

SVETLOBNA ONESNAŽENOST NA OBMOČJU POMURSKE STATISTIČNE REGIJE

Igor Žiberna

Dr., prof. geografije in zgodovine, izr.prof.
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, doc.
Oddelek za geografijo in Oddelek za biologijo
Filozofska fakulteta in Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Koroška cesta 160, SI - 2000 Maribor, Slovenija
e-mail: dani.ivajnsic@um.si

UDK: 504.05: 528.88

COBISS: 1.01

Izveček

Svetlobna onesnaženost na območju pomurske statistične regije

V članku je obravnavano stanje svetlobne onesnaženosti na območju pomurske statistične regije v letu 2019. Na osnovi podatkov daljinskega zaznavanja satelita Suomi v nočnem kanalu smo analizirali radianco po statističnih regijah v Sloveniji in po občinah znotraj pomurske statistične regije. Podatke po občinah smo primerjali z dolžino javnih cest. Izpostavili smo najsvetlejša in najtemnejša območja. Rezultati kažejo na velike razlike v radianci znotraj statistične regije, pri čemer Goričko kaže nižjo stopnjo svetlobne onesnaženosti, višje vrednosti pa se pojavljajo predvsem v večjih naseljih izven Goričkega.

Ključne besede

svetlobna onesnaženost, radianca, pomurska statistična regija

Abstract

Light pollution in Pomurje statistical region

The article discusses the state of light pollution in the Pomurje statistical region in 2019. We analyzed the radiance parameter by statistical regions in Slovenia and by municipalities within the Pomurje statistical region based on the night channel data of the Suomi satellite. Radiance data on the municipal level were correlated with the public road network. The brightest and darkest areas were identified. However, the results show significant differences in radiance in the Pomurje statistical region, with less intense light pollution in Goričko and more illuminated area in the surrounding larger settlements.

Key words

Light pollution, radiance, pomurje statistical region

1. Uvod

Človek je že od prazgodovine naprej uporabljal različne načine osvetljevanja okolja v nočnem času. Sprva so bile v prevladi oljenke, od 19. stoletja naprej pa so jih počasi začele zamenjevati plinske svetilke. Intenzivneje se je umetna svetloba ponoči začela uporabljati od iznajdbe električnih sijalk. Slednje so se v 20. stoletju pojavljale v različnih izvedenkah (Mizon 2012, 34-35). Danes 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). Na težave zaradi množične uporabe svetilk so 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 (Svetlobno onesnaženje in..., 2010, 10).

Analize satelitskih posnetkov v nočnem kanalu kažejo, da 83 % svetovnega in 99 % evropskega prebivalstva živi v svetlobno onesnaženem nočnem okolju (sij neba presega $14 \mu\text{cd}/\text{m}^2$). 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, Kührtreiber, 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 obravnavamo stanje svetlobnega onesnaženja na nivoju pomurske statistične regije in občinskem nivoju. Podrobneje nas zanima: (1) kakšna je porazdelitev radianca na območju pomurske statistične regije (2) katere občine na tem območju dosegajo najvišjo in katere najnižjo povprečno vrednost radianca in (3) ali nastopajo bistvene rezlike med posameznimi mikroregijami znotraj pomurske statistične regije.

