih tijela na jednom mjestu, prvenstveno zbog prisutnosti svjetlosnog onečišćenja. Ova pojava rezultira stvaranjem crvenkaste ili žućkaste izmaglice poznate kao „skyglow“, koja nalikuje gustom oblaku dima i značajno otežava vidljivost. Posljedično, astronomi su prisiljeni provoditi svoja promatranja nebeskih tijela u udaljenim regijama, udaljenim od naseljenih područja.



Slika 12. Prikaz različitih stupnjeva svjetlosnog onečišćenja [27]

2.4. Utjecaj na živa bića

Osim negativnih energetske, ekološke, prometne i astronomske posljedice važno je naglasiti kako svjetlosno onečišćenje negativno utječe i na ljudsko zdravlje, životinjski i biljni svijet.

2.4.1. Utjecaj na biljni i životinjski svijet

Biljke su jedina živa bića koja koriste sunčevu svjetlost za energiju putem fotosinteze. No, prisutnost umjetnog svjetla značajno remeti prirodni ritam biljaka. Ovaj poremećaj je posebno vidljiv u urbanim sredinama, gdje biljke izložene javnoj rasvjeti nastoje zadržati lišće na osvijetljenim dijelovima. Takvi poremećaji negativno utječu na procese cvjetanja, rasta i mirovanja biljaka. Pretjerano noćno osvijetljenje ometa percepciju noćnih životinja, što dovodi do sudara u razne objekte. Hrvatski astronom Korado Korlević je rekao kako korijen problema leži u poremećaju ciklusa noć-dan, što uvelike utječe na živote ovih životinja. Insekti su također pogođeni, jer se okupljaju oko uličnih svjetiljki (slika 13) i postaju dezorijentirani, što dovodi do povećanog broja crnih udovica koje ih love. Istraživanje provedeno u Istri otkrilo je preko tri tisuće crnih udovica na jednom raskrižju. Osim toga, promjene u dnevno-noćnom ciklusu uzrokuju da mravi rade u neuobičajeno vrijeme, ptice se ranije gnijezde, a kornjače skreću s puta prema izvorima gradske svjetlosti umjesto prema moru. Iako noćna rasvjeta negativno utječe na šišmiše, noćne kukce i većinu ptica, galebovi i gavrani postaju agresivniji, rastu brže i ostaju budni cijelu noć u potrazi za hranom. Umjetna svjetlost utječe i na životinje koje žive pod morem. Jedna studija je proučavala kako su morske životinje reagirale na jarko osvijetljene ploče uronjene pod vodu u blizini obale Walesa. Manji broj životinja, poput dagnji i kamenica počele su se nastanjivati u blizini osvijetljenih ploča. Tako su došli do zaključka da svjetlost s naftnih platformi, brodova u prolazu i luka mijenja morske ekosustave.[30] Umjetna svjetlost osim što negativno djeluje na biljke i životinje pomaže ribarima u lovu, tako što postave svjetliljku odnosno izvor umjetne svjetlosti prema površini mora koji privlači ribe.



Slika 13. Prekomjerno okupljanje kukaca oko ulične rasvjete [13]

2.4.2. Utjecaj na ljudsko zdravlje

U suvremenom društvu značajan broj pojedinaca noću je izložen umjetnim izvorima svjetlosti, a noćne aktivnosti i rad u noćnim smjenama postali su svakodnevnica. Biološki ritmovi su vremenski ciklusi u kojima se odvijaju mnoge normalne funkcije ljudskog tijela, uključujući obrasce spavanja, ponašanje te razne fiziološke i endokrine procese. Nedavna istraživanja pokazuju da izlaganje svjetlu tijekom noći može poremetiti cirkadijalni ritam spriječavanjem proizvodnje melatonina. Budući da se smanjenje razine melatonina povezuje s određenim vrstama raka, vrsta, intenzitet i boja unutarnje i vanjske rasvjete sada se sve više prepoznaju kao važni zdravstveni problemi. Ljudsko tijelo radi prema strogom cirkadijalnom ciklusu od 24 sata koji upravlja biokemijskim, fiziološkim i bihevioralnim procesima. Dnevni ritmovi unutar tijela sinkronizirani su iznutra i s vanjskim okolišem kroz "biološki sat" koji se sastoji od skupine neurona u suprahijazmatičnoj jezgri hipotalamusa. Ovaj sat odgovara prirodnoj izmjeni dana i noći, odnosno svjetla i tame. Biološki sat regulira tjelesnu temperatura, krvni tlak, varijabilnost otkucaja srca, lučenje hormona, ciklus spavanja i budnosti. Međudjelovanje svjetlosti i ljudskog tijela odvija se preko očiju i kože, a izmjena svjetlosne energije ovisi o valnoj duljini emitirane ili apsorbirane svjetlosti. Intenzitet, trajanje i spektar svjetlosti karakteristike su koje posebno utječu na ljudsko zdravlje. Pod određenim uvjetima i trajanjem izloženosti, svaka valna duljina svjetlosti može

potencijalno imati štetne učinke na zdravlje. Brojna istraživanja potvrdila su da umjetni izvori svjetlosti sadrže određene valne komponente koje predstavljaju rizike za oči i kožu te mogu pridonijeti raznim zdravstvenim problemima.[8] Tako plavo svjetlo koje se nalazi u mobitelima i drugim računalima, kao i diodama koje emitiraju LED svjetlost, vrstama žarulja koje su postale popularne u kućnoj, industrijskoj i gradskoj rasvjeti zbog niske cijene i energetske učinkovitosti nemaju pozitivan utjecaj na zdravlje ljudi.[30] Sunčev ciklus dan/noć ima snažan utjecaj na cirkadijalni sat, san i budnost. Cirkadijalni sat reagira na svjetlo te šalje signal da smo budni, i mrak, kao signal da zaspimo.[39] Područje mozga koje se naziva hipotalamus kontrolira cirkadijalni ritam primajući signale iz očiju koji izvještavaju kada je dan, a kada noć, isto tako kontrolira količinu melatonina koji se oslobađa ovisno o stanju okoline (dan/noć). [40] Melatonin je ključni hormon u cirkadijalnoj regulaciji. Osim hipotalamusa važne su i fotosjetljive retinalne ganglijske stanice ili ipRGC koje su odgovorne za percepciju svjetla čak i kod slijepih osoba. Ove stanice sadrže specijalizirani fotopigment, za koji se uglavnom misli da je melanopsin. 40 posto živčanih putova za koje se zna da potječu iz ipRGC-a projiciraju se u jezgru koja je mali dio mozga u hipotalamusu (SCN) koja kontrolira biološki sat. SCN luči melatonin prema specifičnom obrascu kao odgovor na svjetlo iz okoline. Tako biološka noć uzrokuje povećanje proizvodnje melatonina, što izaziva pojavu pospanosti. Ostali ipRGC živčana vlakna projiciraju se u područja mozga koja kontroliraju učinak svjetla na tjelesnu aktivnost, trajanje spavanja i ritam lučenja nekoliko hormona. Ove regije mozga uključuju limbički sustav, moždano deblo i korteks. Da budemo precizniji, svjetlosne informacije iz okoline koje se prenose od oka do SCN-a putem izravne neuronske veze utječu na cirkadijalni sat. Svjetlost je najsnažniji sinkronizator ljudskog cirkadijalnog sata, a vrijeme izlaganja svjetlosti tijekom dana odgovorno je za to kako je cirkadijalni sat sinkroniziran s okolinom. Poremećaj cirkadijalnog ritma velikim izlaganjem svjetlosti stoga može uzrokovati nastanak raznih metaboličkih i kroničnih stanja, uključujući tumore, dijabetes, depresiju i pretilost. Radnici u smjenama model su za ovu vrstu poremećaja, jer je njihovo 'neprirodno' radno vrijeme povezano s različitim vrstama morbiditeta i smrtnosti od raka i kardiovaskularnih bolesti, uključujući bolesti srca i moždani udar. Proglašeno je da je rak dojke djelomično uzrokovan smjenskim radom.[41] Smatra se da su SCN stanice posebno osjetljive na svjetlost u rasponu od 450-470 nm spektra vidljive svjetlosti. To znači da je (bez obzira na to možemo li vidjeti svjetlost ili ne) cirkadijalni sat posebno osjetljiv na plavu svjetlost. Drugim riječima, iste promjene u cirkadijalnom satu koje proizvodi bijelo svjetlo može proizvesti plavo svjetlo manjeg intenziteta.[42] Plavo svjetlo se koristi za liječenje mnogih poremećaja, uključujući poremećaje spavanja i cirkadijalne aritmije, jer utječe na mnoge funkcije tijela. Izlaganje plavom svjetlu također je odgovorno za povećanu budnost i kognitivnu funkciju. U prilog tome, mnoga su

