

## **DALJINSKO ZAZNAVANJE SVETLOBNE ONESNAŽENOSTI V SLOVENIJI**

### **Igor Žiberna**

Dr., prof. geografije in zgodovine, izredni profesor  
Oddelek za geografijo  
Filozofska fakulteta  
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija  
e-mail: igor.ziberna@um.si

### **Danijel Ivajnsič**

Dr., prof. geografije in biologije, docent  
Oddelek za geografijo  
Filozofska fakulteta  
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija  
e-mail: dani.ivajnsic@um.si

UDK: 504.05:628.93:528.88

COBISS: 1.01

### ***Izvleček***

#### **Daljinsko zaznavanje svetlobne onesnaženosti v Sloveniji**

V članku so predstavljeni rezultati analize svetlobne onesnaženosti na območju Slovenije v obdobju 2013-2017. Podatki so pridobljeni s satelita Suomi NPP, ki snema površje Zemlje tudi v nočnem kanalu. Prikazani so rezultati svetlobne onesnaženosti po občinah in trendi svetlobne onesnaženosti v omenjenem obdobju. Posebej so izpostavljena območja z zelo visokimi in nizkimi vrednostmi svetlobne onesnaženosti.

#### ***Ključne besede***

Svetlobna onesnaženost, daljinsko zaznavanje, Slovenija

#### ***Abstract***

##### **Remote sensing of light pollution in Slovenia**

The study deals with the problem of light pollution in Slovenia in the period 2013-2017. Remotely sensed data were obtained from the Suomi NPP satellite, which is scanning the earth's surface at night. The findings and geospatial trends of light pollution in the mentioned time period are discussed on the national and municipal levels. Some areas with very high and low levels of light pollution were exposed.

#### ***Key words***

Light pollution, remote sensing, Slovenia

*Uredništvo je članek prejelo 3.10.2018*

## 1. Uvod

Svetlobno onesnaževanje predstavlja eno od novejših oblik degradacije okolja. Človek je različne načine osvetljevanja okolja v nočnem času uporabljal že od prazgodovine, vendar bi lahko o intenzivnejšem svetlobnem onesnaževanju govorili šele od uporabe električnih sijalk naprej. V obdobju med sumersko civilizacijo in začetkom 19. stoletja se je tehnologija nočnega razsvetljevanja ni bistveno spremenila. V prevladi so bile oljenke, ki so jih v 19. stoletju počasi začele zamenjevati najprej plinske svetilke, ob koncu 19. stoletja pa električne. Slednje so se v 20. stoletju pojavljale v različnih izvedenkah (Mizon 2012, 34-35). Problem pri nočnem razsvetljevanju ni le jakost sijalk, pač pa tudi njihov spekter. LED sijalke, ki se v zadnjem času širijo tudi pri nas so energijsko sicer učinkovitejše, vendar pa zaradi sija predvsem v modrem delu spektra puščajo mnogo večje prostorske učinke. Po Rayleighovem zakonu je sipanje svetlobe v obratnem razmerju s črto potenco valovne dolžine. Povedano drugače: modra svetloba (z valovno dolžino 400 nm) se v atmosferi siplje šestnajstkrat intenzivneje kot rdeča svetloba (z valovno dolžino 800 nm) (Petkovšek Hočevar 1995, 16). Z napredkom tehnologije razsvetljevanja, s spreminjanjem bivalnih navad in s širjenjem mest se je – zlasti po 2. svetovni vojni – vse bolj večala tudi množičnost uporabe svetilk. Prav v mestih so na težave zaradi množične uporabe svetilk med prvimi začeli opozarjati ljubiteljski in profesionalni astronomi, kasneje ekologi, danes pa na negativne učinke množične uporabe svetilk v nočnem času na zdravje človeka opozarja tudi medicina. Izpostavljenost umetni svetlobi namreč prekine tvorbo hormona melatonina, zaradi česar so take osebe močnejše izpostavljene nevarnostim različnih oblik raka (Falchi et al. 2011; Pauley 2004). Pretirana uporaba svetilk v nočnem času predstavlja tudi pomemben vir potrošnje energije. V Sloveniji za javno razsvetlavo v povprečju porabimo 83 kWh tokovine na prebivalca na leto, kar je približno dvakrat več od porabe v Nemčiji ali na Nizozemskem (Svetlobno onesnaženje... 2010). Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja zahteva, da se letna poraba električne energije za javno razsvetlavo na prebivalca občine zmanjša pod 44,5 kWh (Uredba... 2007).

Analize satelitskih posnetkov v dnevno-nočnem kanalu kažejo, da 83 % svetovnega in 99 % evropskega prebivalstva živi v svetlobno onesnaženem nočnem okolju (sij neba presega  $14 \mu\text{cd}/\text{m}^2$ ). Zaradi svetlobno onesnaženega nočnega neba je za pogled na našo galaksijo (Rimsko cesto) prikrajšanih tretjina svetovnega prebivalstva, 60 % Evropejcev in 80 % prebivalcev Severne Amerike. Najbolj onesnažene države so Singapur (100 % prebivalcev živi v svetlobo onesnaženih nočnih pogojih), Kuvajt (98 %), Katar (97 %), Združeni arabski emirati (93 %), Saudova Arabija (83 %), Južna Koreja (66 %), Izrael (61 %), Argentina (58 %) itd. Svetlobno najmanj onesnažena območja so Grenlandija (0,12 %), Centralno afriška republika (0,29 %), Somalija (1,2 %) in Mavretanija (1,4 %) (Falchi et al. 2016). Podatki so lahko seveda zavajajoči, če jih ne znamo interpretirati in z njimi lahko manipuliramo, pa vendar kažejo na dejstvo, da ekonomska uspešnost neke države še ne zagotavlja kakovostnega bivalnega okolja.

Svetlobna onesnaženost vpliva tudi na ekosisteme, predvsem na nočne živali (žuželke, netopirji itd.) (Bruce-White, Shardlow 2011; Huemer, Kühtreiber, Tarmann 2010). Končno, a ne najmanj pomembno: zaradi svetlobne onesnaženosti so danes v urbanih in suburbanih okoljih okrnjene tudi kulturne ekosistemske storitve (Hölker et al. 2010), kamor med drugim sodi kvaliteta temnega neba. Posledično bi lahko svetlobno neonesnaženo nočno nebo lahko uvrstili med naravno dediščino, ki jo je potrebno (za)ščititi.

V prispevku tako obravnavamo stanje in trende svetlobnega onesnaženja na državnem in občinskem nivoju. Podrobneje nas zanima: (1) kakšna je frekvenčna porazdelitev radiance v Sloveniji (2) katere občine v Sloveniji dosega najvišjo in katere najnižjo povprečno vrednost radiance (3) kakšna je zveza med svetlobno onesnaženostjo in izbranimi socio-ekonomski kazalci (število prebivalcev, bruto plača, dolžina javnih cest in kefcient razvitosti občine) (4) kakšno je stanje svetlobnega onesnaženja na območju Nature 2000 ter (5) kakšni so trendi svetlobnega onesnaževanja na državnem in občinskem nivoju?

## 2. Metodologija dela

Svetlobna onesnaženost se kot nova oblika degradacije okolja v naši percepciji še ni zasidrala. Kljub temu se za meritve na tržišču že dobrih deset let pojavlja merilec sija neba Sky Quality Meter (SQM), ki ga izdeluje kanadsko podjetje Unihedron in ki je po vsem svetu sprejet kot standardiziran način mejenja svetlobne onesnaženosti. Prednost uporabe merilca SQM je ta, da za dano lokacijo dobimo podatek o siju neba takoj. 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. Z razvojem tehnologije daljinskega zaznavanja posameznih okoljskih komponent smo dobili možnost pridobivanja podatkov za širše območje. Če so tako pridobljeni podatki georeferencirani, ti omogočajo prostorske analize in analize spreminjanja posameznih okoljskih komponent v daljšem časovnem obdobju. Število satelitov v zemeljski orbiti, ki služijo povsem civilnim potrebam se večja, s tem pa se širi tudi nabor informacij posameznih okoljskih komponent, ki tako predstavljajo nov vir prostorskih podatkov, pridobljenih s pomočjo analize satelitskih posnetkov oziroma t.i. daljinskega zaznavanja.