2. Metodologija

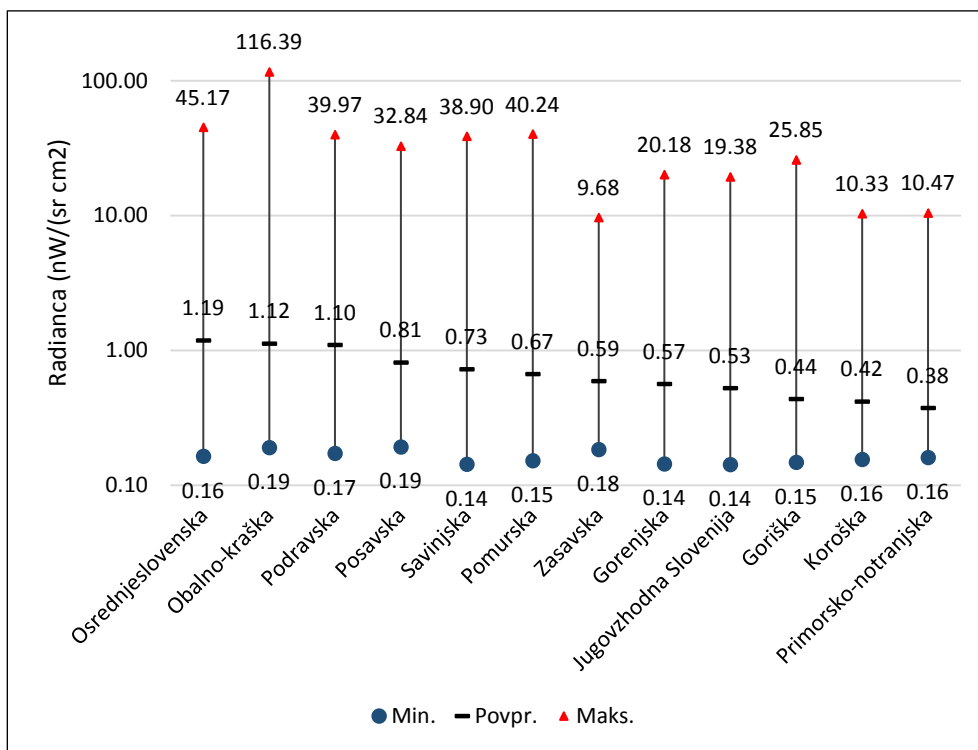
Za meritve svetlobne onesnaženosti se na tržišču že dobrih deset let pojavljajo različne izvedenke merilcev sija neba Sky Quality Meter (SQM), ki ga izdeluje kanadsko podjetje Unihedron in ki je po vsem svetu sprejet kot standardiziran način mejenja svetlobne onesnaženosti. Prednost uporabe merilca SQM je 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 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 jo 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). Vrednosti radiance so izraženi v nanowatih na steradian na kvadratni centimeter ($nW/sr\ cm^2$). Ena od slabosti tipala je ta, da je spektralni razpon svetlobe, ki jo zaznava med 500 in 900 nanometri. Tipalo je torej »slep« 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, ki so sicer energetsko bolj potratne, z vidika spektra pa puščajo manjše prostorske učinke. 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 2019 – december 2019 in jih filtrirali za območje pomurske statistične regije. Podatke smo analizirali na več nivojih: zanimalo nas je stanje radiance leta 2019 na nivoju celotne pomurske statistične regije in struktura radiance nivoju občin v tej regiji. 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.