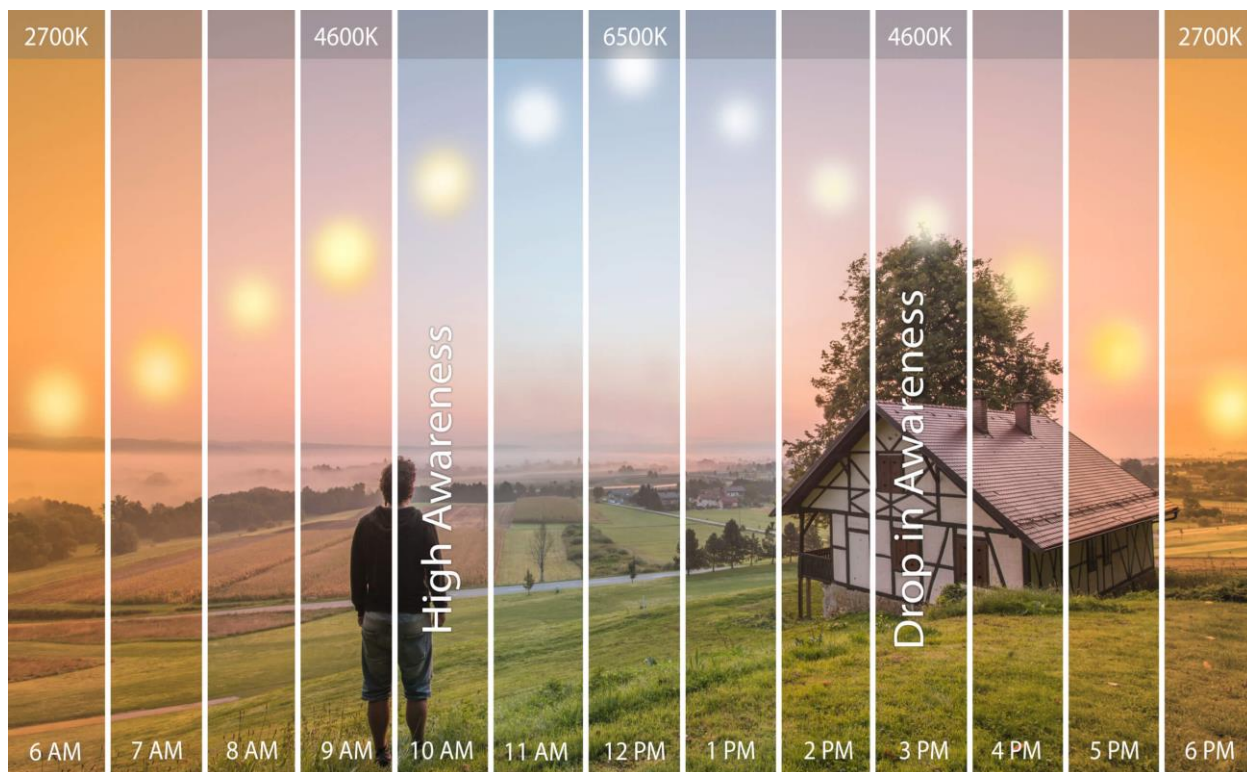
istraživanja istaknula da korištenje e-čitača s pozadinskim osvjetljenjem u vrijeme predviđeno za spavanje ima negativan učinak na san. Međutim plavo svjetlo je korisno za poboljšanje budnosti kod radnika u smjenama. Također pomaže u liječenju sezonskih poremećaja kao što je sezonska afektivna depresija, a nedavno je zanimljivo otkriće da mutacije gena za melanopsin mogu povećati rizik od ovih poremećaja.

2.4.3. Cirkadijalna rasvjeta

U borbi protiv štetnih posljedica na ljudsko zdravlje pojavio se relativno novi koncept korištenja svjetla za utjecaj na ljudski cirkadijalni ritam a to je cirkadijalna rasvjeta, koja predstavlja koncept koji koristiti električna svjetla za podršku ljudskom zdravlju tako što smanjuje učinak električne svjetlosti na ljudski cirkadijalni ritam. Svi aspekti ove teme još se proučavaju.

Postoje tri pristupa električnom svjetlu za implementaciju cirkadijanskog sustava rasvjete: podešavanje intenziteta, podešavanje boje i podešavanje podražaja.

1. Podešavanje intenziteta je najpoznatije i najisplativije rješenje za cirkadijalno osvjetljenje. Rasvjetna tijela održavaju temperaturu boje (CCT) dok se intenzitet (svjetlina) rasvjetnog tijela podešava, putem kontroliranog sustava zatamnivanja, kako bi bio u korelaciji s vremenom tijekom dana. Rasvjetna tijela se postavljaju na niži intenzitet u ranim jutarnjim satima te prelaze na veći intenzitet kako dan odmiče, a ponovno se smanjuju na niži intenzitet navečer.
2. Podešavanje boja uključuje promjenu intenziteta svjetla i CCT-a kako bi se oponašao ciklus dan/noć. Doživljavamo hladnije boje (u rasponu od 4000 K do oko 10 000 K) kada je sunce najviše na nebu i ljudi su obično najbudniji tijekom dana. Stoga se hladniji CCT-ovi koriste u prostorima i u vrijeme kada je izražena potreba za budnosti i pažnjom. Toplije boje (u rasponu od < 2700K do 3500K) predstavljaju dnevne sate kada sunce izlazi i zalazi, odnosno kada bi ljudi trebali tonuti u san ili se buditi kao što se može vidjeti na slici broj 14.
3. Ugađanje podražaja je tehnologija koja zamjenjuje "lošu plavu" svjetlost s "dobrom plavom" svjetlosti. Svjetlosna tijela mogu se programirati za smanjenje valnih duljina plave svjetlosti tijekom večernjih/noćnih sati kako bi se ograničila supresija melatonina bez promjene CCT-a. Slično podešavanju boja, ovaj pristup osvjetljenju je najučinkovitiji kada je u kombinaciji s podešavanjem intenziteta.[40]



Slika 14. Prikaz promjene intenziteta boja tijekom dana [40]

2.5. Pravilno postavljanje ulične rasvjete

Koliko god ulična rasvjeta bila štetna, vrlo je važna, no noćna rasvjeta mora biti planirana, ekološki prihvatljiva, svrsishodna i ne smije uzrokovati svjetlosno onečišćenje. Stoga se ekološka rasvjeta smatra osnovnim sredstvom za smanjenje svjetlosnog onečišćenja uzrokovanog javnom rasvjetom.

Ekološka rasvjeta mora biti:

1. Energetski učinkovita – kao primjer možemo navesti svjetiljku koja troši malo električne energije, međutim ako je ta svjetiljka nepravilno postavljena ona će stvarati svjetlosno onečišćenje i imati negativne posljedice na zdravlje i ekosustav. Kako bi svjetiljka bila energetski učinkovita ona mora biti pravilno postavljena i trošiti što je manje moguće električne energije
2. Zasjenjena i usmjerena – ekološka rasvjeta mora biti zasjenjena odnosno da ne raspršuje svjetlost u nebo i usmjerena prema tlu
3. Odgovarajuće boje svjetlosti –na svjetlosno onečišćenje utječe i obojenost svjetla. Zemljina atmosfera u većoj mjeri raspršuje plavu svjetlost za razliku od crvene, zato je

nebo preko dana plave boje. Sukladno toj činjenici plava svjetlost u noćnim satima uzrokuje onečišćenje. Iz tog razloga moderna LED rasvjeta je energetski daleko učinkovitija od žučkaste natrijeve rasvjete, no isto tako LED svjetiljke emitiraju popriličan udio plave komponente koja je štetna za ljudsko zdravlje kao što je i prije navedeno u poglavlju 2.3.5.

