

OCENA SVETLOBNEGA ONESNAŽENJA V MARIBORU, GORNJI RADGONI IN SENOVEM

Laura Kalšek

Magistrica inženirka tehniškega varstva okolja
V gaju 3, 1433 Radeče
e-mail: laura.kalsek@yahoo.com

Žiga Budna

Magistrski študent tehniškega varstva okolja
Dovško 71, 8281 Senovo
e-mail: ziga.budna@student.um.si

Aleks Hedl

Magister inženir tehniškega varstva okolja
Zg. Konjišče 12, 9253 Apače
e-mail: aleks.hedl@gmail.com

Jure Ravnik

Dr., prof. energetskega, procesnega in okoljskega inženirstva
Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru
Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor, Slovenija
e-mail: jure.ravnik@um.si

UDK: 628.98:502.175

COBISS: 1.01

Izvleček

Ocena svetlobnega onesnaženja v Mariboru, Gornji Radgoni in Senovem

V prispevku poročamo o izvedbi meritev svetlobnega onesnaženja na urbanem področju mest Maribor, Gornja Radgona in Senovo in rezultate predstavljamo v obliki kart. V ta namen smo uporabili namensko izdelan merilnik, ki meri osvetljenost na podlagi svetlobnega zaznavala. Rezultati kažejo, da je Maribor med obravnavanimi lokacijami najbolj onesnaženo območje. Razloga za to sta velikost in število prebivalcev, ki botruje večji potrebi po ohranjanju varnosti ponoči. Večja površina mesta v tem primeru pomeni tudi več kulturnih in zgodovinsko pomembnih zgradb, ki so ponoči osvetljene. Nedvomno sta manj onesnaženi območji Gornja Radgona in Senovo. Z izjemo javne cestne razsvetljave in osvetljenosti pomembnejših zgradb območji nista preveč svetlobno zasičeni. Analizirali smo tudi vpliv osvetlitve nogometnega stadiona Ljudski vrt in ugotovili, da pride do velike svetlobne emisije. Učinki reflektorjev so predvsem opazni na manj svetlobno onesnaženih lokacijah v bližini Ljudskega vrta (mestni park, območje tehniških fakultet), delno pa lahko vidimo vpliv tudi pri Piramidi in Kalvariji. Na že bolj onesnaženih lokacijah ni bilo prepoznati očitnih razlik. Nazadnje predstavljamo model pojemanja osvetljenosti z oddaljevanjem od svetila, ki bi ga lahko uporabili pri načrtovanju osvetlitve na novih lokacijah.

Ključne besede

Svetlobno onesnaženje, svetila, osvetlitev športnih objektov

Abstract

Light pollution measurements in Maribor, Gornja Radgona and Senovo

In this paper we report on measurements of light pollution in the urban area of the cities of Maribor, Gornja Radgona and Senovo and present the results in the form of maps. For this purpose we used a specially made measuring device that measures illuminance based on a light sensor. The results show that Maribor is the most polluted area among the places considered. The reasons for this are the size and number of the population itself, which contribute to a greater need for safety at night. The larger area of the city leads to more culturally and historically important buildings that are lit up at night. Undoubtedly, the areas of Gornja Radgona and Senovo are less polluted. Apart from the public street lighting and the lighting of important buildings, the areas are not too saturated with light. We also analysed the impact of the lighting of the Ljudski vrt football stadium and found that there is a large light emission. The impact of the floodlights is most noticeable in less light-polluted places nearby (city park, campus of the technical faculties), and partly we can see the impact on the surrounding hills. No obvious differences were found in the already more polluted places. Finally, we present a model of dimming with distance from a street lamp that could serve as a basis for planning lighting in new locations.

Keywords

Light pollution, lights, lighting of sport arenas

1. Uvod

Svetlobno onesnaženje predstavlja prisotnost umetne svetlobe v nočnem naravnem okolju. Pojav je posledica emisij svetlobe iz umetnih virov, ki povečajo naravno osvetljenost okolja. Kaže se na različne načine in ga zaznavamo kot žarjenje neba nad mesti, bleščanje močne svetlobe ali sevanje iz okolice v sosednje stavbe ali druga območja in predstavlja problem po celem svetu (Falchi in sod. 2016).

Svetlobno onesnaženje ima mnogo negativnih vplivov tako na naravno okolje (Camacho in sod. 2021), živali (Fraleigh in sod. 2021) kot na človeka. Med najresnejše posledice štejemo ogrožanje zdravja ljudi, motenje delovanja različnih ekosistemov ter oviranje astronomskega opazovanja. Lamphar in sod. (2021) ugotavljajo vzročno povezavo med dolgotrajno izpostavljenostjo svetlobni onesnaženosti in pojavnostjo raka na dojkah. Poslabšanje stanja na področju svetlobne onesnaženosti raziskovalci opažajo po celem svetu. Tako na primer Zheng in sod. (2021) ugotavljajo občutno povečanje osvetljenosti na zaščitene območjih v Afriki med letoma 1992 in 2018. V tem časovnem obdobju so opazili celo pospeševanje povečevanja svetlobne onesnaženosti.

Epidemija z virusom Sars-Cov-2, s katero se svet spopada v zadnjem času, je izpostavila problem povezave med onesnaženostjo in razširjanjem obolenj. Raziskovalci Argentiero in sod. (2021) so za Italijo s pomočjo statističnih analiz dokazali pozitivno povezavo med svetlobnim onesnaženjem in stopnjo razširitve epidemije. S tem so predstavili še en nov dokaz, da svetlobno onesnaženje negativno vpliva na ljudi, naravo in okolje.

Raziskave svetlobnega onesnaženja se izvajajo po celem svetu. Czarnecka in sod. (2021) analizirajo problematiko svetlobnega onesnaženja v Varšavi in v mestu Fukuoka na Japonskem. Ugotavljajo, da je kljub dejstvu, da je prisotno po celem svetu, svetlobno onesnaženje slabo raziskano. Varšava in Fukuoka imata podobno število prebivalcev, vendar se razlikujeta po zemljepisni širini, rabi tal, kulturi in po količini svetlobnega onesnaženja. Glavni dejavnik, ki vpliva na svetlobno onesnaženje in njegovo raznolikost, je v obeh mestih enak: veliko število svetlobnih virov. Eksperimentalni rezultati kažejo, da je število svetlobnih virov ključno povezano z umetno intenzivnostjo nočne svetlobe. Drugi dejavniki, ki vplivajo na velikost pojava (osvetlitev, svetilke, praktični ukrepi za preprečevanje) ali negativno vplivajo na zdravje in dobro počutje ljudi (barvna temperatura, največja valovna dolžina, prevladujoča valovna dolžina, stimulacija fotoreceptorjev), vplivajo na raznolikost svetlobnega onesnaževanja le lokalno. Avtorji sklenejo, da moramo zaradi svetovnega obsega problematike svetlobne onesnaženosti in njegove škodljivosti najti najučinkovitejše praktične rešitve za zmanjšanje svetlobnega onesnaženja in njegovega negativnega vpliva na zdravje ljudi.

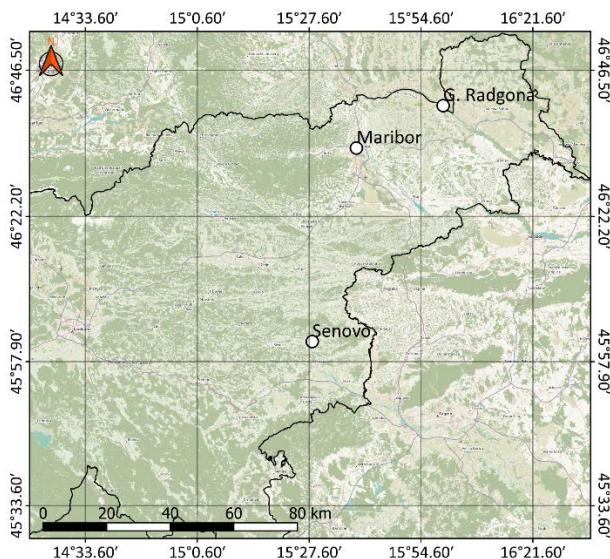
Raziskave potekajo tudi na področju ukrepov za zajezitev svetlobnega onesnaženja. Bará in sod. (2021) ugotavljajo, da večina mest naslavlja problem svetlobnega onesnaženja s pomočjo reguliranja vrst svetil, in upa, da bo s tem težava odpravljena. Avtorji se strinjajo, da so ti ukrepi potrebni, vendar ugotavljajo, da niso zadostni, in predlagajo razvoj celostnih strategij na področju prostorskega načrtovanja.

