

SVETLOBNA ONESNAŽENOST NA DRAVSKEM POLJU

IGOR ŽIBERNA,¹ EVA KONEČNIK KOTNIK,¹

DANIJEL IVAJNSIČ,^{1,2}

¹ Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Maribor, Slovenija
igor.zibera@um.si, eva.konecnik@um.si, dani.ivajnsic@um.si,

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija
dani.ivajnsic@um.si

Svetlobno onesnaževanje predstavlja obliko onesnaževanja okolja, ki v javnosti še ni v dovolj veliki meri prepoznana. V poglavju smo predstavili stanje svetlobnega onesnaženja na Dravskem polju in njegove spremembe v obdobju 2013–2021. Procese spreminjanja svetlobnega onesnaženja smo prikazali s pomočjo podatkov daljinskega zaznavanja. Drugi vir podatkov so predstavljale meritve s Sky Quality Metrom, ki v svetu predstavlja standardiziran način merjenja svetlobnega onesnaženja. Prostorske razlike v stopnji svetlobne onesnaženosti med posameznimi deli Dravskega polja smo prikazali tudi z vsenebnimi posnetki in njihovo analizo.

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.ff.11.2023.8](https://doi.org/10.18690/um.ff.11.2023.8)

ISBN
978-961-286-806-2

Ključne besede:

Dravsko polje,
svetlobna onesnaženost,
radianca,
daljinsko zaznavanje,
prostorske razlike



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.ff.11.2023.8](https://doi.org/10.18690/um.ff.11.2023.8)

ISBN
978-961-286-806-2

Keywords:

Dravsko polje,
light pollution,
radiance,
remote sensing, spatial
differences

LIGHT POLLUTION ON THE DRAVSKO POLJE REGION

IGOR ŽIBERNA,¹ EVA KONEČNIK KOTNIK,¹

DANIJEL IVAJNSIČ,^{1,2}

¹ University of Maribor, Faculty of Arts, Maribor, Slovenia
igor.zibera@um.si, eva.konecnik@um.si, dani.ivajnsic@um.si,

² University of Maribor, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Maribor, Slovenia
dani.ivajnsic@um.si

Light pollution represents a form of environmental pollution that is not yet widely recognized as such by the public. In the chapter, we presented the state of light pollution on the Dravsko polje region and its changes in the period 2013-2021. The processes of changing light pollution were shown with the help of remote sensing data. The second source of data was measurements with the Sky Quality Meter, which represents a standardized way of measuring light pollution in the world. Spatial differences in the level of light pollution between individual parts of the Dravsko polje were also shown with all-sky images and their analysis.



Uvod

Svetloba prežema naša življenja. Nič okoli nas ne bi moglo obstajati brez svetlobe. Skoraj vsaka oblika življenja, ki se je razvila na planetu Zemlja, je pridobivala energijo, potrebno za svoje preživetje, iz sončne svetlobe ali pa se je prehranjevala z organizmi, ki so tega zmožni. Življenje na Zemlji in svetloba sta zelo tesno povezana, preprosto zato, ker brez svetlobe življenje ne bi bilo mogoče (Caraveo 2023).

Javna razsvetljava v urbanih območjih je doživela hitrejši razvoj zlasti od prve polovice 19. stoletja, še bolj pa z uporabo električnih sijalk od konca 19. stoletja naprej. Razvoj mest in suburbanizacija sta vplivala na prostorsko širjenje območij z umetno razsvetlavo in na njeno intenziviranje (uporaba vedno močnejših sijalk) (Meier idr. 2015). Ob uporabnih učinkih umetne svetlobe pa le-ta tudi sporoča živim organizmom, da je dan in s tem moti njihov cirkadiani ritem (naravni bioritem, ki sinhronizira različne pomembne procese v telesu). Povedano drugače: umetni viri svetlobe se obnašajo kot motilec, npr. človeške biološke ure, ki nadzoruje raven številnih hormonov v krvi (med drugim melatonina, močnega antioksidanta z neposrednim učinkom na imunski sistem) in povzročajo številne druge težave, kot so motnje spanja, glavoboli, utrujenost pri delu, stres, debelost in nekatere vrste raka (Pauley 2011).

S širjenjem nočne umetne razsvetljave niso prizadeti samo ljudje. Svetlobno onesnaženje predstavlja resno grožnjo živalim in rastlinam, saj negativno vpliva na njihovo fiziologijo. Motnje vzorcev svetlobe in teme vplivajo na ekološko dinamiko in ogrožajo celotne ekosisteme. Svetloba služi tudi kot pomemben pokazatelj številnih procesov, ki potekajo v rastlinah. Izpostavljenost umetni svetlobi lahko vegetaciji sporoča napačne informacije, saj navidezno podaljša dolžino dneva in simulira tisto, kar se naravno dogaja med vegetacijskim obdobjem. To lahko spremeni vzorce cvetenja in spodbuja nadaljnjo rast ter preprečuje, da bi drevesa razvila mirovanje, kar jim omogoča preživetje zime (Rich, Longcore 2006). Nenazadnje sij neba moti ne samo astronomska opazovanja, ampak tudi onemogoča stik človeka z zvezdnatim nebom. Približno ena tretjina svetovnega prebivalstva živi na območju, kjer Rimska cesta zaradi umetne svetlobe ponoči ni več vidna. Nočno nebo in zvezde je UNESCO že leta 1992 priznal kot svetovno dediščino, ki jo je treba zaščititi (Caraveo 2023).

Upoštevati je vredno tudi gospodarsko plat vprašanja. Ocenjuje se, da se 15 % vse porabljene električne energije na svetu uporabi za razsvetljavo. V tem smislu lahko svetlobno onesnaženje, ki ga povzroča prekomerno ali nepotrebno nočno osvetljevanje, obravnavamo kot zapravljanje energije, nepotrebno potrošnjo denarja, višanje emisij toplogrednih plinov in porabe surovin ter v končni fazi višanje ekološkega odtisa človeka (Ministry of the ... 2022).

Svetlobno onesnaževanje postaja eden od najbolj tipičnih primerov onesnaževanja okolja, ki je rezultat človekove dejavnosti, njegov obseg in intenzivnost pa kažeta izrazito rast (Cinzano 2000; Garstang 2004; Bennie idr. 2014). Analize satelitskih posnetkov v nočnem kanalu kažejo, da 83 % svetovnega in 99 % evropskega prebivalstva živi v svetlobno onesnaženem nočnem okolju (sij neba presega 14 $\mu\text{cd}/\text{m}^2$) (Falchi idr. 2016). Kyba in ostali (2017) navajajo, da se je globalna svetlobna onesnaženost, analizirana na osnovi podatkov satelita Suomi, v drugem desetletju 21. stoletja povečevala za 2,2 % letno. Znižanje stopnje svetlobne onesnaženosti so beležile redke države, pa še te pogosto zaradi vojnih razmer (npr. Sirija in Jemen).

Podatki in metodologija dela

Za potrebe analize svetlobne onesnaženosti na Dravskem polju smo uporabili več pristopov: analizo radiance na osnovi podatkov daljinskega zaznavanja, analizo lastnih meritev s Sky Quality Metrom (SQM) na terenu in analizo vsenebnih posnetkov, pridobljenih na terenu.

Analiza svetlobne onesnaženosti s pomočjo daljinskega zaznavanja je v zadnjih desetletjih postala priljubljena metoda za tovrstne raziskave. Pregledno stanje svetlobne onesnaženosti na celotnem območju smo analizirali na osnovi satelitskih posnetkov satelita Suomi. Med senzorji, montiranimi na satelitu, je tudi Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), ki ga sestavlja nabor 22 različnih tipal, med katerimi eno snema površje v t. i. dnevno-nočnem kanalu (Day/Night band ali DNB). Prostorska resolucija svetlobnega elementa (piksla) v nadiru (točki na površini Zemlje, ki se nahaja točno pod satelitom) je okoli 750 m x 750 m (Jensen 2018). Podatki snemanj so dostopni na spletni strani Ameriške agencije za oceane in atmosfero (Spletni vir 1).

V bazi podatkov se nahajajo georeferencirani sloji mesečnih povprečij, pri čemer so izločene situacije, v katerih so podatki o nočnih virih svetlobe na zemeljskem površju popačeni zaradi oblačnega vremena, vpliva svetlobe Lune (zlasti ob polni Luni) in požarov v naravi. Vrednosti svetlobnih virov so izražene v nanowatih na steradian na kvadratni centimeter ($nW/sr\text{ cm}^2$). Ena od slabosti tipala je ta, da je spektralni razpon svetlobe, ki jo zaznava, med 500 in 900 nanometri. Tipalo je torej »slepo« za skrajni modri del v vidnem delu spektra. Večina novejših t. i. »belih« LED sijalk, ki so na pohodu v zadnjem desetletju in s katerimi zamenjujejo visoko- in nizkotlačne natrijeve sijalke, ima maksimum sija prav v modrem delu spektra. Zamenjavo oranžnih natrijevih z »belimi« LED sijalkami tipalo torej zazna kot padec sija, čeprav se je stanje po namestitvi »belih« LED sijalk v resnici poslabšalo. Nameščanje »belih« LED sijalk povzroča bistveno intenzivnejše sipanje svetlobe v nočnem času, s tem pa večje svetlobno onesnaženje, česar pa tipalo VIIRS žal ne zazna.

Kljub vsemu so podatki satelita Suomi NPP trenutno najkakovostnejši podatki v dnevno-nočnem kanalu, tako glede prostorske in časovne ločljivosti kot tudi glede dinamičnega razpona informacij o stanju svetlobne onesnaženosti. Izpostavljene lastnosti daljinsko zaznanih podatkov o svetlobni onesnaženosti smo na primeru Dravskega polja povezali tudi s podatki o rabi tal v letu 2021. Tako smo izračunali povezavo (Pearsonov koeficient korelacije) med povprečno radianco in deležem obdelovalnih površin, deležem pozidanih površin ter deležem gozdnih površin po katastrskih občinah (v nadaljevanju k. o.). Primerjali smo tudi stanje svetlobne onesnaženosti območij Natura 2000 (šest poligonov; Spletni vir 2) V regiji.