3. Svetlobna onesnaženost na območju pomurske statistične regije

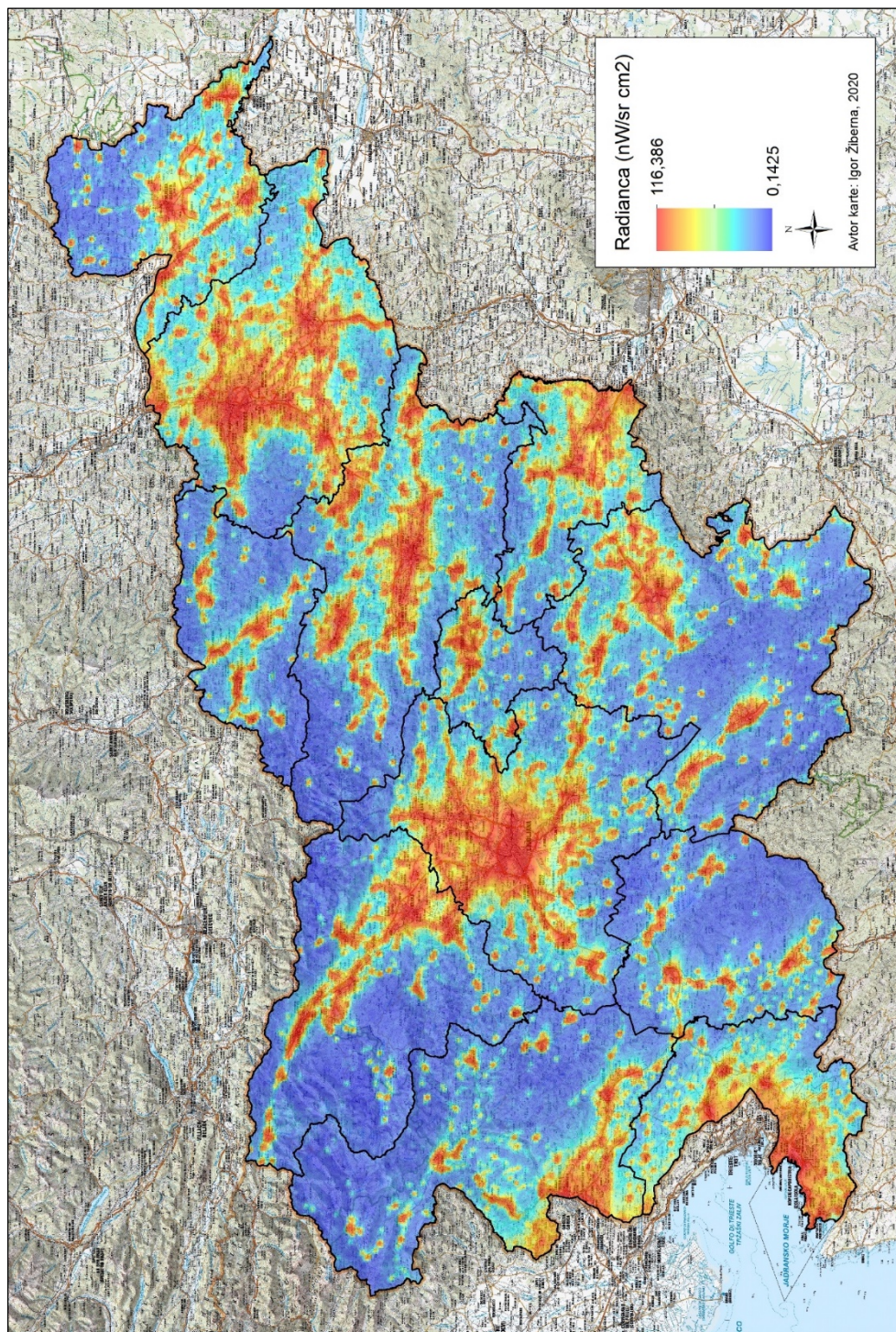
Po povprečni radianci se pomurska statistična regija z $0,6686\ nW/sr\ cm^2$ v primerjavi z ostalimi statističnimi regijami v Sloveniji uvršča v sredino. Najvišjo povprečno radianco z $1,1864\ nW/sr\ cm^2$ beleži osrednjeslovenska statistična regija, najnižjo pa primorsko-notranjska statistična regija ($0,3754\ nW/sr\ cm^2$). Najnižjo radianco smo leta 2019 zaznali na območju jugovzhodne Slovenije (Slika 1). Najtemnejši piksel se je z $0,1425\ nW/sr\ cm^2$ nahajal na območju Velikega Roga v Kočevskem Rogu. Najsvetlejši piksel smo zaznali na območju Luke Koper ($116,3858\ nW/sr\ cm^2$) (Slika 2).



Slika 1: Minimalna, povprečna in maksimalna radianca po statističnih regijah v Sloveniji leta 2019.

Vir: Suomi NPP; Lastni izračuni.

Kumulativna radianca (vsota radiance vseh pikslov v statistični regiji) je najvišja v osrednjeslovenski statistični regiji (18545,20 nW/sr cm²), podravski (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. Pomurska statistična regija se s kumulativno radianco 6049,15 nW/sr cm² med statističnimi regijami uvršča na osmo mesto. Za njo so posavska, primorsko-notranjska, koroška in zasavska statistična regija. Že bežen pregled razporeditve radiance na območju pomurske statistične regije pokaže dvojnost: z izjemo nekaterih lokalnih središč je območje Goriškega svetlobno bistveno manj onesnaženo kot ostali deli regije. Po višji radianci izstopajo občinska središča kot so Murska Sobota, Lendava, Ljutomer, Gornja Radgona in Radenci. Zaradi obcestnih naselij in siceršnje komunalne infrastrukture, povezane s cestnim omrežjem izstopajo tudi območja cestnih povezav. Najtemnejši piksli na območju pomurske statistične regije se pojavljajo na območju Goriškega: zahodno od naselja Bukovnica oziroma severno od Bukovniškega jezera (0,1525 nW/sr cm²), zahodno od Pelcarovega brega severozahodno od Matjaševcev (0,1583 nW/sr cm²), med Ženavljami in Martinjem (0,1666 nW/sr cm²) in na območju Hajdukove šume severno od Mačkovcev (0,1683 nW/sr cm²). Najsvetlejši piksli znotraj pomurske statistične regije so se nahajali zahodno od Ljutomera, na območju ponoči razsvetljenih rastlinjakov (40,2367 nW/sr cm²), v središču Murske Sobotne (22,5258 nW/sr cm²), v Lendavi (14,18 nW/sr cm²), na območju ranžirne postaje v Hodošu (9,68 nW/sr cm²) in v Moravskih toplicah (9,33 nW/sr cm²) (Slika 3).