Ameriška agencija 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. Satelit je naslednik starejšega satelita Defense Meteorological Satellite Program ali DMSP. Orbita Suomi NPP je 824 km nad površjem Zemlje. Satelitova orbita je skoraj polarna in nad vsako točko leti dvakrat: okoli 13:30 in 1:30 po lokalnem sončevem času. V času enega dneva opravi 14 obhodov Zemlje. 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 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 izraženi v nanowatih na steradian<sup>1</sup> na kvadratni centimeter (nW/sr cm<sup>2</sup>). 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

---

<sup>1</sup> Steradian (oznaka sr) je v mednarodnem sistemu enot izpeljana enota za prostorski kot, ki ima vrh v središču krogle, na površini pa mu pripada ploščina kvadrata, ki ima stranico enako polmeru krogle. To pomeni, da je na površini krogle izrezana površina  $r^2$  (Veliki splošni leksikon 2006, 4204).

namestitvi »belih« LED sijalk v resnici poslabšalo. Po že omenjenem Rayleighovem zakonu 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 resolucije, kot tudi glede dinamičnega razpona informacij o stanju svetlobne onesnaženosti. Pred tem so informacije v dnevno-nočnem kanalu zbirali z že omenjenim satelitom Defense Meteorological Satellite Program (DMSP). Podatki v dnevno-nočnem kanalu satelita DMSP so zbrani za obdobje 1992 – 2012 in so v prostorski resoluciji 1km x 1km, vrednosti pa so izražene v t.i. digitalnem številu (digital number), ki se giblje med 0 in 63 in imajo kot taki bistvo nižji dinamični razpon od podatkov satelita Suomi NPP (Bennie et al. 2014). Kljub prej omenjenim pomanjkljivostim tipal v dnevno-nočnem kanalu na satelitu Suomi NPP, smo se odločili, da bomo v naši analizi svetlobne onesnaženosti na območju Slovenije uporabili prav podatke s tega satelita.

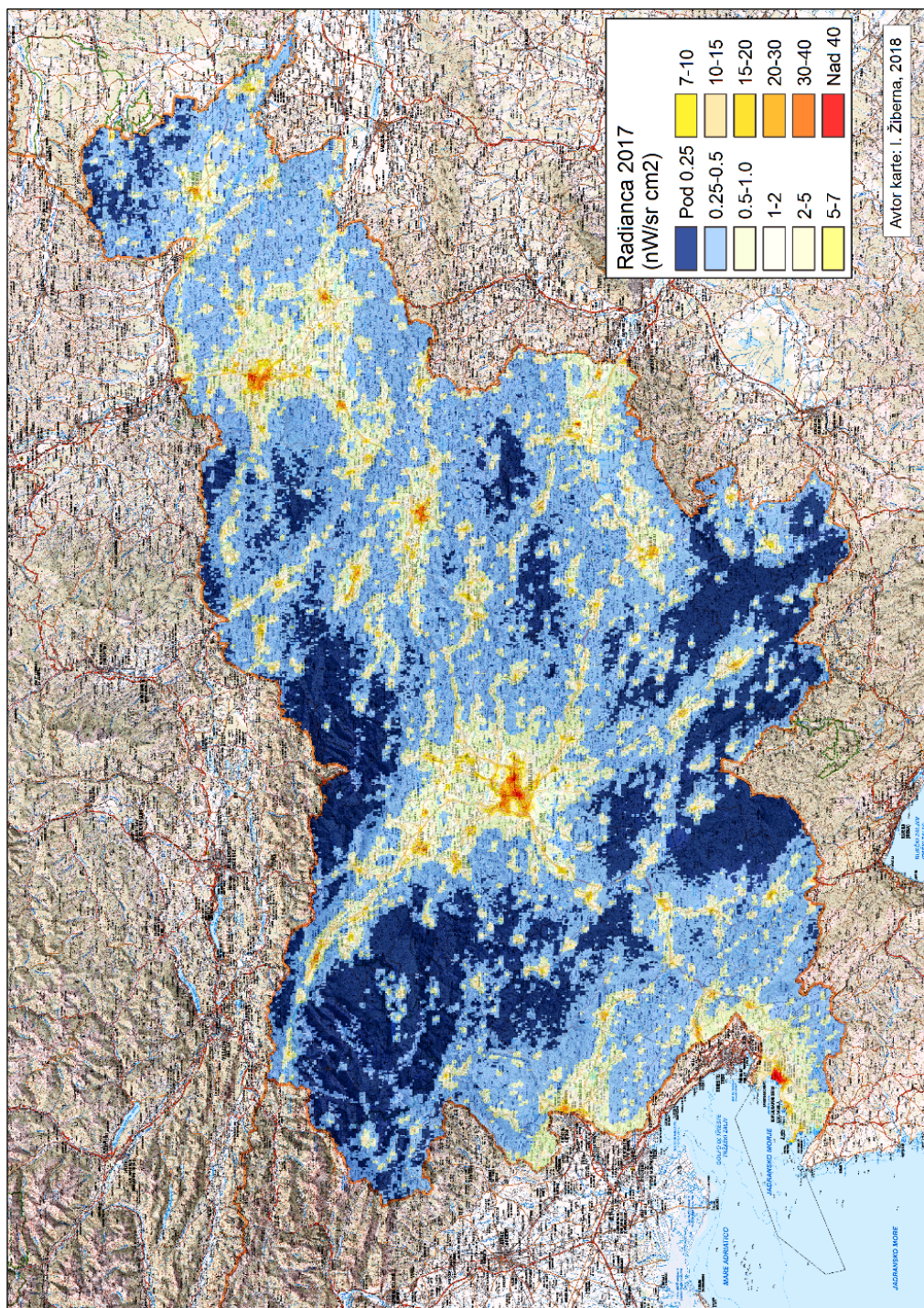
Podatke smo na mesečnem nivoju zbrali za obdobje januar 2013 – december 2017, in jih filtrirali za območje Slovenije. Podatke smo analizirali na več nivojih: zanimalo nas je stanje radiance leta 2017, trendi radiance v obdobju 2013-2017 in stanje na nivoju občin v Sloveniji. Večina javne infrastrukture, ki je tako ali drugače povezana z osvetljevanjem ponoči je namreč v pristojnosti občin in 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.

Vektorske podatke za občine ter vrednosti socio-ekonomskih kazalcev (število prebivalcev, bruto plača, dolžina javnih cest in koeficient razvitosti občine) za leto 2017 smo pridobili na Statističnem uradu RS ter na Ministrstvu za finance RS. Prostorski podatki za obočje Nature 2000 so bili pridobljeni na Agenciji Republike Slovenije za okolje. Te prostorske enote so nam v nadaljevanju raziskave omogočile izračun povprečnih vrednosti radiance na posamezno enoto pri čimer smo uporabili orodje zonalne statistike (ang. Zonal Statistics) v sklopu programskega paketa ArcGIS (ESRI 2018). Zvezo med socio-ekonomskimi kazalci in povprečno radianco, na nivoju občin, smo prikazali z uporabo regresijske analize.

### 3. Rezultati in diskusija

#### 3.1 Stanje svetlobne onesnaženosti v Sloveniji leta 2017

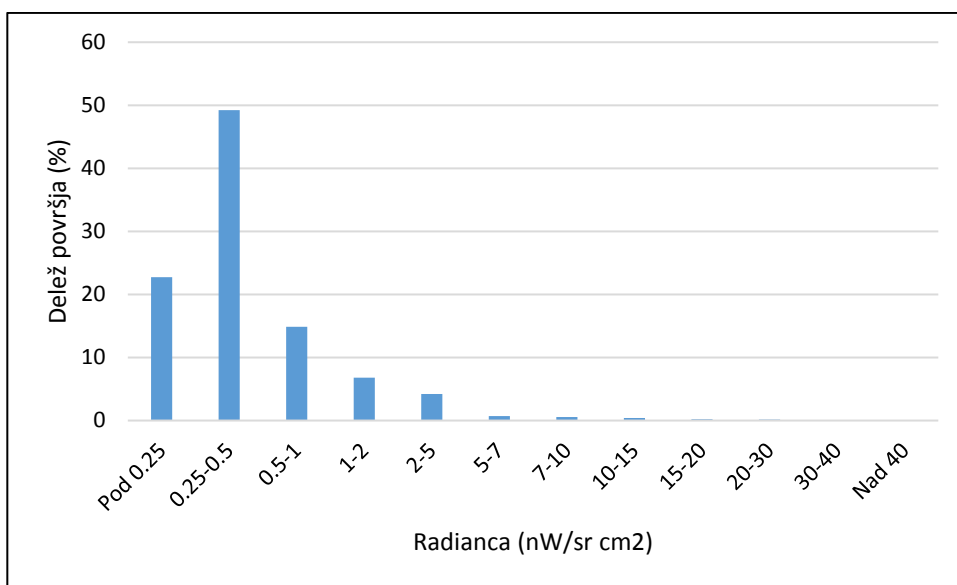
Na območju Slovenije je leta 2017 bila zabeležena povprečna radianca 0,780 nW/sr cm<sup>2</sup>, večji del površja pa je sodil v razred radiance med 0,25 in 0,5 nW/sr cm<sup>2</sup> (998393,2 ha ali 49,25 % površja). Le 460686,9 ha (ali 22,72 %) je imelo radianco pod 0,25 nW/sr cm<sup>2</sup>, s katero označujemo pogoje s povprečnimi pogoji svetlobne onesnaženosti. Povedano drugače, le dobra petina slovenskega ozemlja se lahko pohvali s povprečnimi razmerami svetlobne onesnaženosti. Dobra četrтина slovenskega ozemlja se nahaja v nadpovprečno svetlobno onesnaženih pogojih: 301635,1 ha (14,88 %) se nahaja v razredu radiance med 0,5 in 1,0 nW/sr cm<sup>2</sup>, dobrih 15 % površja pa v razredu nad 1 nW/sr cm<sup>2</sup>. 590,4 ha površja se nahaja v ekstremno svetlobno onesnaženih pogojih, v katerih radianca presega 40 nW/sr cm<sup>2</sup> (Slika 1 in 2). Zgolj kot zanimivost naj omenimo, da se je v letu 2017 najsvetlejši piksel z radianco 124,13 nW/sr cm<sup>2</sup> nahajal v Luki Koper, najtemnejši pikseli z radianco 0,165 nW/sr cm<sup>2</sup> pa na osrednjem delu Bohinjskega jezera in ob njegovem severnem



Slika 1: Radianca leta 2017 na območju Slovenije (v nW/sr cm<sup>2</sup>).

