

## ELABORAT, vmesno poročilo št. 1

*Projekt Spodbujanje zmanjševanja svetlobnega  
onesnaževanja za ohranjanje biotske raznovrstnosti in  
nočnih habitatov v jadransko-jonski regiji*

Avtorji dokumenta: doc. dr. Eva Klemenčič in red. prof. dr. Mitja Slavinec

**Založnik:** Fakulteta za naravoslovje in matematiko UM

Maribor, marec 2025

Interreg

IPA ADRION



Co-funded by  
the European Union

ADRISKY



Univerza v Mariboru

Fakulteta za naravoslovje  
in matematiko

Projekt sofinancira program [Interreg IPA ADRION Evropske unije](#).

## KAZALO

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| SPLOŠNI PODATKI .....                               | 4  |
| OPIS POTEKA DELA PO AKTIVNOSTIH .....               | 5  |
| PREGLED MERILNIH METOD .....                        | 9  |
| Satelitsko daljinsko zaznavanje .....               | 9  |
| Meritve na tleh .....                               | 10 |
| Merilniki kakovosti neba (SQM) .....                | 10 |
| Slikanje celotnega neba .....                       | 10 |
| Modeliranje in simulacija .....                     | 11 |
| Viri .....                                          | 11 |
| MOREBITNE TEŽAVE .....                              | 13 |
| ZAKLJUČKI .....                                     | 13 |
| PRILOGE .....                                       | 14 |
| Priloga 1: Predstavitev projektnih partnerjev ..... | 14 |
| Priloga 2: Pregled merilnih metod .....             | 16 |
| Priloga 3: Stanje PP2 .....                         | 25 |

## KAZALO TABEL

|                                                   |   |
|---------------------------------------------------|---|
| Tabela 1. Člani projektne skupine na FNM UM ..... | 4 |
| Tabela 2. Podaktivnosti A1.1 in A1.2 .....        | 5 |

## KAZALO SLIK

|                                                                                                  |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Slika 1. Udeležba na uvodnem projektnem srečanju. ....                                           | 6 |
| Slika 2. Promocija konference preko družbenih omrežij in oglaševanja v prostorih fakultete. .... | 7 |
| Slika 3. Fotometer Sky Quality Meter L s pripomočki za meritve svetlobne onesnaženosti. ....     | 8 |

## SPLOŠNI PODATKI

Projekt SPODBUJANJE ZMANJŠEVANJA SVETLOBNEGA ONESNAŽEVANJA ZA OHRANJANJE BIOTSKE RAZNOVRSTNOSTI IN NOČNIH HABITATOV V JADRANSKO-JONSKI REGIJI, ki se izvaja na Fakulteti za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru (FNM UM), v trajanju od 1. 9. 2024 do 31. 8. 2027, je sofinanciran s programa Interreg IPA ADRION Evropske unije.

Skupni proračun projekta je 1 763 080 EUR, proračun FNM UM je 211 680 EUR.

Na projektu sodeluje več partnerjev iz šestih držav:

- Razvojni center Murska Sobota, Slovenija (vodilni partner),
- Univerza v Mariboru, Slovenija (<https://www.fnm.um.si/index.php/mednarodni-projekti/>),
- Park Mincio, Italija,
- Občina Sirolo, Italija,
- Javna ustanova za razvoj Medžimurske županije REDEA, Hrvaška,
- Univerza v Mostarju, Bosna in Hercegovina,
- Naravni park Hutovo blato, Bosna in Hercegovina,
- Občina Pehčevo, Severna Makedonija,
- Regionalna agencija za razvoj in evropsko integracijo Beograd, Srbija.

Osrednji cilj projekta je zmanjšati svetlobno onesnaževanje in ohraniti naravno temo v jadransko-jonski regiji ter zagotoviti politične instrumente, znanje in orodja za deležnike, ki bi privedli do znatnega zmanjšanja svetlobnega onesnaževanja in obnove temnih območij. Merljiva sprememba, ki jo želimo doseči, so izboljšani pogoji za nočne živali, biotsko raznovrstnost in ekosisteme na ciljnih območjih.

Vmesno poročilo vključuje glavne rezultate projektnih aktivnosti FNM UM v obdobju od 1. 9. 2024 do 28. 2. 2025. Pri projektnem delu so sodelovali raziskovalci, zapisani v Tabeli 1.