4. Umjerenog intenziteta - intenzitet svjetlosti svjetiljke treba biti umjeren i biti prilagođen području na kojem se nalazi. Jačina svjetlosti koja je čovjeku potrebna za čitanje je 10 luxa , a rasvjeta na parking mjestima , odmaralištima i noćna rasvjeta ima jačinu do 100 luxa, što je potpuno nepotrebno i uzrokuje ne samo financijske odnosno ekomoske posljedice već i posljedice za ljudsko zdravlje. Kada bi rasvjeta imala umjereni intezitet znatno bi se smanjili troškovi rasvjete.
5. Opravdana – osvjetljenje površine mora biti svrhovito i opravdano. Postavljanje rasvjete na ulice i ceste koje se noću ne koriste nije mudra investicija. Štoviše, ova praksa dovodi do problema s blještavilom koji predstavlja rizik za sigurnost na cesti.[14]



Slika 15. Prikaz neadekvatne rasvjete na Petrovoj gori [14]

3. METROPOLE U BORBI PROTIV SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA

Zemlje sa najviše svjetlosnog onečišćenja su zemlje kod kojih se desio porast industrijalizacije, komercijalizacije, broja stanovnika i modernizacije. Neke od svjetlosno najzagađenijih zemalja u svijetu su Singapur, Kuvajt i Katar.[30]

3.1. Singapur

Singapur je mali grad - država koji se uvelike oslanja na sektor turizma koji pridaje veliku važnost privlačenju turista. Za stvaranje zadivljujućih prizora i spektakla, Singapur koristi značajnu količinu umjetnog svjetla. Međutim, studija iz 2016. koju je proveo Institut za znanost i tehnologiju svjetlosnog onečišćenja otkriva da je Singapur rangiran kao nacija sa najvećim svjetlosnim onečišćenjem u svijetu.[35] Mjesta povezana sa turizmom, poput zračne luke Changi prikazane na slici 16 i financijske četvrti Marina Bay, značajno doprinose svjetlosnom onečišćenju. Nedavno obavljena istraživanja od strane Science Advances ističu kako je razina svjetlosnog onečišćenja doseže do 100 posto. Studija pod nazivom „The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness“ naglašava kako Singapur premašuje dopuštene razine svjetlosnog onečišćenja po glavi stanovnika.[36]



Slika 16. Marina Bay [37]

3.2. Hong Kong

Hong Kong je jedan od gradova koji je pogođen svjetlosnim onečišćenjem, no unatoč tome postoji nedostatak studija koje bi mogle dati kvantitativnu procjenu problema svjetlosnog onečišćenja u ovom gradu. Hong Kong je počeo istraživati ovu problematiku te je istraživanjem koje je za cilj imalo kvantitativno procjeniti svjetlosno onečišćenje pomoću mjerenja i numeričkog modeliranja. Mjerenja su provedena u jednoj od najproblematičnijih područja, ulici Sai Yeung Choi u četvrti Mong Kok prikazano na slici 17. Istraživanje je pokazalo da je prosječna razina okomitog osvjetljenja 250 luxa, što je 3 do 4 puta više od preporučene svjetline za normalnu aktivnost.[31] U travnju 2016. vlada je slijedila prijedlog „Radne skupine za vanjsku rasvjetu“ da uvede samo dobrovoljnu "Povelju o vanjskoj rasvjeti" prema kojoj bi poduzeća mogla pristati isključiti vanjsku rasvjetu između 23:00 i 6:00 ujutro. Ova tema privukla je pažnju odjela za fiziku na Sveučilištu u Hong Kongu koji je izvršio mjerenja na raznim lokacijama u Hong Kongu i poredao ih u odnosu na „normalno tamno nebo“, rezultati su pokazali da je najveća razina onečišćenja bila Hong Kong Tsim Sha Tsui u prosjeku 100 puta svjetlije od referentne vrijednosti. Istraživanje su obavili i četvero studenata s Worcester Polytechnic Institute u Massachusettsu. Istraživanjem su otkrili da je svjetlo neonskih reklama sa zgrada u Causeway Bayu bilo 176 luxa, a Mong Kok oko 150 do 500 luxa, što je daleko više nego što je preporučeno. Čak je i u Wetland Parku u Tin Shui Waiju svjetlina bila 130 puta veća od standarda Međunarodne astronomske unije. Ukratko, problem svjetlosnog



Slika 17. Ulica Sai Yeung Choi u četvrti Mong Kok [38]

onečišćenja nije se pojavio samo u komercijalnim područjima poput Mong Koka i Causeway Baya, već i u stambenim područjima izvan urbanog središta.[32]

3.3. 10 najsvjetlijih metropola u usporedbi sa globalnim urbanim prosjekom

Najsvjetliji gradovi imaju veliku populaciju, ali u mnogim područjima na rasvjetu također utječu geografski ili kulturološki čimbenici. Na primjer, gradovi na sjevernim geografskim širinama, gdje sunce slabije sja, ili u sušnim zemljama, gdje vruće dnevno sunce potiče više večernjih aktivnosti, često su jarko osvijetljeni. 10 najsvjetlijih metropola u usporedbi sa globalnim urbanim prosjekom navedeno je u nastavku[44]:

1. Moskva, Russia, 8.1 puta svjetliji
2. Riyadh, Saudi Arabia, 6.7 puta svjetliji
3. Montréal, Canada, 4.8 puta svjetliji
4. Chicago, USA, 4.5 puta svjetliji
5. Toronto, Canada, 3.6 puta svjetliji
6. Buenos Aires, Argentina, 3.5 puta svjetliji
7. Detroit, USA, 2.9 puta svjetliji
8. Mexico City, Mexico, 2.8 puta svjetliji
9. Denver-Aurora, USA, 2.7 puta svjetliji
10. Miami, USA, 2.6 puta svjetliji

U nastavku su prikazane slike gradova danas i u 20. stoljeću za usporedbu svjetlosnog onečišćenja.



Slika 18. Toronto danas [45]



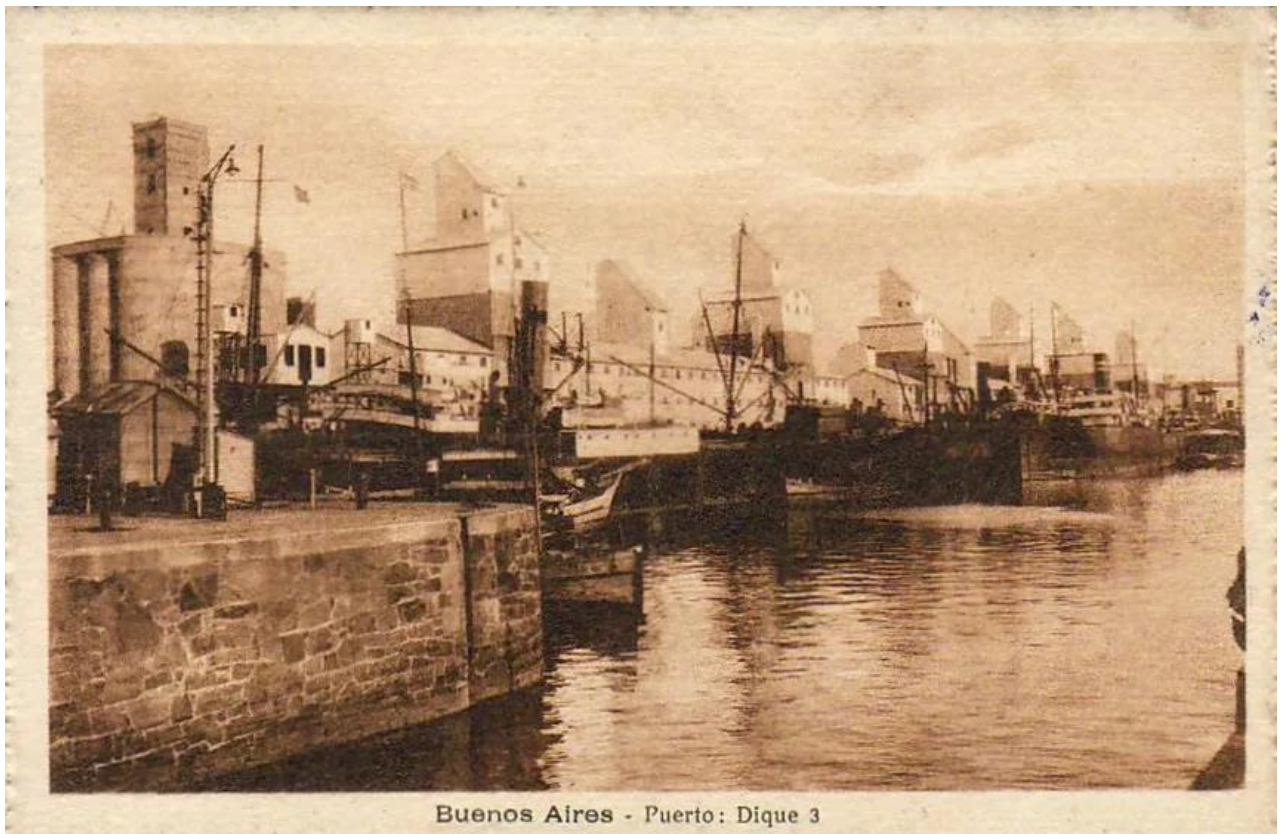
Toronto from air 1918

#920

Slika 19. Toronto 1918. [46]