Vir: Medmrežje 1; lastni izračuni, 2018.

robu. Podobno študijo so leta 2016 izvedli tudi na območju Velike Britanije in sicer na administrativnih območjih Anglije, Walesa in Škotske. Povprečna radianca na območju Anglije je  $2,92 \text{ nW/sr cm}^2$ , Walesa  $1,15 \text{ nW/sr cm}^2$ , Škotske pa  $0,79 \text{ nW/sr cm}^2$  (England's Light Pollution 2016). Povprečna radianca v Londonu je  $30,53 \text{ nW/sr cm}^2$ , maksimalna pa kar  $571,54 \text{ nW/sr cm}^2$ , kar je celo bistveno svetleje od najsvetlejšega območja v Luki Koper. Najsvetlejši piksel v Ljubljani z radanco  $51,17 \text{ nW/sr cm}^2$  se je leta 2017 nahajal med Šubičevo ulico in Aškerčevo cesto, ter med Prešernovo cesto in Ljubljano. V Mariboru se je tega leta najsvetleši piksel z radanco  $43,21 \text{ nW/sr cm}^2$  nahajal na levem bregu Drave med trgovskim centrom City ob Titovi cesti in glavno avtobusno postajo ob Mlinski ulici.



Slika 2: Frekvenčna distribucija razredov radianca na območju Slovenije leta 2017 (v  $\text{nW/sr cm}^2$ )

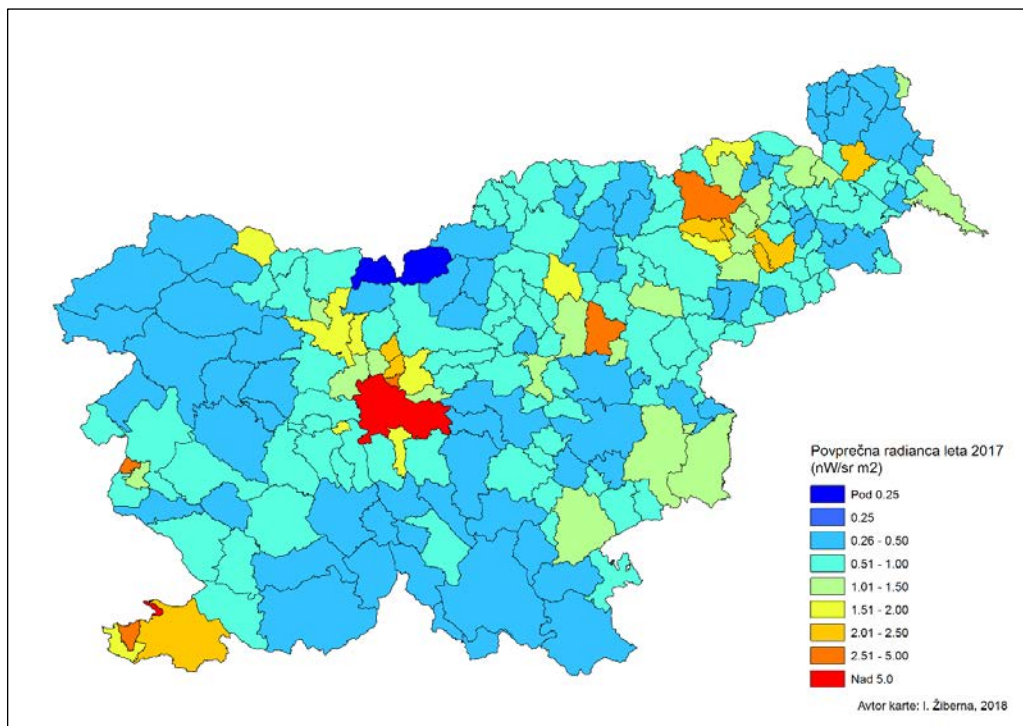
Vir: lastni izračuni, 2018.

### 3.2 Stanje svetlobne onesnaženosti na nivoju občin leta 2017

Na vire svetlobnega onesnaževanja imajo preko upravljanja z javno infrastrukturo in načrtovanjem 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 radianca.

Najvišja zabeležena radianca leta 2017 je bila zaznana na območju občine Ankaran in sicer  $9,5 \text{ nW/sr cm}^2$ . Z veliko verjetnostjo lahko domnevamo, da se vir tako visokih vrednosti ne nahaja na območju omenjene občine, pač pa v bližnji Luki Koper, s 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 ( $5,4 \text{ nW/sr cm}^2$ ) in Mariboru ( $4,8 \text{ nW/sr cm}^2$ ), na četrtem mestu pa je nekoliko nepričakovano občina Šempeter-Vrtojba ( $4,7 \text{ nW/sr cm}^2$ ), kjer pa si visoke vrednosti lahko razlagamo z močno osvetljeno infrastrukturo (mejni prehod, storitvene dejavnosti) na koncu hitre ceste skozi Vipavsko dolino, tik pred mejnim prehodom na meji z Italijo. Med občine z višjo vrednostjo povprečne radianca v letu

2017 sodijo še Celje (3,3 nW/sr cm<sup>2</sup>), Trzin (2,8), Izola (2,6), Ptuj (2,4), Murska Sobota (2,3), Miklavž na Dravskem polju (2,3), Hoče Slivnica (2,1), Mengeš (2,1), Koper (2,1), Komenda (2,1), Hajdina (2,0) in Domžale (2,0). Na drugem koncu frekvenčnega razpona se nahajata občini Jezersko in Solčava (obe po 0,2 nW/sr cm<sup>2</sup>), ter občine Kobilje, Bohinj, Grad, Kostel, Bovec, Osilnica, Dobje, Črna na Koroškem, Luče, Gorenja Vas-Poljane, Kuzma in Ribnica na Pohorju (vse po 0,3 nW/sr cm<sup>2</sup>) (Slika 3). Morda v tej družini nekoliko presenetljivo izstopata občini Bovec in Bohinj, ki sta kljub turistični infrastrukturi uspeli ohraniti nizko raven radianca, res pa je, da predvsem občina Bohinj posega na območje Triglavskega narodnega parka.



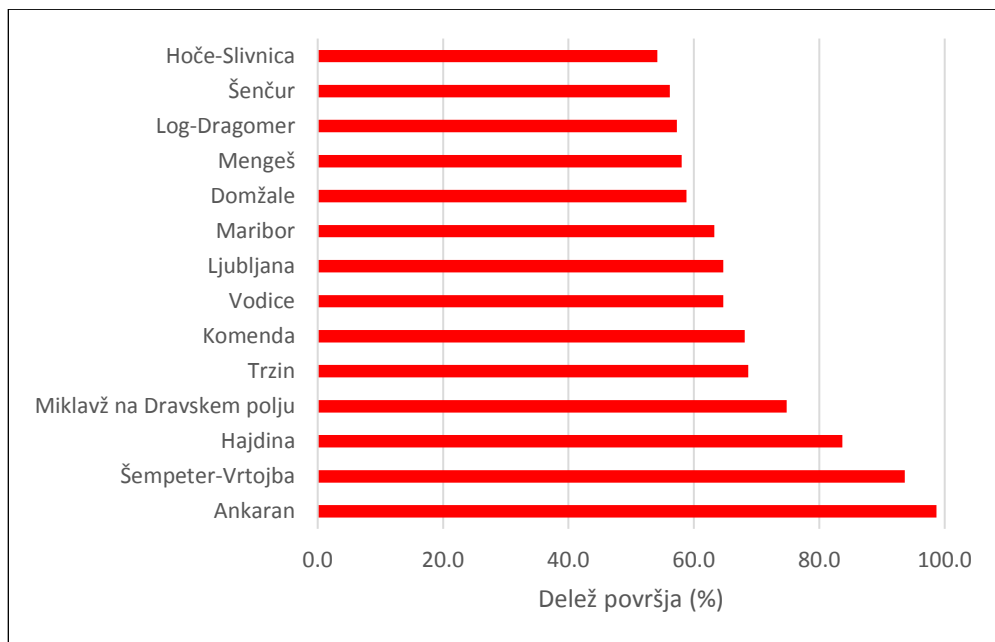
Slika 3: Povprečna radianca po občinah leta 2017.