Tabela 1. Člani projektne skupine na FNM UM

| Ime in priimek        | Obdobje                  | Vloga                                                                                    |
|-----------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Eva Klemenčič</b>  | 1. 9. 2024 – 31. 8. 2025 | Vodja projekta na FNM UM<br>( <i>project and communication manager</i> )<br>Raziskovalka |
| <b>Mitja Slavinec</b> | 1. 9. 2024 – 31. 8. 2025 | Raziskovalec                                                                             |
| <b>Leon Vrtar</b>     | 1. 9. 2024 – 31. 8. 2025 | Strokovni sodelavec<br>( <i>financial manager</i> )                                      |
| <b>Damjan Dovnik</b>  | 1. 1. 2025 – 31. 8. 2025 | Študent – raziskovalec                                                                   |

## OPIS POTEKA DELA PO AKTIVNOSTIH

Na projektu je delo razdeljeno v tri delovne pakete: WP1 Integracija in izmenjava znanja, WP2 Oblikovanje in testiranje rešitev, WP3 Prenos znanja in praks. Trenutno je v izvedbi paket WP1, znotraj katerega FNM UM sodeluje pri dveh aktivnostih: A1.1 Analiza stanja in A1.2 Metodološki in epistemološki okvir.

V začetni fazi projekta smo pripravili interni časovni načrt in definirali podaktivnosti analize stanja (A1.1) in metodološkega in epistemološkega okvirja (A1.2). Časovni načrt podaktivnosti je podan v tabeli 2.

Tabela 2. Podaktivnosti A1.1 in A1.2 – osenčena polja predstavljajo načrtovano obdobje izvedbe.

| WP1 INTEGRACIJA IN PRENOS ZNANJA                        | 1. 9. 2024-<br>30. 11. 2024 | 1. 12. 2024-<br>28. 2. 2025 | 1. 3. 2025 –<br>31. 5. 2025 |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>A1.1 Analiza stanja</b>                              |                             |                             |                             |
| <b>2. Konferenca na temo svetlobne onesnaženosti</b>    |                             |                             |                             |
| 2.1 Načrtovanje programa (datum, prostor, predavatelji) |                             |                             |                             |
| 2.2 Organizacija                                        |                             |                             |                             |
| 2.3 Izvedba in evalvacija                               |                             |                             |                             |
| <b>A1.2 Metodološki in epistemološki okvir</b>          |                             |                             |                             |
| <b>1. Zbiranje podatkov in smernice za analizo</b>      |                             |                             |                             |
| 1.1 Zbiranje, sortiranje in analiza virov               |                             |                             |                             |
| 1.2 Preizkus merilnih pripomočkov                       |                             |                             |                             |
| 1.3 Razvoj smernic                                      |                             |                             |                             |
| 1.4 Preliminarno testiranje in revizija smernic         |                             |                             |                             |
| 1.5 Končna verzija smernic                              |                             |                             |                             |

Uvodna predstavitev projektnih partnerjev je bila izvedena na daljavo 9. septembra 2024 (predstavitev v [prilogi 1](#)).

Vsebinsko delo na projektu ADRISKY smo začeli v oktobru 2024. Vodja projekta na FNM UM se je med 8. 10. 2024 in 11. 10. 2024 udeležila "Kick-off" srečanja v Sirolu, Italiji, kjer je bilo predstavljeno vsebinsko in administrativno delo na projektu ter izvedeno mreženje s projektnimi partnerji (slika 1).