Slika 20. Buenos Aires danas [47]



Buenos Aires - Puerto: Dique 3

Slika 21. Buenos Aires 1910 [48]



Slika 22. Detroit danas [49]



Slika 23. Detroit 1929. [50]



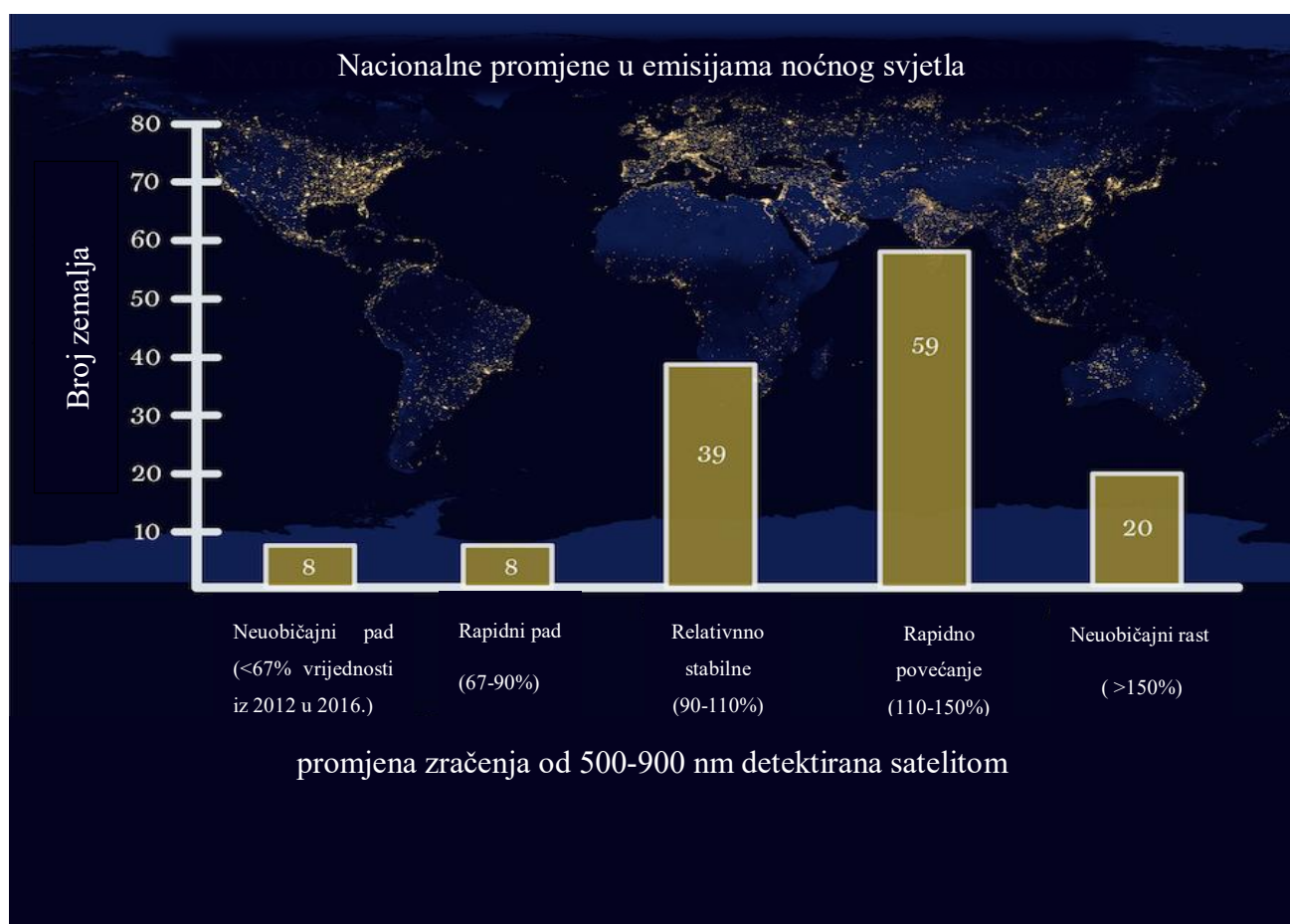
Slika 24. Moskva danas [51]



Slika 25. Moskva nekada [52]

3.4. Statistika svjetlosnog onečišćenja u svijetu

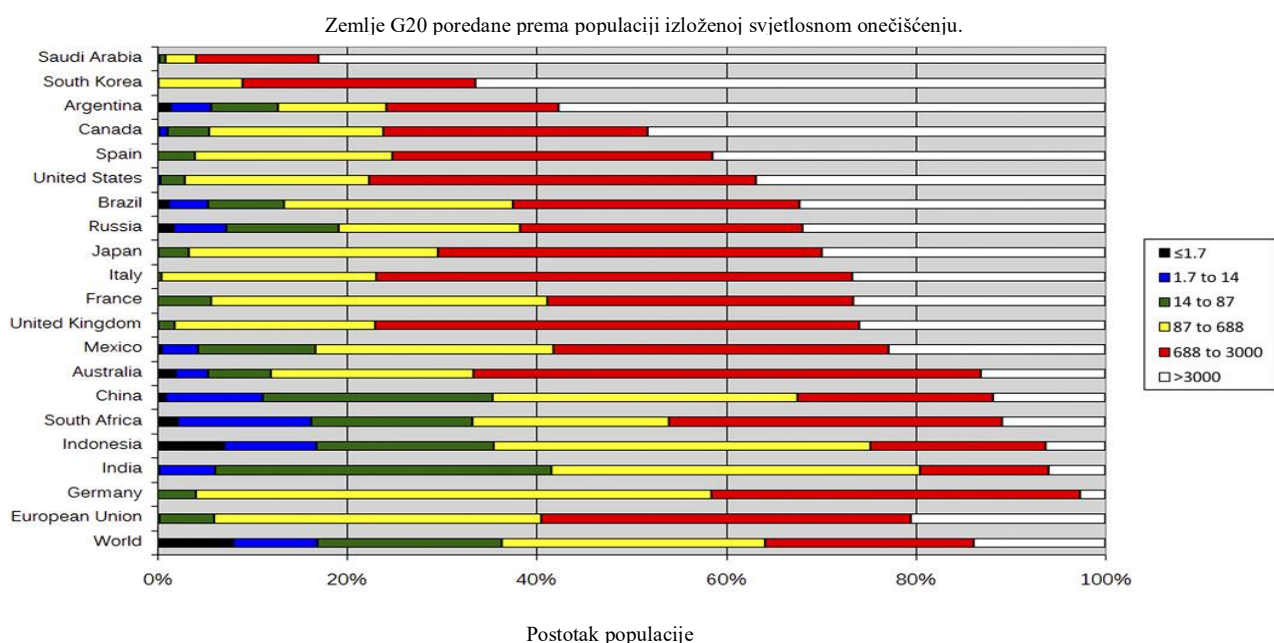
Na slici 26. prikazana je statistika koja prikazuje broj zemalja koje su doživjele različite stope promjene noćnih svjetala tijekom 2012.-2016. Pa je tako 8 zemalja doživjelo neobičajni pad svjetlosnog onečišćenja, rapidni pad doživjelo je 8 zemalja, 39 zemalja ostalo je relativno stabilno (bez značajnih promjena), 59 zemalja rapidno povećanje i 20 njih neobičajno povećanje svjetlosnog onečišćenja. Sa ljudske perspektive onečišćenje se događa još brže jer sateliti ne mogu detektirati plavu svjetlost.