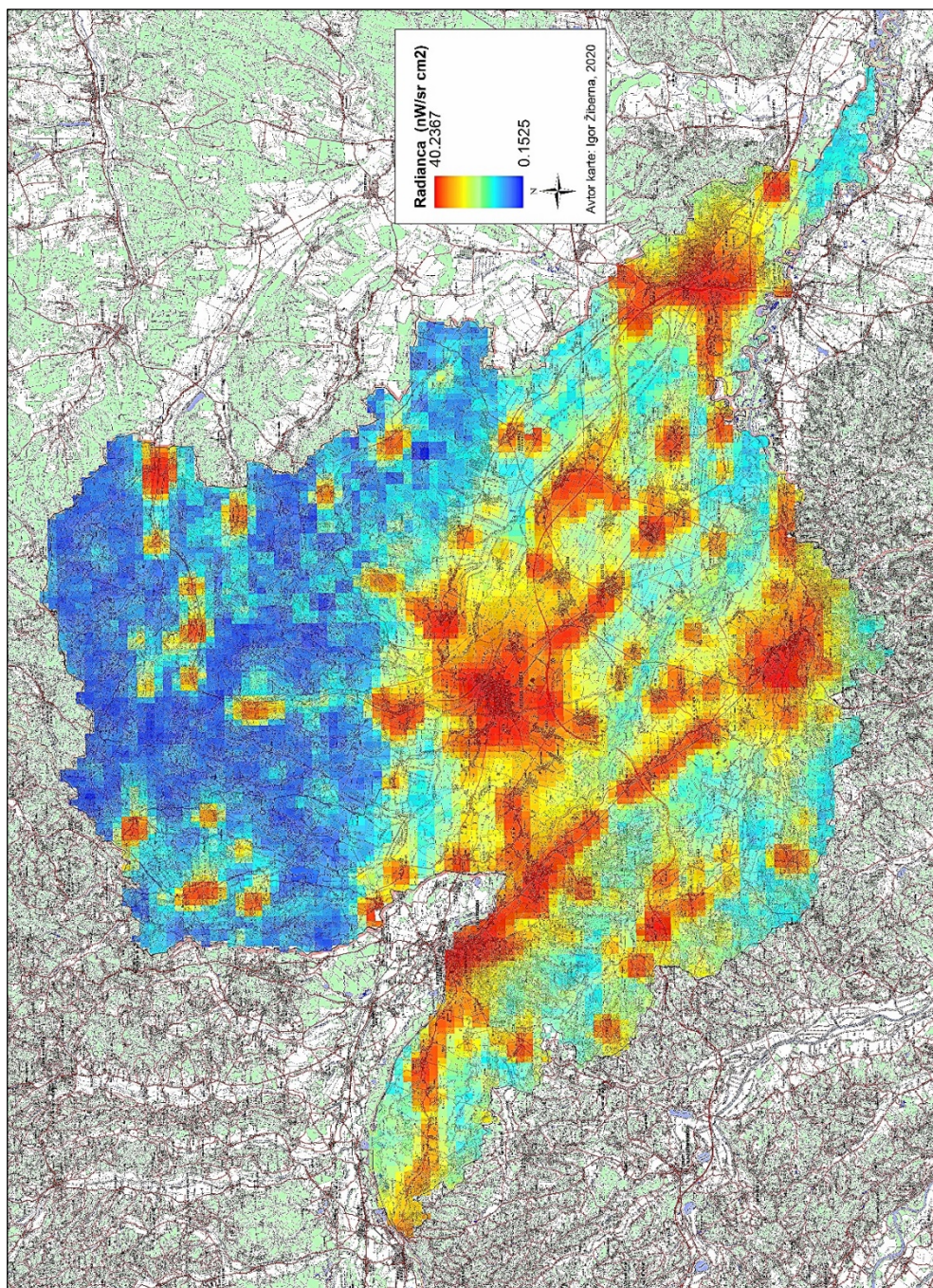


Slika 2: Radianca v Sloveniji leta 2019.
Vir: Suomi NPP; Lastni izračuni.