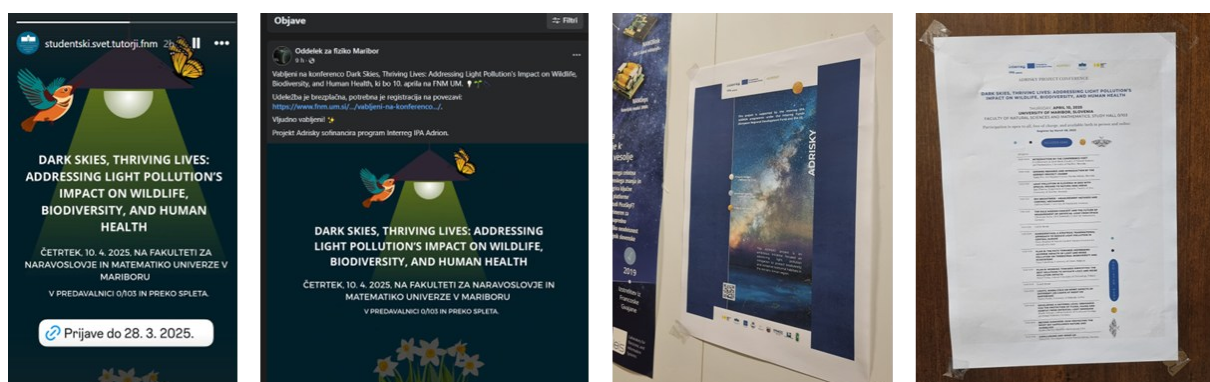
*Slika 1. Udeležba na uvodnem projektnem srečanju.*

Projekt se povezuje predvsem z vsebinami iz fizike in biologije. Iz vidika fizike se svetlobno onesnaževanje nanaša na vnos svetlobe umetnih virov, ki povzroča povečanje naravne osvetljenosti okolja. Nepravilno usmerjeni ali premočni svetlobni viri povzročajo prekomerno razpršitev svetlobe v atmosferi, kar vodi do pojava svetlobnega pršca in bleščanja. Posledično ima

svetlobna onesnaženost velik vpliv na astronomska opazovanja, saj zmanjšuje vidnost zvezd in drugih nebesnih teles ter otežuje raziskave vesolja. Poleg tega lahko svetlobna onesnaženost povzroča nezaželene fizikalne učinke, kot so povečano odbojno sevanje in segrevanje urbanih površin. Pomemben vidik reševanja problema svetlobnega onesnaženja je optimizacija energetske učinkovitosti svetlobnih virov, saj uporaba usmerjene in prilagojene osvetlitve ne prispeva le k zmanjšanju svetlobne onesnaženosti, temveč tudi k boljši energetski učinkovitosti. Z vidika biologije pa svetlobno onesnaževanje neposredno vpliva na cirkadiane ritme organizmov, še posebej nočnih živali, ki so prilagojene temi. Prekomerna umetna osvetlitev moti njihovo navigacijo, prehranjevalne navade, razmnoževanje in selitvene vzorce. Prav tako vpliva na rastline, saj lahko spremeni njihove cikle fotosinteze in cvetenja. Zmanjšanje svetlobnega onesnaževanja tako prispeva k ohranjanju naravnega ravnovesja v ekosistemi ter podpira trajnostni razvoj v skladu z načeli fizike in biologije.

Po uvodnem projektne srečanju smo imeli interne sestanke. Na sestanku za administracijo projekta smo se dogovorili o pripravi pravnih podlag, načrtu poročanja in promocije. Na sestanku raziskovalcev na projektu pa smo pripravili notranjo delitev dela in časovni načrt posameznih podaktivnosti.

Trenutno smo v fazi WP1 Integracija in izmenjava znanja. **Pri aktivnosti A1.1 Analiza stanja**, je glavna naloga FNM UM organizacija konference na temo svetlobne onesnaženosti, ki bo izvedena 10. 4. 2025 na FNM UM. V decembru 2024 smo se skupaj z vodilnim partnerjem RCMS dogovorili o terminu konference in pripravili okvirni program. V februarju 2025 se je program dokončal, za uspešno organizacijo konference pa je bil izbran podizvajalec Inštitut Noctia. Poskrbeli smo tudi za promocijo konference po elektronski pošti, [3-2-1] TEDENSKA OBVESTILA vsem zaposlenim na FNM UM, na [spletni strani fakultete](#), družbenih kanalih in v prostorih fakultete (slika 2). Dan pred konferenco bo FNM UM gostila projektne partnerje na projektne delovnem srečanju.



Slika 2. Promocija konference preko družbenih omrežij in oglaševanja v prostorih fakultete.

