



dr. Igor Žiberna

Oddelek za geografijo
Filozofske fakultete v Mariboru
igor.ziberna@um.si

Svetlobna onesnaženost v Evropi in Sloveniji

Light Pollution in Europe and Slovenia

dr. Eva Konečnik
Kotnik

Oddelek za geografijo
Filozofske fakultete v Mariboru
eva.konecnik@um.si
COBISS: 1.01

Izvleček

Svetlobno onesnaževanje predstavlja obliko onesnaževanja okolja, ki je v zadnjih desetletjih zlasti v urbanih okoljih postalo vedno bolj prisoten pojav. V članku smo s pomočjo podatkov, pridobljenih z daljinskim zaznavanjem analizirali stanje svetlobne onesnaženosti po evropskih državah in spremembe v svetlobni onesnaženosti v obdobju 2013-2019. V drugem delu članka smo prikazali stanje svetlobne onesnaženosti po statističnih regijah, občinah in na območjih Natura 2000 v Sloveniji.

Ključne besede: svetlobna onesnaženost, radianca, Evropa, Slovenija, Natura 2000

Abstract

Light pollution is a form of environmental pollution which has increased considerably over the last decades, especially in urban areas. The article presents a light pollution analysis according to individual European countries and the changes in light pollution in the period 2013-2019 based on the data acquired with remote sensing. The second part of the article shows an overview of light pollution according to statistical regions, municipalities and Natura 2000 areas in Slovenia.

Keywords: light pollution, radiance, Europe, Slovenia, Natura 2000

Uvod

Tehnologija osvetljevanja, velika koncentracija prebivalstva na urbanih območjih, širjenje prometne infrastrukture in vedno večja gospodarska dejavnost so v 20. stoletju prispevali k razvoju svetlobnega onesnaževanja (Bennie idr., 2014). Svetlobno onesnaženje okolja je emisija svetlobe iz virov svetlobe, ki poveča naravno osvetljenost okolja. Povezave med stopnjo svetlobnega onesnaženja in človekovim delovanjem so tako tesne, da so karte svetlobne onesnaženosti uporabili celo kot integralni kazalec gostote prebivalstva, stopnje urbanizacije in gospodarske dejavnosti (Falchi idr., 2019) (Slika 1).

Na stopnjo svetlobne onesnaženosti so v preteklosti vplivali celo družbeni sistemi in vrednote, ki so iz tega izhajale. V tem smislu je sporočilna fotografija Berlina, ki so jo iz vesolja leta 2012 posneli astronauti z Mednarodne vesoljske postaje (Slika 2). Na njej so prepoznavne razlike v osvetljevanju med

Vzhodnim (desno) in Zahodnim Berlinom. Rdeča linija prikazuje približen potek Berlinskega zidu. V Vzhodnem Berlinu so prevladovale visoko in nizkotlačne natrijeve sijalke, ki dajejo značilno oranžno barvo (take svetilke še danes prevladujejo marsikje v Sloveniji). V Zahodnem Berlinu prevladuje hladna barva, ki je posledica uporabe fluorescentnih (živosrebrnih) sijalk, ki so bile energijsko manj potratne in lažje za vzdrževanje. Zanimiva je tudi ugotovitev, da je poraba energije na prebivalca v Vzhodnem Berlinu višja od tiste v Zahodnem Berlinu, čeprav je prvi po prihodku na prebivalca revnejši. Analize so še pokazale, da višja stopnja osvetljevanja ne vpliva na stopnjo varnosti v mestu (Kyba, 2017).

Svetlobno onesnaževanje postaja eden od najbolj tipičnih primerov onesnaževanja okolja, ki je rezultat človekove dejavnosti, njegov obseg in intenzivnost pa kažejo izrazito rast (Cinzano, 2000; Garstang, 2004; Bennie idr., 2014). Analize satelitskih posnetkov v nočnem kanalu kažejo, da 83 % svetovnega in 99 % evropskega prebivalstva



Slika 1: Mozaik nočnega satelitskega posnetka Zemlje. Nočni posnetek našega planeta je zanimiv tudi z geografskega vidika, saj v primerjavi z dnevnim posnetkom bolj neposredno kaže stopnjo človekove aktivnosti na našem planetu.

Vir: Medmrežje 1

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, povečevala za 2,2 % letno. Znižanje stopnje svetlobne onesnaženosti so beležile redke države, pa še te pogosto zaradi vojnih razmer (npr. Sirija in Jemen).

V prispevku obravnavamo stanje svetlobnega onesnaženja v Evropi in Sloveniji na nivoju statističnih regij in občin, poseben poudarek smo dali analizi svetlobne onesnaženosti na zavarovanih območjih Natura 2000.

Metodologija

Za meritve svetlobne onesnaženosti so na tržišču že dobrih deset let na voljo različne izvedbe merilca sija neba Sky Quality Meter (SQM), ki ga izdeluje kanadsko podjetje Unihedron in ki je po vsem svetu sprejet kot standardiziran način merjenja svetlobne onesnaženosti. Prednosti uporabe merilca SQM sta zelo enostavna uporaba in takojšen dostop do podatkov. Slabost pridobivanja podatkov s SQM je, da je podatek točkovni. Če želimo analizirati stanje svetlobne onesnaženosti na širšem območju, je potrebno ponavljati meritve v prostoru, kar je lahko zamudno.

Razvoj tehnologije daljinskega zaznavanja posameznih okoljskih komponent je omogočil hitro pridobivanje podatkov o svetlobni onesnaženosti za širše območje, saj so vsi podatki georeferencirani. Ameriška agencija



Slika 2: Razlike v stopnji svetlobne onesnaženosti, ki so posledica različnega družbenega sistema, so še danes vidne na posnetku Berlina, narejenem z Mednarodne vesoljske postaje leta 2012. Rdeča linija prikazuje približen potek Berlinskega zidu.

Vir: Medmrežje 2

Svetlobno onesnaževanje postaja eden od najbolj tipičnih primerov onesnaževanja okolja, ki je rezultat človekove dejavnosti, njegov obseg in intenzivnost pa kažeta izrazito rast.

za oceane in atmosfero (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) je oktobra leta 2011 izstrelila vremenski satelit Suomi National Polar-orbiting Partnership, ali na kratko Suomi NPP. 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 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 (Medmrežje 3). Vrednosti radiance so izražene v nanowatih na steradian¹ na kvadratni centimeter (nW/(sr cm²)). 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, v katerem pa seva večina novejših, t. i. »belih« LED sijalk, ki v zadnjih 15 letih počasi zamenjujejo visoko- in nizkotlačne natrijeve sijalke. Slednje so energetsko bolj potratne, z vidika spektra svetlobe pa puščajo manjše prostorske učinke kot »bele« LED sijalke. Kljub vsemu so podatki satelita Suomi NPP trenutno najkakovostnejši podatki v dnevno-nočnem kanalu, tako glede prostorske in časovne resolucije kot tudi glede dinamičnega razpona informacij o stanju svetlobne onesnaženosti.