Vir: Medmrežje 1; lastni izračuni, 2018.

Občine z najvišjim deležem površja v razredu radianca nad 1,0 nW/sr cm<sup>2</sup> so Ankaran (98,7 %), Šempeter-Vrtojba (93,6 %), Hajdina (83,7 %), Miklavž na Dravskem polju (74,8 %), Trzin (68,7 %), Komenda (68,1 %), Vodice (64,7 %), Ljubljana (64,7 %), Maribor (63,2 %), sledijo pa še Domžale, Mengeš, Log-Dragomer, Šenčur, Hoče-Slivnica itd. (Slika 4).

O vzrokih za veliko svetlobno onesnaženost v občinah Ankaran in Šempeter-Vrtojba smo že spregovorili. Ostale občine se večinoma nahajajo v suburbanem območju Ljubljane ali Maribora, izstopa občina Hajdina. V teh primerih lahko visoke vrednosti pojasnimo z odločitvijo lokalne skupnosti, da osvetljevanju v nočnem času dajo (pre)velik pomen. Površje občine Hajdine poteka ob stari cesti Maribor-Ptuj in ob podravski avtocesti, tako da pokriva v glavnem pozidani del, le skrajni severni del občine sega na nepozidano območje na eni od dravskih teras, zato so v povprečju

visoke vrednosti radiance lahko tudi zavajajoče. Obraten primer je občina Hoče – Slivnica, ki na zahodu z velikim delom površja sega v pobočja Pohorja, pa kljub temu beleži visok delež svetlobno onesnaženega površja. Upoštevajoč dejstvo, da so v številnih občinah (zanesljivo pa v Ljubljani in Mariboru) v procesu prenove javne razsvetljave prešli na »bele« LED sijalke, ki jih tipalo VIIRS ne zazna tako učinkovito, lahko sklepamo, da je stanje v resnici še slabše.

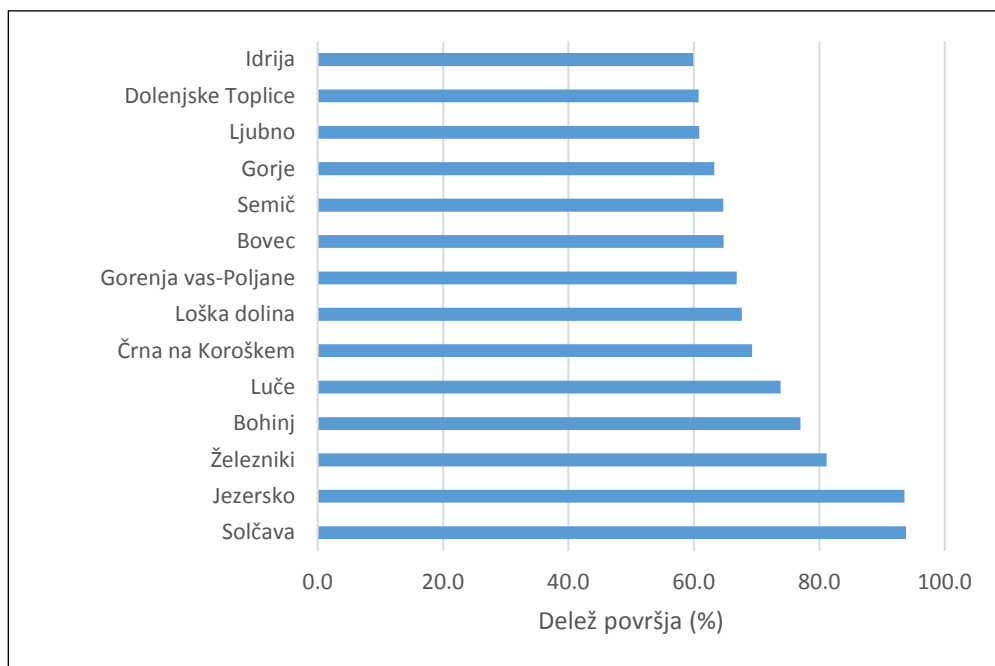


Slika 4: Delež površja v razredu radiance nad  $1,0 \text{ nW/sr cm}^2$  v svetlobno najbolj onesnaženih občinah.

Vir: lastni izračuni, 2018.

Občini Jezersko in Solčava ne beležita le v splošnem najnižjih vrednosti radiance (pod  $0,25 \text{ nW/sr cm}^2$ ), pač pa imata tudi daleč najvišji delež svetlobno najmanj onesnaženega površja (Solčava 93,8 % površja, Jezersko 93,6 %). Med občinami, ki imajo nizke deleže svetlobno najmanj onesnaženega površja sodijo še Železniki, Bohinj, Luče, Črna na Koroškem, Loška dolina, Gorenja Vas-Poljane, Bovec, Semič, Gorje, Ljubno, Dolenjske Toplice in Idrija (Slika 5). Pri vseh občinah gre za velike deleže površja pod gozdom, njihova občinska središča pa ne predstavljajo zelo skoncentriranih virov svetlobnega onesnaženja. Pogosto k nizkim vrednostim svetlobnega onesnaženja botruje razpršena poselitev s praviloma manj javne razsvetljave.





Slika 5: Občine z najvišjim deležem površja z radianco pod 0,25 nW/sr cm<sup>2</sup>.

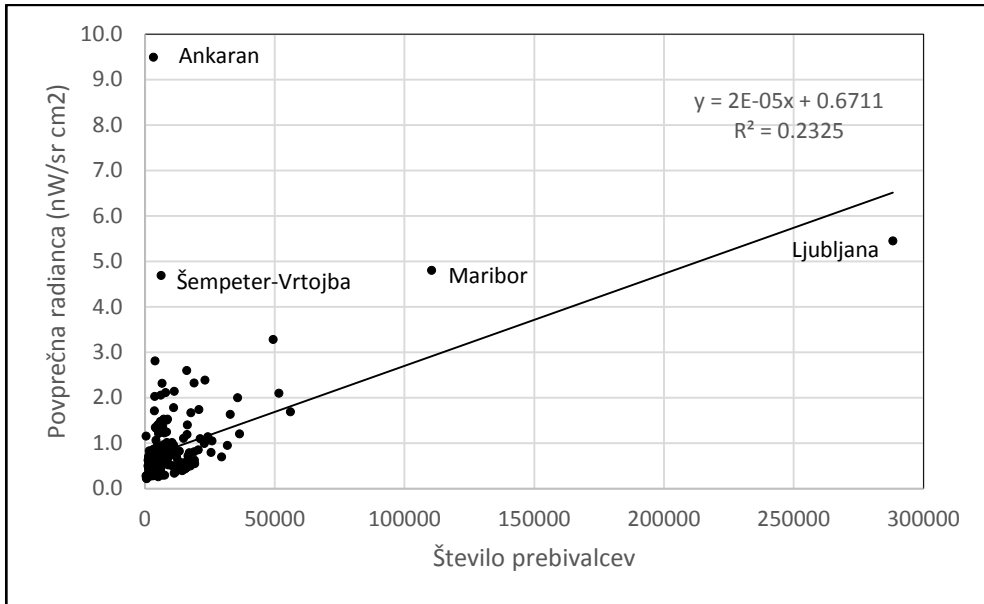
Vir: lastni izračuni, 2018.

### 3.3 Zveza med svetlobnim onesnaženjem in izbranimi socio-ekonomski kazalci na nivoju občin

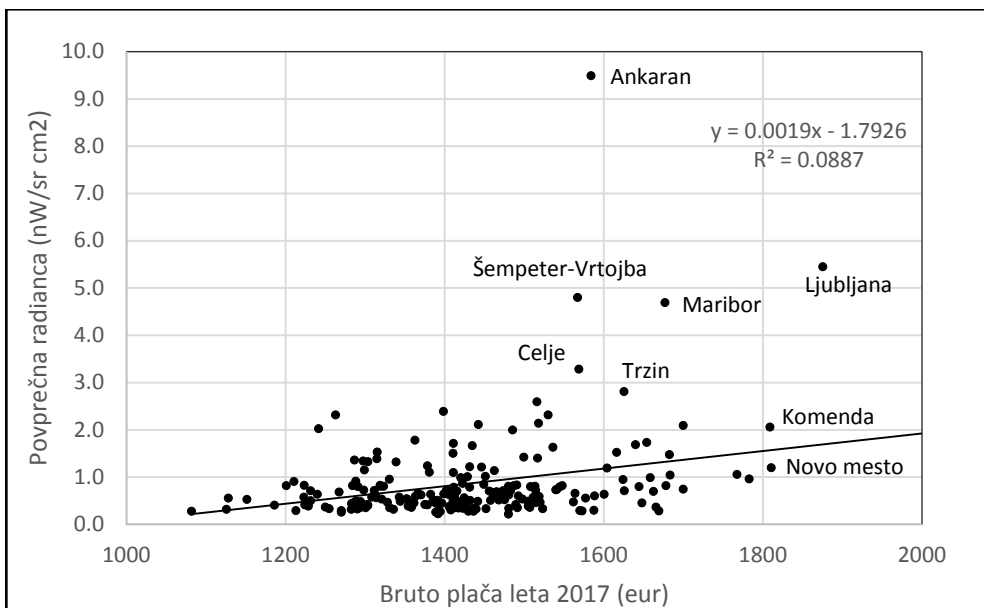
Povprečno radianco po občinah smo primerjali tudi z izbranimi značilnostmi občin, kot so število prebivalcev (Slika 6), bruto plača (Slika 7), dolžina javnih cest (Slika 8) in koeficient razvitosti občine (Slika 9), ter za vse povezave izračunali regresijsko povezavo in determinacijski koeficient, ki nam pove, kolik delež razlik v radianci lahko pojasnimo z razlikami v vsakem od omenjenih parametrov.