Pri aktivnosti **A1.2 Metodološki in epistemološki okvir** smo oktobra 2024 začeli z dokumentno analizo, natančneje z zbiranjem informacij o meritvah svetlobne onesnaženosti in ustreznih merilnih pripomočkov. Decembra 2024 je bilo pripravljeno kratko poročilo o [pregledu merilnih metod](#). Za potrebe projekta je bilo poročilo pripravljeno v angleškem jeziku, elaboratu ga dodajamo kot [prilogo 2](#). Na podlagi pregleda smo nabavili merilni instrument fotometer Sky Quality Meter (slika 3) in pripravili raziskovalno metodologijo.



*Slika 3. Fotometer Sky Quality Meter L s pripomočki za meritev svetlobne onesnaženosti.*

V januarju 2025 smo začeli pripravo načrta za izvedbo preliminarne meritve za razvoj smernic. Pri preliminarnih meritvah, ki so bile izvedene v januarju in februarju 2025, je sodeloval tudi študent fizike. Februarja 2025 smo končali pripravo smernic in jih revidirali. Smernice bodo predstavljene na projektnem delovnem srečanju 9. 4. 2025. Na podlagi povratnih informacij partnerjev bomo v aprilu oblikovali končno verzijo smernic, ki bodo javno dostopne.

Trenutno stanje projektnega dela na FNM UM smo predstavili na projektnem sestanku 19. 2. 2025 ([priloga 3](#)), na katerem je potekalo tudi usklajevanje aktivnosti z drugimi partnerji.

## PREGLED MERILNIH METOD

Svetlobno onesnaženje, opredeljeno kot prekomerna ali napačno usmerjena umetna osvetlitev, zaradi številnih negativnih vplivov pridobiva vedno več pozornosti (Puschig et al., 2022). Umetna razsvetljava ponoči moti nočno vedenje divjih živali, vpliva na človeške cirkadiane ritme in slabša razmere za astronomska opazovanja (Aube et al., 2013; Bara et al., 2023; Falchi et al., 2011; Jamal et al., 2022).

V nadaljevanju podajamo kratki pregled različnih metodologij za ocenjevanje svetlobnega onesnaževanja, njihove prednosti in omejitve. Namen pregleda je izbrati merilno metodo, ki je dovolj enostavna za uporabo, hkrati pa omogoča natančno merjenje svetlobne onesnaženosti in opredelitev ključnih dejavnikov.

### Satelitsko daljinsko zaznavanje

Satelitsko daljinsko zaznavanje omogoča obsežne ocene svetlobnega onesnaževanja z zajemanjem nočnih emisij z Zemljine površine na globalni ravni. V ta namen se uporabljata operativni sistem DMSP Linescan (»Defense Meteorological Satellite Program Operational Linescan System«) in VIIRS (»visible infrared imaging radiometer suite«) instrumenti, ki zbirajo fotografije v vidnem in infrardečem delu spektra (Sánchez de Miguel et al., 2017). Podatki teh sistemov zagotavljajo ključni vpogled v prostorske in časovne spremembe umetne razsvetljave, kar raziskovalcem omogoča sledenje širitvi mest in spremembam v praksah razsvetljave (Levin et al., 2020). Medtem ko satelitske meritve učinkovito spremljajo globalne trende svetlobnega onesnaževanja, se soočajo z izzivi, povezanimi s prostorsko ločljivostjo in atmosferskimi motnjami.

#### Prednosti:

- Ocenjevanje svetlobne onesnaženosti na veliki skali (obsežna prostorska pokritost)
- Longitudinalne študije za opazovanje trendov skozi čas.

#### Omejitve:

- Omejena prostorska ločljivost morda ne bo zajela drobnih sprememb.
- Atmosferske razmere lahko vplivajo na natančnost podatkov.

Kljub tem omejitvam so nedavni napredki v satelitskih tehnologijah, kot sta uporaba senzorjev visoke ločljivosti in algoritmov strojnega učenja, izboljšali zaznavanje umetne svetlobe v natančnejših prostorskih merilih (Kyba et al., 2017; Kyba et al., 2020).

## Meritve na tleh

Pri meritvah s tal gre za neposredna opazovanja z določenih lokacij, ki zagotavljajo lokalne podatke visoke ločljivosti. Dve pogosto uporabljeni metodi sta merilniki kakovosti neba (iz angleščine »Sky Quality meter - SQM«) in slikanje celotnega neba (iz angleščine »all-sky imaging«). Ti tehniki dopolnjujeta satelitske podatke z natančnimi lokalnimi meritvami, ki lahko potrdijo in izboljšajo opazovanja daljinskega zaznavanja (Aubé et al., 2015).