Podatke smo na mesečnem nivoju zbrali za obdobje januar 2013–december 2013 ter januar 2019–december 2019, nato za obe leti izračunali povprečno radianco po evropskih državah ter na koncu izvedli primerjavo obeh let. Ker so v tem obdobju marsikje natrijeve sijalke zamenjali z »belimi« LED sijalkami, ki jih tipala na satelitu Suomi težje zaznajo, razlike v radianci za taka območja zaznajo znižanje radiance, kar pa ni res. Gre za težavo sedanje generacije tipal v nočnem kanalu, ki pa jih bodo najverjetneje rešile prihodnje generacije satelitov. Za evropske države smo analizirali tudi razmerje med svetlobno onesnaženostjo na eni ter številom prebivalcev oziroma bruto družbenim proizvodom na drugi strani. V Sloveniji je večina javne infrastrukture, ki je tako ali drugače povezana z osvetljevanjem ponoči, v pristojnosti občin. Od vrednot prebivalcev občin (in svetnikov v občinskih svetih) je odvisno, kakšne prioritete bodo izbirali pri vzdrževanju in širjenju javne infrastrukture, kamor sodi javna razsvetljava kot eden od najpomembnejših virov svetlobnega onesnaževanja. Zaradi tega smo analizirali

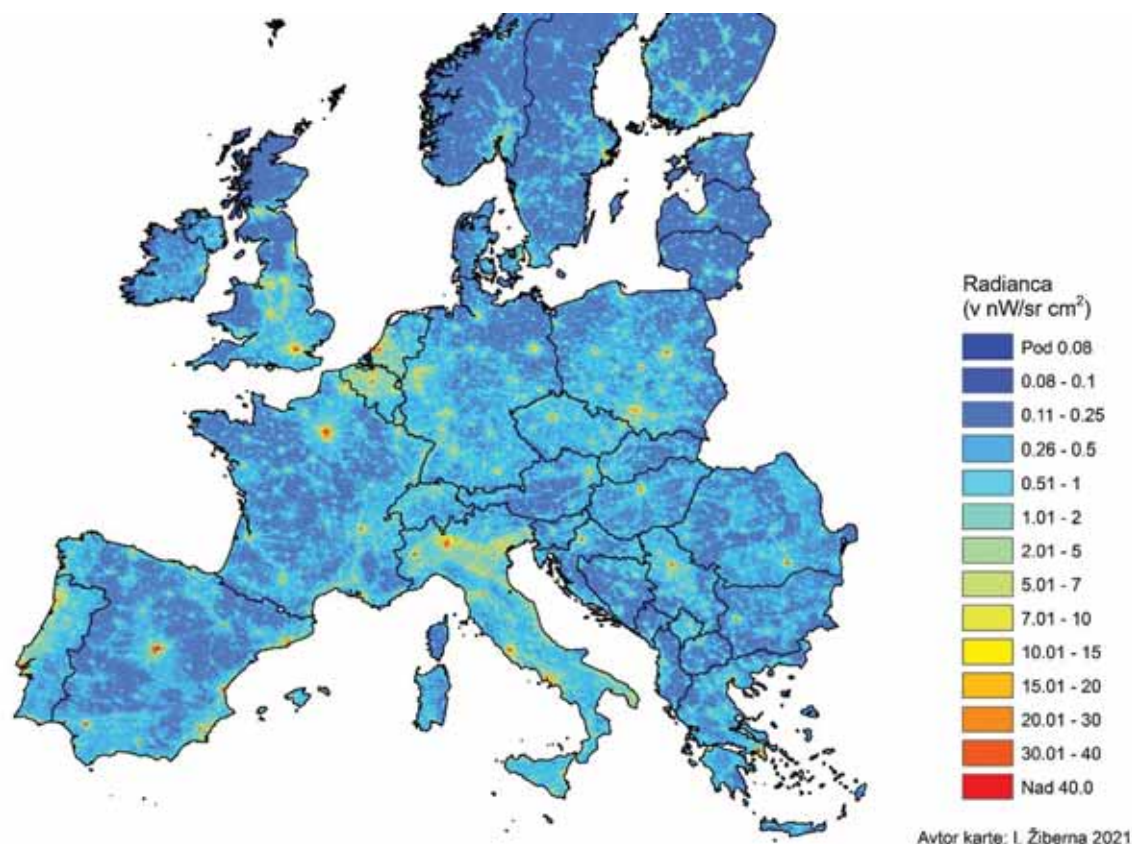
radianco leta 2019 po občinah in statističnih regijah Slovenije. Izračunali smo še soodvisnost med povprečno radianco in dolžino javnih cest po občinah v Sloveniji leta 2019. Poleg tega smo obravnavali svetlobno onesnaženost območij Natura 2000, saj smo želeli ugotoviti, koliko se kljub jasno določenim omejitvenim ukrepom širijo vplivi pretiranega osvetljevanja tudi znotraj teh zavarovanih območij.

Svetlobna onesnaženost v Evropi leta 2019

Pogled na karto radiance na območju Evrope v letu 2019 (Slika 3) kaže zelo dobro povezavo med gostoto poselitve in radianco. Že na prvi pogled lahko prepoznamo večja urbana območja, pravzaprav cele regije (npr. Anglija, države Beneluksa, okolica Pariza, Porurje, severna Italija, južna Poljska, okolica Lizbone, severna Srbija). Povprečna radianca je bila leta 2019 najvišja v najmanjših (skorajda mestnih) državah: Monako (102,08 nW/(sr cm²)), Vatikan (68,57 nW/(sr cm²)) in San Marino (8,01 nW/(sr cm²)). Sledile so Nizozemska (4,27 nW/(sr cm²)), Belgija (3,11 nW/(sr cm²)), Italija (2,48 nW/(sr cm²)), Andora (2,32 nW/(sr cm²)), Luksemburg (2,16 nW/(sr cm²)) in Portugalska (1,94 nW/(sr cm²)). Na drugi strani so leta 2019 imele najnižjo povprečno radianco Islandija (0,38 nW/(sr cm²)), Latvija (0,42 nW/(sr cm²)), Litva (0,43 nW/(sr cm²)), Švedska (0,54 nW/(sr cm²)), Irska (0,54 nW/(sr cm²)), Bolgarija (0,57 nW/(sr cm²)), Norveška (0,59 nW/(sr cm²)), Danska (0,60 nW/(sr cm²)) in Estonija (0,61 nW/(sr cm²)). Slovenija se z 0,7233 nW/(sr cm²) uvršča v sredino lestvice (Grafikon 1). Kot zanimivost naj omenimo, da se je na obravnavanem območju najsvetlejši piksel pojavljal na območju nizozemskega mesta Gouda, ki se nahaja vzhodno od Haaga (5905,84 nW/(sr cm²)), najtemnejši piksel pa je leta 2019 bilo mogoče zaznati v okolici italijanskega vulkana Etna (manj kot 0,0001 nW/(sr cm²)) ter na dveh območjih v Grčiji (0,0158 nW/(sr cm²)), severno od mesta Xanthi, tik ob meji z Bolgarijo, in zahodno od Vardarja, tik ob meji s Severno Makedonijo. Če bi v analizo zajeli še nekdanjo Sovjetsko zvezo, bi daleč najsvetlejši piksel našli na območju Moskve (kar 12792 nW/(sr cm²)).

Interpretacija razlik v radianci v nekem časovnem obdobju je precej tvegana in kompleksna. Po eni strani se zaradi v uvodu članka navedenih dejavnosti stopnja svetlobnega

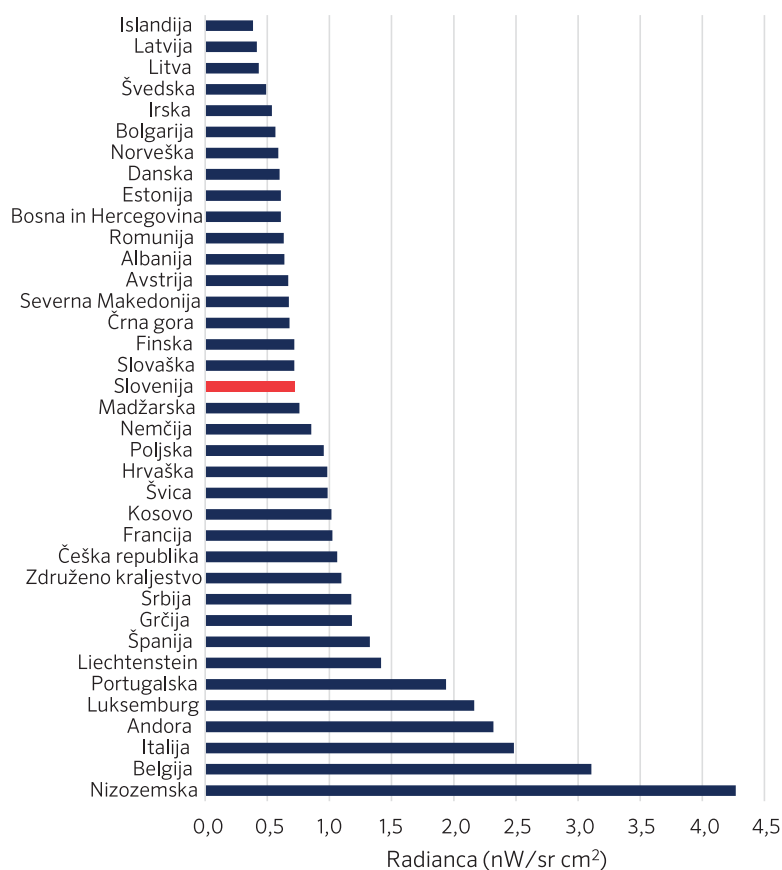
1 Steradian (oznaka sr) je v mednarodnem sistemu enot (SI) izpeljana enota SI za prostorski kot, ki ima vrh v središču krogle, na površini pa mu pripada ploščina kvadrata, ki ima stranico enako polmeru krogle.