Slika 26. Broja zemalja koje su doživjele različite stope promjene noćnih svjetala od 2012. do 2016. godine [43]

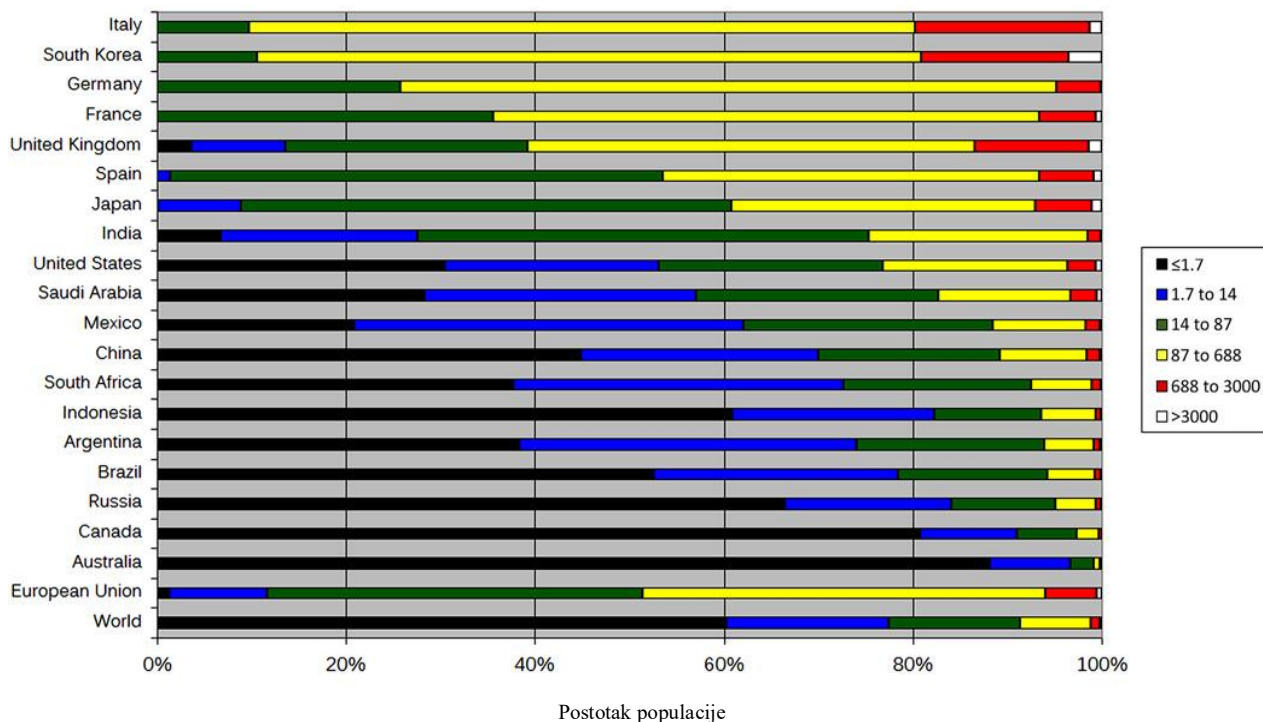
Otkriveno je da oko 83% svjetske populacije i više od 99% populacije SAD-a i Europe živi pod svjetlosno zagađenim nebom. Zbog svjetlosnog onečišćenja, Mliječni put nije vidljiv za više od jedne trećine čovječanstva, uključujući 60% Europljana i gotovo 80% Sjevernoamerikanaca. Štoviše, 23% svjetskih kopnenih površina između 75°N i 60°S, 88% Europe i gotovo polovica Sjedinjenih Država doživljava noći zagađene svjetlom. Zemlje čije je stanovništvo najmanje pogođeno svjetlosnim onečišćenjem su Čad, Srednjoafrička Republika i Madagaskar, gdje više od

tri četvrtine stanovnika tih zemalja žive bez svjetlosnog onečišćenja. Zemlje i teritoriji s najvećim nezagađenim područjima su Grenland (samo 0,12% njegove površine je svjetlosno zagađeno), Srednjoafrička Republika (0,29%), Niue (0,45%), Somalija (1,2%) i Mauritanija (1,4%) . S druge strane, svjetlom najzagađenija zemlja je Singapur kao što je ranije navedeno u poglavlju 3, gdje cjelokupno stanovništvo živi pod toliko svijetlim nebom da se oko ne može u potpunosti prilagoditi tami na noćno gledanje. Druge populacije koje se suočavaju s ovom razinom svjetlosnog onečišćenja su Kuvajt (98%), Katar (97%), Ujedinjeni Arapski Emirati (93%), Saudijska Arabija (83%), Južna Koreja (66%), Izrael (61%), Argentina (58%), Libija (53%) i Trinidad i Tobago (50%). Sve te zemlje imaju više od polovice stanovnika koji žive pod izrazito svijetlim nebom. Mogućnost da vide Mliječnu stazu od kuće isključena je za sve stanovnike Singapura, San Marina, Kuvajta, Katara i Malte, te za 99%, 98% i 97% stanovništva Ujedinjenih Arapskih Emirata, Izraela i Egipat. Zemlje s najvećim dijelom teritorija u kojima Mliječni put nije vidljiv zbog svjetlosnog onečišćenjem su Singapur i San Marino (100%), Malta (89%), Zapadna obala (61%), Katar (55%), Belgija i Kuvajt (51%), Trinidad i Tobago i Nizozemska (43%), te Izrael (42%). Među zemljama G20, Saudijska Arabija i Južna Koreja imaju najveći postotak stanovništva izloženog izrazito svijetlom nebu, dok je Njemačka najmanje zagađena korištenjem istog mjerenja. Područja Italije i Južne Koreje su najzagađenija među zemljama G20, dok je Australija najmanje zagađena. Na slikama 27,28,29,30 prikazani rezultati izračunati su za promatranja u jedan sat ujutro kako bi odgovarali satelitskim kretanjima, što implicira da je situacija u ranim večernjim satima još gora.[53]



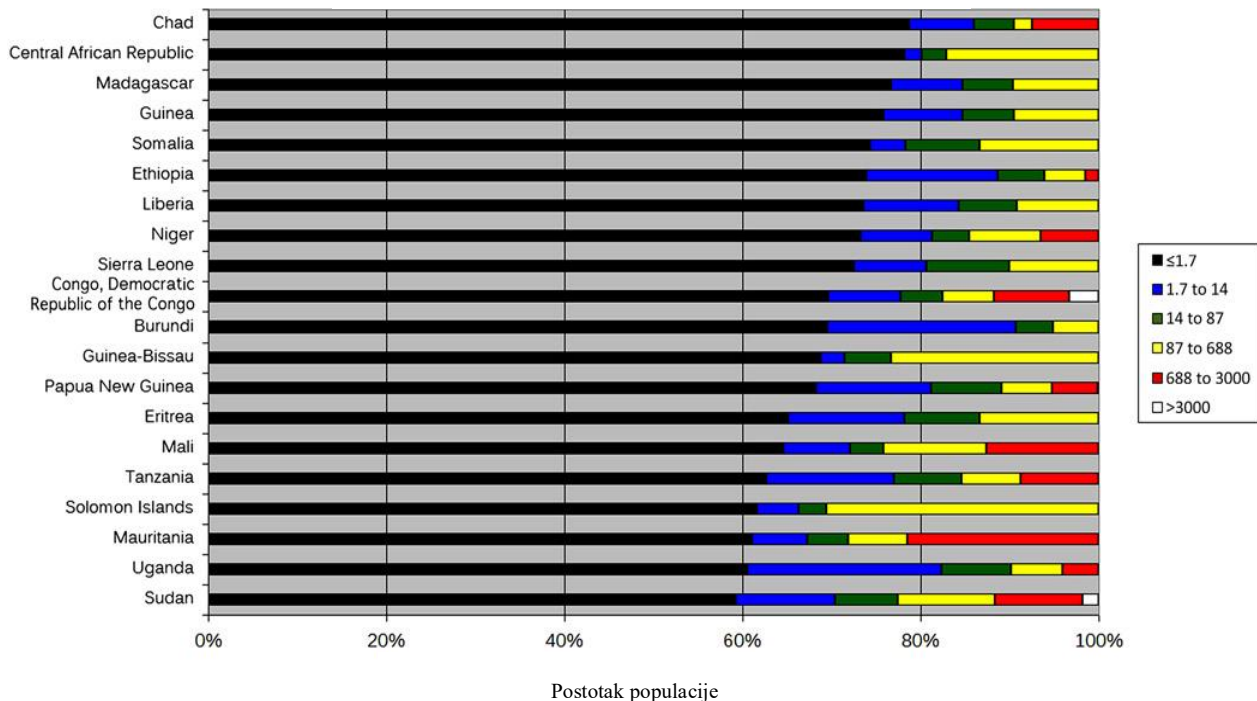
Slika 27. Zemlje G20 poredane prema populaciji izloženoj svjetlosnom onečišćenju..[53]