Nezanemarljivo je tudi nepotrebno trošenje električne energije. Gallaway in sod. (2010) ugotavljajo, da poleg nezaželenih okoljskih vplivov svetlobno onesnaževanje porabi nezanemarljivo količino energije. Za ZDA poročajo, da energija, ki se porabi za nepotrebno svetlobno onesnaženje, stane sedem milijard dolarjev letno.

Na območju Slovenije je bilo že opravljenih več študij svetlobnega onesnaženja. Žiberna (2016) je analiziral območje Maribora in predstavil rezultate analiz rož svetlobnega onesnaženja in porabljenih sredstev za javno razsvetljavo. Žiberna in Ivajnsič (2018) sta za območje Slovenija analizirala podatke, pridobljene s satelitskimi opazovanji. Območje Pohorja so raziskovali Žiberna in sod. (2018) in izpostavili vpliv nočne smuke. Območje Pomurja sta raziskovala Žiberna in Ivajnsič (2020) in izpostavila Goričko kot najtemnejše območje.

2. Območje raziskave

Raziskava je bila izvedena na treh območjih v vzhodnem delu Slovenije, in sicer v Mariboru, Gornji Radgoni in na Senovem (Slika 1).



Slika 1: Raziskava je bila izvedena v Mariboru, Gornji Radgoni in na Senovem.

2.1 Maribor

Maribor je del Mestne občine Maribor, ki leži na severovzhodnem delu Slovenije, in je s 40,98 km² drugo največje mesto v državi. Mesto leži tik ob reki Dravi, kjer se križajo pomembne evropske poti iz srednje v jugovzhodno Evropo in iz zahodne srednje Evrope v Panonsko nižino. Nahaja se med Dravsko dolino in Dravsko-Ptujskim poljem ter med Pohorjem, Kozjakom in Slovenskimi goricami. Reka Drava deli mesto na severni in južni del. Površina Mestne občine Maribor je 147 km², občinska meja pa je dolga 82 km. Po zadnjih podatkih Statističnega urada Republike Slovenije iz leta 2020 ima mesto Maribor 96.211 prebivalcev, Mestna občina Maribor pa 112.682

prebivalcev. Maribor je gospodarsko in kulturno središče severovzhodne Slovenije, je sedež Podravske statistične regije in vzhodne kohezijske regije.

Razlogov za svetlobno onesnaženje Maribora je več. Glavni razlog je neustrezen izbor in namestitve svetilk javne razsvetljave. Po podatkih iz leta 2018 je v Mestni občini Maribor 14 856 svetilk javne razsvetljave (Medmrežje 5). Od tega je največ 125 W visokotlačnih živosrebrnih svetilk tipa KN, in sicer 1867, sledijo pa 150 W natrijeve svetilke tipa CX, ki jih je 1165. Od vseh svetilk v občini je kar 13.131 neskladnih z Uredbo o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja.

K svetlobni onesnaženosti pa pripomorejo tudi osvetljeni reklamni panoji in razsvetljava pomembnejših zgradb, npr. cerkva, kapelic, ipd. Občasno, a z veliko večjim vplivom, pa svetlobno onesnaženje povzroča tudi razsvetljava športno-rekreacijskih objektov. Največja onesnaževalca sta v tem primeru stadion Ljudski vrt in smučišče na Pohorju.

Trenutna javna razsvetljava v Mestni občini Maribor je energetske in stroškovno neučinkovita. Od leta 2005 do leta 2020 je strošek za cestno razsvetljava narasel za 127.263 EUR (Medmrežje 4), pri čemer so se povečala sredstva za investicije in stroški za porabljeno energijo, zmanjšali pa so se stroški rednega vzdrževanja javne razsvetljave.

Določene svetilke, ki so v veliki večini v neskladju z zakonodajo, pa poleg vsega ob enakem učinku osvetljevanja porabijo še veliko več električne energije. Za proizvodnjo električne energije na območju MOM se porabi le slabih 10 % obnovljivih virov energije, več kot polovico energije pa proizvedejo iz fosilnih goriv.

Velika poraba električne energije pa ne predstavlja zgolj povišanih stroškov, temveč tudi povečane emisije ogljikovega dioksida, tako da s preobsežnim osvetljevanjem škodimo okolju na različne načine.

2.2 Gornja Radgona

Gornja Radgona je manjše slovensko mesto, ki leži v severovzhodnem delu Slovenije tik ob avstrijski meji. Mesto leži na desnem bregu reke Mure ob regionalni cesti Maribor–Murska Sobota in ima po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije 3050 prebivalcev (2019). Gornja Radgona je prepoznavna predvsem po organizaciji različnih regionalnih in mednarodnih sejmov. V središču mesta in bližini je več stanovanjskih blokov in dom za ostarele, nekaj je tudi enostanovanjskih hiš, ki so večinoma razporejene na obrobju mesta.

2.3 Senovo

Senovo je kljub dolgoletnemu upadanju številčnosti prebivalstva eno izmed večjih naselij v Posavski regiji z 2254 prebivalci (2020). Moderna zgodovina Senovega je rudarska, ko se je naselje po drugi svetovni vojni zaradi rjavega premoga razvilo v manjši kraj. V osrčju kraja, ob glavni ulici, Titovi cesti, kateri se pozneje priključi Cesta Kozjanskega odreda, je zbrana večina stanovanjskih blokov ter storitvenih in gostinskih dejavnosti, na obrobju kraja pa so povečini enostanovanjske hiše.

K svetlobni onesnaženosti Senovega pripomorejo cestna in ulična javna razsvetljava, razsvetljava Supermarketa SPAR in bližnjega parkirišča ter razsvetljava cerkve, osnovne šole in njene okolice.

3. Metodologija

3.1 Izdelava merilnika

Pri izvedbi eksperimentalnega dela smo uporabljali merilnik svetlobnega onesnaženja, ki so ga izdelali na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru (Borovnik 2018, Slika 2).



Slika 2: Merilnik Fakultete za strojništvo je izdelan na podlagi mikrokrmilnika Arduino nano in zaznavala TSL237. Vključuje LCD zaslon za prikaz rezultata in odstranljiv pokrov senzorja.

Merilnik Fakultete za strojništvo (v nadaljevanju: FS merilnik) je namenjen za merjenje svetlobe ponoči oz. ob prisotnosti manjših količin sevanja svetlobe. Glede na način uporabe je izbrano tudi zaznavalo TSL237, ki je primerno za merjenje v nočnem času. Izhodna informacija, ki jo poda zaznavalo, vgrajeno v merilnik, je frekvenca. Z mikrokrmilnikom Arduino Nano in s pomočjo programskega jezika C++ se informacija obdela in frekvenca se pretvori v uporaben podatek. Program ima dve možnosti izvajanja meritev, in sicer lahko izvede zgolj eno meritev ali pa zaporedno izvaja več meritev na vsakih deset sekund. Eksperiment smo izvajali na prvi način. Izmerjene vrednosti se v odvisnosti od izbire programa beležijo na eno izmed SD kartic, hkrati pa se izpišejo tudi na LCD zaslon. Na zaslonu se prikaže frekvenca v Hz, obsevanje v $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ in svetlost (SQM) v $\text{mag}/\text{arcsec}^2$.

Mikrokrmilnik pridobljeno frekvenco pretvori v ostala dva podatka s pomočjo enačb 1 in 2:

$$\text{obsevanje} = \text{frekvenca} - 2,3e3 \quad (1)$$

$$\text{SQM} = (\text{sqm}_{\text{limit}} - (2,5 * \log_{10}(\text{frekvenca}))) \quad (2)$$

Vrednost 2,3e3 predstavlja naklon premice v diagramu, ki je sestavni del produktne specifikacije zaznavala TSL237. SQM oz. svetlost izračunamo z enačbo 2, v kateri $\text{sqm}_{\text{limit}}$ predstavlja mejno vrednost svetlosti.