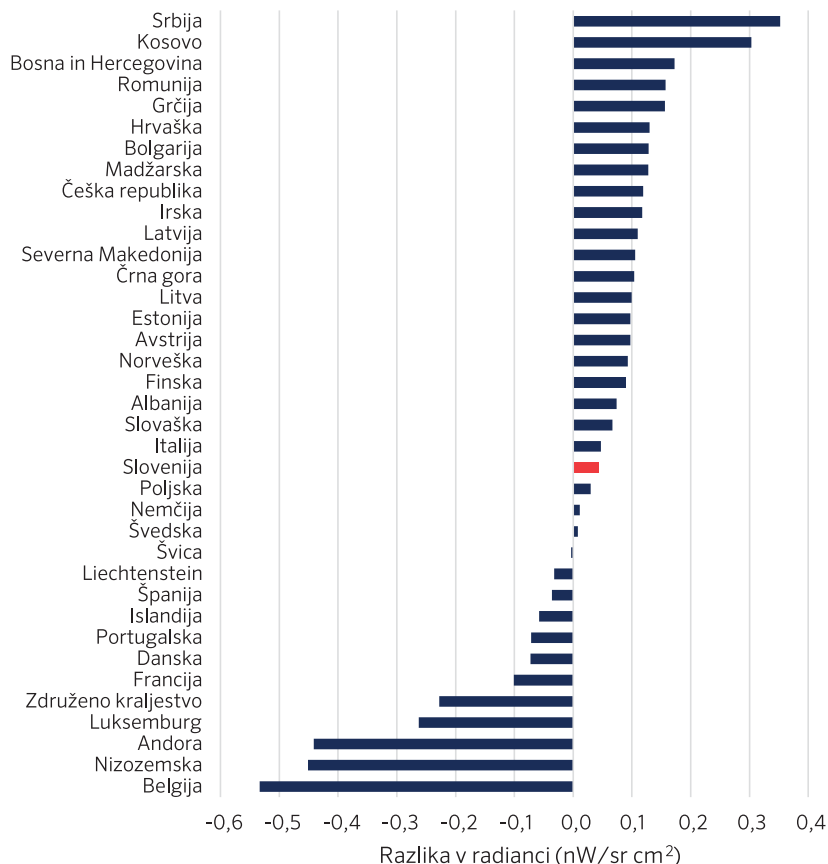
Slika 3: Radianca na območju Evrope leta 2019
Vir: Medmrežje 3; Lastni izračuni, 2020

onesnaževanja povečuje. Po drugi strani so države zaradi finančne in gospodarske krize po letu 2008, iz povsem varčevalnih razlogov, stopnjo rabe energije za javno razsvetljavo znižale. Znižanju svetlobne onesnaženosti je ponekod botrovala tudi zmanjšana gospodarska dejavnost, ki ni rezultat finančne krize, pač pa prestrukturiranja gospodarstva ali celo propada gospodarskih dejavnosti po zamenjavi družbenega sistema v devetdesetih letih 20. stoletja. Poleg tega je v tem kompleksu dejavnikov k sreči prisotno tudi večanje ozaveščenosti na področju varstva okolja, ki je ponekod botrovalo znižanju svetlobne onesnaženosti (Bennie idr., 2014). Nekatere države so celo sprejele posebne uredbe za znižanje svetlobnega onesnaževanja (med drugimi Italija, Slovenija, Španija, Francija in Hrvaška) (Falchi idr., 2019).

Karta razlik v radianci v obdobju 2013–2019 na območju Evrope kaže bolj raznolike razmere (Slika 4). Pri interpretaciji razlik v radianci je potrebno upoštevati, da tipala v nočnem kanalu na satelitu Suomi niso občutljiva za valovne dolžine med 400 in 500 nm, v katerih se nahaja velik del sevanja »belih« LED sijalk. Kot je bilo že navedeno, zamenjavo starejših sijalk za »bele« LED sijalke senzor zazna kot »izboljšanje« svetlobnega onesnaženja, v resnici pa so se na takih območjih razmere poslabšale. Negativne razlike (na Sliki



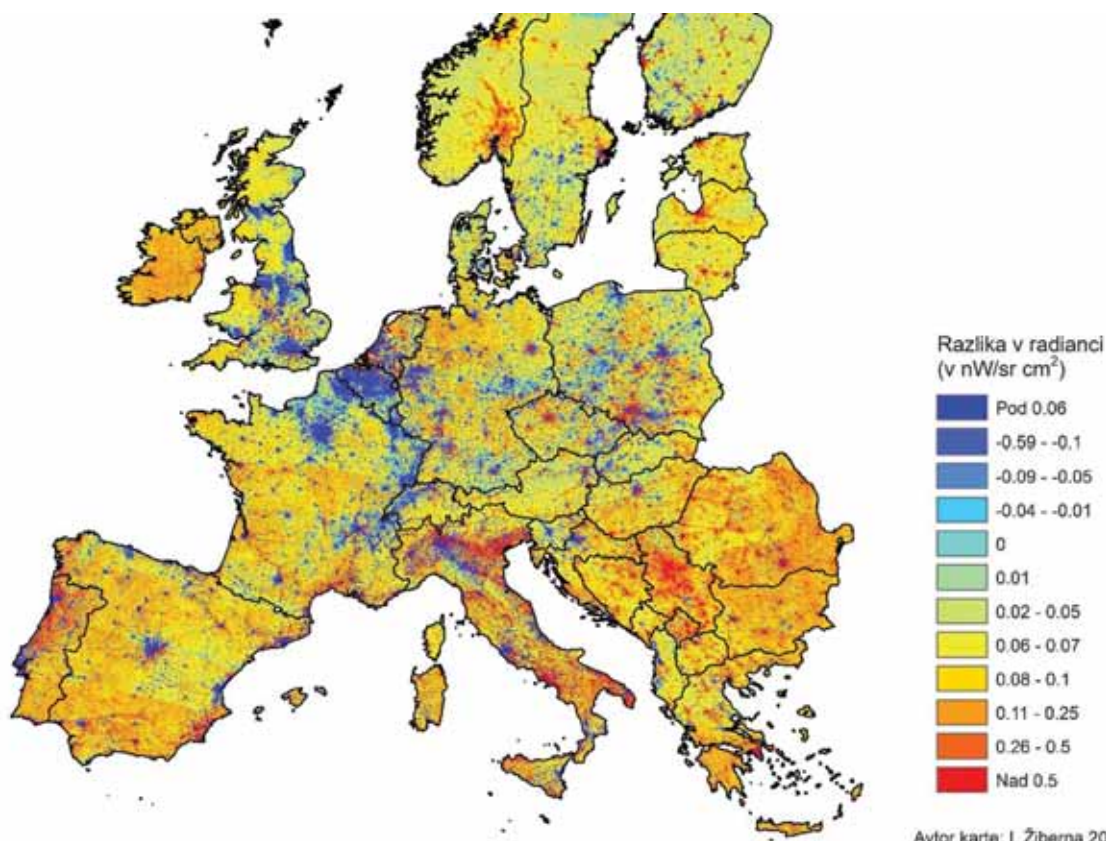
Grafikon 1: Povprečna radianca po državah EU leta 2019 (brez Monaka, Vatikana in San Marina)
Vir: Medmrežje 3; Lastni izračuni, 2020



5 so ta območja prikazana s hladnimi barvami) torej niso vedno rezultat dejanskega izboljšanja stanja. Na drugi strani spektra takih težav nimamo: povečanje radiance je dejansko rezultat poslabšanja razmer. Med 37 obravnavanimi državami je mogoče zaznati izboljšanje v 11 državah, poslabšanje pa v 25 državah. V Švici ni bilo mogoče zaznati pomembne spremembe radiance. Države z največjim povečanjem povprečne radiance v obdobju 2013–2019 so Monako (7,85 nW/(sr cm²)), Srbija (0,35 nW/(sr cm²)), Kosovo (0,30 nW/(sr cm²)), Bosna in Hercegovina (0,17 nW/(sr cm²)) in Romunija (0,16 nW/(sr cm²)). Največje zmanjšanje povprečne radiance so beležile Belgija, Nizozemska, Andora, Luksemburg, Združeno kraljestvo, Francija in Danska (Grafikon 2).