Zemlje G20 poredane po zagađenom području



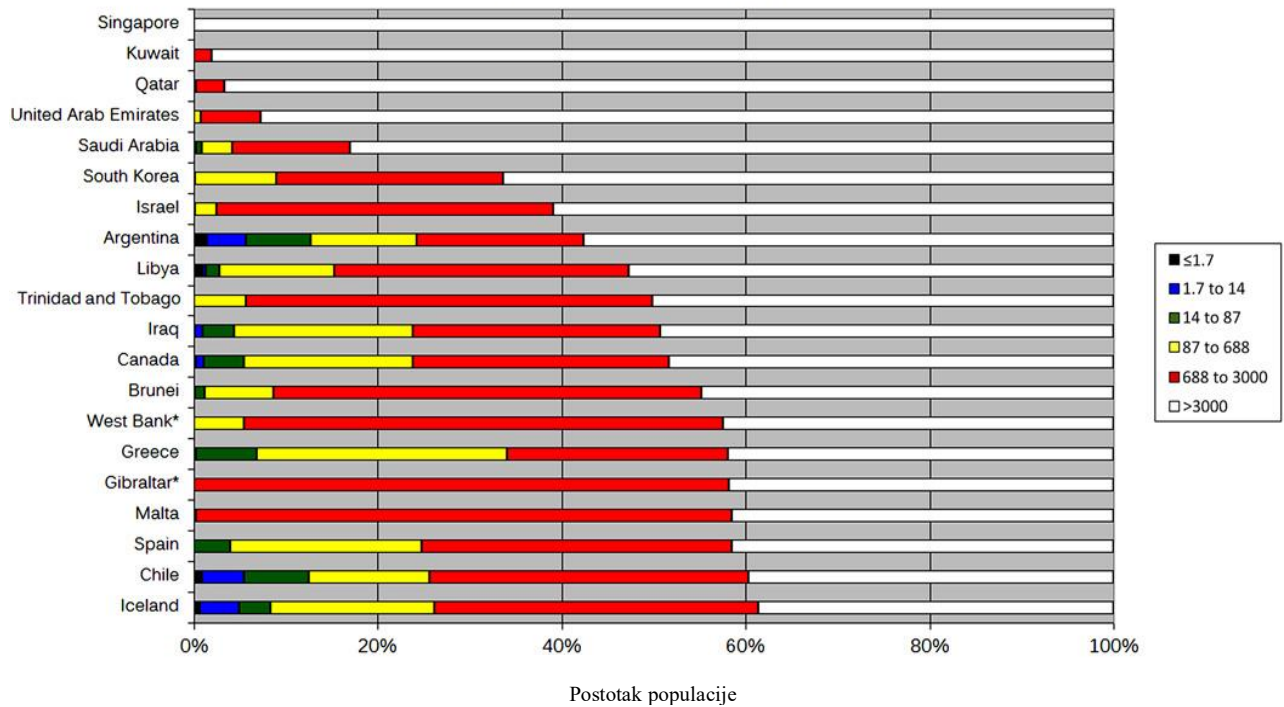
Slika 28. Zemlje G20 poredane po zagađenom području. [53]

Najmanje zagađene zemlje po populaciji



Slika 29. 20 najmanje zagađenih zemalja. [53]

Najzagađenije zemlje po populaciji



Slika 30. 20 najzagađenijih zemalja.[53]

3.5. Smanjenje svjetlosnog onečišćenja

Svjetlosno onečišćenje nije moguće u potpunosti eliminirati, ali se može smanjiti i održavati na razini koja ne šteti ljudskom zdravlju i prirodnom ekosustavu. To se može postići edukacijom svih uključenih u temu zaštite od svjetlosnog onečišćenja. Mjere za zaštitu od nepotrebnih, štetnih ili prekomjernih emisija osvjetljenja i za zaštitu noćnog neba su ključne. Kako bi se smanjilo svjetlosno onečišćenje, potrebno je osvijetliti samo određena područja i smanjiti ili ukloniti nepotrebnu rasvjetu, poput reklamnih panoa. Osim toga, obavezna je mjera smanjenja emisije svjetlosti s valnim duljinama ispod 500 nm u okoliš. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja utvrđuje načela, nositelje zaštite, standarde upravljanja rasvjetom i mjere smanjenja potrošnje energije. Također postavlja ograničenja, zabrane i odgovornosti za proizvođače rasvjetnih proizvoda. Pravilnik daje smjernice za načine upravljanja rasvjetom, zone osvjetljenja, mjere zaštite, maksimalne vrijednosti osvjetljenja, kriterije za izbor i ugradnju svjetiljki, standarde energetske učinkovitosti i korištenje ekološki prihvatljivih svjetiljki.[18]

3.5.1. Organizacije za smanjenje svjetlosnog onečišćenja

Postoji nekoliko organizacija koje rade na smanjenju svjetlosnog onečišćenja. Jedna od njih je Međunarodna udruga za tamno nebo (IDA) sa sjedištem u SAD-u, koja je osnovana 1988. godine sa svrhom očuvanja prirodnog noćnog neba. IDA educira javnost i certificira parkove i druga mjesta koja rade na smanjenju svoje svjetlosne emisije. 2017. godine IDA je dala odobrenje za prvi rezervat tamnog neba u SAD-u, veliki rezervat tamnog neba u Central Idaho, koji se proteže na više od 3667 četvornih kilometara.[30] IDA na svojoj stranici navodi trinaest rezervata tamnog neba. Kanada je sredinom 1990-ih donijela zakone o rasvjeti (i izgradnji) prilagođenoj pticama, a za Kanadom su se počeli povoditi i brojni drugi gradovi uključujući Toronto, Washington, D.C. i New York koji sudjeluju u kampanjama gašenja svjetla tijekom vrhunca migracijskih sezona. Za neke gradove, uklanjanje svjetlosnog onečišćenja također je način povećanja prihoda od turizma. Kao primjer možemo uzeti grad Jasper, Alberta, smješten u udaljenom kanadskom stjenjaku, koji je pravo mjesto za ljude koji vole planine, divlje životinje i prirodu. Samo nekoliko minuta vožnje izvan grada, može se vidjeti niz noćnih čuda, poput skrivenih zvijezda, satelita, meteorita i polarne svjetlosti. Od 2010. grad je domaćin festivala Dark Sky u jesen koji okuplja tisuće ljudi. Ali stanovnici Jaspere nisu zadovoljni time da su noćna čuda vidljiva samo izvan granica njihovog grada. Grad sada surađuje s Lumicanom, kanadskom tvrtkom koja je partner Međunarodne udruge za tamno nebo, na obnovi svih svojih uličnih svjetala.[34]

3.5.2. „Lights out“ program

Godine 1999., Nacionalno društvo Society i njegovi partneri pokrenuli su „Lights Out“ program u Chicagu s ciljem poticanja vlasnika i upravitelja zgrada da ljubazno isključe sva nepotrebna svjetla tijekom migracije ptica. Trenutno u ovom programu aktivno sudjeluje više od 40 gradova, zajedno s cijelim državama i regijama. To uključuje „Lights Out Colorado“ i „Lights Out Georgia“, kao i regionalne programe kao što je „Lights Out Heartland“. Philadelphia se 2021. pridružila 47 drugih gradova s programima „Lights Out“, uključujući New York, Boston, Chicago, Atlantu, Baltimore i Washington, DC. Većina programa za gašenje svjetla, uključujući „Lights Out Philly“, gase nepotrebnu vanjsku i unutarnju rasvjetu od 15. kolovoza do 15. studenog 2022., kako bi omogućili prirodnu migraciju ptica u jesen.[33]

4. ZAKLJUČAK

Povijesno gledano svjetlosno zagađenje postaje sve veće te predstavlja globalni problem. Na smanjenje negativnog učinka svjetlosnog onečišćenja može se utjecati kroz nekoliko ključnih elemenata. Prvenstveno je potrebno utjecati na globalnu politiku kako bi se poboljšala zakonska regulativa vezana za ovu problematiku. Nadalje također važan faktor je educirati mlađe generacije. Edukaciju mladih potrebno je vršiti što ranije, stoga je edukaciju o svjetlosnom onečišćenju potrebno uvrstiti u nastavni program osnovne škole. Potrebno je raditi na osvještavanju populacije, kako na lokalnoj tako i na globalnoj razini. Osvjestiti širu populaciju putem svih dostupnih medija i popularnih društvenih mreža kako bi što veći broj ljudi bio upoznat sa rastućim problemom. Kroz zakonsku regulativu, edukaciju i kroz osvještavanje uspijet ćemo napredovati u rješavanju problema svjetlosnog onečišćenja.