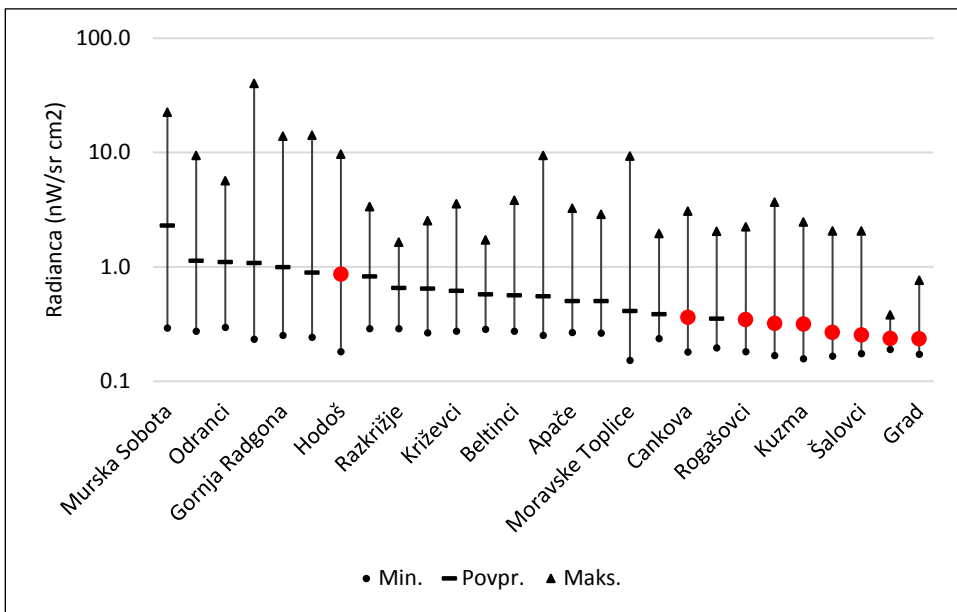
Tudi razporeditev povprečne, maksimalne in minimalne radiance po občinah potrjuje prej omenjene trditve. Z izjemo občine Hodoš imajo najnižje vrednosti povprečne radiance občine z območja Goričkega. Občina Hodoš v tem smislu predstavlja izjemo, saj povprečno radianco močno dviga javna razsvetljava ob ranžirni železniški postaji v Hodošu, sicer pa ima ta občina tudi relativno nizko minimalno radianco. Najvišje povprečne radiance se nahajajo v občinah Murska Sobota (2,30 nW/sr cm²), Radenci (1,14 nW/sr cm²), Odranci (nW/sr cm²), Ljutomer (1,08 nW/sr cm²), Gornja Radgona (1,00 nW/sr cm²) in Lendava (0,89 nW/sr cm²). Pri tem pa moramo upoštevati, da je svetlobna onesnaženost izven gosteje poseljenih območij v omenjenih občinah nižja, kar dokazujejo tudi velike razlike med najsvetlejšimi in najtemnejšimi piksli: te razlike so najvišje v Murski Soboti (40,00 nW/sr cm²), Lendavi (22,23 nW/sr cm²), Gornji Radgoni (nW/sr cm²), Hodošu (9,50 nW/sr cm²), Svetem Juriju ob Ščavnici (9,18 nW/sr cm²), Moravskih Toplicah (9,18 nW/sr cm²), Radencih (9,16 nW/sr cm²) in Odrancih (5,40 nW/sr cm²) (Slika 4). Na območju celotne pomurske statistične regije je znašala povprečna radianca 0,64 nW/sr cm², razlika med maksimalno in minimalno radianco pa 40,08 nW/sr cm². V Sloveniji je tega leta znašala povprečna radianca 0,71 nW/sr cm², razlika med najvišjo in najnižjo radianco pa 116,24 nW/sr cm².