Po mnenju Kybe in ostalih (2017) je znižanje radiance v navedenih državah posledica zamenjave nizko- in visokotlačnih natrijevih sijalk za »bele« LED sijalke z viškom sevanja v modrem delu spektra, ki pa ga senzorji na satelitu Suomi slabše zaznavajo. Zamenjava obeh vrst sijalk je tako v resnici marsikje pomenila zmanjšanje porabljene energije, po drugi strani pa je povzročila zaradi intenzivnejšega sipanja modrega dela vidne svetlobe bistveno večje prostorske učinke svetlobnega onesnaževanja. Zaradi procesa suburbanizacije se v ta območja

Grafikon 2: Razlika v radianci med letoma 2013 in 2019 po državah na območju Evrope (brez Monaka, Vatikana in San Marina)
Vir: Medmrežje 3; Lastni izračuni, 2020



Slika 4: Razlika v radianci med letoma 2013 in 2019 na območju Evrope
Vir: Medmrežje 3; Lastni izračuni, 2020

širijo novi viri svetlobnega onesnaženja, zato je neto učinek porabljene energije za javno razsvetljavo nasproten: stroški za javno razsvetljavo so višji kljub energijsko učinkovitejšim sijalkam (Kyba idr., 2017).

Za evropske države smo analizirali tudi razmerje med svetlobno onesnaženostjo na eni ter številom prebivalcev oziroma bruto družbenim proizvodom na drugi strani. Za vsako državo smo izračunali razmerje med enoto povprečne radianse na prebivalca ter enoto povprečne radianse na enoto BDP in v nadaljevanju rezultate normirali, pri čemer smo vrednostim za Nemčijo v obeh primerih pripisali enoto 1, za ostale države pa izračunali ustrezne indekse. Rezultati so prikazani na Grafikonih 3 in 4.

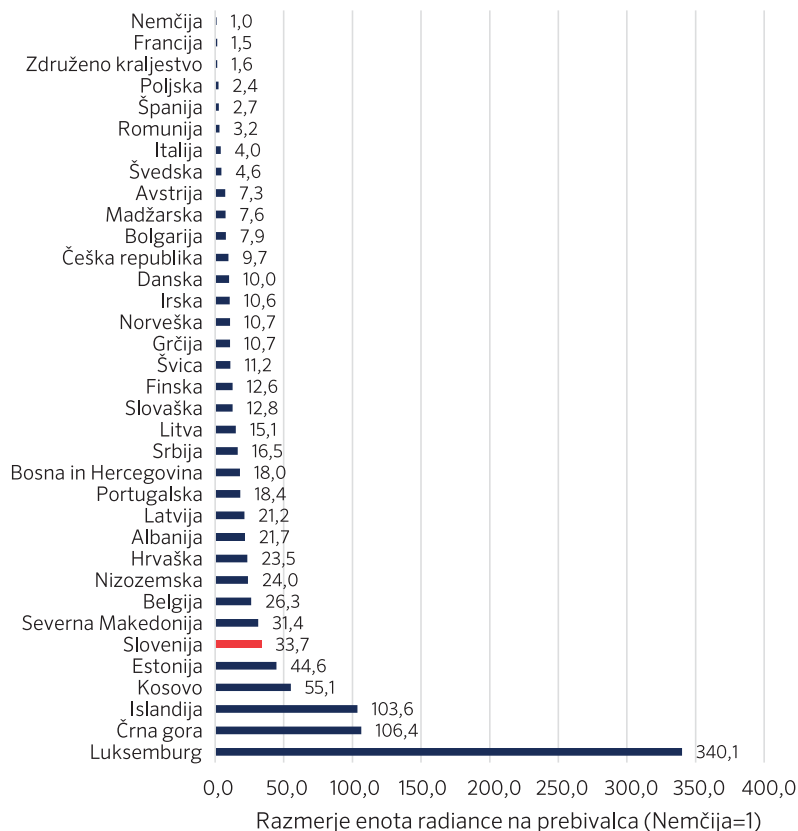
Oba grafa kažeta zanimiv vzorec. Države nekdanjega vzhodnega bloka kažejo manj ugodna razmerja med stopnjo svetlobnega onesnaževanja in številom prebivalcev oziroma BDP, kar so ugotovile že nekatere druge študije (Kyba idr., 2017). Slovenija je žal po obeh kazalcih na strani bolj problematičnih držav.

Svetlobna onesnaženost v Sloveniji leta 2019

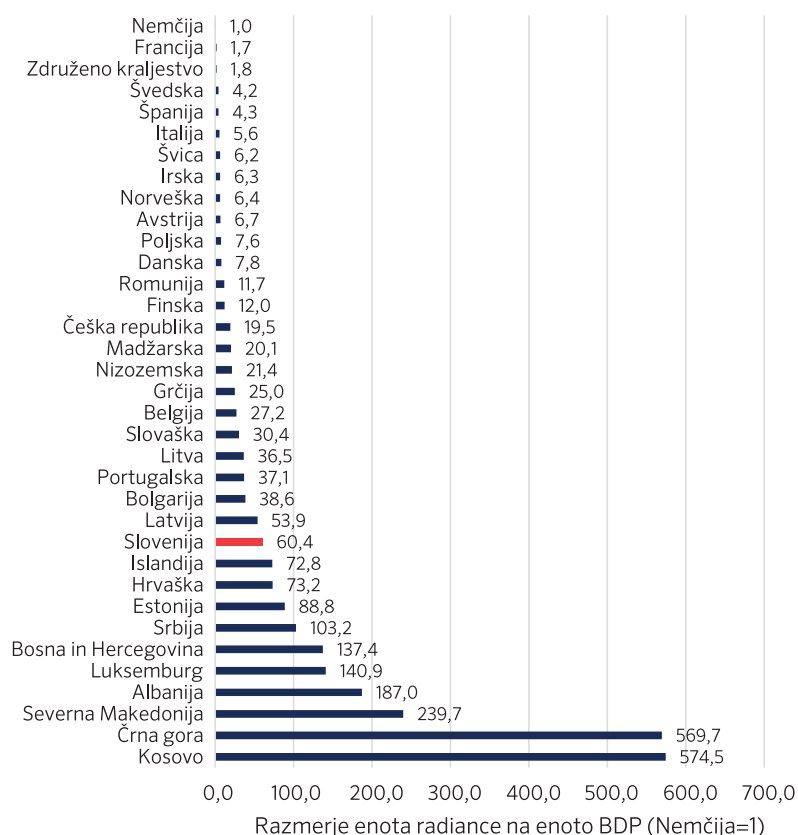
Svetlobna onesnaženost po statističnih regijah

Najvišjo povprečno radianco z 1,1864 nW/(sr cm²) beleži osrednjeslovenska statistična regija. Zelo visoko povprečno radianco je mogoče zaznati tudi na območju obalno-kraške statistične regije z 1,1241 nW/(sr cm²). V obeh primerih visokim povprečnim vrednostim radianse botruje velika stopnja urbaniziranosti območja, v tem okviru ne smemo zanemariti vpliva razsvetljene javne infrastrukture, kar je še posebej izrazito pri Luki Koper. Najnižjo povprečno radianco imata primorsko-notranjska statistična regija (0,3754 nW/(sr cm²)) in koroška statistična regija (0,4185 nW/(sr cm²)) (Grafikon 5). Najtemnejši piksel se je z 0,1425 nW/(sr cm²) nahajal na območju Velikega roga v Kočevskem rogu, najsvetlejši piksel pa smo zaznali na območju Luke Koper (116,3858 nW/(sr cm²)). Karta povprečne radianse v Sloveniji leta 2019 dokaj dobro kaže poselitveni vzorec (Slika 5).