Na izbranih lokacijah na Dravskem polju smo meritve sija neba opravljali z merilcem SQM, proizvajalca Unihedron, ki velja za standardizirani način merjenja sija neba za potrebe analize stopnje svetlobnega onesnaženja. Vrednosti meritev se izražajo v magnitudah na kvadratno ločno sekundo ($\text{mag}/\text{arc sec}^2$). Vrednost pomeni sij točke na nebu, ki je velika $1'' \times 1''$, v magnitudah. Za urbana, svetlobno močno onesnažena območja, so značilne vrednosti reda velikosti med 16 in $18\text{ mag}/\text{arc sec}^2$, medtem ko so za temnejše lokacije značilne vrednosti okoli $22\text{ mag}/\text{arc sec}^2$ in več. Meritve smo opravili ob jasnem vremenu in brez Lune na nebu.

Stanje svetlobne onesnaženosti na izbranih lokacijah na terenu smo vizualizirali tudi s pomočjo vsenebnih posnetkov: digitalni fotoaparati z nameščenim objektivom »ribje oko« (fish-eye), katerega vidno polje znaša 180° , smo usmerili v zenit in tako zajeli sij neba od obzorja do nadglavišča. Pri fotografiranju smo zaradi primerljivosti

na vseh lokacijah uporabili enake nastavitve (ISO 1600, ekspozicija 60 sekund, zaslonka 2,8). Vsenebne posnetke smo v nadaljevanju prikazali tudi v nepravih barvah, pri čemer smo vsakemu svetlobnemu elementu (pikslu) pripisali vrednost od 0 do 255.

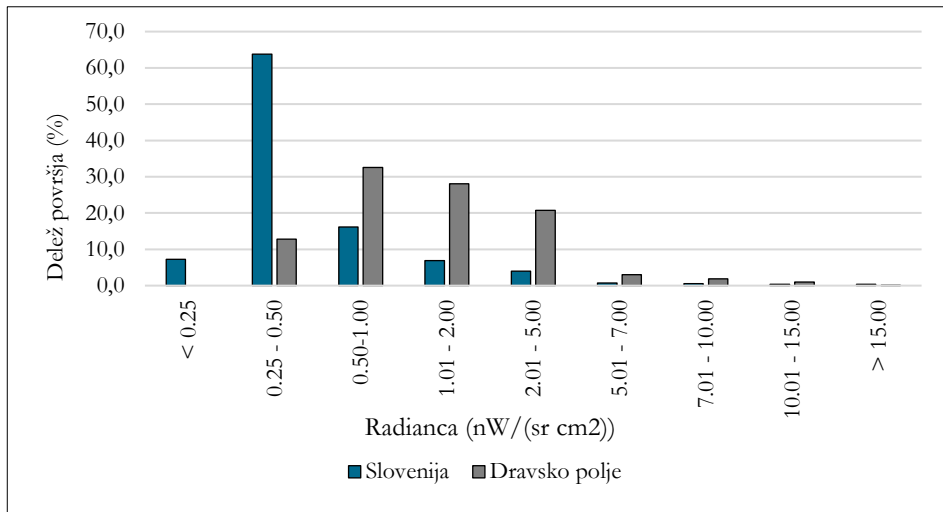
Na Dravskem polju smo na devetih lokacijah opravili meritve sija neba v zenitu in v osmih smereh neba 45° nad obzorjem po standardni metodi z merilcem SQM. Na istih lokacijah smo izdelali vsenebne posnetke z namenom analizirati jakost in velikost svetlobnih kupol, vidnih na obzorju na izbranih lokacijah.

Svetlobna onesnaženost na Dravskem polju na osnovi analize satelitskih posnetkov

Povprečna radianca na Dravskem polju je leta 2013 znašala 1,60 nW/(sr cm²) in se je do leta 2021 dvignila na 1,76 nW/(sr cm²). Minimalna radianca se je od leta 2013, ko je znašala 0,25 nW/(sr cm²), do leta 2012 dvignila na 0,33 nW/(sr cm²), maksimalna pa s 17,50 nW/(sr cm²) na 18,24 nW/(sr cm²). Postavimo te podatke v širši kontekst. Povprečna radianca je leta 2021 v Sloveniji znašala 0,77 nW/(sr cm²), minimalna 0,20 nW/(sr cm²), maksimalna pa 108,78 nW/(sr cm²). V splošnem lahko torej ugotovimo, da Dravsko polje sodi med nadpovprečno svetlobno onesnažena območja. Mezoregija Dravska ravan, kamor poleg Dravskega polja uvrščamo tudi Ptujsko in Središko polje, se po povprečni radianci nahaja na tretjem mestu med 48 slovenskimi mezoregijami (za Savinjsko ravnjo s povprečno radianco 3,29 nW/(sr cm²) in Savsko ravnjo s povprečno radianco 2,94 nW/(sr cm²)). Po minimalni radianci sodi Dravska ravan na šesto mesto, po maksimalni radianci pa na četrto mesto (za Koprskimi brdi, Slovenskimi goricami in Mursko ravnjo).

Precej izpovedna je tudi primerjava strukture radiance med Dravskim poljem in Slovenijo leta 2021 (slika 1). V razredih radiance do 0,50 nW/(sr cm²), ki bi jih pogojno lahko označili kot svetlobno manj onesnažena območja, je delež površja na Dravskem polju nižji od deleža površja v Sloveniji, v vse ostalih razredih z višjo stopnjo svetlobnega onesnaženja pa delež površja na Dravskem polju presega delež površja v Sloveniji.

V razrede z radianco nižjo od 0,50 nW/(sr cm²) sodi 71,0 % slovenskega površja, a le 12,8 % površja Dravskega polja. Naj še dodamo, da temnih območij z radianco nižjo od 0,25 nW/(sr cm²) na Dravskem polju ni več, v Sloveniji pa so ta v letu 2021 še vedno pokrivala 7,2 % površja.

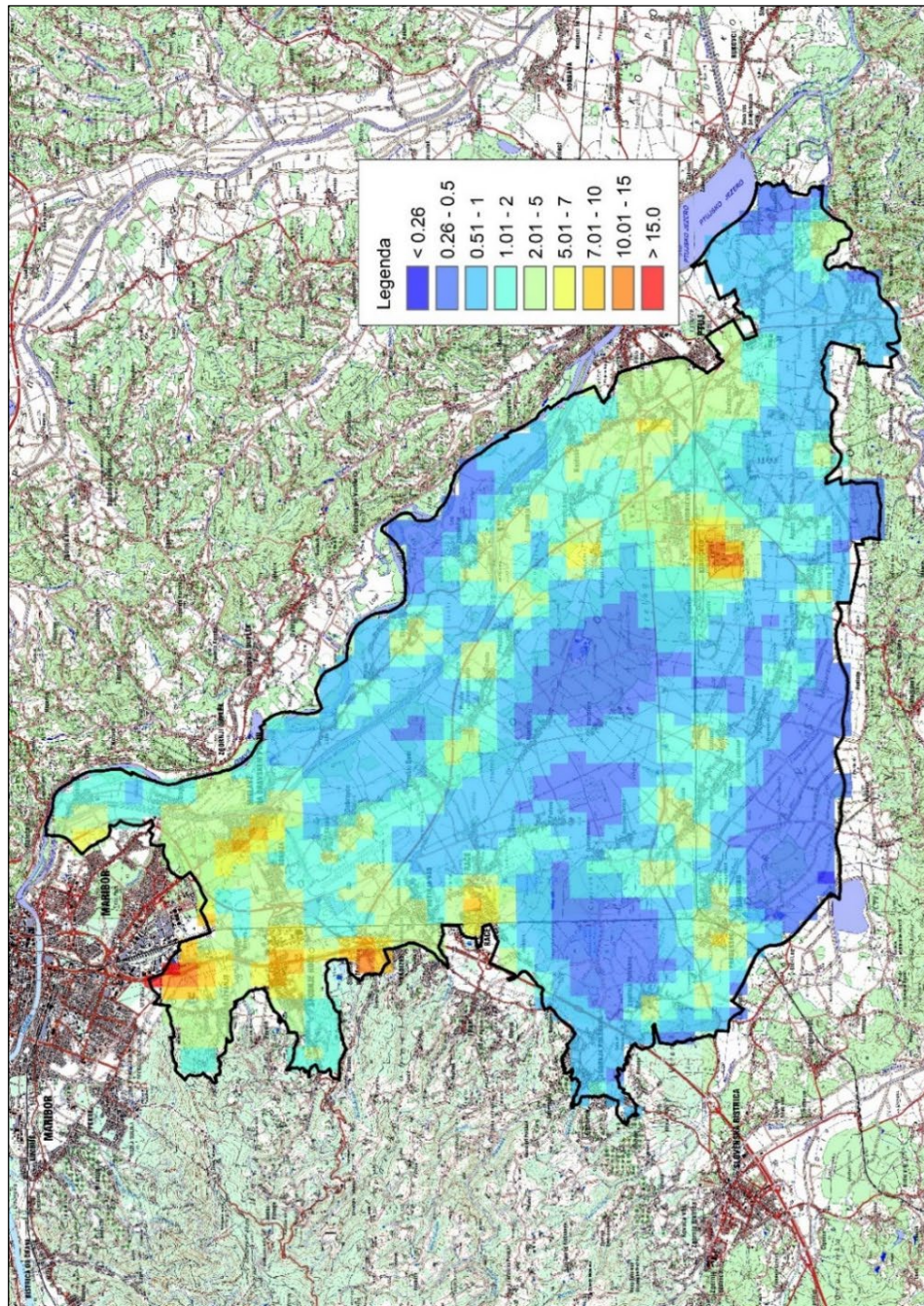


Slika 1: Struktura radianca v Sloveniji in na Dravskem polju leta 2021

Vir podatkov: Spletni vir 1.