Primerjava radiance in števila prebivalcev kaže, da pri nekaterih občinah igra dosti večjo vlogo specifična javna infrastruktura. Maribor kaže nekoliko nadpovprečno, Ljubljana pa podpovprečno radianco glede na število prebivalcev. Če bi iz analize izločili obe največji slovenski občini, bi se regresijska premica dvigala strmeje, kar pomeni, da bi le majhno povečanje števila prebivalcev vplivalo na močno povečanje radiance. Le 23 % razlik v povprečni radianci lahko pojasnimo z razlikami v številu prebivalcev, opazimo pa tudi, da med po številu prebivalcev primerljivimi občinami nastajajo tudi pet do deset kratne razlike v radianci.

Tudi pri zvezi med povprečno bruto plačo v občini, ki je eden od kazalcev ekonomske moči le-te in radianco se kažejo velika nesorazmerja. Radianca se v povprečju povečuje za 0,19 nW/sr cm<sup>2</sup> na vsakih 100 eur bruto plače. Kljub vsemu pa lahko le slabih 9 % razlik v radianci pojasnimo z razlikami v bruto plači. Poleg že prej omenjenih občin v negativnem smislu izstopajo občine Celje, Trzin in Komenda.



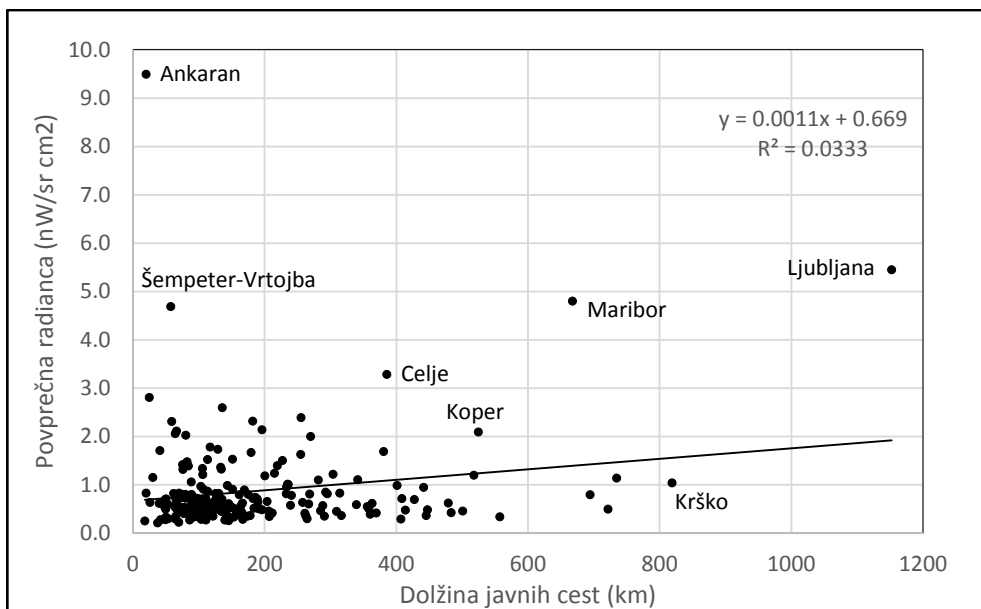
Slika 6: Število prebivalcev in povprečna radianca leta 2017 po občinah.  
Vir: SURS, 2018; lastni izračuni.



Slika 7: Bruto plača in povprečna radianca leta 2017 po občinah.  
Vir: SURS, 2018; lastni izračuni.

Večina javne razsvetljave je tako ali drugače povezana s cestno razsvetljavo. Ob predpostavki, da imamo racionalno in ekološko vzdržno občestno razsvetljavo, bi

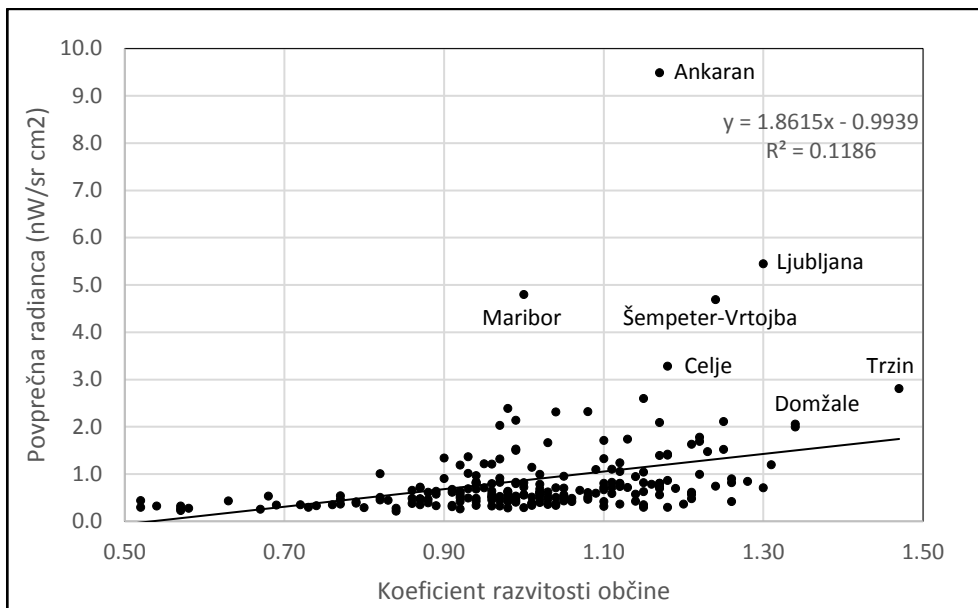
morale biti povezave med radianco in dolžino javnih cest zelo visoke. Determinacijski koeficient kaže, da lahko le dobre 3 % razlik v radianci pojasnimo z razlikami v dolžini javnih cest. Tudi tukaj poleg občin Ankaran in Šempeter-Vrtojba močno izstopajo občine Ljubljana, Maribor, Celje in Koper. Morda še bolj moti dejstvo, da so razlike med primerljivimi srednje velikimi in majhnimi občinami za cel velikostni razred (Slika 8).



Slika 8: Dolžina javnih cest in povprečna radianca leta 2017 po občinah.  
Vir: SURS, 2018; lastni izračuni.

Vlada RS je leta 2017 sprejela Uredbo o metodologiji za določitev razvitosti občin (Uredba o metodologiji...2017), s katero je koeficient razvitost občine izražala na osnovi kazalca, ki se izračunava ob upoštevanju naslednjih kriterijev: bruto dodana vrednost gospodarskih družb na zaposlenega, osnova za dohodnino na prebivalca občine, število delovnih mest na število delovno aktivnega prebivalstva občine, indeks staranja prebivalstva občine, stopnja registrirane brezposelnosti na območju občine, stopnja delovne aktivnosti na območju občine, oskrbljenost z dobrinami in storitvami javnih komunalnih služb, opremljenost s kulturno infrastrukturo, delež območij Nature 2000 v občini in poseljenost občine. Rezultati izkazujejo pozitivno povezavo med koeficientom razvitosti občine in radianco, medtem ko na osnovi determinacijskega koeficienta lahko slabih 12 % razlik v radianci pojasnimo z razlikami v koeficientu razvitosti občin (Slika 9).

Skupno vsem zgoraj omenjenim analizam je, da z uporabljenimi parametri ne moremo dovolj racionalno pojasniti povezav s svetlobno onesnaženostjo. Čeprav bi ta problematika zahtevala posebno in bolj poglobljeno analizo, pa se ne moremo znebiti vtisa, da so razlike v radianci in svetlobni onesnaženosti med primerljivimi občinami prevelike, kar vodi k spoznanju, da je stopnja svetlobnega onesnaževanja odvisna od (ne)osveščenosti prebivalcev lokalnih skupnosti.



Slika 9: Koefficient razvitosti občine in povprečna radianca leta 2017 po občinah.  
Vir: Medmrežje 2; lastni izračuni.