FS merilnik je bil umerjen s pomočjo 40 W standardne žarnice na žarilno nitko. V prostoru brez drugih virov svetlobe je bilo opravljenih 10 meritev na različnih oddaljenostih od žarnice, merilnik pa je bil usmerjen naravnost v žarnico. Rezultati meritev so bili primerjani z izračunanimi vrednostmi iz enačbe 2, korekcijski faktor z vrednostjo 0,692 pa je bil nato vnesen v program.

Kadar FS merilnik ni bil pokrit s pokrovom, je meril svetlobo iz vseh smeri. Lahko pa smo nanj namestili tudi pokrov v obliki prisekanega stožca, ki je bil na vrhu pokrit z lečo, ki je zmanjševala vpliv UV in IR žarkov. Pokrov je zožil vpadni kot svetlobe na 20°.

3.2 Izvedba meritev

Preden smo se lotili meritev, smo s pomočjo zemljevida izdelali podroben načrt za njihovo izvedbo. Pri izvedbi meritev smo se držali vnaprej določenega protokola, ki nam je veleval, da pred vsakim sklopom meritev preverimo položaj Lune, pregledamo merilnik, preverimo vremenske razmere, si zabeležimo točen čas izvedbe posamezne meritve ter vse podatke zabeležimo v tabelo. Vse meritve so bile izvedene v skladu s priporočili proizvajalca (Medmrežje 1 in 2) v času vsaj 90 min po sončnem in 30 min po Luninem zahodu ter 60 min pred sončnim in 30 min pred Luninim vzhodom.

3.3. Izbira merilnih mest

Meritve smo v Mariboru izvajali na 18 lokacijah (Slika 3 levo), in sicer pri Frančiškanski cerkvi (oznaka: Cerkev), na Trgu svobode (oznaka: Kodjak), pod Piramido (oznaka: Piramida), v Mestnem parku pri Zdravstvenem domu Adolfa Drolca (oznaka: Park), na Slomškovem trgu (oznaka: Stolnica), Glavnem trgu (oznaka: GT), parkirišču med glavnim vhodom Tehniških fakultet in Srednje elektro-računalniške šole (oznaka: TF), na južni ploščadi Ljudskega vrta (oznaka: Stadion), na stopnicah na Kalvarijo (oznaka: Kalvarija), na parkirišču pri krožnem križišču na Gosposvetski cesti (oznaka: Rondo), pri Planetu TUŠ (oznaka: Planet), pri novozgrajenih stavbah zraven Qlandije (oznaka: Qlandia), pri odcepu za RTV (oznaka: Most), nad Areni Pohorje (oznaka: Arena), na parkirišču Mercator centra Tabor (oznaka: Tabor), na Tržaški cesti pri McDonaldu (oznaka: Tržaška), na avtobusni postaji pri Europarku (oznaka: Europark) in nad Medicinsko fakulteto v bližini Trga republike (oznaka: Medicina). Ko smo izbrali lokacije merjenja, smo na spletu preverili točne čase vzhajanja in zahajanja Sonca ter Lune. Meritve smo izvajali na istih mikrolokacijah in v enakem vrstnem redu. Pri Frančiškanski cerkvi smo meritve izvajali ne glede na Lunin vzhod oz. zahod, vendar le ob suhem vremenu, saj bi morebitne kapljice na leči lahko povzročile napačne rezultate.

Merilna mesta v Gornji Radgoni (Slika 3 sredina) so enakomerno razporejena po celotnem območju mesta. V Gornji Radgoni sta bila izvedena dva sklopa meritev, in sicer 20. 5. 2020 ter 23. 5. 2020. Reka Mura, ki je na sliki obarvana modro, ločuje Slovenijo od Avstrije.

Za Senovo je bilo izbranih 24 merilnih točk (Slika 3 desno). Bile so enakomerno razporejene po kraju ter v bližnji okolici, in sicer na način, ki omogoča optimalno interpolacijo vmesnega območja. Meritve so bile izvedene v noči med 26. in 27. aprilom 2020, med 22.25 in 1.17. Tekom merjenja je bilo vreme vseskozi pretežno oblačno.

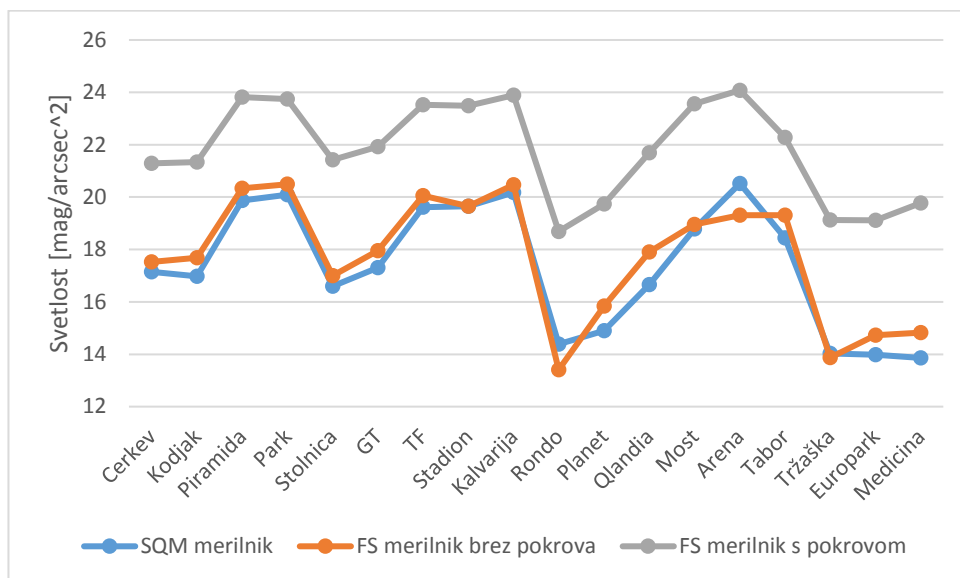
S slike 3 lahko razberemo tudi vrsto svetil v okolici posamezne merilne točke.



Slika 3: Slika 3: Merilna mesta v Mariboru, Gornji Radgoni in na Senovem. Rdeči simbol označuje nezasečena svnila, rumeni zasečena, črni popolnoma zasečena. Z modro oznako pa so prikazane lokacije, kjer svetil ni bilo v bližini.

3.4 Validacija FS merilnika s SQM merilnikom

FS merilnik smo validirali s Sky Quality Meter (SQM) merilnikom proizvajalca Unihedron (Medmrežje 3). Validacijo smo izvedli 10. 6. 2020 med 22.45 in 1.25 ob jasnem vremenu. Na vseh izbranih lokacijah v Mariboru smo svetlost izmerili najprej s SQM merilnikom in potem s FS merilnikom s pokrovom in brez pokrova. Meritve smo nato medsebojno primerjali (Slika 4).



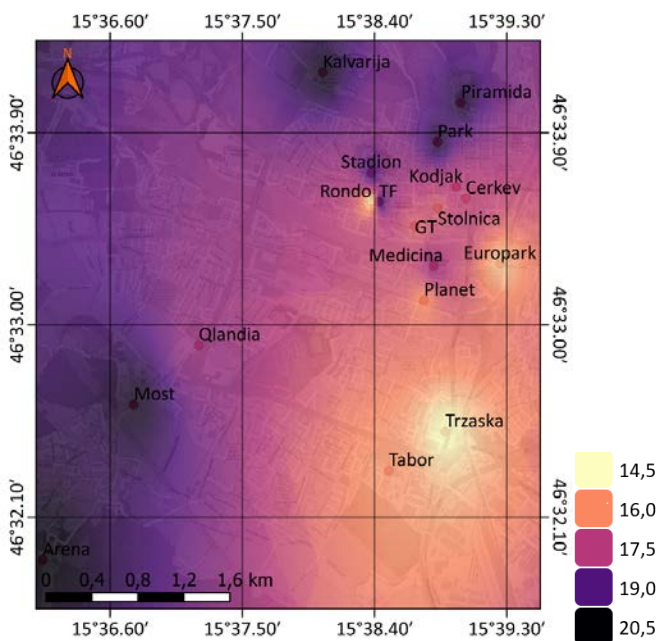
Slika 4: Primerjava meritev s FS in SQM merilnikom, izvedena 10. 6. 2020 med 22.45 in 1.25 ob jasnem vremenu.

Ugotovili smo, da so vrednosti meritev FS merilnika brez pokrova, kjer merilnik upošteva celotno svetlobo iz okolice, bolj usklajene z rezultati meritev s SQM merilnikom. Tudi sicer so meritve brez pokrova bolj relevantne, saj je ponoči za ljudi, živali in rastline moteča vsa svetloba iz okolice, ne le tista, ki je izražena kot nebesni sij.