5. LITERATURA

- [1] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Svjetlost, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=59121>, pristupljeno 10.06. 2023.
- [2] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Refleksija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=52212>, pristupljeno 10.06.2023
- [3] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Refrakcija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=52225>, pristupljeno 10.06.2023
- [4] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Ogib, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=44828>, pristupljeno 10.06.2023
- [5] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Interferencija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=27621>, pristupljeno 10.06.2023
- [6] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Polarizacija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49081>, pristupljeno 10.06.2023
- [7] Nepoznati autor, Svjetlosno onečišćenje, Osnovna škola Prelog, http://os-prelog.skole.hr/skola/projekti/european_schools_for_a_living_planet/svjetlosno_one_i_enje, pristupljeno 11.06.2023
- [8] Nepoznati autor, Svjetlosno onečišćenje okoliša, Hrvatski zavod za javno zdravstvo, <https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/svjetlosno-oneciscenje-okolisa/>, pristupljeno 11.06.2023
- [9] Nepoznati autor, Svjetlosno onečišćenje, e-Građani, <https://www.gov.hr/hr/svjetlosno-oneciscenje/1346>, pristupljeno 11.06.2023
- [10] Nepoznati autor, Svjetlosno onečišćenje: definicija, uzroci i posljedice – uz VIDEO, Green-ecolog.com., <https://hr.green-ecolog.com/15340677-light-pollution-definition-causes-and-consequences#:~:text=Va%C5%BEno%20je%20uzeti%20u%20obzir%20da%20posljedice%20u zrokovane,mnogo%20kilometara%20dalje%20od%20mjest%20gdje%20je%20nastao,pristupljeno 11.06.2023.>
- [11] Nepoznati autor, Prirodni i umjetni izvori SVJETLOSTI i TOPLINE: PRIMJERI, Green-ecolog.com., <https://hr.green-ecolog.com/15340577-natural-and-artificial-light-and-heat-sources-examples>, pristupljeno 11.06.2023

- [12] Nepoznati autor, Svjetlosni izvori, Wikipedia, https://bs.wikipedia.org/wiki/Svjetlosni_izvori#:~:text=Svjetlosni%20izvori%20su%20svi%20ure%20C4%91aji%20ili%20tjela%20koji%20C,ili%20termi%20C4%8Dke%20i%20sekundarne%20ili%20reakcione%20izvore%20svjetla., pristupljeno 23.06.2023
- [13] Nepoznati autor, Svjetlosno onečišćenje, Wikipedia, https://sh.wikipedia.org/wiki/Svjetlosno_one%20C4%8Di%20C5%A1%20C4%87enje, pristupljeno 23.06.2023.
- [14] Nepoznati autor, 5 kriterija ekološke rasvjete, Ekorasvjeta, http://www.ekorasvjeta.net/svjetlosno_oneciscenje/288/, pristupljeno 23.06.2023
- [15] Narodne novine, mrežno izdanje, Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, Narodne novine. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_02_14_271.html, pristupljeno 23.06.2023.
- [16] Nepoznati autor, Zašto ekorasvjeta?, Ekorasvjeta, <https://www.ekorasvjeta.net/zasto-ekorasvjeta/>, pristupljeno 30.06.2023.
- [17] Nepoznati autor, Rasvjeta na autocestama je – nepotrebna!, Ekorasvjeta, <http://www.ekorasvjeta.net/analize/rasvjeta-na-autocestama-je-nepotrebna/>, pristupljeno 30.06.2023.
- [18] Republika Hrvatska Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, mrežno izdanje, Svjetlosno onečišćenje, e-Građani, <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-klimatske-aktivnosti-1879/svjetlosno-oneciscenje/1324#:~:text=Zakonom%20o%20za%20C5%A1titi%20od%20svjetlosnog%20one%20C4%8Di%20C5%A1%20C4%87enja%20%28Narodne%20novine%20C,rasvjete%20C%20te%20odgovornost%20proizvo%20C4%91a%20C4%8Da%20proizvoda%20koji%20slu%20C5%BEe%20rasvjetljavanju.>, pristupljeno 30.06.2023.
- [19] Nepoznati autor, Seismic Apparition is a Seismic Shift. Webwork Amsterdam, <https://webwork.amsterdam/seismic-apparition-is-a-seismic-shift/>, pristupljeno 30.06.2023.
- [20] Bosiljko Đerek, Sandra Ivković, Ana - Marija Kukuruzović, Danijela Takač, Razlaganje svjetlosti na boje, Fizika, https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a743968a-901e-4aa4-9117-d7d5dedac0d5/html/14444_Razlaganje_svjetlosti_na_boje.html, pristupljeno 30.06.2023.

- [21] prof. Rajko Jurdan Šepić, Ogib – Difrakcija, SlidePlayer, <https://slideplayer.com/slide/14636846/>, pristupljeno 30.06.2023.
- [22] Elida Zylbeari, Ndriçimi mahnitës polar mbi qiellin e Ruisë (FOTO), Portalb, 2016., <https://arkiv.portalb.mk/262647-ndricimi-mahnites-polar-mbi-qiellin-e-rusise/>, pristupljeno 30.06.2023.
- [23] Nepoznati autor, Popis znanstvenih istraživanja o svjetlosnom onečišćenju, Ekorasvjeta, 2019., http://www.ekorasvjeta.net/svjetlosno_oneciscenje/popis-znanstvenih-istrazivanja-o-svjetlosnom-oneciscenju/, pristupljeno 10.07.2023.
- [24] Dunja Županić, Ugasimo svijetla, upalimo zvijezde, Daruvar, <http://www.visitdaruvar.hr/1-prica-nedjeljom.aspx>, pristupljeno 10.07.2023.
- [25] Nepoznati autor, 80% svjetskog stanovništva živi pod svjetlosnim onečišćenjem!, Ekorasvjeta, 2019., http://www.ekorasvjeta.net/svjetlosno_oneciscenje/80-svjetskog-stanovnistazivi-pod-svjetlosnim-oneciscenjem/, pristupljeno 10.07.2023.
- [26] Ilica Galović, Nakon tri godine, posljednja dionica Slavonike pri kraju, Večernji list, 2014., <https://www.vecernji.hr/vijesti/nakon-tri-godine-posljednja-dionica-slavonike-pri-kraju-966630>, pristupljeno 10.07.2023.
- [27] M. Wallner, How light pollution affects the dark night skies, ESO, 2022., <https://www.eso.org/public/belgium-fr/images/dark-skies/?lang>, pristupljeno 15.07.2023.
- [28] Narodne novine, mrežno izdanje, Zakon o sigurnosti prometa na cestama, Narodne novine, <https://zakon.hr/z/78/Zakon-o-sigurnosti-prometa-na-cestama>, pristupljeno 15.07.2023.
- [29] Narodne novine, mrežno izdanje, Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja, Narodne novine. <https://zakon.hr/z/496/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-svjetlosnog-one%C4%8Di%C5%A1%C4%87enja>, , pristupljeno 15.07.2023.
- [30] Nepoznati autor, Light Pollution, National Geographic. <https://education.nationalgeographic.org/resource/light-pollution/>, pristupljeno 20.08.2023.
- [31] Jimmy C.K. Tong i dr., Light pollution spatial impact assessment in Hong Kong: Measurment and numerical modelling on commercial light at street level, Science Direct, 2022., <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722027772>, pristupljeno 20.08.2023.
- [32] Nepoznati autor, Light pollution in Honk Kong, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Light_pollution_in_Hong_Kong, pristupljeno 20.08.2023.