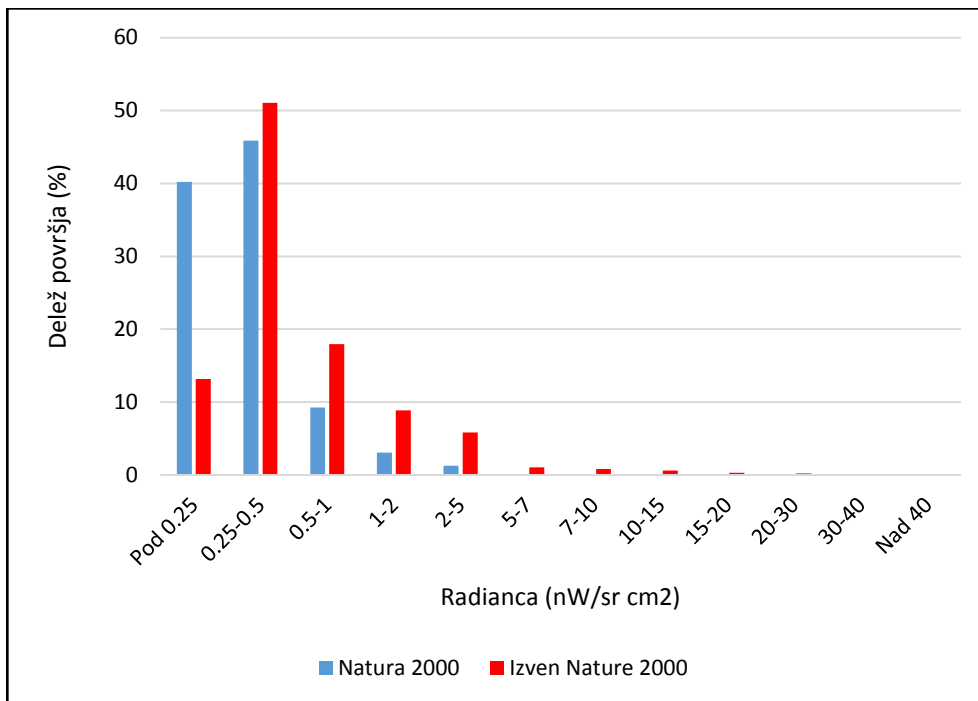
### 3.4 Stanje svetlobnega onesnaženja na območju Nature 2000 v letu 2017

Slovenija se kot območje z veliko geodiverzitetno trudi varovati naravno dediščino. V okviru Nature 2000 je določenih 355 območij, od tega jih je 324 določenih na podlagi direktive o habitatih in 31 na podlagi direktive o pticah. Skupna površina v območjih Nature 2000 je 7.681 km<sup>2</sup>, od tega 7.675,5 km<sup>2</sup> na kopnem in 5,5 km<sup>2</sup> na morju. Skupaj pokrivajo 37,46 odstotkov površine Slovenije (Medmrežje 3). Z zakonodajo je določen način gospodarjenja z naravnimi viri in omejitve glede posegov v prostor (Uredba o posebnih varstvenih območjih... 2004). Vplivi svetlobnega onesnaževanja z viri izven zavarovanih območij se seveda ne končajo na meji le-teh, zato nas je zanimalo, koliko površja znotraj zavarovanega območja Natura 2000 zaznava vplive svetlobnega onesnaženja. Meja radianca, nad katero bi lahko zanesljivo govorili o svetlobno onesnaženem nebu (0,25 nW/sr cm<sup>2</sup>) je določena arbitrarno, vendar smo se pri tem naslonili na že omenjeno študijo, ki je obravnavala stanje svetlobne onesnaženosti v Veliki Britaniji (England's Light Pollution 2016). Po drugi strani vrednosti radianca pod 0,25 nW/sr cm<sup>2</sup> še nikakor ne pomenijo, da imamo na teh območjih res kakovostno temno nebo.

Rezultati kažejo, da je na območju Nature 2000 le 40,23 % površja z radianco pod 0,25 nW/sr cm<sup>2</sup>, medtem ko je izven območja Nature 2000 takega površja le 13,16 %. Slaba polovica območij Natura 2000 ima radianco med 0,25 in 0,5 nW/sr cm<sup>2</sup>, kar dobrih 13 % pa radianco celo nad 0,5 nW/sr cm<sup>2</sup> (Slika 12), kar dokazuje, da je večina območja Nature 2000 v Sloveniji že svetlobno onesnaženo.

Zaradi narave onesnaževanja bo v bodoče pri varovanju okolja na zaščiteneh območjih potrebno upoštevati tudi intenzivnost svetlobnega onesnaževanja izven zavarovanih območij. Žal tudi to ne bo dovolj, saj se Slovenija nahaja v bližini svetlobno najbolj

onesnaženih območij v Evropi (severna Italija), kjer učinki niso več le lokalni, pač pa regionalni.



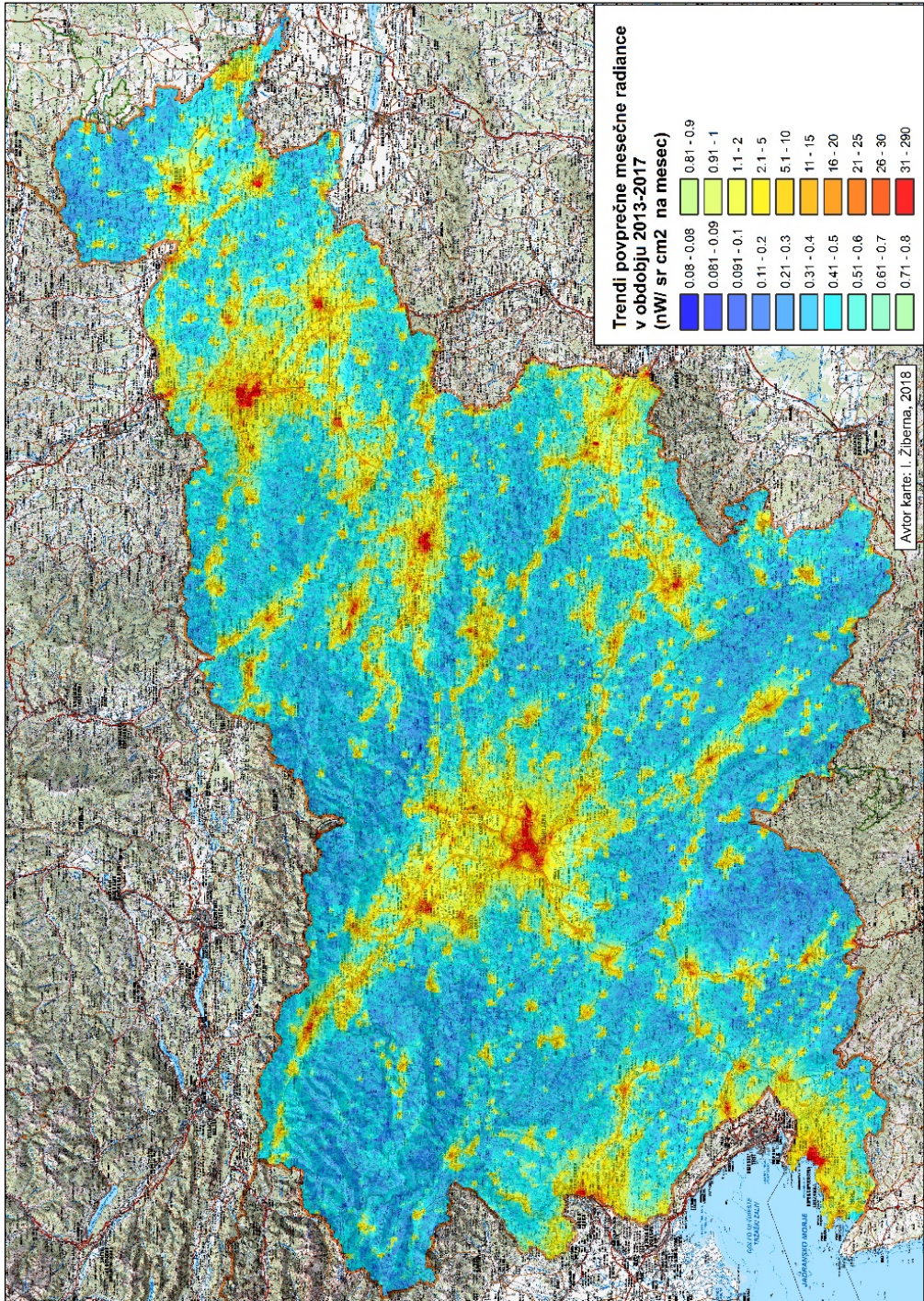
Slika 12: Deleži površja območij Nature 2000 in območij izven Nature 2000 glede na radianco v letu 2017.

Vir: lastni izračuni, 2018.

### 3.5 Trendi svetlobne onesnaženosti v Sloveniji v obdobju 2013-2017

Obdobje, za katerega analiziramo trende svetlobne onesnaženosti je sicer zelo kratko, vendar pred letom 2013 žal ne obstajajo podatki o radianci v nočnem kanalu s primerno velikim dinamičnim razponom. Satelit Suomi NPP je sicer začel z delovanjem leta 2012, vendar popolni podatki obstajajo od januarja 2013 naprej.