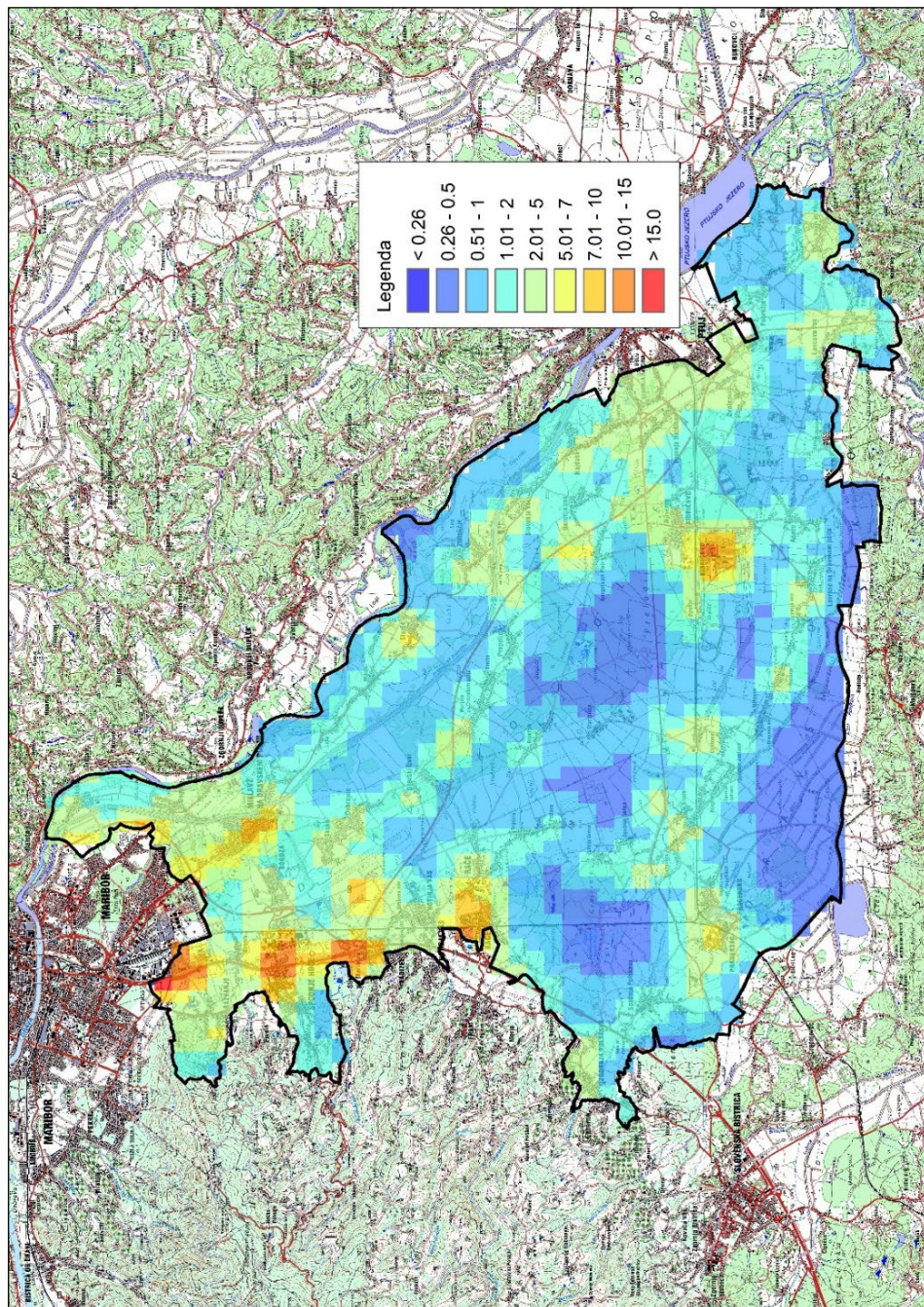
Stanje svetlobne onesnaženosti v letih 2013 in 2021 je prikazano na sliki 2 in sliki 3. Severni del Dravskega polja, ki je bližje Mariboru (občine Hoče - Slivnica, Miklavž na Dr. p. in Rače - Fram), je svetlobno bolj onesnažen kot južni del, v katerem je manj pozidanih površin (širše območje akumulacijskega jezera Požeg, območje med Starošincami in Zgornjo ter Spodnjo Gorico, območje med Brunšvikom, Kungoto, Strniščem in Starošincami, območje južno od Pragerskega, Sp. Jablan in Pleterja). Na naštetih območjih je več njivskih ali gozdnih površin in popolna odsotnost gručastih naselij. Najsvetlejši slikovni element ima radianco 18,24 nW/(sr cm²) in se nahaja na območju križišča med Tržaško in Papeževo cesto ob Intereuropi in Carinski upravi v k. o. Razvanje na robu Maribora. Najtemnejša slikovna elementa (0,33 nW/(sr cm²)) sta locirana južno od Polskave v k. o. Dragonja vas in k. o. Apače. Na obeh lokacijah se nahajajo njive na prehodu v gozdna pobočja na slemenu Savinsko.

Naslednji vzorec razporeditve svetlobne onesnaženosti je v povezavi z razporeditvijo naselij in cestnega omrežja med njimi. Na sliki 2 in sliki 3 izstopajo obcestna naselja ob cesti Miklavž na Dravskem polju–Starše–Hajdina–Ptuj, Miklavž na Dravskem polju–Dobrovce–Marjeta na Dravskem polju–Trniče–Prepolje–Kungota pri Ptuj, Šikole–Cirkovce–Pleterje–Lovrenc na Dravskem polju–Apače–Lancova vas. To je lepo vidno na sliki 4, na kateri so izrisani profili radianca, ki potekajo vzdolž izbranih naselij na Dravskem polju.



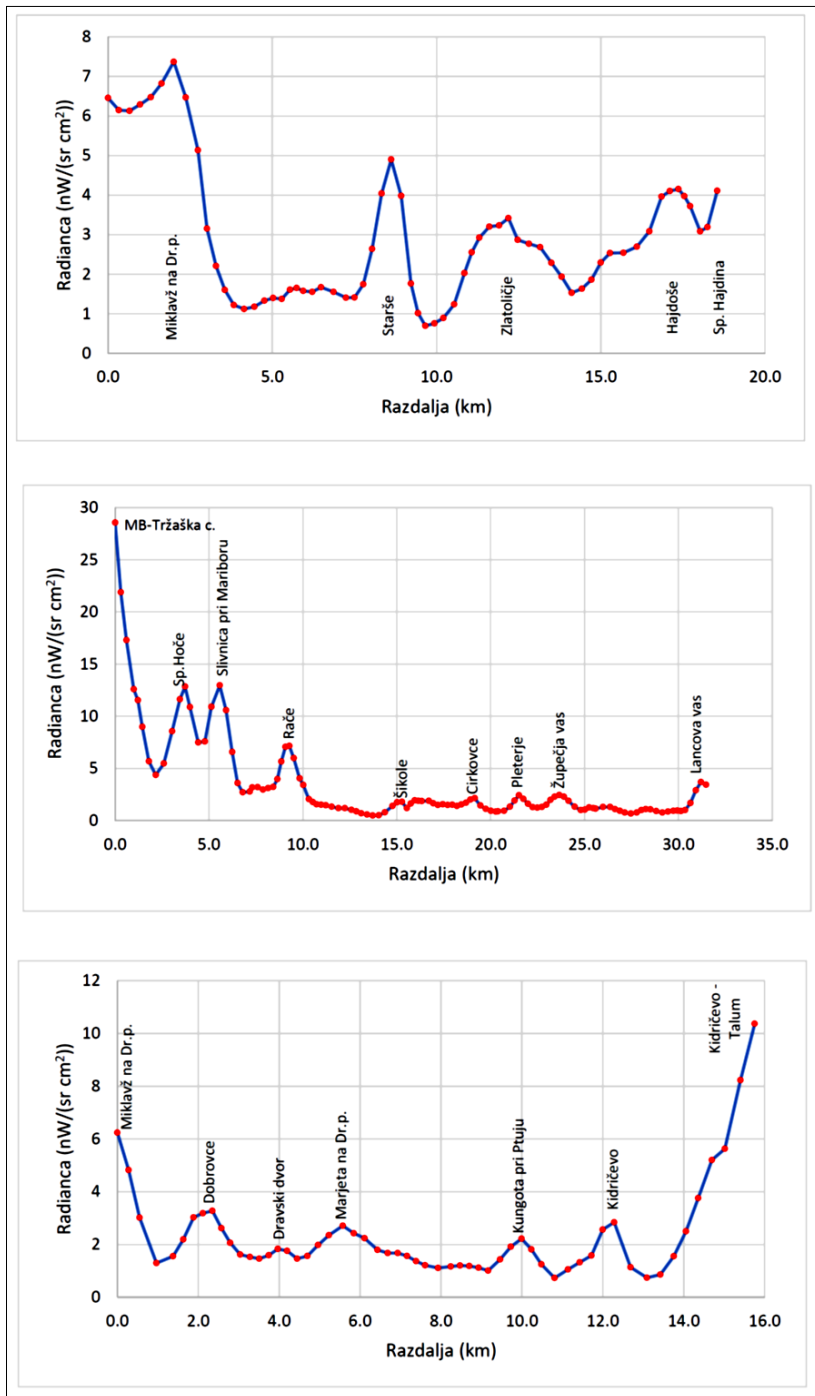
Slika 2: Radianca na Dravskem polju leta 2013

Vir podatkov: Spletni vir 1.