4. Rezultati

4.1 Maribor

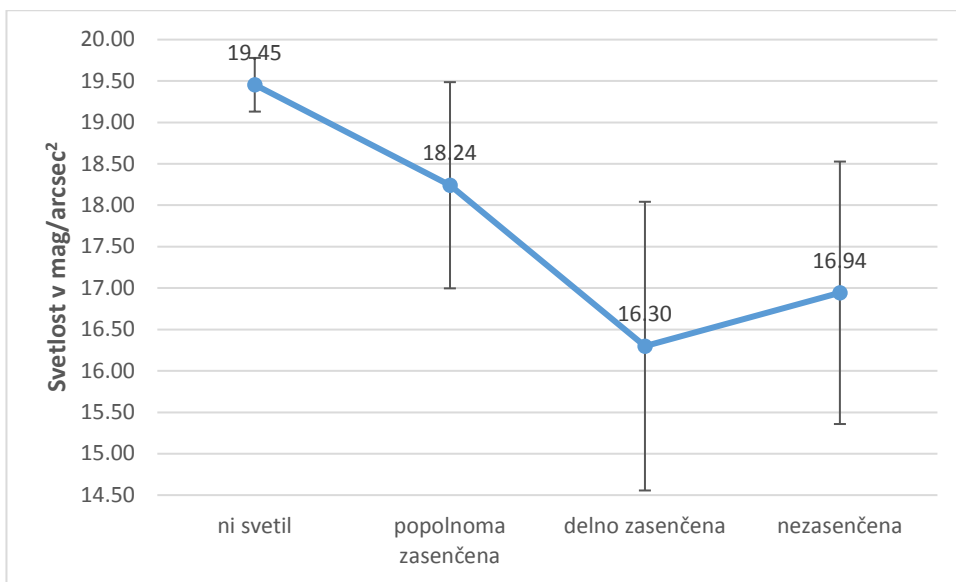
V Mariboru smo meritve izvajali od 10. 6. 2020 do 15. 11. 2020 venomer ob odsotnosti Lune, a ob različnih vremenskih pogojih. Na karti (Slika 5) so prikazana povprečja vseh opravljenih meritev brez pokrova.



Slika 5: Karta svetlobne onesaženosti v Mariboru na podlagi povprečij vseh meritev med 10. 6. 2020 in 15. 11. 2020 ob odsotnosti Lune.

Najbolj svetlobno onesaženi deli Maribora so v središču mesta (GT, Stolnica), ob trgovskih centrih (Planet, Europark, Tabor) in večjih mestnih vpadnicah (Tržaška, Rondo), medtem ko so najmanj onesaženi deli na obrobju mesta (Most, Park) in na dvignjenih pobočjih (Kalvarija, Piramida, Arena).

V okviru raziskave smo preverili tudi način zasenčenosti svetil v okolici lokacij merjenja. Na lokacijah, kjer je bilo prisotnih več različnih vrst svetil, smo upoštevali manj zasenčena svetila, saj smo predvideli, da slednja bolj pripomorejo k svetlobni onesaženosti. Izračunali smo povprečja svetlosti pri določenem načinu zasenčenosti svetil v okolici (Slika 6).



Slika 6: Svetlost v odvisnosti od načina zasenčenosti svetil v okolici lokacije meritev v Mariboru. V povprečje so zajete vse meritve brez pokrova.

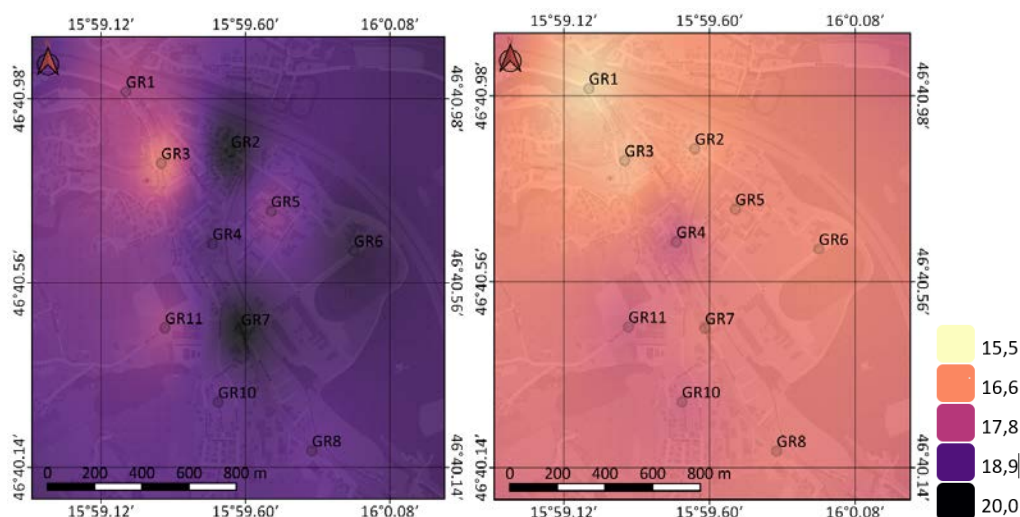
Največ svetil na območju Maribora je nezasenčenih ali delno zasenčenih, tj. v neskladju z Uredbo o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja iz leta 2007. Pričakovano so območja najtemnejša tam, kjer v bližini ni nobene osvetlitve ali pa so svetila popolnoma zasenčena, medtem ko je onesnaženje večje v prisotnosti nepravilno nameščenih in zasenčenih svetil (Slika 6).

4.2 Gornja Radgona

V Gornji Radgoni smo meritve izvedli v dveh terminih ob različnih vremenskih pogojih. Luna je bila pri obeh meritvah v mlaju. Meritve so 20. 5. 2020 (Slika 7 levo) potekale med 22.20 in 23.45 v jasnem vremenu, medtem ko so meritve 23. 5. 2020 (Slika 7 desno) potekale med 22.10 in 23.15 v oblačnem vremenu.

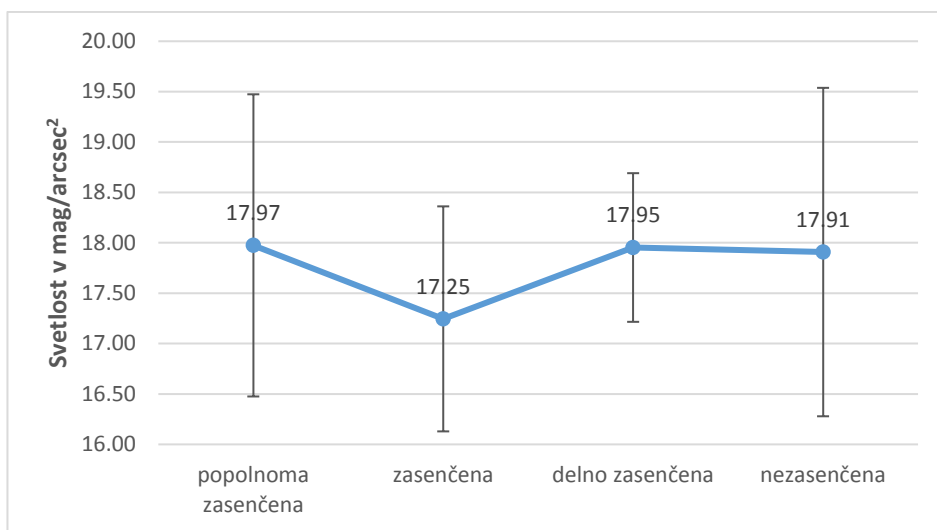
S slike 7 je razvidna očitna razlika v svetlobnem onesnaženju med obema dneva in v povprečju znaša 2 mag/arcsec². Na podlagi tega lahko zaključimo, da trenutno vremensko stanje v veliki meri vpliva na svetlobno onesnaženje bližnje okolice. Tak rezultat je bil pričakovan, saj oblaki prejeta svetlobo v veliki meri odbijejo nazaj proti tlu.