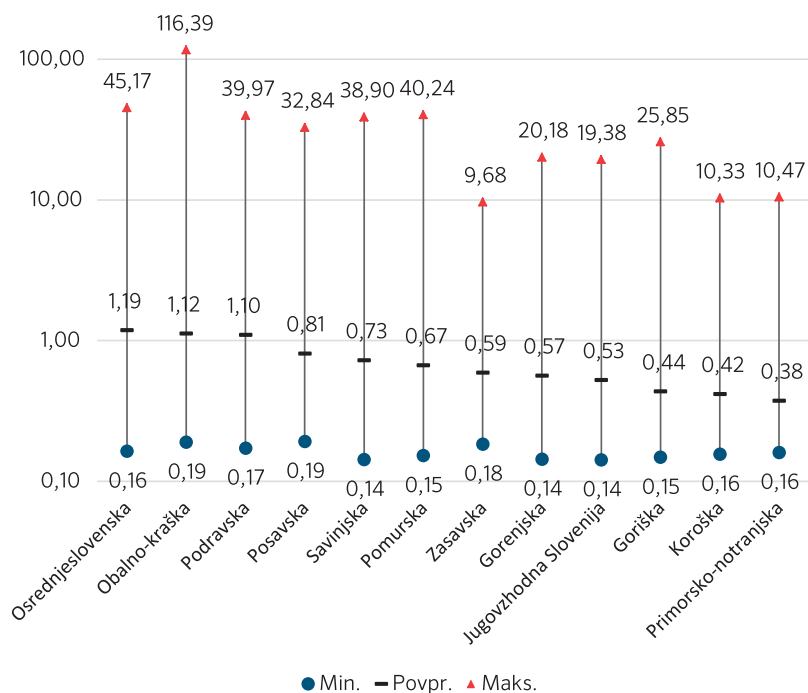
Kumulativna radianca (vsota radianse vseh pikselov v statistični regiji) je najvišja v osrednjeslovenski statistični regiji (18545,20 nW/(sr cm²)), podravske (16128,06 nW/(sr cm²)) in savinjski statistični regiji (11229,49 nW/(sr cm²)), vendar je pri tem potrebno upoštevati, da je vrednost odvisna od površine statistične regije.



Grafikon 3: Razmerje enota radianse na prebivalca leta 2019 (Nemčija=1)
Vir: Medmrežje 4; Lastni izračuni, 2021



Grafikon 4: Razmerje enota radianse na enoto BDP leta 2019 (Nemčija=1)
Vir: Medmrežje 4; Lastni izračuni, 2021

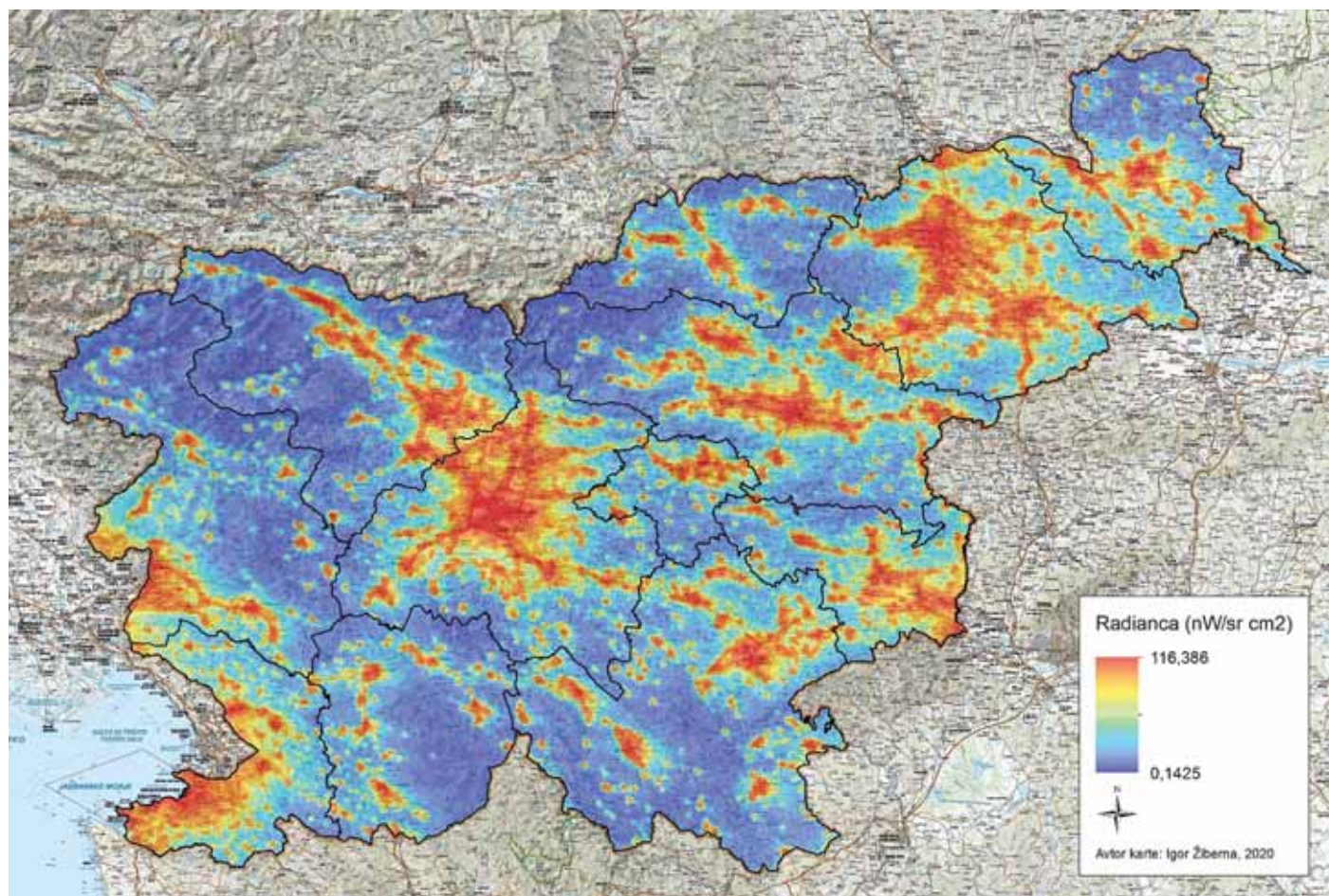


Grafikon 5: Minimalna, povprečna in maksimalna radianca po statističnih regijah v Sloveniji leta 2019
Vir: Suomi NPP; Lastni izračuni

Svetlobna onesnaženost po občinah

Na vire svetlobnega onesnaževanja imajo prek upravljanja z javno infrastrukturo in načrtovanja njenega razvoja običajno zelo velik vpliv lokalne skupnosti (občine), zato smo našo analizo razširili še na nivo občin. Pri tem smo ugotavljali povprečno radianco po občinah in delež površja v posamezni občini v različnih razredih radiance.

Najvišja zabeležena povprečna radianca leta 2019 je bila zaznana na območju občine Ankaran, in sicer 7,30 nW/(sr cm²). Z veliko verjetnostjo lahko domnevamo, da se vir tako visokih vrednosti ne nahaja na območju omenjene občine, pač pa v bližnji Luki Koper, iz katere se svetlobno onesnaženje širi tudi na sosednje občine, predvsem Ankaran, ki je po površini precej manjša od sosednje občine Koper. Povprečna radianca je pričakovano visoka tudi v Ljubljani (4,90 nW/(sr cm²)) in Mariboru (4,39 nW/(sr cm²)), na četrtem mestu je občina Celje (3,67 nW/(sr cm²)), na petem pa nekoliko nepričakovano občina Šempeter-Vrtojba (3,53 nW/(sr cm²)), kjer pa si visoke vrednosti lahko razlagamo z močno osvetljeno infrastrukturo (mejni prehod, storitvene dejavnosti) na koncu



Slika 5: Radianca v Sloveniji leta 2019
Vir: Suomi NPP; Lastni izračuni

hitre ceste skozi Vipavsko dolino, tik pred mejnim prehodom z Italijo (Žiberna, Ivajnsič, 2018) (Slika 3). Med občine z višjo vrednostjo povprečne radianca v letu 2019 sodijo še Trzin (2,68), Izola (2,40), Ptuj (2,35) in Murska Sobota (2,29). Na drugem koncu frekvenčnega razpona se nahajata občini Solčava in Jezersko (obe po 0,20 nW/(sr cm²)) (Slika 11). Morda nekoliko presenetljivo izstopata občini Bovec in Bohinj, ki jima je kljub turistični infrastrukturi uspelo ohraniti nizko raven radianca, res pa je, da predvsem občina Bohinj posega na območje Triglavskega narodnega parka.