Povprečni trend v analiziranem obdobju za območje celotne Slovenije je znašal 1,09 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec, vendar je razpon med najvišjim in najnižjim trendom ogromen. Najvišji trend je namreč znašal kar 292,08 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec, pri čemer je šlo za območje zahodno od središča Ljutomera in severno od Kamenščaka, kjer so pred leti postavili velik rastlinjak, ki je osvetljen tudi ponoči, zaradi česar statistično močno izstopa od povprečja (Slika 10). Naj kot zanimivost omenimo, da se najnižji trend (0,08 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec) pojavlja v Beli krajini, severno od naselja Podklanec v neposredni bližini Kolpe in meje s Hrvaško. Trendi so v splošnem razumljivo najvišji v urbanih središčih, opazno pa je nastajanje območij s povišanim trendom v suburbanih območjih, kar pa je posledica širjenja (sub)urbane infrastrukture, sprememb v življenjskem slogu in sprememb v vrednotah prebivalcev v teh območjih, kar pa ne vodijo nujno v smer višje kakovosti bivalnega okolja.



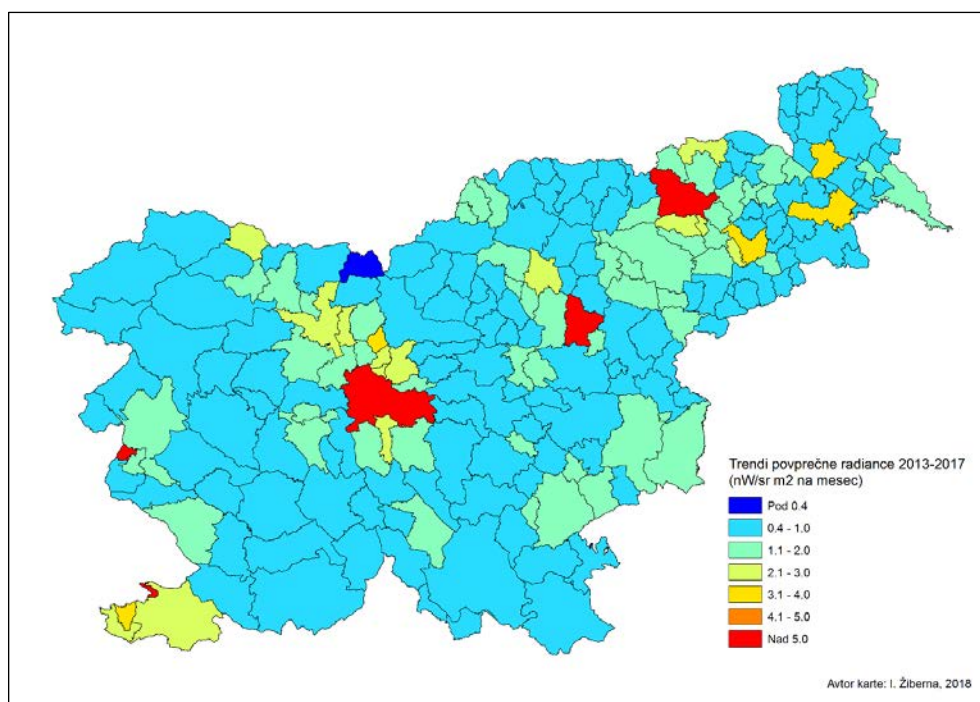
Slika 10: Trendi povprečne mesečne radiance v obdobju 2013-2017 (v nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec).

Vir: lastni izračuni, 2018.

Prepoznamo lahko nekaj območij s povišanim trendom okoli Nove Gorice, Kopra, večjih naselij v Ljubljanski kotlini (Ljubljana, Kranj, Jesenice), Celjski, Velenjski in Slovenjgraški kotlini, v trikotniku med Mariborom, Ptujem in Slovensko Bistrico, v Pomurju pa predvsem v Murski Soboti, Lendavi in Ljutomeru.

### 3.6 Trendi svetlobne onesnaženosti na nivoju občin v obdobju 2013-2017

Najvišji trend beleži občina Ankaran (14,29 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), več kot prepolovljena trenda pa še mestni občini Ljubljana (6,79 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec) in Maribor (6,61 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec). V slovenskem vrhu so še občine Šempeter-Vrtojba (5,56 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Celje 5,00 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Ljutomer (3,83 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Ptuj (3,49 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Izola (3,37 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Murska Sobota (3,31 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Komenda (3,25 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec) in Miklavž na Dravskem polju (2,99 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec). Nobena od slovenskih občin ni zaznala upada radiance. Tudi občine z najnižjim trendom beležijo rahlo poslabšanje stanja: Jezersko 0,32 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec) Kobilje (0,35 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Kuzma (0,36 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Solčava (0,36 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Grad (0,37 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Bovec 0,38 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Kobarid (0,40 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec) in Kostel (0,41 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec) (Slika 11).



Slika 11: Trendi povprečne radiance po občinah v Sloveniji obdobju 2013-2018 (v nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec).

Vir: lastni izračuni, 2018.

Omenili smo že, da je senzor VIIRS na satelitu Suomi, ki zaznava radianco v dnevno-nočnem kanalu neobčutljiv na skrajni modri del spektra, v katerem imajo t.i. »bele« LED sijalke, ki so v zadnjem času na pohodu relativno velik izsev, česar pa senzor ne zazna, zato se utegne izkazati, da so nižji trendi pri nekaterih občinah posledica prav

tega. To bodo morale potrditi ali ovreči prihodnje terenske meritve in ogledi, kar pa presega zastavljeni okvir tega članka.

#### 4. Zaključek

Z razvojem tehnologije daljinskega zaznavanja posameznih okoljskih komponent smo dobili možnost pridobivanja podatkov za širše območje. Analizirali smo povprečne mesečne vrednosti radianca (v nW/sr cm<sup>2</sup>) v nočnem kanalu za območje Slovenije v obdobju med januarjem 2013 in decembrom 2017 in mesečne trende radianca v tem obdobju.

Na območju Slovenije je bila leta 2017 zabeležena povprečna radianca 0,780 nW/sr cm<sup>2</sup>, večji del površja (998393,2 ha ali 49,25 % površja) pa je sodil v razred radianca med 0,25 in 0,5 nW/sr cm<sup>2</sup>. Le 460686,9 ha (ali 22,72 %) je imelo radianco pod 0,25 nW/sr cm<sup>2</sup>, s katerim označujemo pogoje s povprečnimi pogoji svetlobne onesnaženosti. Povedano drugače, le dobra petina slovenskega ozemlja se lahko pohvali s povprečnimi razmerami svetlobne onesnaženosti. Dobra četrtnina slovenskega ozemlja se nahaja v nadpovprečno svetlobno onesnaženih pogojih: 301635,1 ha (14,88 %) se nahaja v razredu radianca med 0,5 in 1,0 nW/sr cm<sup>2</sup>, dobrih 15 % površja pa v razredu nad 1 nW/sr cm<sup>2</sup>. 590,4 ha površja se nahaja v ekstremno svetlobno onesnaženih pogojih, v katerih radianca presega 40 nW/sr cm<sup>2</sup>. Najvišja zabeležena radianca leta 2017 je bila zaznana na območju občine Ankaran in sicer 9,5 nW/sr cm<sup>2</sup>. Povprečna radianca je pričakovano visoka tudi v Ljubljani (5,4 nW/sr cm<sup>2</sup>) in Mariboru (4,8 nW/sr cm<sup>2</sup>), na četrtem mestu pa je nekoliko nepričakovano občina Šempeter-Vrtojba (4,7 nW/sr cm<sup>2</sup>), kjer pa si visoke vrednosti lahko razlagamo z močno osvetljeno infrastrukturo (mejni prehod, storitvene dejavnosti) na koncu hitre ceste skozi Vipavsko dolino tik pred mejnim prehodom na meji z Italijo. Med občine z višjo vrednostjo povprečne radianca v letu 2017 sodijo še Celje (3,3 nW/sr cm<sup>2</sup>), Trzin (2,8), Izola (2,6), Ptuj (2,4), Murska Sobota (2,3), Miklavž na Dravskem polju (2,3), Hoče Slivnica (2,1), Mengeš (2,1), Koper (2,1), Komenda (2,1), Hajdina (2,0) in Domžale (2,0). Na drugem koncu frekvenčnega razpona se nahajata občini Jezersko in Solčava (obe po 0,2 nW/sr cm<sup>2</sup>), ter občine Kobilje, Bohinj, Grad, Kostel, Bovec, Osilnica, Dobje, Črna na Koroškem, Luče, Gorenja Vas-Poljane, Kuzma in Ribnica na Pohorju (vse po 0,3 nW/sr cm<sup>2</sup>). Rezultati kažejo, da je na območju Nature 2000 le 40,23 % površja z radianco pod 0,25 nW/sr cm<sup>2</sup>, medtem ko je izven območja Nature 2000 takega površja le 13,16 %. Slaba polovica območij Natura 2000 ima radianco med 0,25 in 0,5 nW/sr cm<sup>2</sup>, kar dobrih 13 % pa radianco celo nad 0,5 nW/sr cm<sup>2</sup>.