Predviden glavni razlog za svetlobno onesnaženje Gornje Radgone je neposredna bližina Avstrije, saj so v bližini meje termalni objekti in množica hotelov, ki pa je izdatneje osvetljena. Prav tako je osvetljen prehod čez mejo in njena okolica. To trditev potrjuje rezultat meritve GR1. K svetlobni onesnaženosti pripomorejo tudi nepravilno nameščene in izbrane svetilke za cestno razsvetljavo ter razsvetljava v okolici trgovin in ostalih pomembnejših zgradb. Večjo svetlobno onesnaženost smo na primeru točke GR3 zaznali v bližini sakralnega objekta in kulturno spomeniškega območja, ki je močno osvetljeno (velika gostota svetil). Na sliki 7 (levo) vidimo, da izstopata še točki GR5 in GR11. Prva se nahaja v dvorišču med stanovanjskimi objekti, medtem ko točka GR11 leži na vzpetini ob pokopališču.



Slika 7: Karta svetlobne onesnaženosti v Gornji Radgoni na dan 20. 5. 2020 ob jasnem vremenu (levo) in 23. 5. 2020 (desno) ob oblačnem vremenu.

Meritve so bile izvedene v bližini različno zasenčenih svetil. Količine svetlobne onesnaženosti ne moremo direktno povezati le z zasenčenostjo svetil v bližini (slika 8), saj je na lokacijah GR1 in GR3 osvetljenost zelo visoka kljub popolnoma zasenčenim svetilom nedaleč od pozicije merjenja. Kot je že navedeno, je predviden razlog za to večja gostota svetil v okolici teh dveh točk. Obratno velja za merilno mesto GR2, kjer je v bližini popolnoma nezasenčeno svetilo, svetlobna obremenjenost pa nizka. Na tem mestu je gostota svetil majhna, svetloba, ki jo oddajajo, pa je šibkejša.

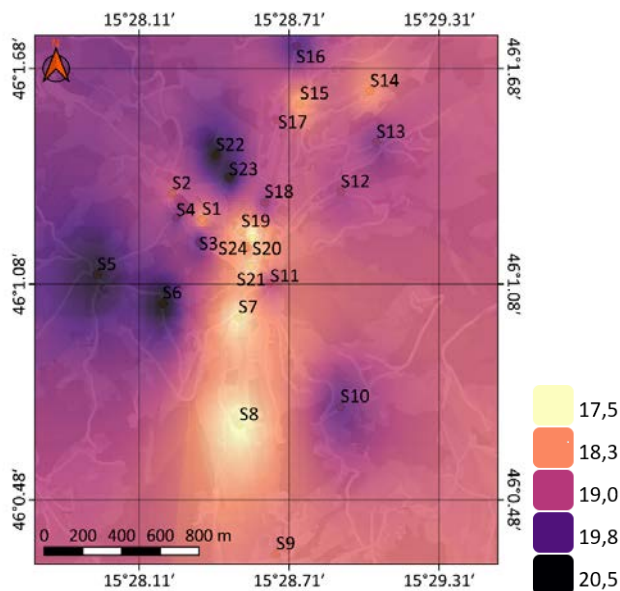


Slika 8: Svetlost v odvisnosti od načina zasenčenosti svetil v okolici lokacije meritev v Gornji Radgoni.

Zaključimo lahko, da na svetlobno onesnaženost Gornje Radgone ne vpliva le vrsta svetil in njihova zasenčenost, temveč tudi gostota svetil v bližini merilnega mesta in sama intenziteta oz. moč posameznih svetil. Graf na sliki 8 potrjuje opažanja na terenu.

4.3 Senovo

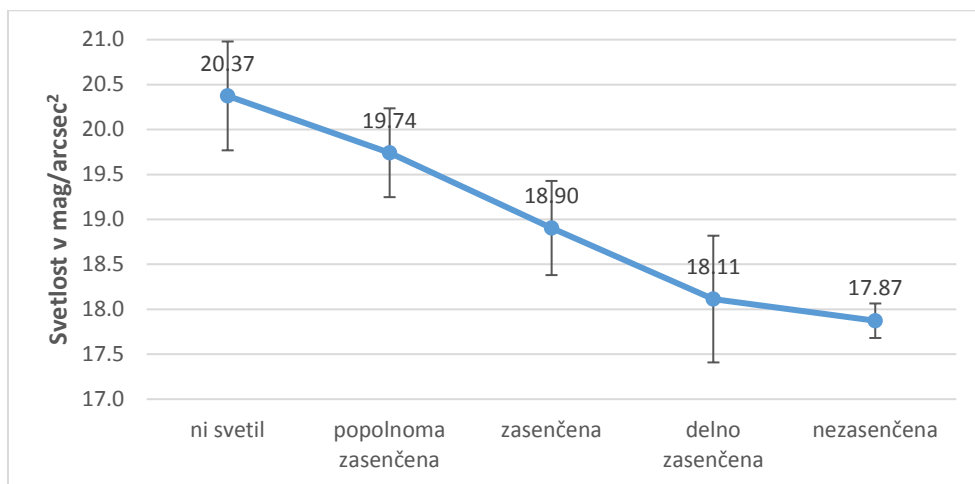
Na Senovem so bile meritve izvedene v noči med 26. 4. 2020 in 27. 4. 2020, natančneje med 22.25 in 1.17. Lune na nočnem nebu ni bilo, vreme pa je bilo v času meritev pretežno oblačno. Na karti (Slika 9) so prikazane vse meritve v tem časovnem obdobju.



Slika 9: Karta svetlobne onesnaženosti na Senovem v noči iz 26. 4. 2020 na 27. 4. 2020 ob pretežno oblačnem vremenu.

Meritve so bile izvedene v bližini stanovanjskih objektov, kulturnih spomenikov, javnih zgradb ter v bližnji okolici, brez kakršnih koli direktnih izvorov svetlobe, zavoljo pridobitve izhodišča za uspešno interpolacijo vmesnih razmer.

Tudi na Senovem smo bili pozorni na vrsto zasenčenosti svetil in povprečja osvetljenosti na določenih lokacijah (Slika 10).



Slika 10: Svetlost v odvisnosti od načina zasenčenosti svetil v okolici lokacije meritev na Senovem.

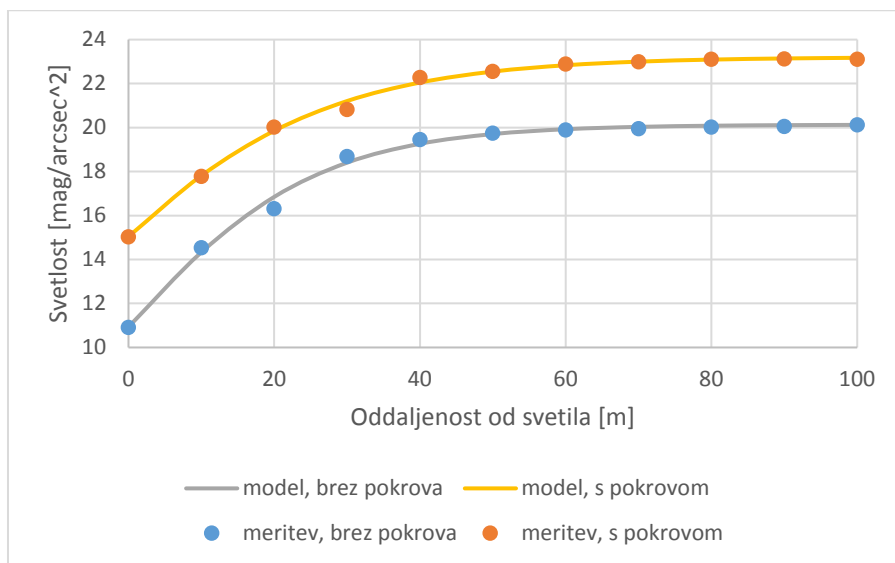
Lepo se vidi, da svetlobno onesnaženje skoraj linearno narašča s spreminjanjem zasenčenosti svetil. Najtemnejša so še vedno področja brez svetil in s pravilno zasenčenimi svetili, medtem ko največ svetlobnega onesnaženja povzročajo ravno svetila, ki niso v skladu z Uredbo o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja.

Iz analize zasenčenosti svetil lahko v primerjavi z Gornjo Radgono opazimo izrazito odvisnost med stopnjo pokritosti svetil in izmerjeno svetlostjo, prikazano na sliki 10. Glavni razlog bi lahko bil dodatek neosvetljenih merilnih točk, ki se po vrednostih znatno razlikujejo od ostalih točk ter tudi odsotnost žarjenja neba, saj je Senovo razmeroma oddaljeno od drugih večjih izvorov svetlobe ter tudi obdano s hribovji iz skoraj vseh smeri.