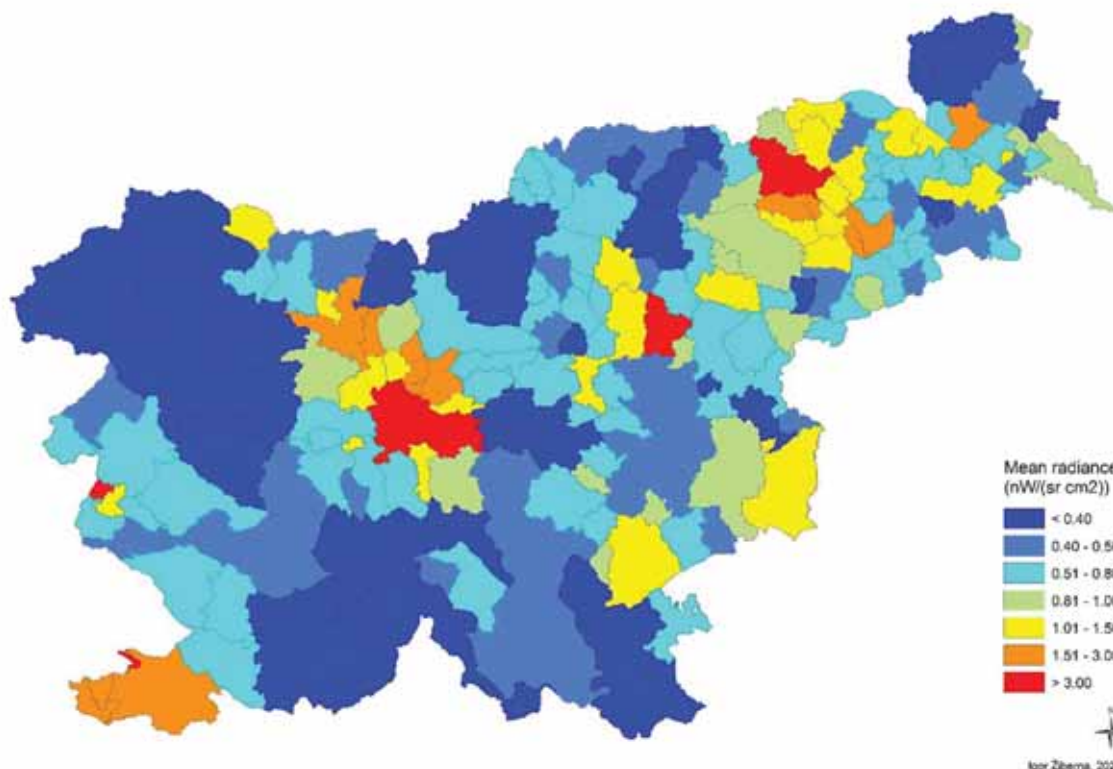
Minimalna radianca nakazuje, v katerih občinah so najmanj svetlobno onesnažena območja. Ta območja imajo tudi manjšo gostoto poselitve in manj infrastrukture. Sem lahko uvrstimo predvsem gozdnata gorata in hribovita območja (Julijske in Kamniško-Savinjske Alpe, Karavanke, visoke kraške planote, širše območje Kočevskega roga, gozdnata območja Dolenjske in Goričko). Najnižjo minimalno radianco smo zabeležili na območju občin Kočevje (0,1425 nW/(sr cm²)), Solčava (0,1433 nW/(sr cm²)), Bohinj (0,1433 nW/(sr cm²)), Tržič (0,1467 nW/(sr cm²)), Gorje (0,1483 nW/(sr cm²)) in Bovec (0,1483 nW/(sr cm²)). Najvišjo minimalno radianco beležijo občine Ankaran (1,25 nW/(sr cm²)), Šempeter-Vrtojba (0,79 nW/(sr cm²)), Trzin (0,57 nW/(sr cm²)), Miklavž na Dravskem polju (0,57 nW/(sr cm²)) in Hajdina (0,54 nW/(sr cm²)). Če je stanje v občini Ankaran rezultat vpliva

bližnje Luke Koper, pa so v nekaterih preostalih občinah skoncentrirane storitvene dejavnosti, katerih infrastruktura je ponoči nadpovprečno osvetljena.

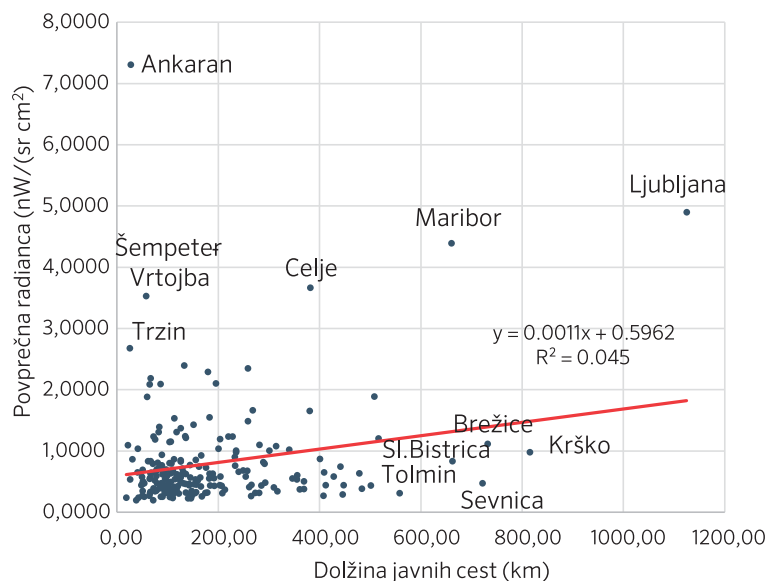
Maksimalno radianco povezujemo z območji z večjo gostoto prebivalstva, kjer je tudi več javne infrastrukture, v posameznih primerih pa so lahko vir povsem specifične dejavnosti. Najvišjo maksimalno radianco ima občina Koper (116,38 nW/(sr cm²)), kar je posledica že omenjene intenzivne nočne razsvetljave na območju Luke Koper. Daleč za njo so občine Ljubljana (45,17 nW/(sr cm²)), Ankaran (41,31 nW/(sr cm²)) in Ljutomer (40,24 nW/(sr cm²)). Vzrok za visoko maksimalno radianco v občini Ljutomer so ponoči razsvetljeni rastlinjaki v zahodnem delu Ljutomerja. Visoko maksimalno radianco je zaznati tudi v občinah z večjimi občinskimi središči in suburbanizirano okolico (Maribor, Celje), a tudi v občinah s specifično infrastrukturo (Krško – jedrska elektrarna, Brežice – mednarodni mejni prehod).

Po logiki bi morala biti javna razsvetljava cest eden od najpomembnejših virov svetlobnega onesnaženja. Da je povprečna radianca po občinah odvisna tudi od nje, poleg drugih virov, kot so razsvetljeni objekti, reklamni panoji ali parkirišča, kaže Grafikon 6. Le 4,5 % razlik v povprečni radianci lahko razložimo z razlikami v dolžini javnih cest. V tem smislu imajo glede

Morda nekoliko presenetljivo izstopata občini Bovec in Bohinj, ki jima je kljub turistični infrastrukturi uspelo ohraniti nizko raven radianca, res pa je, da predvsem občina Bohinj posega na območje Triglavskega narodnega parka.