### *Merilniki kakovosti neba (SQM)*

SQM so ročne naprave, ki merijo svetlost neba v magnitudah na kvadratno ločno sekundo. Njihova prenosljivost in cenovna dostopnost sta privedli do široke uporabe v državljskih znanstvenih in raziskovalnih pobudah (Puschnig et al., 2022). SQM so bili uporabljeni v različnih mednarodnih projektih za oceno vpliva politik ulične razsvetljave, ocenjevanje sprememb svetlosti neba v mestnih in podeželskih območjih ter sledenje sezonskim spremembam svetlobnega onesnaževanja (Jechow et al., 2018).

Prednosti:

- Stroškovno učinkovito in enostavno za uporabo.
- Zagotavlja takojšnje podatke, specifične za lokacijo.

Omejitve:

- Omejeno na točkovne meritve, ki zahtevajo več odčitkov za širše ocene.
- Občutljivost na lokalne svetlobne motnje.

Nedavni pregledi so poudarili pomen SQM v različnih študijah, zlasti v projektih državljanske znanosti, ki prispevajo k raziskavam svetlobnega onesnaževanja (Sánchez de Miguel et al., 2017; Žiberna, 2016). Poleg tega so prizadevanja za kalibracijo in razvoj omrežnih sistemov SQM izboljšali zanesljivost in doslednost meritev v različnih regijah (Hänel et al., 2017).

### *Slikanje celotnega neba*

Pri slikanju vsega neba se uporabljajo kalibrirane kamere z lečami ribjega očesa za zajem celovitega pogleda na nočno nebo. Ta metoda omogoča podrobno prostorsko analizo svetlosti neba in prepoznavanje virov svetlobnega onesnaževanja. Tehnika je še posebej uporabna za razlikovanje med naravnimi in umetnimi viri svetlobe ter za ocenjevanje učinkovitosti predpisov o razsvetljavi.

Prednosti:

- Ponuja celostno perspektivo neba.
- Omogoča identifikacijo specifičnih virov svetlobnega onesnaževanja.

Omejitve:

- Zahteva specializirano opremo in strokovno znanje.
- Obdelava podatkov je lahko zapletena in dolgotrajna.

Raziskave so pokazale učinkovitost metode v urbanih okoljih pri vpogledu v porazdelitev umetne svetlobe (Posch et al., 2018). Nedavni napredek v tehnikah obdelave slik je še izboljšal natančnost ocen svetlosti, kar omogoča natančnejšo kvantifikacijo ravni svetlobnega onesnaženja (Small & Eldvidge, 2013).

## Modeliranje in simulacija

Računalniški modeli simulirajo širjenje svetlobe na podlagi znanih virov emisij in atmosferskih pogojev, kar pomaga pri napovedni analizi in razvoju politik. Modeli, kot so simulacije prenosa sevanja in izračuni svetlosti neba, zagotavljajo ključni vpogled v interakcijo svetlobe z ozračjem in terenom, kar podpira urbanistično načrtovanje (Aubé, 2015).

Prednosti:

- Omogoča testiranje scenarijev za oceno vpliva sprememb razsvetljave.
- Združuje različne nabore podatkov za celovito analizo.

Omejitve:

- Natančnost je odvisna od kakovosti in popolnosti vhodnih podatkov.
- Zahteva napredne digitalne kompetence in večjo računsko moč.

Modeliranje ima pomembno vlogo pri razumevanju dinamike svetlobnega onesnaževanja (Bará et al., 2019). V povezavi s terenskimi meritvami se lahko preizkusi učinkovitost različnih predpisov o razsvetljavi in strategij pred samo izvedbo (Falchi et al., 2011).

## Viri

Aube M. 2015 Physical behaviour of anthropogenic light propagation into the nocturnal environment. *Phil.Trans. R. Soc. B* 370: 20140117. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0117>

Aubé M, Roby J, Kocifaj M (2013) Evaluating Potential Spectral Impacts of Various Artificial Lights on Melatonin Suppression, Photosynthesis, and Star Visibility. *PLOS ONE* 8(7): e67798. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067798>

Bará, S., Rigueiro, I., & Lima, R. C. (2019). Monitoring transition: Expected night sky brightness trends in different photometric bands. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 239, 106644. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2019.106644>

Bará S, Falchi F. Artificial light at night: a global disruptor of the night-time environment. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2023 Dec 18;378(1892):20220352. doi: 10.1098/rstb.2022.0352. Epub 2023 Oct 30. PMID: 37899010; PMCID: PMC10613534.