Senovo ima nižji svetlobni odtis od Gornje Radgone in Maribora. Na določenih lokacijah so sicer nepotrebni svetlobni viri, kot npr. pred osnovno šolo in pred cerkvijo. Vidimo tudi, da na obrobjih kraja osvetlitev pade na nizko vrednost in da območje ni pod vplivom oddaljenih izvorov svetlobe.

4.4 Oddaljevanje od svetilke

V sklopu raziskave smo preverili tudi odziv svetlobe pri oddaljevanju od svetila (Slika 11). Meritev je bila izvedena 18. 11. 2020 med 20.15 in 20.40 na Studenski ulici v bližini lokacije Most v Mariboru. Svetilka, ki je bila nameščena pod kotom 20° in približno 7 m nad tlemi, je bila obrnjena pravokotno na smer oddaljevanja. Opravili smo meritve s pokrovom in brez njega.



Slika 11: Nižanje osvetljenosti z oddaljenostjo od svetila. Meritev je bila izvedena 18. 11. 2020 med 20.15 in 20.40 ob jasnem vremenu. Svetilka je bila nameščena 7 m nad tlemi pod kotom 20°.

Za boljšo predstavbo pa smo izrisali tudi krivulji modela (Enačba 3).

$$svetlost = \frac{b_1}{1 + \left(\frac{b_1}{b_2} - 1\right) e^{-b_3 x}} \tag{3}$$

Kjer je:

x [m] - oddaljenost od svetila.

Vrednosti parametrov b_1 , b_2 in b_3 , ki smo jih dobili z metodo najmanjših kvadratov, so zapisane v tabeli 1.

Tabela 1: Vrednost parametrov b_1 , b_2 in b_3 za model pojemanja svetlosti z oddaljevanjem od svetila.

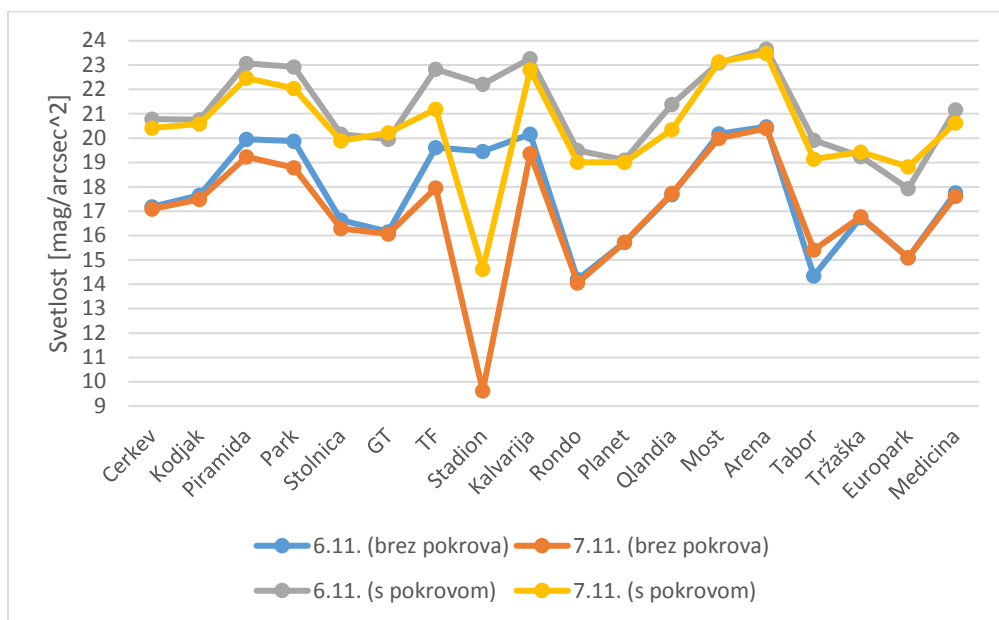
Parameter	Enota	Opis	Vrednost (brez pokrova)	Vrednost (s pokrovom)
b_1	[mag/arcsec ²]	Vrednost pri $x = \infty$	20,1324	23,2086
b_2	[mag/arcsec ²]	Vrednost pri $x = 0$	10,9327	15,0427
b_3	[1/m]	Začetni naklon	0,0731	0,0583

Količina svetlobe, ki pade na zaznavalo, je večja v primeru meritev brez pokrova, vrednosti svetlosti pri meritvah brez pokrova pa se ustalijo prej kot pri meritvah s pokrovom. Ker pokrov zaščiti zaznavalo pred emisijo svetlobe s strani, lahko sklepamo, da pri meritvah s pokrovom zaznamo svetlobo, ki jo svetilo odda nad vodoravnico.

Učinek svetila je prisoten do oddaljenosti približno 80 m od vira. Na Studenški ulici so svetilke postavljene na približno 30 m oddaljenosti, zato bi za zadostno vidljivost in dobro zagotavljanje varnosti v cestnem prometu lahko namestili cestne svetilke te vrste na vsakih 80 m.

4.5 Ljudski vrt

Na svetlobno onesnaženje v mestu pa ne vpliva le vreme, temveč tudi osvetljenost športnih prizorišč v nočnem času. Grafično smo primerjali meritve s 6. 11. 2020 in 7. 11. 2020 (Slika 12), ki so potekale pod enakimi pogoji v jasnem vremenu, le da je 7. 11. 2020 na Ljudskem vrtu potekala nogometna tekma, zaradi česar so bili v času meritev vključeni reflektorji.

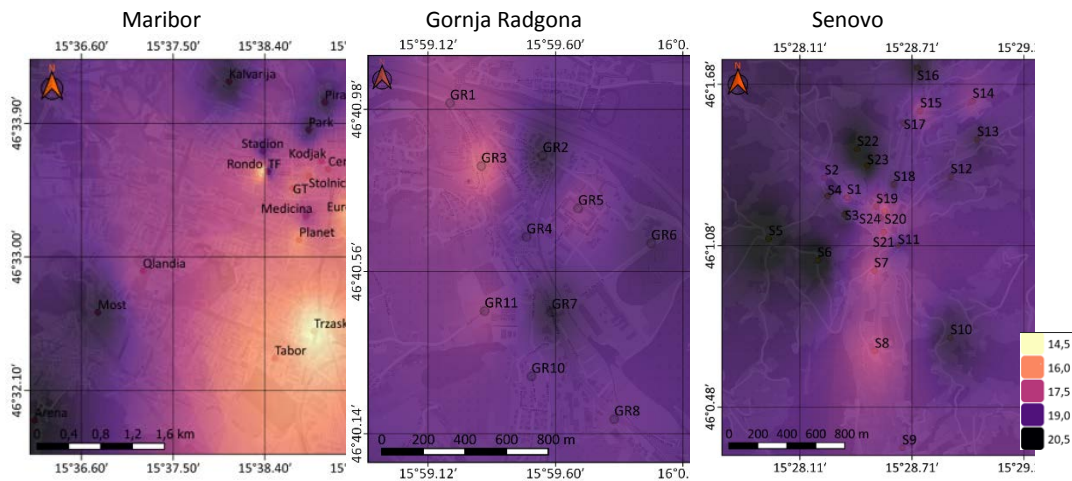


Slika 12: Primerjava meritev ob vklapljenih reflektorjih na stadionu Ljudski vrt.

Očitna je razlika v meritvah ravno na lokaciji Stadion, kjer zaradi vklapljenih reflektorjev, ki osvetlujejo tudi južno ploščad stadiona, pride do velike svetlobne emisije. Učinki reflektorjev so predvsem opazni na manj onesnaženih lokacijah v bližini Ljudskega vrta (Park in TF), delno pa lahko vidimo vpliv tudi pri Piramidi in Kalvariji. Na že bolj onesnaženih lokacijah ni bilo prepoznati očitnih razlik.

5. Diskusija

Na vseh treh območjih merjenja so določeni deli bolj onesnaženi od drugih, k čemur v veliki večini pripomore količina virov svetlobe in njihova (ne)ustrezna namestitvev. V raziskavi pa smo želeli meritve na izbranih območjih postaviti v širši kontekst in jih med seboj primerjati (Slika 13).