Slika 6: Povprečna radianca po občinah v Sloveniji leta 2019
Vir: Suomi NPP; Lastni izračuni



Grafikon 6: Povprečna radianca in dolžina javnih cest po občinah v Sloveniji leta 2019

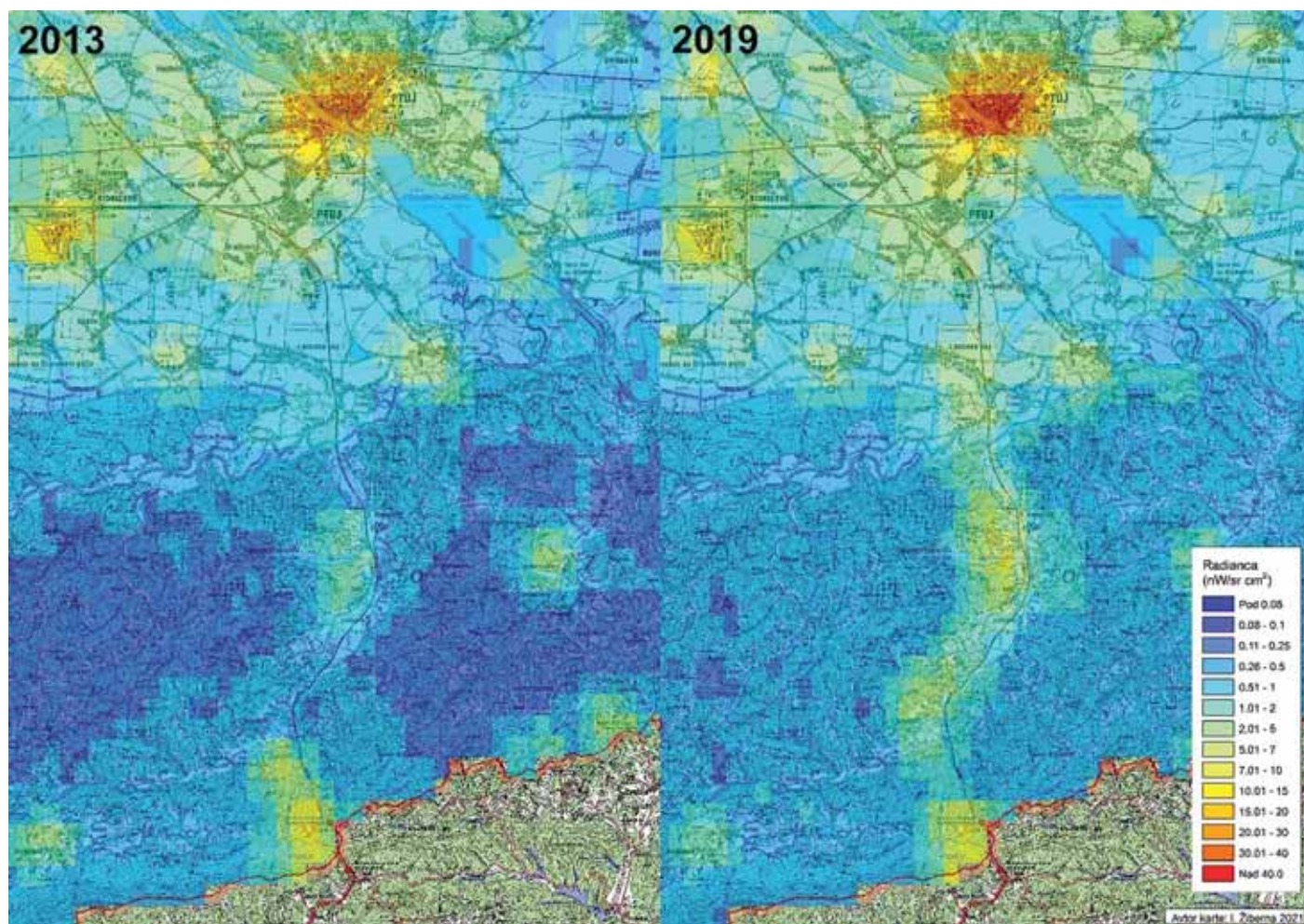
Vir: Suomi NPP; Medmrežje 5; Lastni izračuni

na dolžino javnih cest nadpovprečno radianco v občinah Ankaran, Ljubljana, Maribor, Celje, Šempeter-Vrtojba in Trzin. Pri nekaterih občinah s primerljivo dolžino javnih cest je razmerje v radianci celo večje od razmerja 1 : 10.

Kako lahko izgradnja nove cestne infrastrukture vpliva na stanje svetlobne onesnaženosti, nazorno prikazuje karta radianca za leti 2013 in 2019 na območju novo zgrajene avtoceste med Hajdino in Gruškovjem (Slika 7). Kljub temu, da v Sloveniji avtoceste niso osvetljene (so pa v nasprotju z Avstrijo in Nemčijo izvozi z avtocest), se na karti radianca vidi očitna razlika med obema obdobjema. Avtocesta je nase pritegnila še drugo infrastrukturo in z njo uporabo novih svetilk, kar je povzročilo poslabšanje razmer na omenjenem odseku.

Svetlobna onesnaženost na območjih Natura 2000

Natura 2000 je evropsko omrežje posebnih varstvenih območij, razglašanih v državah



Slika 7: Sprememba radianca v obdobju 2013–2019 na novo zgrajenem odseku avtoceste Hajdina–Gruškovje

Vir: Suomi NPP; Medmrežje 5; Lastni izračuni

članicah Evropske unije, z osnovnim ciljem ohraniti biotsko raznovrstnost za prihodnje rodove. Posebna varstvena območja so torej namenjena ohranjanju živalskih in rastlinskih vrst ter habitatov, ki so redki ali na evropski ravni ogroženi zaradi dejavnosti človeka. Območja Natura 2000 so določena na podlagi direktive o pticah in direktive o habitatih. Vlada je območja Natura 2000 določila z Uredbo o posebnih varstvenih območjih, območjih Natura 2000 (Uredba ..., 2004). Določenih je 355 območij, od tega jih je 324 določenih na podlagi direktive o habitatih in 31 na podlagi direktive o pticah. Skupna površina območij Nature 2000 je 7684 km², od tega 7.678 km² na kopnem in 6 km² na morju. Območje Nature 2000 torej pokriva 37 % celotnega površja Slovenije. Kljub jasno določenim omejitvenim ukrepom na območjih Natura 2000 pa se nekateri okoljski vplivi (hrup, svetloba) brez omejitev širijo znotraj teh zavarovanih območij. Torej so območja Nature 2000, čeprav nimajo pomembnih virov svetlobnega onesnaževanja, zaradi vplivov z območij izven Nature 2000, vseeno degradirana.

Povprečna radianca na območjih Natura 2000 znaša 0,7129 nW/(sr cm²), kar je le nekaj manj od povprečja za območje celotne Slovenije (0,7233 nW/(sr cm²)). Kar 142 slovenskih občin (ali 66,6 %) ima nižjo radianco od povprečne radiance na območjih Natura 2000. Maksimalna radianca na območju Natura 2000 znaša 28,93 nW/(sr cm²) (na območju celotne Slovenije je ta 116,3858 nW/(sr cm²)). Najsvetlejši piksel na območjih Natura 2000 se nahaja na območju Krajinskega parka Drava na samem robu občinskega središča Ptuj, kar dokazuje, da je, če želimo resnično ščititi zavarovana območja, potrebno oblikovati posebne prehodne cone v določenem pasu izven zavarovanih območij, kar še posebej velja za onesnaževanje s hrupom, svetlobo in onesnaževanje v zraku. Najbolj svetlobno onesnaženi deli Natura 2000 ležijo v neposredni bližini gosteje urbaniziranih območij. Taki primeri so Ljubljansko barje, Rašica in Šmarna gora v okolici Ljubljane, Vipavska dolina (okolica Nove Gorice in Ajdovščine), Kras (v zaledju Trsta in Kopra), slovenska Istra in Sečoveljske soline (v zaledju Pirana, Portoroža, Izole in Kopra), Kum (kjer se zaznajo vplivi Trbovelj), Pohorje (vplivi Maribora in suburbaniziranega Dravskega polja), Drava (vplivi suburbaniziranega Dravskega polja, Dupleka, Hajdine in Ptuja), če naštejemo le najizrazitejše primere. Območja z najnižjo radianco znotraj Nature 2000 se nahajajo v Julijskih Alpah, Kamniško-Savinjskih Alpah, na visokih kraških planotah, zahodnem Pohorju in na Goričkem.