- [33] Stephanie Parker, Audubon's 'Lights Out' Program Kills the Lights to Save the Birds, Howstuffworks, <https://animals.howstuffworks.com/birds/lights-out-program-birds.htm>, pristupljeno 20.08.2023.
- [34] Nadia Drake, Light pollution is getting worse, and Earth is paying the price, National Geographic, 2019., <https://www.nationalgeographic.com/science/article/nights-are-getting-brighter-earth-paying-the-price-light-pollution-dark-skies/>, pristupljeno 25.08.2023.
- [35] Lydia Jun, Kai Jun, Singapore faces a glaring issue of light pollution (Part 1), Traversing the globe one problem, 2020., <https://blog.nus.edu.sg/nomadchronicles/2020/10/19/275/>, pristupljeno 25.08.2023.
- [36] Catherine Rober, Singapore has most light pollution in the world, The New Paper, 2016., [https://tnp.straitstimes.com/news/singapore/singapore-has-most-light-pollution-world#:~:text=Singapore%20was%20named%20the%20country%20with%20the%20worst,the%20level%20of%20light%20pollution%20tolerable%20per%20capita.](https://tnp.straitstimes.com/news/singapore/singapore-has-most-light-pollution-world#:~:text=Singapore%20was%20named%20the%20country%20with%20the%20worst,the%20level%20of%20light%20pollution%20tolerable%20per%20capita.,), pristupljeno 25.08.2023.
- [37] Nepoznati autor, Singapur – zemlja modernog urbanizma i prekrasnog zelenila, Turistplus.hr., <https://turistplus.hr/singapur-zemlja-modernog-urbanizma-i-zelenila/>, pristupljeno 25.08.2023.
- [38] Nepoznati autor, Photo taken at 86-88 Sai Yeung Choi Street South, Mong Kok, Hong Kong with NIKON D4, Pic2map, 2014., <https://www.pic2map.com/gjkjue.html>, pristupljeno 25.08.2023.
- [39] Nepoznati autor, Effects of Light on Circadian Rhythms, Centers for Disease Control and Prevention, <https://www.cdc.gov/niosh/emres/longhourstraining/light.html>, pristupljeno 31.08.2023.
- [40] Nepoznati autor, What is Circadian Lightning?, The light practice, <https://www.thelightingpractice.com/what-is-circadian-lighting/>, pristupljeno 31.08.2023.
- [41] Dr. Liji Thomas, Artificial Light Exposure and Circadian Rhythm, News medical life sciences, <https://www.news-medical.net/health/Artificial-Light-Exposure-and-Circadian-Rhythm.aspx>, , pristupljeno 31.08.2023.
- [42] Diane Boivin, Circadian Rhythms: the effect of light, Douglas, 2013., <http://www.douglas.qc.ca/info/circadian-rhythms-the-effect-of-the-light>, pristupljeno 31.08.2023.

- [43] Nepoznati autor, Five Years of Satellite Images Show Global Light Pollution Increasing at Rate of Two Percent Per Year, Darksky, 2017., <https://darksky.org/news/five-years-of-satellite-images-show-global-light-pollution-increasing-at-a-rate-of-two-percent-per-year/>, pristupljeno 31.08.2023.
- [44] Dipika Kadaba, Big Cities, Bright Lights: Ranking the Worst Light Pollution on Earth, The Revelator, 2018., <https://therevelator.org/cities-ranked-light-pollution/>, pristupljeno 31.08.2023.
- [45] Nepoznati autor, Blue Toronto Stock Photo – Download Image Now – Toronto, Night, Urban Skyline, iStock, <https://www.istockphoto.com/photo/blue-toronto-gm155149923-18611217>, pristupljeno 03.09.2023.
- [46] Nepoznati autor, Toronto Harbour Commission Building, CNJ Bronx Terminal, 2008., <http://www.bronx-terminal.com/?cat=10>, pristupljeno 03.09.2023.
- [47] Pablo Caridad, Puerto Madero at Night, Buenos Aires, Argentina, Dreamstime, <https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-photography-puerto-madero-night-buenos-aires-argentina-image21930247>, pristupljeno 03.09.2023.
- [48] Nepoznati autor, File: Buenos Aires harbour c. 1910.jpg., Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buenos_Aires_harbour_c._1910.jpg, pristupljeno 03.09.2023.
- [49] Lara Sternberg, New Year's Eve Celebrations in Detroit, Tripsavvy, 2019., <https://www.tripsavvy.com/detroit-new-years-eve-parties-1084841>, pristupljeno 03.09.2023.
- [50] Nepoznati autor, File: Detroit, Michigan, skyline ca. 1929.png., Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Detroit,_Michigan,_skyline_ca._1929.png, pristupljeno 03.09.2023.
- [51] Nepoznati autor, Oldest Cities of Russia 2, Tour of Russia, Advantour, <https://www.advantour.com/russia/tours/eastern-cities.htm>, pristupljeno 3.09.2023.
- [52] Nepoznati autor, File: Москва. Кремль (Беклемишевская башня) (цв.откр 8837) 1896-1897 03843v e1t.jpg., Wikimedia Commons, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B2%D0%B0_%D0%9A%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8C_\(%D0%91%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B1%D0%B0%D1%88%D0%BD%D1%8F_\)_\(%D1%86%D0%B2_%D0%BE%D1%82%D0%BA%D1%80_8837\)_1896-1897_03843v_e1t.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%9C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B2%D0%B0_%D0%9A%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8C_(%D0%91%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B1%D0%B0%D1%88%D0%BD%D1%8F_)_(%D1%86%D0%B2_%D0%BE%D1%82%D0%BA%D1%80_8837)_1896-1897_03843v_e1t.jpg), pristupljeno 03.09.2023.

[53] Fabio Falchi, The new world atlas of artificial night sky brightness, ScienceAdvances, 2016., <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1600377>, pristupljeno 03.09.2023.

6. POPIS SLIKA

Slika 1. Isaac Newton. [19].....	1
Slika 2. Razlaganje svjetlosti na boje. [20].....	2
Slika 3. Refleksija svjetlosti. [2]	3
Slika 4. Refrakcija svjetlosti. [3].....	4
Slika 5. Primjer ogiba. [21].....	5
Slika 6. Polara svjetlost na nebu u Rusiji. [22].....	6
Slika 7. Primjer svjetlosnog onečišćenja. [23].....	8
Slika 8. Prikaz različitih vrsta rasvjete. [24].....	10
Slika 9. Prikaz svjetlosnog onečišćenja u svijetu ovisno o stupnju razvijenosti. [25].....	11
Slika 10. Neadekvatna rasvjeta na autocesti. [26]	12
Slika 11. Izlaz iz tunela Sveti Rok. [17].....	13
Slika 12. Prikaz različitih stupnjeva svjetlosnog onečišćenja. [27]	13
Slika 13. Prekomjerno okupljanje kukaca oko ulične rasvjete. [13].....	15
Slika 14. Prikaz promjene intenziteta boja tijekom dana. [40].....	18
Slika 15. Prikaz neadekvatne rasvjete na Petrovoj gori. [14].....	19
Slika 16. Marina Bay. [37].....	20
Slika 17. Ulica Sai Yeung Choi u četvrti Mong Kok. [38].....	21
Slika 18. Toronto danas. [45].....	23
Slika 19. Toronto 1918. [46].....	23
Slika 20. Buenos Aires danas. [47]	24
Slika 21. Buenos Aires 1910. [48]	24
Slika 22. Detroit danas. [49].....	25
Slika 23. Detroit 1929. [50]	25
Slika 24. Moskva danas. [51].....	26

Slika 25. Moskva nekada. [52]	26
Slika 26. Broja zemalja koje su doživjele različite stope promjene noćnih svjetala od 2012. do 2016. godine. [43]	27
Slika 27. Zemlje G20 poredane prema populaciji izloženoj svjetlosnom onečišćenju. [53].....	28
Slika 28. Zemlje G20 poredane po zagađenom području. [53]	29
Slika 29. 20 najmanje zagađenih zemalja. [53]	29
Slika 30. 20 najzagađenijih zemalja.[53].....	30

7. SAŽETAK

U ovome završnom radu definirana je pojava svjetlosnog onečišćenja u metropolama. Kako bi razumijeli pojam svjetlosnog onečišćenja u uvodnom dijelu završnog rada objašnjena je svjetlost te pojave vezane uz svjetlost. Proučeni su i opisani uzroci i posljedice svjetlosnog onečišćenja. Navedene su svjetlosno najzađenije zemlje svijeta, organizacije i njeni programi u borbi protiv onečišćenja. Također su razrađene metode smanjenja svjetlosnog onečišćenja.

Ključne riječi: svjetlost, svjetlosno onečišćenje, metropole, ulična rasvjeta, cirkadijalna rasvjeta.

8. SUMMARY

In this final work, light pollution in metropolises is defined. In order to understand the concept of light pollution, in the introductory part of the final work, light and phenomena related to light are explained. The causes and consequences of light pollution have been studied and described. The countries with the most light pollution in the world, organizations and their programs in the fight against pollution are listed. Methods of reducing light pollution were also elaborated.

Key words: light, light pollution, metropolises, street lights, circadian lighting.