Žiberna in Ivajnsič (2018) navajata, da je leta 2017 na območju Slovenije 22,72 % površja imelo radianco nižjo od 0,25 nW/sr cm², 49,25 % površja pa radianco med 0,25 in 0,50 nW/sr cm². Na območju pomurske statistične regije je leta 2019 92,97 % površja beležilo radianco nižjo od 0,25 nW/sr cm², 3,24 % površja pa radianco med 0,25 in 0,50 nW/sr cm². V Sloveniji je leta 2017 1,40 % površja imelo radianco nad 7,00 nW/sr cm², 0,82 % površja radianco nad 10,00 nW/sr cm² in 0,42 % površja radianco nad 15 nW/sr cm². Na območju pomurske statistične regije so ti deleži leta 2019 znašali 0,17 %, 0,08 % in 0,04 %, kar so nižje vrednosti kot na območju celotne Slovenije.

Struktura deleža površja v razredih radiance (Slika 5) kaže, da je delež površja v najnižjem razredu radiance (pod 0,08 nW/sr cm²) najvišji v občini Razkrižje (11,11 %), Ljutomer (4,10 %), Kobilje (3,70 %), Lendava (3,67 %), Cankova (3,32 %) in Rogašovci (3,23 %). Nizke vrednosti radiance na območju občin Ljutomer in Lendava se pojavljajo zaradi lege obeh. Najtemnejši piksli v Ljutomerski občini se pojavljajo v zahodnem delu, severno od Bučkovcev ter južno od doline Bukovnice. Občina Lendava je svetlobno najmanj onesnažena v njenem skrajnem jugovzhodnem delu, na območju Murske šume med Ledavo in Muro. Občine, katerih celotno površje pokriva območja z radianco pod 0,25 nW/sr cm² so Črenšovci, Kobilje in Grad. Najnižji delež površja z radianco pod 0,25 nW/sr cm² smo zaznali v občinah Murska Sobota (69,06 %), Odranci (75,00 %) in Radenci (79,06 %).

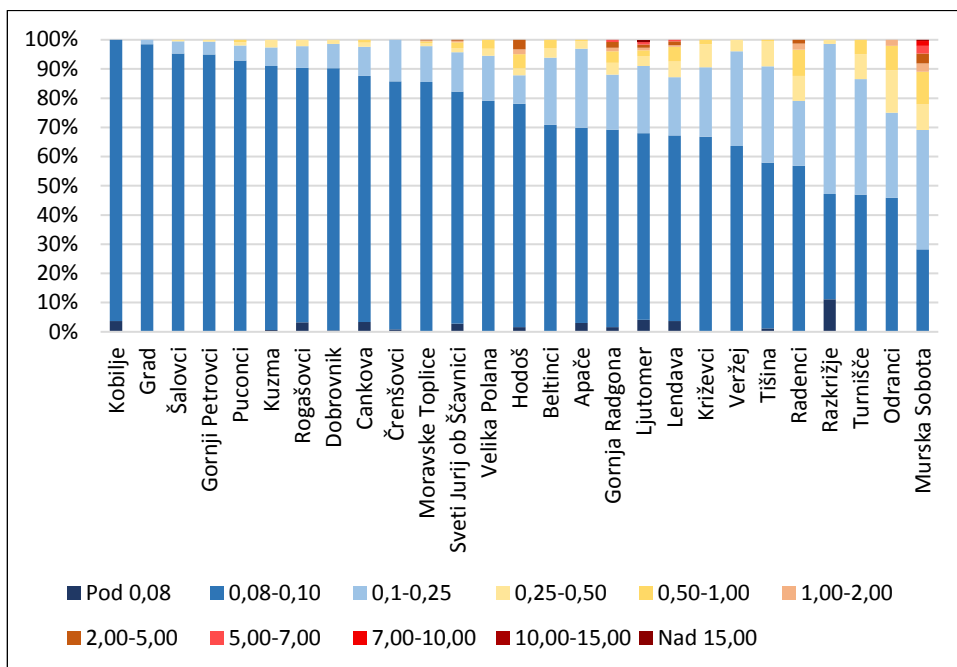


Slika 3: Radianca na območju pomurske statistične regije leta 2019.
Vir: Suomi NPP; Lastni izračuni.



Slika 4: Povprečna, najvišja in najnižja radianca po občinah na območju pomurske statistične regije leta 2019.