Povprečni trend na območju Slovenije v obdobju 2013-2017 znaša 1,09 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec, pri čemer pa se pojavljajo zelo velike razlike med posameznimi občinami. Najvišji trend beleži občina Ankaran (14,29 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), več kot prepolovljena trenda pa še mestni občini Ljubljana (6,79 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec) in Maribor (6,61 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec). V slovenskem vrhu so še občine Šempeter-Vrtojba (5,56 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Celje 5,00 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Ljutomer (3,83 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Ptuj (3,49 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Izola (3,37 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Murska Sobota (3,31 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Komenda (3,25 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec) in Miklavž na Dravskem polju (2,99 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec). V nobeni od slovenskih občin ni zaznati upada radianca. Tudi občine z najnižjim trendom beležijo rahlo poslabšanje stanja: Jezersko (0,32 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Kobilje (0,35 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Kuzma (0,36 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Solčava (0,36 nW/sr cm<sup>2</sup> na



mesec), Grad (0,37 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Bovec 0,38 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec), Kobarid (0,40 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec) in Kostel (0,41 nW/sr cm<sup>2</sup> na mesec).

Podatki tipal na satelitu Suomi so soliden vir podatkov o stanju svetlobne onesnaženosti, predvsem v primerih, ko želimo analizirati stanje na večjem območju. So tudi dober indikator neugodnih trendov in kot taki dajejo odlično iztočnico za terenske meritve in-situ in študije primerov svetlobnega onesnaženja na manjših območjih.

## Literatura

- 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.
- Petkovšek, Z., Hočvar, A. 1995: Meteorologija. Osnove in nekatere aplikacije. Biotehniška fakulteta. Oddelek za gozdarstvo. Ljubljana.
- Bruce-White, C., Shardlow, M. 2011: Review of the impact of artificial light on invertebrates.
- England's Light Pollution and Dark Sky. Final Report. LUC. London. 2016.
- ESRI, 2018. ArcGIS Desktop: Release 10.6. Redlands: Environmental Systems Research Institute.
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C.D., Keith, D.M., Haim, A. 2011: Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. Journal of Environmental Management. Volume 92, Issue 10. Elsevier.
- 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).
- Huemer, P., Kührtreiber, H., Tarmann, G. 2010: Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten. (www.hellenot.org).
- Hölker, F., Wolter, C., Perken, E.K., Tockner, K. 2010. Light pollution as a biodiversity threat. Trends in Ecology & Evolution. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>.
- Jensen, J.R., 2018: Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective. 4<sup>th</sup> Edition. Pearson. Hoboken, New Jersey, ZDA.
- Landsat 8, Data Users Handbook. Version 2.0, Department of the Interior U.S. Geological Survey. 2016. Suix Falls, South Dakota, ZDA.
- Mizon, B. 2012: Light Pollution. Responses and remedies. Springer. London.
- Pauley, S.M. 2011: Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. Medical Hypotheses. Volume 63, Issue 4. Elsevier.
- Svetlobno onesnaženje in učinkovita zunanja razsvetljava. Društvo Temno nebo Slovenije. Ljubljana. 2010.
- Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja. Uradni list 81/2007. 7.9.2007. Ljubljana.
- Uredba o metodologiji za določitev razvitosti občin. UL RS 76, 22.12.2017.
- Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000). UL RS 49, 30.4.2004.
- Veliki splošni leksikon, 2006: Knjiga 17, sk-Su. Državna založba Slovenije. Ljubljana.
- Medmrežje 1:  
[https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download\\_dnb\\_composites.html](https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html)  
(10.5.2018)

Medmrežje 2:

[http://www.mf.gov.si/si/delovna\\_podrocja/lokalne\\_skupnosti/izracuni/dolocitev\\_koeficientov\\_razvitosti\\_obcin/za\\_leti\\_2018\\_in\\_2019/](http://www.mf.gov.si/si/delovna_podrocja/lokalne_skupnosti/izracuni/dolocitev_koeficientov_razvitosti_obcin/za_leti_2018_in_2019/) (2.8.2018)

Medmrežje 3: <http://www.natura2000.si/o-naturi-2000/natura-2000-v-sloveniji/> (8.8.2018)

## REMOTE SENSING OF LIGHT POLLUTION IN SLOVENIA

### Summary

The development of remote sensing technology gave us the opportunity to measure several environmental components on a much larger scale. Georeferenced data can be used in order to perform spatial analyzes and thus quantify environmental change processes over time. We used images from the Suomi NPP satellite that were produced with the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite sensors (VIIRS), consisting of a set of 22 different sensors, one of which records the surface in the so-called Day/Night Band (DNB). The spatial resolution of the pixel in the nadir point is about 750x750 m. We analyzed the average monthly values of radiance (in nW/sr cm<sup>2</sup>) and monthly trends in the territory of Slovenia between January 2013 and December 2017.

Slovenia reached the average radiance of 0,780 nW/sr cm<sup>2</sup> in 2017. The majority of the lit surface (998393,2 ha or 49,25%) reached the radiance values between 0.25 and 0.5 nW/sr cm<sup>2</sup>. Only 22,72% of the study area (460686,9 ha) had radiance values below the commonly accepted average light pollution conditions indicated with values below 0,25 nW/sr cm<sup>2</sup>. In other words, we can find average light pollution conditions in only a good fifth of the Slovenian territory. Consequently, a good quarter of the Slovenian territory had above average light polluted conditions: 301635,1 ha (14,88%) reached the radiance class between 0,5 and 1,0 nW /sr cm<sup>2</sup>, while a good 15% of the lit surface reached the class of more than 1 nW/sr cm<sup>2</sup>. However, 590,4 ha were extremely light polluted (radiance values exceed 40 nW/sr cm<sup>2</sup>). The highest recorded radiance in 2017 was detected in the municipality of Ankaran (9,5 nW/sr cm<sup>2</sup>).

As expected, was the average radiance high in Ljubljana (5,4 nW/sr cm<sup>2</sup>) and Maribor (4,8 nW/sr cm<sup>2</sup>). The municipality Šempeter-Vrtojba (4,7 nW / sr cm<sup>2</sup>) reached the fourth place, where high values of radiance can be explained with intensively illuminated infrastructure (border crossing, service activities) at the end of a highway through the Vipava valley just before the border crossing with Italy. Among the municipalities with a higher average radiance value in 2017 are also Celje (3,3 nW/sr cm<sup>2</sup>), Trzin (2,8), Izola (2,6), Ptuj (2,4), Murska Sobota (2,3), Miklavž na Dravskem polju (2,3), Hoče Slivnica (2,1), Mengeš (2,1), Koper (2,1), Komenda (2,1), Hajdina (2,0) and Domžale (2,0). At the other end of the frequency distribution are, the municipalities of Jezersko and Solčava (both 0,2 nW /cm cm<sup>2</sup>) and the municipalities of Kobilje, Bohinj, Grad, Kostel, Bovec, Osilnica, Dobje, Črna na Koroškem, Luče, Gorenje Vas-Poljane, Kuzma and Ribnica na Pohorju (all at 0,3 nW/sr cm<sup>2</sup>).

The results indicate that only 40.23% of the Natura 2000 area in Slovenia was below the 0,25 nW/sr cm<sup>2</sup> threshold while such conditions outside the Natura 2000 network were detected on 13,16% of the area. Almost half of the Natura 2000 sites reached average radiance values between 0,25 and 0,5 nW/sr cm<sup>2</sup>, and a good 13% even above 0,5 nW/sr cm<sup>2</sup>.

The average radiance trend in Slovenia between 2013 and 2017 was 1,09 nW/sr cm<sup>2</sup> per month, but there were large differences between individual municipalities. The highest trend was recorded in the municipalities Ankaran (14,29 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Ljubljana (6,79 nW/sr cm<sup>2</sup> per month) and Maribor (6,61 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), followed by municipalities Šempeter-Vrtojba (5,56 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Celje (5,00 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Ljutomer (3,83 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Ptuj (3,49

nW/ sr cm<sup>2</sup> per month), Izola (3,37 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Murska Sobota (3,31 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Komenda (3,25 nW/sq cm<sup>2</sup> per month) and Miklavž na Dravskem polju (2,99 nW/sq cm<sup>2</sup> per month). Negative trends in light pollution were not detected. However, the situations is worsening even in those municipalities with the lowest trend detected: Jezersko (0,32 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Kobilje (0,35 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Kuzma (0,36 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Solčava (0,36 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Grad (0,37 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Bovec (0,38 nW/sr cm<sup>2</sup> per month), Kobarid (0,40 nW/sr cm<sup>2</sup> per month) and Kostel (0,41 nW/hr cm<sup>2</sup> per month).

The Suomi satellite data are a solid indicator of light pollution, especially by considering the large-scale aspect of this ecological problem. They are also crucial by detecting trends and as such provide an excellent source for in-situ measurements and case studies of light pollution on the local level.