Slika 13: Primerjava kart svetlobne onesnaženosti vseh treh območij (Maribor - levo, Gornja Radgona - sredina, Senovo - desno). V Mariboru so zajeta povprečja vseh meritev v obdobju od 10. 6. 2020 do 15. 11. 2020, v Gornji Radgoni so meritve potekale 20. 5. 2020, na Senovem pa 26. 4. 2020.

S primerjave kart (Slika 13) je vidno, da je Maribor med obravnavanimi lokacijami najbolj onesnaženo območje. Jasno je, da Maribor zaradi svoje velikosti in števila prebivalcev za ohranjanje varnosti ponoči potrebuje večjo osvetljenost nekaterih območij. Večja površina mesta v tem primeru pomeni tudi več kulturnih in zgodovinsko pomembnih zgradb, ki so ponoči osvetljene, več prebivalcev pa predstavlja več potrošnikov, kar navdušuje oglaševalce, ki svoje izdelke oz. storitve oglašujejo na osvetljenih reklamnih panojih. Nedvomno sta manj onesnaženi območji Gornja Radgona in Senovo. Z izjemo javne cestne razsvetljave in osvetljenosti pomembnejših zgradb območji nista preveč svetlobno zasičeni. Najmanj svetlobno onesnaženo je Senovo, ki je tudi po površini najmanjše območje z najmanj prebivalci. Povprečje vseh meritev v Mariboru znaša $17,3 \text{ mag/arcsec}^2$, v Gornji Radgoni $18,8 \text{ mag/arcsec}^2$ in na Senovem $19,2 \text{ mag/arcsec}^2$. V preteklosti je že bilo narejenih nekaj raziskav svetlobnega onesnaženja na območju Slovenije. Žiberna (2016) je izvedel meritve na 48 merilnih točkah na območju. Povprečje njegovih meritev je znašalo $17,96 \text{ mag/arcsec}^2$. Če primerjamo vrednosti za območje Maribora, lahko zaključimo, da se je svetlobna onesnaženost v slabem desetletju precej povečala. V kolikor bomo s takšnim trendom nadaljevali, bomo kmalu izgubili temno nočno nebo.

6. Zaključek

Prekomerno osvetljevanje okolja ponoči negativno vpliva na zdravje in kakovost življenja ljudi, na razmnoževanje, prehranjevanje in migracijo živali, na razvoj rastlin, onemogoča pa tudi astronomska opazovanja, ki so izrednega pomena za razumevanje sveta, v katerem živimo. Na svetlobno onesnaženje vpliva več različnih dejavnikov. Med najpogostejše sodijo zgoščeno nameščene svetilke ulične razsvetljave, ki sevajo svetlobo v majhnih kotih nad vodoravnico, v veliki meri pa pripomore tudi razsvetljava različnih kulturnih spomenikov in drugih pomembnih zgradb, (praznih) parkirišč, športnih objektov ter reklamnih panojev. Prevelika osvetlitev pa v okolje posega veliko globlje, kot bi si lahko mislili na prvi pogled. Za vse večje potrebe po razsvetljevanju je potrebno vse več električne energije, ki pa se v večini še vedno proizvaja iz fosilnih goriv. Večja poraba električne energije pa pomeni tudi več izpustov CO₂, ki prispeva h globalnemu segrevanju.

Raziskavo smo izvedli na območju Maribora, Gornje Radgone in Senovega ter ugotovili, da so najbolj svetlobno onesnaženi predeli ob večjih trgovskih centrih, bolj prometnih cestah in v bližini pomembnejših zgradb, najmanj onesnaženi pa so obrobni in dvignjeni predeli mest. Dodatno pa na svetlobno onesnaženje sicer začasno, a izrazito vpliva osvetljenost športnih prizorišč. Primerjavo smo naredili na primeru vklopljenih reflektorjev na stadionu Ljudski vrt. Rezultati so zaskrbljujoči, saj svetloba ne onesnažuje le mikrolokacije, temveč smo zaznali njen vpliv tudi na vznožju Pohorja, ki je od Ljudskega vrta oddaljeno več kot 4 km.

Pri ohranjanju nočnega neba imamo v Sloveniji še precej prostora za napredek. K zmanjševanju svetlobnega onesnaženja neba lahko pristojni organi pripomorejo na način, da vse svetilke javne razsvetljave zamenjajo, tako da bodo ustrezale Uredbi (2007). Javna razsvetljava nekaterih ulic bi bila lahko senzorična in bi s polno močjo svetila le ob zaznavi gibanja. Predvsem v manjših krajih, kjer načeloma ponoči ni toliko prometa, bi takšen ukrep zelo pripomogel k zmanjšanju svetlobne onesnaženosti. Vsekakor pa bi lahko tudi povečali razdaljo med posameznimi svetilkami javne razsvetljave in na ta način zmanjšali njihovo število, predvsem vzdolž večjih mestnih vpadnic in na parkiriščih nakupovalnih središč, ki so ponoči osvetljena brez uporabnega razloga.

Najlažje je seveda odgovornost prenesti na nekoga drugega. Kljub vsemu lahko tudi posamezniki v veliki meri pripomoremo k zmanjšanju svetlobnega onesnaženja. Poskrbimo, da ob gradnji nepremičnin na dvorišča nameščamo le svetilke, ki ne sevajo svetlobnega toka nad vodoravnico, širimo glas o problematiki svetlobnega onesnaženja med znance in prijatelje ter redno opozarjamo pristojne organe na ureditev javne razsvetljave na območjih, ki vsebujejo nepravilno nameščene svetilke. Ni še vse izgubljeno. Omogočimo temno nočno nebo tudi prihodnjim generacijam.

Literatura

- Amedeo Argentiero, Roy Cerqueti, Mario Maggi: Outdoor light pollution and COVID-19: The Italian case, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 90, 2021, 106602, 10.1016/j.eiar.2021.106602.
- Salvador Bará, Fabio Falchi, Raul C. Lima, Martin Pawley: Keeping light pollution at bay: A red-lines, target values, top-down approach, *Environmental Challenges*, Volume 5, 2021, 100212, 10.1016/j.envc.2021.100212.
- Lovro Borovnik, 2018: Razvoj in izgradnja merilnika svetlobnega onesnaženja. Diplomsko delo, Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.
- Luis F. Camacho, Gabriela Barragán, Santiago Espinosa: Local ecological knowledge reveals combined landscape effects of light pollution, habitat loss, and fragmentation on insect populations, *Biological Conservation*, Volume 262, 2021, 109311, 10.1016/j.biocon.2021.109311.
- Kaja Czarnecka, Krzysztof Błażejczyk, Takeshi Morita: Characteristics of light pollution – A case study of Warsaw (Poland) and Fukuoka (Japan), *Environmental Pollution*, Volume 291, 2021, 118113, 10.1016/j.envpol.2021.118113.
- F. Falchi, P. Cinzano, D. Duriscoe, C. C. M. Kyba, C. D. Elvidge, K. Baugh, B. A. Portnov, N. A. Rybnikova, R. Furgoni. »The new world atlas of artificial night sky brightness.« *Science Advances*, let. 2, št. 6., junij 2016.
- Devin C. Fraleigh, Jackson Barratt Heitmann, Bruce A. Robertson: Ultraviolet polarized light pollution and evolutionary traps for aquatic insects, *Animal Behaviour*, Volume 180, 2021, Pages 239-247, 10.1016/j.anbehav.2021.08.006.
- Terrel Gallaway, Reed N. Olsen, David M. Mitchell: The economics of global light pollution, *Ecological Economics*, Volume 69, Issue 3, 2010, Pages 658-665, 10.1016/j.ecolecon.2009.10.003.
- Kalšek, L. 2021: Raziskava svetlobnega onesnaženja v Mariboru in okolici. Magistrsko delo, Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.
- Héctor Lamphar, Miroslav Kocifaj, Jorge Limón-Romero, Jorge Paredes-Tavares, Safei Diba Chakameh, Michal Mego, Natalia Jorgelina Prado, Yolanda Angélica Baez-Lopéz, Emiliano Raúl Diez: Light pollution as a factor in breast and prostate cancer, *Science of The Total Environment*, 2021, 150918, 10.1016/j.scitotenv.2021.150918.
- Medmrežje 1: <https://www.darksky.org/our-work/conservation/idsp/become-a-dark-sky-place/sky-quality-survey/>, povzeto 8. 9. 2021
- Medmrežje 2: <https://www.globeatnight.org/sqm.php>, povzeto 8. 9. 2021
- Medmrežje 3: <http://www.unihedron.com/projects/darksky/>, povzeto 19.10.2021
- Medmrežje 4: <https://www.maribor.si/podrocje.aspx?id=144>, povzeto 4. 11. 2021
- Medmrežje 5: <https://www.maribor.si/dokument.aspx?id=35909>, povzeto 4. 11. 2021
- Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja. Uradni list 81/2007. 7.9.2007. Ljubljana.
- Zihao Zheng, Zhifeng Wu, Yingbiao Chen, Guanhua Guo, Zheng Cao, Zhiwei Yang, Francesco Marinello: Africa's protected areas are brightening at night: A long-term light pollution monitor based on nighttime light imagery, *Global Environmental Change*, Volume 69, 2021, 102318, 10.1016/j.gloenvcha.2021.102318.
- Žiberna, I. 2016: Svetlobna onesnaženost na območju Maribora. *Revija za geografijo*, let. 11, št. 2, str. 119-130.