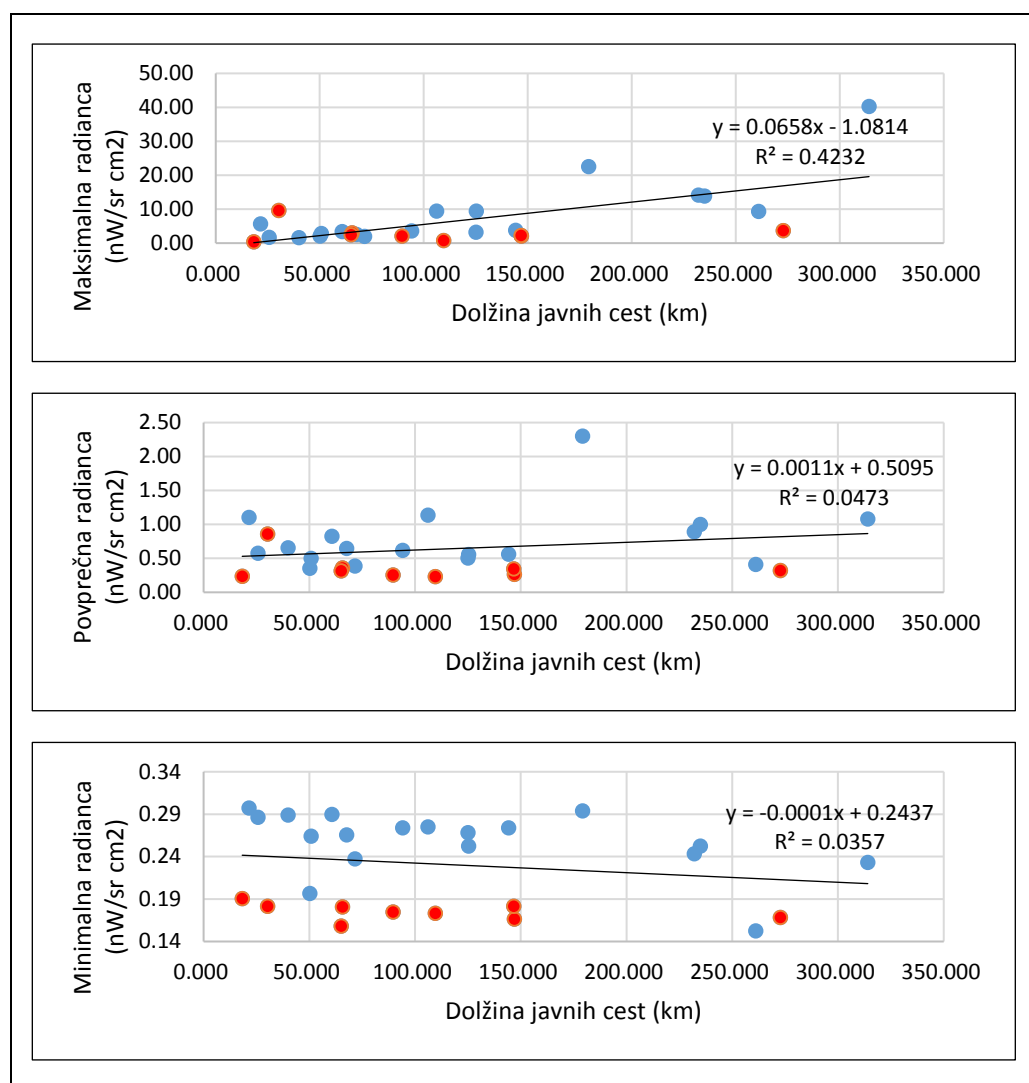
Opomba: občine na Goričkem imajo povprečno radianco označeno z rdečim krogom.
Vir: Suomi NPP; Lastni izračuni.



Slika 5: Struktura radianca po občinah na območju pomurske statistične regije leta 2019.

Vir: Suomi NPP; Lastni izračuni.