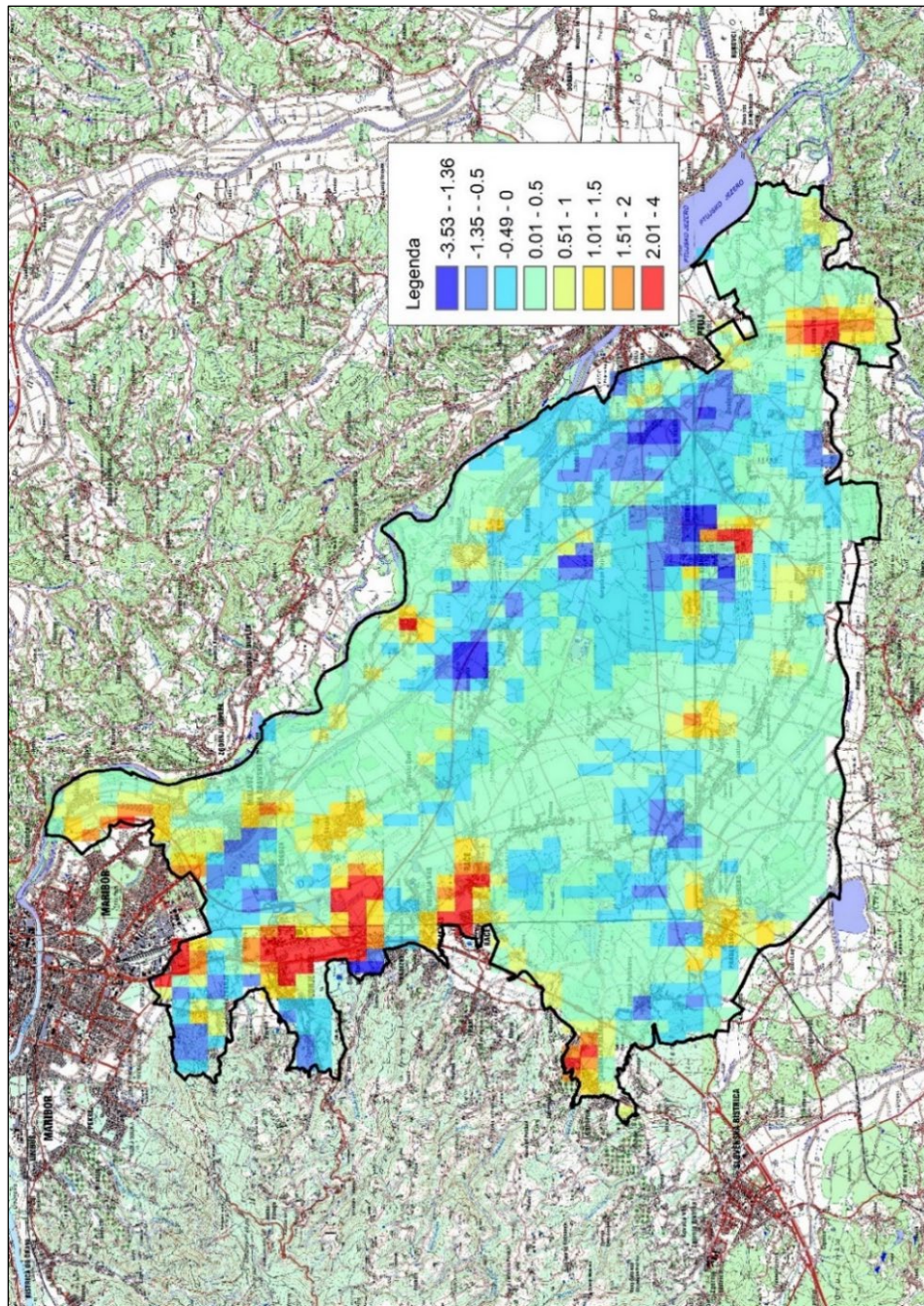


Slika 3: Radianca na Dravskem polju leta 2021

Vir podatkov: Spletni vir 1.



Slika 4: Izbrani profili radianca na Dravskem polju leta 2021



Slika 5: Razlika v radianci na Dravskem polju med letoma 2013 in 2021

Vir podatkov: Spletni vir 1.

Razlika v radianci na Dravskem polju med letoma 2013 in 2021 (slika 5) kaže na poslabšanje stanja na južnem obrobju Maribora (ob Tržaški cesti), v Spodnjih Hočah, v Slivnici in v Račah.

V vseh primerih je vzrok širjenje pozidanih površin, predvsem servisne dejavnosti, ki je osvetljena s še vedno pretežno visokotlačnimi natrijevimi sijalkami, a so te v večji meri zasenčene. Poslabšanje stanja je mogoče zaznati tudi v Zgornji Polskavi, jugovzhodnem delu Kidričevega in v Lancovi vasi. Slednje je primer, kako osvetljeni izvozi z avtocest v Sloveniji poslabšajo okolje. Odprtje »podravske avtoceste« med Slivnico in mejnim preходом Gruškovje je pomenilo izgradnjo številnih izvozov z avtoceste, pri čemer so novonastala krožišča, za razliko od tujine, v Sloveniji osvetljena. Radianco na območju Lancove vasi viša tudi osvetljena infrastruktura podjetja za ravnanje z odpadki ob izvozu z avtoceste.

Območja z znižano radianco na Dravskem polju lahko povežemo z zamenjavo starih, pretežno visokotlačnih natrijevih sijalk z LED sijalkami. Slednje so energetsko sicer varčnejše, vendar imajo višek sevanja v modrem delu spektra, ki ga senzori na satelitu Suomi slabše zaznavajo, kar se na karti kaže kot znižanje radiance. Območja z nižjo radianco, pretežno zaradi zamenjave z LED sijalkami, se najbolj izrazito kažejo v industrijski coni v Kidričevem, v Hajdini, v Kungoti pri Ptujju in v Marjeti na Dravskem polju, v manjši meri pa med Miklavžem na Dravskem polju in Mariborom, Slivnico ter na nekaterih drugih manjših območjih.

Prej omenjena dvojnost v stanju svetlobne onesnaženosti (obrobje Maribora na eni strani in južni del Dravskega polja na drugi strani) se kaže tudi v analizi radiance po katastrskih občinah. Najvišja povprečna radianca je bila leta 2021 v k. o. Spodnje Hoče (6,21 nW/(sr cm²)), Slivnica (6,08 nW/(sr cm²)), Razvanje (5,40 nW/(sr cm²)) in Dobrava (4,69 nW/(sr cm²)). Najnižjo povprečno radianco so imele k. o. Starošince (0,59 nW/(sr cm²)), Mihovce (0,61 nW/(sr cm²)), Pongrce (0,66 nW/(sr cm²)) in Pleterje (0,67 nW/(sr cm²)), torej k. o. v južnem delu Dravskega polja. Najvišjo minimalno radianco so beležile k. o. Dobrava (2,26 nW/(sr cm²)), Orehova vas (1,99 nW/(sr cm²)), Bohova (1,45 nW/(sr cm²)), Rogoza in Slivnica (obe po 1,24 nW/(sr cm²)).

Naj te podatke ovrednotimo še v drugi luči: med k. o. na Dravskem polju obstajajo velike razlike v radianci: kar 36 k. o. ima povprečno radianco nižjo od minimalne radiance v k. o. Dobrava, v devetih k. o. pa je maksimalna radianca nižja od

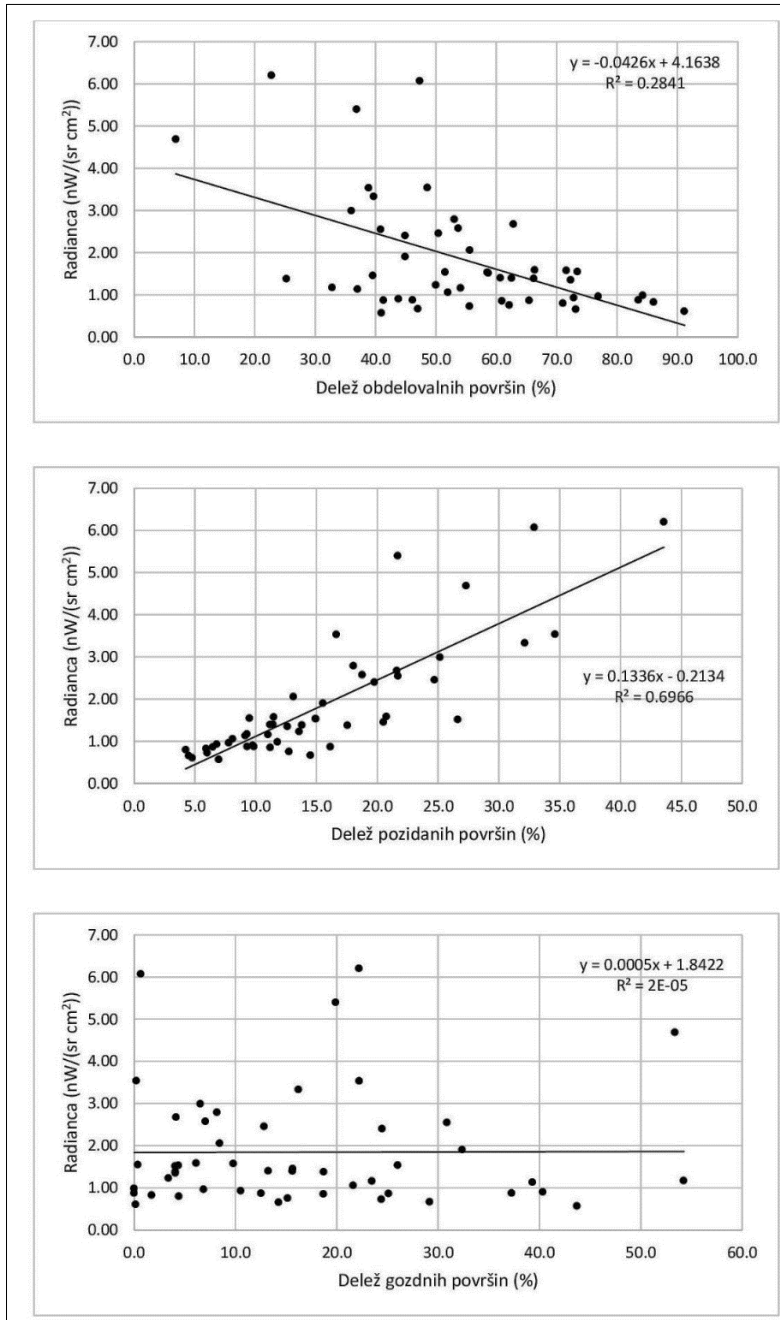
minimalne radiance v k. o. Dobrava! Tudi pri maksimalni radianci se kaže že omenjena dvojnost: ta je najvišja v k. o. Razvanje (18,24 nW/(sr cm²)), Slivnica (14,23 nW/(sr cm²)), Spodnje Hoče (13,80 nW/(sr cm²)) in Rače (12,03 nW/(sr cm²)), najnižja pa v k. o. Starošince (0,81 nW/(sr cm²)), Trnovec (1,17 nW/(sr cm²)) in Podova (1,46 nW/(sr cm²)). Razmerje med najnižjo in najvišjo maksimalno radianco po k. o. je bilo leta 2021 1 : 22,5. Pri povprečni radianci je to razmerje 1 : 10,7, pri minimalni radianci pa 1 : 6,8.