- Žiberna, I. Kisilak, A., Rajh, M., Zagorc, I., Hozjan, Ž. 2018: Svetlobna onesnaženost na območju Pohorja. *Revija za geografijo*, let. 13, št. 2, str. 105-122.
- Žiberna, I. in Ivajnšič, D. 2018: Daljinsko zaznavanje svetlobne onesnaženosti v Sloveniji. *Revija za geografijo*, let. 13, št. 1, str. 113-132.
- Žiberna, I. in Ivajnšič, D. 2020: Svetlobna onesnaženost na območju Pomurske statistične regije. *Revija za geografijo*, let. 15, št. 1, str. 141-152.

LIGHT POLLUTION MEASUREMENTS IN MARIBOR, GORNJA RADGONA AND SENOVO

Summary

Light pollution is the presence of artificial light in the nighttime natural environment. The phenomenon is due to light emissions from artificial sources that amplify the natural light of the environment. It manifests itself in many ways and is perceived as a luminous sky over cities, glare from strong light or radiation from the environment into neighbouring buildings or other areas (Falchi et al. 2016). Light pollution has many negative impacts on the natural environment (Camacho et al. 2021), animals (Fraleigh et al. 2021) and humans. The most serious impacts include endangering human health, disrupting the function of various ecosystems and hindering astronomical observations. Lamphar et al. (2021) found a causal link between long-term exposure to light pollution and the incidence of breast cancer. Deterioration in the field of light pollution is observed by researchers around the world. For example, Zheng et al. (2021) note a significant increase in lighting in protected areas in Africa between 1992 and 2018. During this period, they even observed an acceleration in the increase of light pollution.

Several studies on light pollution have already been conducted in Slovenia. Žiberna (2016) analysed the Maribor area and presented the results of analyses of light pollution flowers and resources used for public lighting. Žiberna and Ivajnsič (2018) analysed data obtained from satellite observations for the area of Slovenia. The Pohorje area was studied by Žiberna et al. (2018), highlighting the impact of night skiing. Žiberna and Ivajnsič (2020) studied the Pomurje area and highlighted Goričko as the darkest area.

The survey was conducted in three areas in the eastern part of Slovenia, namely Maribor, Gornja Radgona and Senovo (Figure 1). For the measurements we used a specially made device designed for measuring light at night or at low light irradiation with the sensor TSL237. The device is equipped with the Arduino Nano microcontroller and measures the brightness in $\text{mag} / \text{arcsec}^2$.

In Maribor, the measurements were carried out from 10 June 2020 to 15 November 2020, always in the absence of the moon, but in different weather conditions. The map (Figure 5) shows the mean values of all measurements made without lunar occultation. The most light-polluted parts of Maribor are in the city centre, near shopping facilities and important city entrances, while the least light-polluted parts are on the outskirts of the city and on the surrounding hills. Most of the lights around Maribor are not or only partially shaded, i.e. they do not comply with the 2007 Light Pollution Act. It can be assumed that the darkest areas are those where there is no lighting or where the lights are fully dimmed, while pollution is higher for improperly installed and dimmed lights (Figure 6). We studied the impact of the football stadium lighting. We found that the impact primarily affects the immediate neighbourhood, but can be measured as far as the foothills surrounding the city.

In Gornja Radgona, the measurements were carried out under two different weather conditions. The measurements took place on 20 May 2020 (Figure 7 left) between 22:20 and 23:45 in clear weather, while the measurements on 23 May 2020 (Figure 7 right) took place between 22:10 and 23:15 in cloudy weather.

Figure 7 shows the clear difference in light pollution between the two days and a mean value of $2 \text{ mag} / \text{arcsec}^2$, from which we can conclude that the current weather situation strongly influences light pollution in the area. Such a result was to be expected, as the clouds largely reflect the received light back towards the ground.

The expected main reason for the light pollution in Gornja Radgona is the close proximity to Austria, as there are thermal resorts and a large number of hotels near the border, which are abundantly illuminated. The border crossing and its surroundings are also illuminated. Improperly installed and selected luminaires for street lighting and lighting near shops and other important buildings also contribute to light pollution. In the case of point GR3, higher light pollution was found near the sacred building and the cultural monument, which is brightly lit (high luminance). In Figure 7 (left) we can see that points GR5 and GR11 also stand out. The first is located in the courtyard between the residential buildings, while point GR11 is located on a hill next to the cemetery.

The measurements were taken near lights with different levels of shading. The extent of light pollution cannot be attributed only to the dimming of nearby luminaires (Figure 8), because at sites GR1 and GR3 the illuminance is very high despite the luminaires being fully dimmed not far from the measurement position. As mentioned earlier, the expected reason for this is the higher density of lighting near these two points. The opposite is true for measurement point GR2, where there is completely unobstructed light nearby and the light load is low. At this point, the density of the lights is low and the light they emit is weaker. From this we can conclude that the light pollution of Gornja Radgona is not only influenced by the type of lights and their shading, but also by the density of lights near the measurement point and the intensity or power of the individual lights. The graph in Figure 8 confirms the field observations.

In Senovo, the measurements were taken on the night of 26 April 2020 to 27 April 2020, more precisely between 22:25 and 01:17. There was no moon visible in the night sky and the weather was mostly cloudy at the time of the measurements. The map (Figure 9) shows all measurements during this time period. The measurements were taken near residential buildings, cultural monuments, public buildings and in the immediate vicinity without direct light sources in order to obtain a starting point for the successful interpolation of the intermediate conditions.

Excessive night-time lighting has negative effects on human health and quality of life, on animal reproduction, feeding and migration, on plant development, and also prevents astronomical observations that are extremely important for understanding the world we live in. Light pollution is influenced by a number of factors. Among the most common are the compactly installed lamps of street lighting, which emit light in small corners above the horizontal, and the illumination of various cultural monuments and other important buildings, car parks, sports facilities and billboards. Excessive lighting, however, penetrates the environment much deeper than one might think at first glance. Increasing electricity demand ultimately leads to more CO₂ emissions, which contributes to global warming.

The study was conducted in the area of Maribor, Gornja Radgona and Senovo and found that the most light-polluted areas are near larger shopping centres, busier roads and near important buildings, while the least pollution occurs in peripheral areas and higher areas of the cities. In addition, light pollution is temporarily but significantly affected by the lighting of sports facilities. We carried out a comparison using the switched-on floodlights of the Ljudski vrt stadium as an example. The results

are worrying, as the light not only pollutes the microsite, but we also detected its effects at the foot of Pohorje Mountain, which is more than 4 km away from the stadium.

When it comes to preserving the night sky, we still have a lot of room for improvement in Slovenia. The relevant authorities can contribute to the reduction of light pollution by replacing all luminaires of public lighting according to the regulation (2007). The public lighting of some streets could be sensor-based and would only light up at full power when movement is detected. Especially in smaller places, where in principle there is not so much traffic at night, such a measure would help considerably to reduce light pollution. In any case, we could also increase the distance between the individual lamps of public lighting and thus reduce their number, especially along the major city entrances and in the car parks of shopping centres, which are illuminated at night for no good reason.

But individuals can also make an important contribution to reducing light pollution. When building properties, we make sure to only install lamps that do not emit light beyond the horizontal, to spread the word about the problem of light pollution among acquaintances and friends, and to regularly alert the relevant authorities to regulate public lighting in areas with improperly installed lamps.