Občine smo analizirali tudi v luči povezave med dolžino javnih cest na eni strani, ter minimalno, povprečno in maksimalno radianco na drugi strani. Pri tem smo posebej izpostavili občine na območju Goriškega, ki na osnovi karte radianca (Slika 3) odstopa od ostalega območja znotraj statistične regije. Tako maksimalna kot povprečna radianca se z dolžino javnih cest višata. Pri tem je determinacijski koeficient najvišji pri zvezi med dolžino javnih cest in povprečno radianco, saj kar 42,3 % razlik v radianci med občinami lahko pojasnimo z razlikami v dolžini javnih cest. Minimalna radianca se razumljivo niža z večanjem dolžine javnih cest, vendar sta determinacijska koeficienta pri minimalni in maksimalni radianci nižja (Slika 6).



Slika 6: Maksimalna (zgoraj), povprečna (sredina) in minimalna (spodaj) radianca v povezavi z dolžino javnih cest na območju pomurske statistične regije po občinah leta 2019.

Opomba: občine na območju Goriškega so označene z rdečim krogom.

Vir: Suomi NPP; Medmrežje 2; Lastni izračuni.

4. Zaključek

Pomurska statistična regija po svetlobni onesnaženosti sodi v slovensko povprečje. Vendar pa se znotraj statistične regije kažejo velike razlike, pri čemer Goričko kaže nižjo stopnjo svetlobne onesnaženosti, višje vrednosti pa se pojavljajo v večjih naseljih (širše območje Murske Sobote, Ljutomer, Lendava, Gornja Radgona-Radenci) in tudi obcestnih naseljih na območju med Gornjo Radgono in Ljutomerom ter bolj fragmentarno med Mursko Soboto in Lendavo. Najtemnejši piksli na območju pomurske statistične regije se pojavljajo na območju Goričkega: zahodno od naselja Bukovnica, zahodno od Pelcarovega brega severozahodno od Matjaševcev, med Ženavljami in Martinjem in na območju Hajdukove šume severno od Mačkovcev. Najsvetlejši piksli znotraj pomurske statistične regije so se nahajali zahodno od Ljutomera, na območju ponoči razsvetljenih rastlinjakov, v središču Murske Sobote, v Lendavi, na območju ranžirne postaje v Hodošu in v Moravskih toplicah. Na območju Goričkega kilometer javne ceste v povprečju manj prispeva k svetlobnemu onesnaževanju kot na ostalih območjih pomurske statistične regije. Vzrok za to vidimo v nočni razsvetljavi, ki ni v neposredni povezavi z javnimi cestami (parkirišča, osvetljene stavbe, ostala ponoči osvetljena infrastruktura).

Literatura

- Petkovšek, Z., Hočevnar, 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.
- 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*. 4th Edition. Pearson. Hoboken, New Jersey, 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.
- Žiberna, I., Ivajnsič, D., 2018: Daljinsko zaznavanje svetlobne onesnaženosti v Sloveniji. *Revija za geografijo*. 13-1, 2018. Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Mariboru.
- Medmrežje 1: https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html (10.5.2020)
- Medmrežje 2: <https://podatki.gov.si/dataset/dolzine-javnih-cest-po-obcinah-od-leta-2002> (16.8.2020)

LIGHT POLLUTION IN POMURJE STATISTICAL REGION

Summary

Light pollution in the Pomurje statistical region is comparable with the Slovenian average. However, there are significant differences within the statistical region, with Goričko showing lower levels of light pollution. Higher radiance values were detected in the surrounding larger settlements (the wider area of Murska Sobota, Ljutomer, Lendava, Gornja Radgona-Radenci) and along numerous roadside settlements in the area between Gornja Radgona and Ljutomer. In some areas, between Murska Sobota and Lendava, a more fragmented light pollution pattern was identified. . The darkest pixels in the Pomurje statistical region were detected in the area of Goričko (more precisely, in the west direction from settlement Bukovnica, west of Pelcar's bank, northwest of Matjaševci, between Ženavlje and Martinje and in the area of Hajdukova šuma nearby Mačkovci). The brightest pixels within the Pomurje statistical region were identified in the western industrial part of town Ljutomer, corresponding to a new enlightened vegetable cultivation infrastructure, in the centre of Murska Sobota, in town Lendava, in Hodoš's railway station and in town Moravske Toplice. In the Goričko area, one kilometer of public road network contributed on average less to light pollution than in other areas of the Pomurje statistical region. However, this result was not directly related to illuminated public roads but rather to other illuminated infrastructure at night (parking lots, illuminated buildings, illuminated sacred sites ect.).