Obravnavali smo tudi povezavo med deležem izbranih kategorij rabe tal in povprečno radianco po katastrskih občinah na Dravskem polju leta 2021 (slika 6). Ta pristop ima sicer svoje pomanjkljivosti, ki izvirajo iz konfiguracije katastrskih občin. Zlasti na južnem delu Dravskega polja so oblike k. o. precej podolgovate in segajo od obcestnih naselij med Šikolami in Lancovo vasjo (ki so svetlobno bolj onesnažena) vse do južnega roba Dravskega polja (ki je svetlobno najmanj onesnaženo).

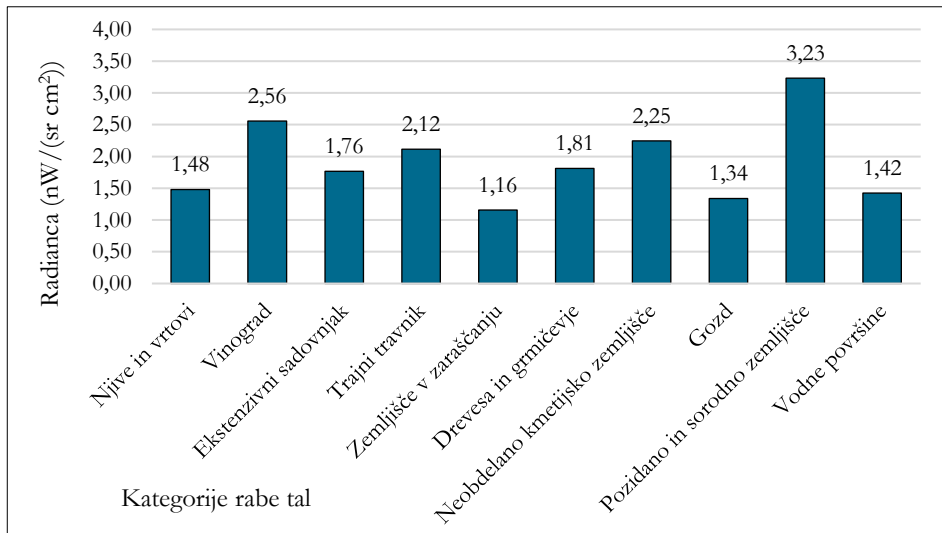
Tako povprečne vrednosti radiance po k. o. ne razkrivajo dejanskih razlik v radianci znotraj k. o. Rezultati kažejo, da so najvišje povezave med radianco in deležem pozidanih površin (Pearsonov korelacijski koeficient znaša 0,8346), nekoliko nižje pa med radianco in deležem obdelovalnih površin (0,5330).

Kar 69,9 % razlik v radianci po k. o. lahko torej pojasnimo z razlikami v deležu pozidanih površin. Nekoliko nepričakovana – skoraj nikakršna povezava –, se kaže med radianco in deležem gozdnih površin. Del nizke povezave si lahko razlagamo z dejstvom, da se svetloba iz virov svetlobnega onesnaževanja širi tudi v okolico, kar zvišuje radianco na površinah, kjer ni neposrednih virov svetlobnega onesnaževanja, čeprav so tam v splošnem vrednosti le-te nižje. Drugi del razlage izhaja iz prej omenjene pomanjkljivosti te metode.

Analizirali smo še povezavo med kategorijami rabe tal, ki na Dravskem polju pokrivajo več kot 0,1 % površja, in povprečno radianco (slika 7). Tudi tukaj se je pričakovano izkazalo, da je najvišja povprečna radianca na pozidanih in sorodnih zemljiščih (3,23 nW/(sr cm²)), najnižja pa na zemljiščih v zaraščanju (1,16 nW/(sr cm²)) in gozdnih površinah (1,34 nW/(sr cm²)). Tudi ta pristop ima pomanjkljivosti, ki izhajajo iz velikosti svetlobnega elementa (750 m x 750 m), saj je ta v primerjavi z velikostjo poligona nekaterih kategorij rabe tal precej grob.



Slika 6: Povezava med povprečno radianco in deležem obdelovalnih površin, deležem pozidanih površin ter deležem gozdnih površin po katastrskih občinah na Dravskem polju leta 2021



Slika 7: Povezava med povprečno radianco in kategorijami rabe tal na Dravskem polju leta 2021

Na območju Dravskega polja se nahajajo tudi območja Natura 2000. Ta pokrivajo šest poligonov, ki smo jih poimenovali Rački ribniki - Požeg, Pragersko, Velenik, Pohorje, Drava in Čreta. Želeli smo ugotoviti povprečno radianco na teh zavarovanih območjih, ki so zaradi širjenja umetne svetlobe tudi izpostavljena svetlobnemu onesnaževanju. Najvišja povprečna radianca je bila leta 2021 na območju Pohorje, ki zajema dva manjša poligona v Razvanju ter med Zgornjimi Hočami in Čreto. Povprečna radianca je tu znašala 1,75 nW/(sr cm²), maksimalna pa 5,19 nW/(sr cm²). Visoka povprečna radianca je tudi na območju Drava, ki zajema naravno strugo Drave in poteka od Dogoš do Slovenje vasi. Povprečna radianca je leta 2021 na tem območju znašala 1,18 nW/(sr cm²), maksimalna pa 4,72 nW/(sr cm²), in sicer na območju občine Miklavž na Dravskem polju. Svetlobno najmanj onesnažen je poligon Čreta, ki se nahaja med Pragerskim in Sestržami. Povprečna radianca je tu leta 2021 znašala 0,39 nW/(sr cm²), maksimalna pa 0,48 nW/(sr cm²). Povzamemo torej lahko, da so območja Natura 2000, ki se nahajajo v bližini virov svetlobnega onesnaževanja, prav tako izpostavljena tej obliki onesnaževanja. Za ponazoritev naj povemo, da je na Dravskem polju kar 34 katastrskih občin z nižjo povprečno radianco od povprečne radiance na poligonu Pohorje. Iz tega izhaja spoznanje, da so kljub omejitvam pri posegih v prostor na zavarovanih območjih le-ta še vedno izpostavljena vplivom onesnaževanja, ki se

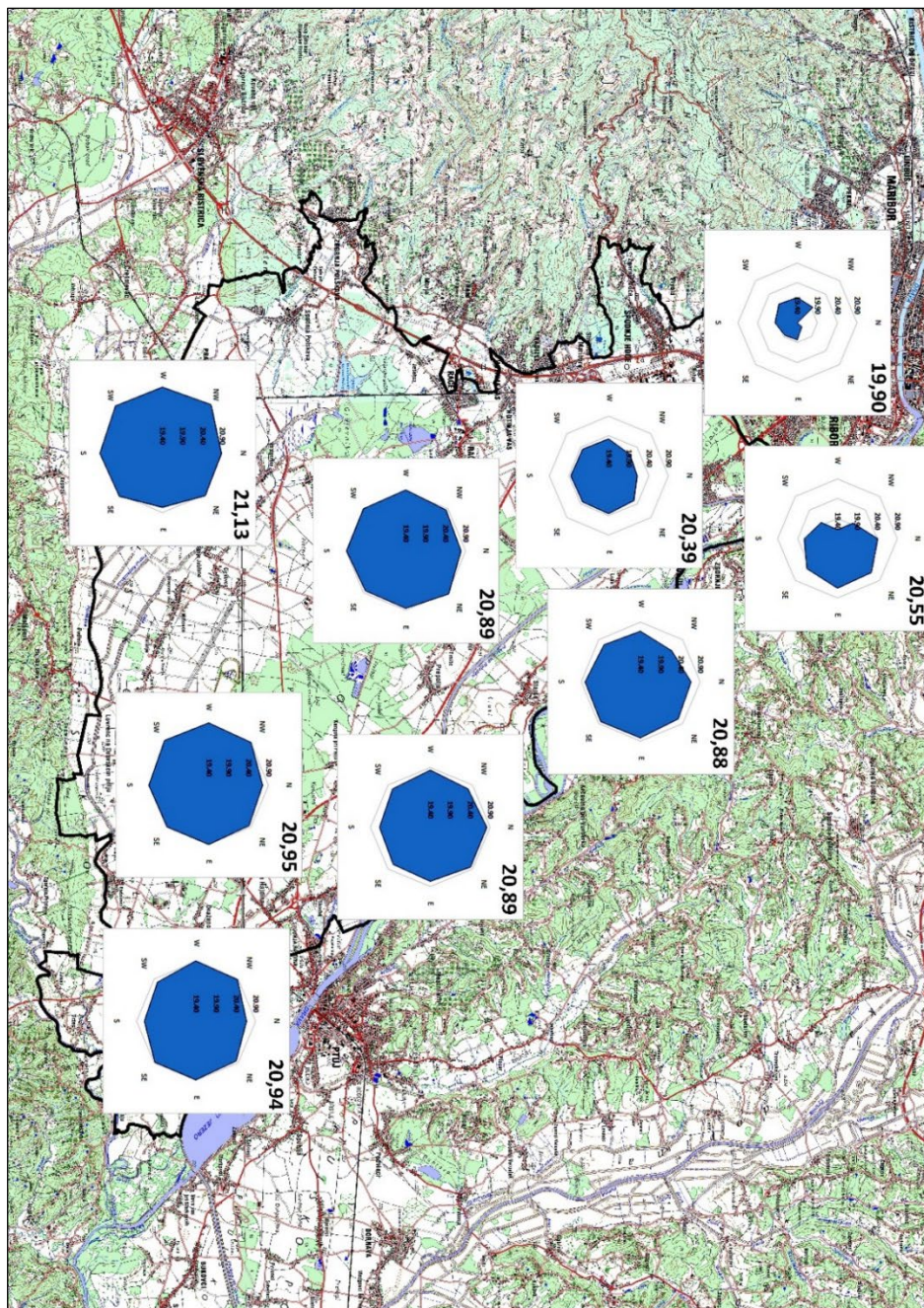
prosto širijo v atmosferi (hrup, onesnaževala v zraku, svetlobno onesnaženje). Za resnično zaščito zavarovanih območij bi pri omenjenih vplivih morali opredeliti tudi varstvene pasove zunaj zavarovanih območij.