Sklep

V prispevku smo opozorili, da problematika svetlobnega onesnaženja kot »vrh ledene gore« odraža notranjo prostorsko prepletenost različnih geografskih procesov in dejavnikov, najbolj očitno vrednote in dinamiko populacijskega razvoja. Slednji je izjemno pomemben za globalno trajnostno dinamiko. Tako so (kartografski) prikazi svetlobne onesnaženosti že postali integralni kazalec gostote prebivalstva, stopnje urbanizacije in gospodarske dejavnosti.

Kot v več primerih se tudi pri osvetljevanju izkaže, da lahko uvedba določene spremembe (npr. osvetljevanja z LED sijalkami) povzroči na eni strani pozitivni učinek (energijsko varčnost), na drugi strani pa izrazit negativni učinek (večjo svetlobno onesnaženost s pomembnimi negativnimi posledicami za ljudi, živali, rastline in ekosisteme). Tako gašenje potrebe po osvetljevanju z izbiro drugega svetila ne rešuje problema v celoti, ampak le en njegov vidik. To pokaže, da je pri zdajšnjem tehnološkem razvoju še vedno boljša smer reševanja problema v spreminjanju naših osebnih in civilizacijskih vrednot, torej v iskanju ravnotežja med ekonomskimi učinki in odgovornostjo do okolja in sebe v najširšem smislu.

V opisu metodologije pridobivanja podatkov smo predstavili primer daljinskega zaznavanja svetlobne onesnaženosti prek podatkov satelita Suomi NPP. Tudi v tem primeru lahko zaznamo dvoreznost, ki se kaže v tem, da lahko tovrstno daljinsko zaznavanje po eni strani zagotovi veliko podatkov, po drugi strani pa tehnološko za zdaj še ni dovolj razvito, da bi zaobjelo celovito razsežnost svetlobne onesnaženosti, saj tipalo ne zaznava spektra svetlobe LED sijalk kot naraščajočega vira najbolj problematične svetlobne onesnaženosti. Tako lahko nižji podatek radiance kaže zgolj na povečanje rabe LED sijalk in ne na izboljšanje stanja svetlobne onesnaženosti (pravzaprav je ravno obratno). Vendarle pa lahko z nedvomno gotovostjo zaključimo, da povečanje radiance pri daljinskem zaznavanju prek satelita Suomi pomeni povišanje svetlobne onesnaženosti.

Slovenija je v letu 2019 beležila povprečno radianco 0,7233 nW/(sr cm²), s čimer se je uvrščala v sredino lestvice obravnavanih evropskih držav. Med 37 obravnavanimi evropskimi državami je med letoma 2013 in 2019 mogoče zaznati izboljšanje v 11 državah, poslabšanje pa v 25 državah. Slovenija izkazuje poslabšanje stanja, pri čemer na primeru največjih urbaniziranih območij vidimo za

Najsvetlejši piksel na območjih Natura 2000 se nahaja na območju Krajinskega parka Drava na samem robu občinskega središča Ptuj, kar dokazuje, da je, če želimo resnično ščititi zavarovana območja, potrebno oblikovati posebne prehodne cone v določenem pasu izven zavarovanih območij, kar še posebej velja za onesnaževanje s hrupom, svetlobo in onesnaževanje v zraku.

svetlobno onesnaženje na videz pozitivni učinek pogostejše rabe LED sijalk, ki jih tipalo satelita Suomi slabo zazna. V Švici ni bilo mogoče zaznati pomembne spremembe radiance. Slovenija je na strani bolj problematičnih držav tudi, če opazujemo razmerja med stopnjo svetlobnega onesnaženja in številom prebivalcev ter BDP, kar jo uvršča ob bok državam nekdanjega vzhodnega bloka, ki izkazujejo podobne trende.

V Sloveniji sta v letu 2019 beležila najvišjo povprečno radianco z 1,1864 nW/(sr cm²) osrednjeslovenska statistična regija ter obalno-kraška statistična regija z 1,1241 nW/(sr cm²). Najnižjo povprečno radianco sta imeli primorsko-notranjska statistična regija (0,3754 nW/(sr cm²)) in koroška statistična regija (0,4185 nW/(sr cm²)). Najtemnejši piksel se je z 0,1425 nW/(sr cm²) nahajal na območju Velikega roga v Kočevskem rogu, najsvetlejši piksel pa je bil zaznan na območju Luke Koper (116,3858 nW/(sr cm²)). Z vidika občin je bila najvišja zabeležena povprečna radianca leta 2019 zaznana na območju občine Ankaran, in sicer 7,30 nW/(sr cm²). Povprečna radianca je visoka tudi v Ljubljani (4,90 nW/(sr cm²)), Mariboru (4,39 nW/(sr cm²)), Celju (3,67 nW/(sr cm²)) in v občini Šempeter-Vrtojba (3,53 nW/(sr cm²)). V občini Solčava in Jezersko (obe po 0,20 nW/(sr cm²)) so bile leta 2019 povprečne vrednosti radiance najnižje. Izstopata občini Bovec in Bohinj, ki jima je kljub turistični infrastrukturi uspelo ohraniti nizko raven radiance.

S podatki smo prikazali stanje povprečne radiance na območjih Natura 2000 leta 2019, ki znaša 0,7129 nW/(sr cm²), kar je le nekaj manj od povprečja za območje celotne Slovenije (0,7233 nW/(sr cm²)). Kar 142 slovenskih občin (ali 66,6 %) ima nižjo radianco od povprečne radiance na območjih Natura 2000. Najbolj svetlobno onesnaženi deli Natura 2000 ležijo v neposredni bližini gosteje urbaniziranih območij, to so Ljubljansko barje, Rašica in Šmarna gora v okolici Ljubljane, Vipavska dolina (okolica Nove Gorice in Ajdovščine), Kras (v zaledju Trsta in Kopra), slovenska Istra in Sečoveljske soline (v zaledju Pirana, Portoroža, Izole in Kopra), Kum (kjer se zaznajo vplivi Trbovelj), Pohorje (vplivi Maribora in suburbaniziranega Dravskega polja), Drava (vplivi suburbaniziranega Dravskega polja, Dupleka, Hajdine in Ptuj). Območja z najnižjo radianco znotraj Nature 2000 se nahajajo v Julijskih Alpah, Kamniško-Savinjskih Alpah, na visokih kraških planotah, zahodnem Pohorju in na Goričkem.

In kaj lahko glede svetlobne onesnaženosti ukreneš Ti?

Viri in literatura

1. 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*. Nature.
2. 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.
3. 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).
4. Falchi, F., Furgoni, R., Gallaway, T. A., Rybnikova, N. A., Portnov, B. A., Baugh, K., Cinzano, P. (2019). Light pollution in USA and Europe: The good, the bad and the ugly. *Journal of Environmental Management*. 248.
5. Garstang, R. H. (2004). Mount Wilson Observatory: the sad story of light pollution. *Observatory* 124 (14–21).
6. Jensen, J.R. (2018). *Introductory Digital Image Processing*. A Remote Sensing Perspective. 4th Edition. Pearson. Hoboken.
7. Kyba, C. M., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Höcker, 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.
8. *Uredba o posebnih varstvenih območjih* (območjih Natura 2000). Uradni list 49/2004.
9. Žiberna, I., in Ivajnskič, D. (2018). Daljinsko zaznavanje svetlobne onesnaženosti v Sloveniji. *Revija za geografijo* 13–1, 2018. Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Mariboru.
10. Medmrežje 1: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/NightLights> (20. 12. 2020).
11. Medmrežje 2: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2012/05/Berlin_at_night (10. 2. 2021).
12. Medmrežje 3: https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html (10. 5. 2020).
13. Medmrežje 4: <https://ec.europa.eu/eurostat> (2. 2. 2018).
14. Medmrežje 5: <https://podatki.gov.si/dataset/dolzine-javnih-cest-po-obcinah-od-leta-2002> (16. 8. 2020).