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*, 92(10), 2714-2722. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>

Hänel, A., Posch, T., Ribas, S., Aubé, M., Duriscoe, D., Jechow, A., Kolláth, Z., Lolkema, D., Moore, C., Schmidt, N., Spoelstra, H., Wuchterl, G., & Kyba, C. (2017). Measuring night sky brightness: Methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 205, 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2017.09.008>

Jamal, Md & Falak, Shahkar & Khan, Zeeshan. (2022). An Analysis on How Artificial Light at Night May Impact the Sustainable Development Goals 2030 and Human Health. *Chronobiology in Medicine*. 4. 8-20. 10.33069/cim.2021.0030.

Jechow, Andreas & Ribas, Salvador & Domingo, Ramon & Hölker, Franz & Kolláth, Zoltán & Kyba, Christopher. (2018). Tracking the dynamics of skyglow with differential photometry using a digital camera with fisheye lens. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 209. 212-223. 10.1016/j.jqsrt.2018.01.032.

Kyba, C. C. M., Ruby, A., Kuechly, H. U., Kinzey, B., Miller, N., Sanders, J., Barentine, J., Kleinodt, R., & Espey, B. (2020). Direct measurement of the contribution of street lighting to satellite observations of nighttime light emissions from urban areas. *Lighting Research & Technology*, 53(3), 189–211. <https://doi.org/10.1177/1477153520958463>

Levin, N., Kyba, C. C. M., Zhang, Q., Sánchez de Miguel, A., Román, M. O., Li, X., Portnov, B. A., Molthan, A. L., Jechow, A., Miller, S. D., Wang, Z., Shrestha, R. M., & Elvidge, C. D. (2020). Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111443. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111443>

Posch, T., Binder, F., & Puschnig, J. (2018). Systematic measurements of the night sky brightness at 26 locations in Eastern Austria. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 211, 144–165. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.03.010>

Puschnig, Johannes & Wallner, Stefan & Schwöpe, Axel & Näslund, Magnus. (2022). Long-term trends of light pollution assessed from SQM measurements and an empirical atmospheric model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 518. 4449-4465. 10.1093/mnras/stac3003.

Sanchez de Miguel, Alejandro & Aubé, Martin & Kocifaj, Miroslav & Roby, Johanne & Tapia Ayuga, Carlos Eugenio. (2017). Sky Quality Meter measurements in a colour changing world. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 467. 2966–2979. 10.1093/mnras/stx145.

Small, C., & Elvidge, C. D. (2013). Night on Earth: Mapping decadal changes of anthropogenic night light in Asia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 22, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.02.009>

Unihedron. (n.d.). Sky Quality Meter. Retrieved from [unihedron.com](http://unihedron.com)

Žiberna, I. (2016). Svetlobna onesnaženost na območju Maribora. *Revija za geografijo - Journal for Geography*, 11(2), 119–130. UDK: 504.03.

## MOREBITNE TEŽAVE

V poročanem projektnem obdobju nismo zaznali večjih odstopanj in težav. Kljub stabilnemu poteku projekta bi bilo smiselno razmisliti o morebitni širitvi projektne skupine, s ciljem izboljšanja celostnega razumevanja projektnih vsebin in okrepitve interdisciplinarnega pristopa.

## ZAKLJUČKI

Glavna naloga v tem obdobju je bila organizacija konference o svetlobnem onesnaženju. V sodelovanju z vodilnim partnerjem je bila pripravljena programska zasnova, časovnica in organizacijski okvir konference "Dark Skies, Thriving Lives: Addressing Light Pollution's Impact on Wildlife, Biodiversity, and Human Health", ki bo potekala 10. aprila 2025 na FNM UM. Konferenca bo ključna platforma za izmenjavo znanja in interdisciplinarno razpravo, saj bo združila raziskovalce, odločevalce in deležnike s področja okoljske znanosti, astronomije in urbanističnega načrtovanja. Projektna skupina skrbi za administrativno podporo, logistiko ter finančno upravljanje, obenem pa usklajuje organizacijo in komunikacijo z drugimi partnerji.