Svetlobna onesnaženost na Dravskem polju v luči analize meritev sija neba in vsenebnih posnetkov

Rezultati meritev in rože svetlobnega onesnaženja so prikazani na sliki 8. Tudi pri meritvah se kaže izrazita dvojnost v jakosti svetlobne onesnaženosti. Severni del Dravskega polja je svetlobno bolj onesnažen zaradi bližine Maribora in zaradi močnejših virov svetlobnega onesnaževanja v občinah Hoče - Slivnica in Miklavž na Dravskem polju. Sij neba v zenitu je na območju med Tržaško cesto in Razvanjem znašal 19,90 magnitude na kvadratno ločno sekundo ($\text{mag}/\text{arc sec}^2$). Na tej lokaciji so vrednosti sija neba v vseh osmih smereh neba znižane, najbolj izrazito v severni smeri, kjer leži eden od večjih regionalnih virov svetlobnega onesnaženja – Maribor. Sij neba v severni smeri je na tej lokaciji znašal 19,39 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$, kar predstavlja najnižjo vrednost sija neba med vsemi opravljenimi meritvami (in torej daleč najvišjo stopnjo svetlobnega onesnaženja). Stanje je podobno tudi na območju med Zrkovci in Dogošami, kjer je sij neba v zenitu znašal 20,55 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$, vendar je tudi tukaj roža svetlobnega onesnaženja deformirana, z nižjimi vrednostmi v zahodni smeri (19,62 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$), medtem ko so v nasprotni smeri, iz katerih ni večjih virov svetlobnega onesnaženja, vrednosti dosegle 20,65 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$.

Še vedno neugodno stanje smo izmerili na lokaciji med Rogozo in Letališčem Edvarda Rusjana Maribor, kjer je sij neba v zenitu znašal 20,39 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$, pri čemer so bile najnižje vrednosti izmerjene v severni (20,11 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$) in severozahodni smeri (20,15 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$), torej v smeri Maribora in Spodnjih Hoč, kjer se nahajajo večji viri svetlobnega onesnaževanja na območju Industrijske cone Hoče med Spodnjimi Hočami in železniško progo.

S premikanjem merilnih mest proti jugu učinek svetlobnega onesnaževanja Maribora, Hoč in Miklavža na Dravskem polju slabi, vrednosti sija neba v zenitu so višje od 20,5 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$, rože svetlobnega onesnaženja so manj deformirane in v vse smeri neba kažejo višje vrednosti. Med Rošnjo in hidroenergetskim kanalom je bil izmerjen sij neba v zenitu 20,88 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$, med Starošincami in Podovo ter med Slovenjo in Gerečjo vasjo pa 20,89 $\text{mag}/\text{arc sec}^2$.



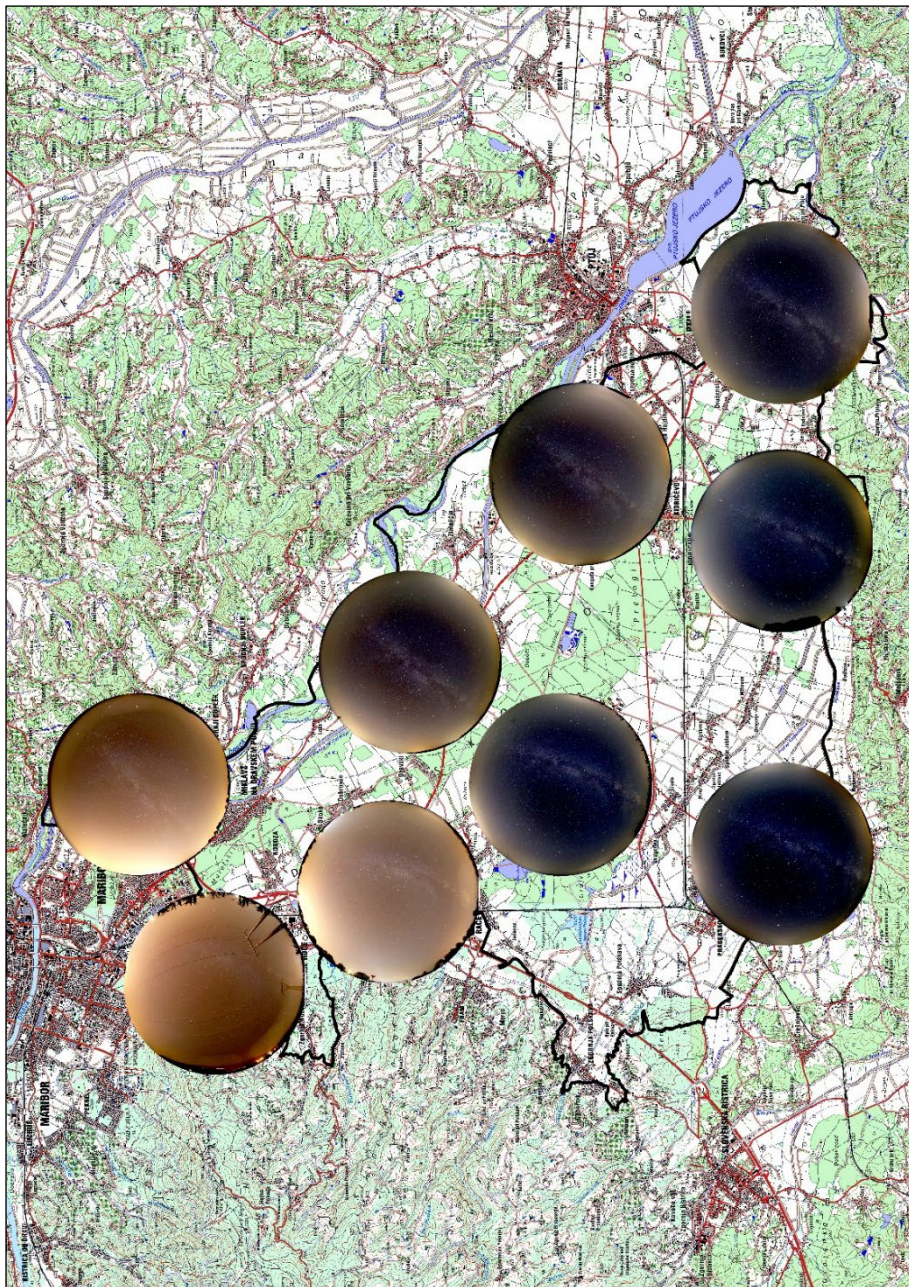
Slika 8: Rože svetlobnega onesnaženja na izbranih lokacijah na Dravskem polju

Opomba: vrednosti v levem zgornjem vogalu polarnih grafikonov pomenijo sij neba v zenitu na tej lokaciji (v mag/arc sec²). Vir: Lastne meritve, 15.–16. julij 2023.

Najmanjšo stopnjo svetlobne onesnaženosti in zato najvišje vrednosti sija neba v zenitu smo izmerili na lokaciji med Šikolami in Sestržami ($21,13 \text{ mag/arc sec}^2$), kjer smo tudi v južni in jugozahodni smeri (proti Savinskemu in Halozam) izmerili sij neba nad 21 mag/arc sec^2 . Sij neba v zenitu je bil nekaj nižji na lokaciji med Kidričevim in Lovrencem na Dravskem polju ($20,95 \text{ mag/arc sec}^2$) ter med Tržcem in Pobrežjem ($20,94 \text{ mag/arc sec}^2$). Na obeh lokacijah pa je bilo pri rožah svetlobnega onesnaženja zaznati večje lokalne vire svetlobnega onesnaženja. V Kidričevem izstopa območje tovarne Talum (kljub dejstvu, da smo meritve opravljali v noči iz sobote na nedeljo, ko je bilo večje parkirišče pred tovarno Talum prazno, je bilo le-to zelo močno osvetljeno) in območje Obrtne cone Kidričevo. Med Tržcem in Pobrežjem je bilo mogoče zaznati lokalno svetlobno kupolo, ki je nastala zaradi močno osvetljenega izvoza s podravske avtoceste v Lancovi vasi in osvetljene infrastrukture podjetja Ekologo ob gramoznici Tržec. Na lokacijah v jugovzhodnem delu Dravskega polja je v obliki rož svetlobnega onesnaženja mogoče zaznati tudi vpliv svetlobnega onesnaževanja, ki prihaja s Ptuja.

Da bi prikazali dejansko prostorsko stanje svetlobnega onesnaženja na izbranih merilnih mestih, smo na teh izdelali vsenebne posnetke, na katerih je mogoče videti dejansko stanje nočnega neba, hkrati pa analizirati velikost in intenzivnost svetlobnih kupol na obzorju. Posnetki v izvorniku prikazujejo nebo, kot ga vidimo, če ležemo na tla in zremo v nadglavišče (zenit): sever je zgoraj, vzhod pa na naši levi strani. Pri umeščanju vsenebnih posnetkov v kartografske podlage pa smo zaradi lažje prostorske predstave vse posnetke zrcalili preko navpične osi. Na ta način smo dobili lažjo predstavo o izvoru svetlobnih kupol (slika 9).

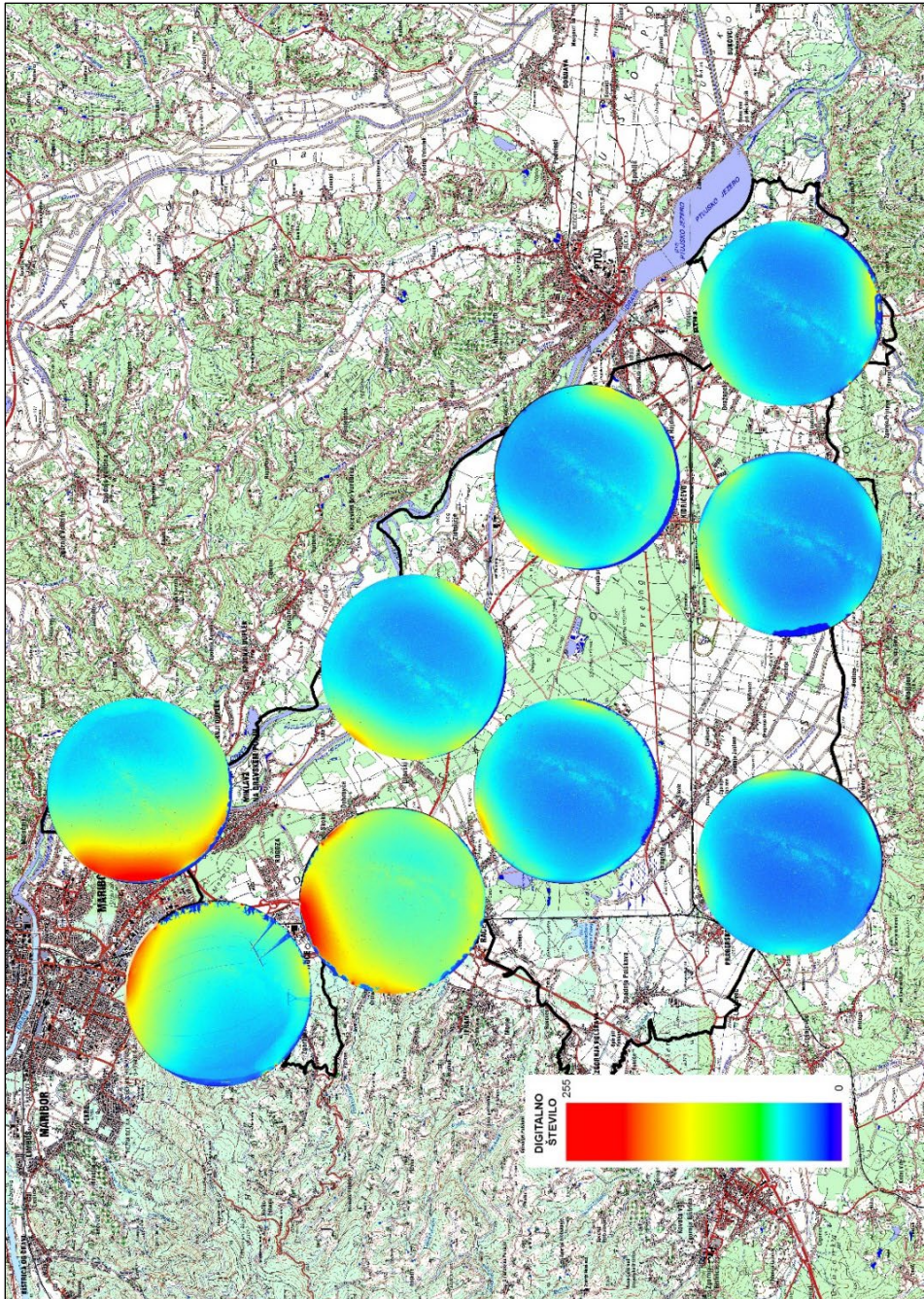
Vsi posnetki so bili izdelani v noči s 16. na 17. julij 2023, ko Lune ni bilo nad obzorjem in ob popolnoma jasnem vremenu. Najprej pade v oči zelo svetlo nočno nebo v severnem delu Dravskega polja (lokacije Razvanje, Dogoše in Spodnje Hoče). Rimska cesta je komaj vidna, s prostimi očmi pa je na terenu ni mogoče zaznati. Upoštevati namreč moramo, da so posnetki narejeni z visokimi ISO vrednostmi (1600) in z daljšimi ekspozicijami (60 sekund), ki omogočajo, da senzor v digitalnem fotoaparatu dlje časa akumulira fotone. Človeško oko te sposobnosti nima, zato je zaznavanje šibkejših objektov v svetlobno onesnaženem okolju bistveno slabše.



Slika 9: Vsenebni posnetki na izbranih lokacijah na Dravskem polju

Opomba: na vseh posnetkih se sever nahaja zgoraj. Zaradi lažje prostorske predstave o virih svetlobnega onesnaženja so vsenebni posnetki zrcaljeni okoli navpične osi.

Fotografije: Žiberna, 15.–16. julij 2023.



Slika 10: Vsenebni posnetki na izbranih lokacijah na Dravskem polju z izraženimi svetlobnimi elementi (piksli) v digitalnem številu

Naslednja značilnost, ki izstopa na vsenebnih posnetkih v severnem delu Dravskega polja, je izrazita svetlobna kupola Maribora, ki na lokacijah Razvanje in Dogošje sega do višinskega kota okoli 30°. Na lokaciji Dogošje je mogoče zaznati tudi svetlobno kupolo Miklavža na Dravskem polju, na lokacijah Razvanje in Spodnje Hoče pa tudi svetlobno kupolo Hoč. S pomikanjem proti jugu nebo vsaj v zenitu postaja temnejše, še vedno pa se na obzorju dajo prepoznati svetlobne kupole večjih naselij v okolici.

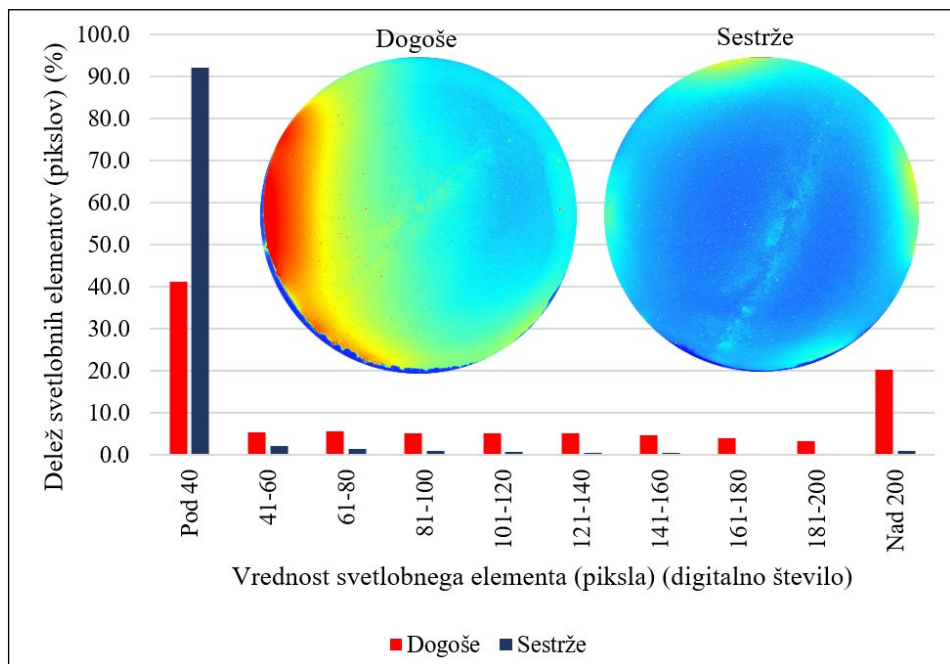
Svetlobna kupola Maribora je vidna na celotnem Dravskem polju, s pomikanjem proti jugu pa postajata vse bolj intenzivni svetlobni kupoli Ptuja in Kidričevega, na lokaciji Sestrže pa tudi svetlobna kupola Slovenske Bistrice. Na Lokaciji med Tržcem in Pobrežjem je mogoče prepoznati združeni svetlobni kupoli, ki smo jih omenili že pri analizi rož svetlobnega onesnaženja in imata svoj vir v močno osvetljenem izvozu s podravske avtoceste v Lancovi vasi in osvetljeni infrastrukturi ob gramoznici Tržec.

Analize vsenebnih posnetkov smo se lotili še na drug način. Vsenebne posnetke smo uvozili v isto sliko in nato vsak piksel glede na njegovo svetlost pretvorili v digitalno število z razponom od 0 do 255. Tako ustvarjene vsenebne posnetke smo prikazali v nepravilnih barvah z mavrično barvno paletto, pri čemer modri odtenki prikazujejo svetlobne elemente z nižjimi vrednostmi digitalnega števila (nižjo svetlostjo), rdeči pa tiste z višjimi vrednostmi digitalnega števila (višjo svetlostjo). Tako ustvarjeni vsenebni posnetki še nazorneje prikazujejo stanje svetlobne onesnaženosti, ohranili pa smo tudi medsebojno primerljivost (slika 10). Ugotovimo lahko, da nikjer na Dravskem polju ni lokacije, kjer bi bilo obzorje neokrnjeno. Vsenebni posnetki v severnem delu Dravskega polja vsebujejo večji del neba z višjimi digitalnimi števili, še najmanj »slabo« je nebo na skrajnem južnem delu Dravskega polja (npr. Sestrže), pa še tam je na obzorju mogoče zaznati svetlobne kupole Maribora, Ptuja in Kidričevega.