Na področju metodološkega razvoja je projektna skupina oktobra 2024 izvedla delovni sestanek za načrtovanje nalog, povezanih z razvojem metodološkega in epistemološkega okvira. Ta faza načrtovanja je bila ključna za oblikovanje pristopa in zagotavljanje usklajenosti metodologije s širšimi cilji projekta. V novembru in decembru 2024 je bil izveden pregled metod merjenja svetlobnega onesnaženja ter ustreznih merilnih instrumentov. S tem smo opredelili najboljše prakse in ugotovili pomanjkljivosti v obstoječih metodologijah. Na podlagi teh ugotovitev smo decembra 2024 pridobili fotometer Sky Quality Meter (SQM), ki je omogočil izvedbo prvih poskusnih meritev v januarju 2025. Februarja 2025 smo dokončali prvo verzijo metodološkega in epistemološkega okvira, ki vključuje merilne protokole, postopke zbiranja podatkov ter kriterije za ocenjevanje svetlobnega onesnaženja. Ta okvir bo služil kot smernica za vse projektne partnerje in bo zagotovil enotnost pri zbiranju in analizi podatkov. Prav tako bo omogočil integracijo podatkov o svetlobnem onesnaženju v širše ocene vplivov na okolje. V prihodnjih mesecih bomo nadaljevali izvajanje meritev, analiziranje pridobljenih podatkov in izboljševanje metodološkega okvira v sodelovanju s projektnimi partnerji.

## PRILOGE

## Priloga 1: Predstavitev projektnih partnerjev



University of Maribor

Faculty of Natural Sciences  
and Mathematics

# Partner presentation - ADRISKY

Maribor, 9. 9. 2024

## University of Maribor



- 2nd largest and 2nd oldest university in Slovenia (1975)
- 17 faculties
- 186 study programs
- 13 500 students, 1800 employed

*Welcome to the University of Maribor*

UM is among the 4% of  
the  
**BEST  
UNIVERSITIES**  
in the world.

Times Higher Education World University Rankings



UM maintains  
**RECOGNITION OF  
EXCELLENCE**  
in human resource  
management in  
research.

HR Excellence in Research



UM received the Global  
**STUDENT  
SATISFACTION**  
Award.

Global Student Satisfaction Awards



UM has received a  
**ATHLETE  
FRIENDLY**  
education.

Olympic Committee of Slovenia

## Faculty of Natural Sciences and Mathematics

*Ustvarjamo boljše prihodnosti*

■ Departments:

Physics

Mathematics & Computer Science

Biology

Technical Education

Chemistry Education



<https://www.fnm.um.si/>

3

## Faculty of Natural Sciences and Mathematics

■ Institute for

Physics

Mathematics & Computer Science

Biology, Ecology and Nature Conservation

Modern Technologies

Preglednica 1: Število nacionalnih raziskovalnih programov, raziskovalnih temeljnih projektov in mladih raziskovalcev v obdobju 2013-2023.

|                       | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Raziskovalni programi | 4    | 3    | 5    | 5    | 5    | 5    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    |
| Raziskovalni projekti | 5    | 6    | 2    | 5    | 3    | 6    | 8    | 11   | 13   | 17   | 12   |
| Mladi raziskovalci    | 9    | 9    | 6    | 2    | 1    | 1    | 4    | 4    | 5    | 6    | 7    |



Sodelovanja v letu 2022

Vse kot 70 univerz in inštitutov po svetu



delovanje zavoda in vstop v okolje



Sodelovanja v letu 2022

- ~ 20 osnovnih šol
- ~ 30 srednjih šol
- ~ 30 fakultet in inštitutov
- ~ 30 gospodarskih društev

delovanje zavoda in vstop v okolje

4

## Priloga 2: Pregled merilnih metod

Opomba: Poročilo pregleda merilnih metod je bilo pripravljeno v angleškem jeziku.

# BRIEF OVERVIEW OF LIGHT POLLUTION MEASUREMENT METHODS

E. Klemencic, M. Slavinec

Delivered by the Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Maribor (PP2) for the ADRISKY project, co-funded by the Interreg IPA ADRION programme under the Interreg Funds.