Za lokaciji Dogošje in Sestrže smo izračunali tudi frekvenčno distribucijo slikovnih elementov glede na razrede digitalnega števila (slika 11).

Vrednosti z digitalnim številom pod 40 na lokaciji Sestrže zajemajo kar 92,2 % vseh svetlobnih elementov, medtem ko je ta delež na lokaciji Dogošje le 41,3 %. Še izrazitejša je razlika med deležem slikovnih elementov z digitalnim številom nad 200: na lokaciji Sestrže znaša ta delež le 0,9 %, na lokaciji Dogošje pa 20,3 %, kar je 22,6-krat višji delež. Razmerje bi bilo še višje, če bi na lokaciji Dogošje brežina

hidroenergetskega kanala Zlatoličje na vzhodu in jugovzhodu ne zastirala del svetlobne kupole Maribora. Iz slike 11 izhaja, da je na lokaciji Sestrže delež slikovnih elementov z digitalnim številom nad 40 7,8 %, na lokaciji Dogoše pa kar 58,7 %. Na Dravskem polju torej kljub nadpovprečni svetlobni onesnaženosti nastopajo relativno velike razlike v stopnji svetlobne onesnaženosti.



Slika 11: Frekvenčna distribucija svetlobnih elementov (pikslov) na lokacijah Dogoš in Sestrže Opomba: višje vrednosti digitalnega števila predstavljajo svetlejše svetlobne elemente.

Sklep

Dravsko polje sodi med bolj svetlobno onesnažene regije v Sloveniji. Čeprav je v preteklosti veljalo za tipično ruralno pokrajino, ki mu je dajala glavno identiteto kmetijstvo, smo bili na Dravskem polju priča intenzivnemu procesu suburbanizacije. Poleg tega so na Dravskem polju nastali številni novi industrijski obrati, industrijsko-obrtne cone in nove komunikacije. Vse omenjeno je povzročilo nastanek novih virov svetlobnega onesnaževanja. Vseeno pa na Dravskem polju glede tega lahko opazimo dvojnost: severni del Dravskega polja je zaradi bližine Maribora in večjih naselij (Hoče, Miklavž na Dravskem polju, Slivnica, Rače), v katerih je veliko ponoči

osvetljenih industrijskih obratov ali s storitvenimi dejavnostmi povezane infrastrukture, svetlobno bolj onesnažen kot južni del Dravskega polja. Slednji je kljub vedno naraščajočem deležu pozidanih površin vseeno ohranil pretežno agrarni značaj. Izjemo predstavljajo Kidričevo, izvozi s podravske avtoceste in bližina Ptuja ter Slovenske Bistrice.

Na žalost so svetlobno onesnažena tudi zavarovana območja Nature 2000 na Dravskem polju, kjer je povprečna radianca marsikje višja od tiste v nezavarovanih območjih. Če bi resnično želeli zaščititi zavarovana območja, bi v ta namen morali omejevati tudi človekove posege v prehodnih conah izven območij Nature 2000.

Pojav t. i. »belih« LED sijalk, ki so z energetskega vidika varčnejše od prej pogosto uporabljenih sijalk (npr. visokotlačnih natrijevih sijalk), je sicer pomenil prihranek pri porabi energije, vendar je zaradi intenzivnejšega sipanja modre svetlobe povzročil večje prostorske učinke svetlobnega onesnaženja. Ena od poti za reševanje tega problema je dopolnitev zakonodaje o omejevanju svetlobnega onesnaževanja, ki bi natančneje določala standarde glede spektra sijalk, njihove jakosti in predvsem omejevala stihijsko postavljanje novih svetilk tam, kjer to ni potrebno. Slednje je zaenkrat prepuščeno (ne)osveščenosti lokalnih skupnosti in strokovnim službam v občinah, ki upravljajo prostorski razvoj.

Literatura in viri

- Bennie, J., Davies, T.W., Duffy, J.P., Inger, R., Gaston, K.J. (2014): Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights, *Scientific Reports* 4(3789):3789.
- Caraveo, P. (2023): Saving the Starry Night, Light pollution and its effect on science, culture and nature. Springer. Cham.
- Cinzano, P. (2000): The growth of light pollution in North-Eastern Italy from 1960 to 1995. *Memorie della Società Astronomica Italiana-J. Ital. Astron. Soc.* 71, 159.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C., Elvidge, C., Baugh, K., Portnov, B., Rybnikova, N., Furgon R. (2016): The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances* 2(6).
- Garstang, R.H. (2004): Mount Wilson Observatory: the sad story of light pollution. *Observatory* 124, 14–21.
- Goronczy, E.E. (2021): Light Pollution in Metropolises. Analysis, Impacts and Solutions. Springer. Wiesbaden.
- Jensen, J.R., 2018: Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective. 4th Edition. Pearson. Hoboken, New Jersey, ZDA.
- Karlicek, R., Sun, C., Zissis, G., Ma, R. (ur.) (2017): Handbook of Advanced Lighting Technology. Springer.
- Kyba, C. M., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C., Gaston, K., Guanter, L. (2017): Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advanced*. 2017; 3.

- Kyba, C.C.M., Altintas, Y.O., Walker, C.E., Newhouse, M. (2023): Citizen Scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022. Vol. 379, No. 6629.
- Longcore, T., Rich, C. (2004): Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*. Volume2, Issue4. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2).
- Meier, J., Hasenohrl, U., Krause, K., Pottharst, M. (2015): *Urban Lighting, Light Pollution and Society*. Routledge. New York and London.
- Ministry of the Environment of the Czech Republic (2022): Light pollution reduction measures in Europe. Working paper for the international workshop Light Pollution 2022, during the Czech Presidency. Prague.
- Pauley, S. M. (2011): Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Medical Hypotheses* 63-4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2004.03.020>.
- Petkovšek, Z., Hočevar, A. (1995): *Meteorologija. Osnove in nekatere aplikacije*. Biotehniška fakulteta. Oddelek za gozdarstvo. Ljubljana.
- Rich, C., Longcore, T. (ur.) (2006): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press. Washington.
- Spletni vir 1: <https://eogdata.mines.edu/products/vnl/> (1. 3. 2023).
- Spletni vir 2: <https://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page> (1. 3. 2023).

POVZETEK

Svetlobno onesnaževanje je ena od novejših oblik onesnaževanja okolja, ki se pojavlja zaradi širjenja in intenziviranja umetnega nočnega osvetljevanja javnih površin in objektov. Negativne posledice zaznavajo ne le rastlinske in živalske vrste, pač pa tudi človek (večja verjetnost pojavljanja nekaterih vrst raka, povečana raba energije, zmanjšanje kakovosti bivalnega okolja itd.). Posledice procesa suburbanizacije na Dravskem polju so vidne tudi v povečanju svetlobne onesnaženosti. Dravsko polje sodi med nadpovprečno svetlobno onesnažena območja. Mezoregija Dravska ravan, kamor poleg Dravskega polja uvrščamo tudi Ptujsko in Središko polje, se po povprečni radianci nahaja na tretjem mestu med 48 slovenskimi mezoregijami (za Savinjsko ravnjo in Savsko ravnjo). Po minimalni radianci sodi Dravska ravan na šesto mesto, po maksimalni radianci pa na četrto mesto (za Koprskimi brdi, Slovenskimi goricami in Mursko ravnjo). Temnih območij z radianco nižjo od 0,25 nW/(sr cm²) na Dravskem polju ni več, v Sloveniji pa so ta v letu 2021 še vedno pokrivala 7,2 % površja. Severni del Dravskega polja, ki je bližje Mariboru (občine Hoče - Slivnica, Miklavž na Dravskem polju in Rače - Fram), je svetlobno bolj onesnažen kot južni del, v katerem je manj pozidanih površin. Najsvetlejši slikovni element (18,24 nW/(sr cm²)) se nahaja na območju križišča med Tržaško in Papeževo cesto ob Intereuropi in Carinski upravi v k. o. Razvanje na robu Maribora. Najtemnejša slikovna elementa (0,33 nW/(sr cm²)) sta locirana južno od Polskave v k. o. Dragonja vas in v k. o. Apače. Vzrok za višanje radiance v obdobju 2013–2021 je širjenje pozidanih površin, predvsem servisne dejavnosti, ki je osvetljena s še vedno pretežno visokotlačnimi natrijevimi sijalkami, a so te v večji meri zasenčene. Odprtje »podravske avtoceste« med Slivnico in mejnim preходом Gruškovje je pomenilo izgradnjo številnih izvozov z avtoceste in krožišč, ki so za razliko od tujine, v Sloveniji osvetljena. Na območju Dravskega polja se nahaja tudi šest poligonov v okviru območja Natura 2000. Ta so prav tako izpostavljena svetlobnemu onesnaževanju. Na Dravskem polju je kar 34 katastrskih občin z nižjo povprečno radianco od povprečne radiance na območju Natura 2000, ki se nahaja na stiku Dravskega polja in Pohorja. Tudi na Dravskem polju se v zadnjih petnajstih letih vedno pogosteje pojavljajo t. i. »bele« LED sijalke, ki so z energetskega vidika varčnejše in pomenijo prihranek pri porabi energije, vendar so zaradi intenzivnejšega sipanja modre svetlobe povzročile večje prostorske učinke svetlobnega onesnaževanja. Ena od poti za reševanje tega problema je dopolnitev zakonodaje o omejevanju svetlobnega onesnaževanja, ki bi natančneje določala standarde glede spektra sijalk, njihove jakosti in predvsem omejevala stihijsko postavljanje novih svetilk tam, kjer to ni potrebno. Slednje je zaenkrat prepuščeno (ne)osveščenosti lokalnih skupnosti in strokovnim službam v občinah, ki upravljajo prostorski razvoj.