December, 2024

The review is a result of work done in the AdriSky project in November and December 2024 as the initial part of activity A1.2 Methodological and Epistemological Framework. It will serve as a basis for selecting measurement instruments and preparing guidelines for measuring light pollution.

## TABLE OF CONTENTS

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. INTRODUCTION.....                  | 3 |
| 2. MEASUREMENT TECHNIQUES .....       | 3 |
| 2.1 Satellite Remote Sensing .....    | 3 |
| 2.2 Ground-Based Measurements .....   | 4 |
| 2.2.1 Sky Quality Meters (SQMs) ..... | 4 |
| 2.2.2 All-Sky Imaging .....           | 5 |
| 2.3 Modeling and Simulation .....     | 5 |
| 3. CONCLUSION .....                   | 6 |
| References.....                       | 7 |

## 1. INTRODUCTION

Light pollution, defined as excessive or misdirected artificial illumination, has gained significant attention due to its detrimental effects on ecosystems, human health, and astronomical observations (Puschnig et al., 2022). Artificial lighting at night disrupts nocturnal wildlife behaviors, affects human circadian rhythms, and obscures celestial visibility, thereby posing multifaceted challenges across various domains (Aube et al., 2013; Bara et al., 2023; Falchi et al., 2011; Jamal et al., 2022).

Accurately measuring light pollution is crucial for developing effective mitigation strategies and understanding its consequences. This review explores various methodologies for assessing light pollution and discusses their applications, advantages, and limitations. The key measurement approaches include satellite remote sensing, ground-based observations, and computational modeling. A comparative analysis highlights the strengths and weaknesses of each method. By integrating these methodologies, researchers can improve measurement accuracy and support the implementation of evidence-based policies aimed at reducing light pollution (Kyba et al., 2017).

## 2. MEASUREMENT TECHNIQUES

### 2.1 Satellite Remote Sensing

Satellite-based remote sensing has transformed large-scale assessments of light pollution by capturing nighttime emissions from Earth's surface. Instruments such as the Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System and the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite enable global monitoring and temporal trend analysis (Sánchez de Miguel et al., 2017). The data from these satellites provide crucial insights into spatial and temporal variations of artificial lighting, allowing researchers to track urban expansion and changes in lighting practices (Levin et al., 2020). While satellite measurements effectively track global trends in light pollution, they face challenges related to spatial resolution and atmospheric interference.

Advantages:

- Extensive spatial coverage allows for large-scale assessments.
- Facilitates longitudinal studies to observe trends over time.

Limitations:

- Limited spatial resolution may not capture fine-scale variations.
- Atmospheric conditions can affect data accuracy.

Despite these limitations, recent advancements in satellite technologies, such as the use of high-resolution sensors and machine learning algorithms, have improved the detection of artificial light at finer spatial scales (Kyba et al., 2020).

## 2.2 Ground-Based Measurements

Ground-based techniques involve direct observations from specific locations, providing high-resolution local data. Two commonly employed methods are Sky Quality Meters (SQMs) and all-sky imaging. These techniques complement satellite data by offering precise local measurements that can validate and refine remote sensing observations (Aubé et al., 2015).

### 2.2.1 Sky Quality Meters (SQMs)

SQMs are handheld devices that measure sky brightness in magnitudes per square arcsecond. Their portability and affordability have led to widespread adoption in citizen science and research initiatives (Puschig et al., 2022). SQMs have been used in various international projects to assess the impact of street lighting policies, evaluate sky brightness variations in urban and rural areas, and track seasonal changes in light pollution (Jechow et al., 2018).

Advantages:

- Cost-effective and easy to use.
- Provides immediate, location-specific data.

Limitations:

- Limited to point measurements, requiring multiple readings for broader assessments.
- Susceptible to local light interference.

Recent reviews have highlighted the value of SQMs in various studies, particularly in citizen science projects that contribute to light pollution research (Sánchez de Miguel et al., 2017; Žiberna, 2016). Additionally, calibration efforts and the development of networked SQM systems have improved the reliability and consistency of measurements across different regions (Hänel et al., 2017).

### 2.2.2 All-Sky Imaging

All-sky imaging utilizes calibrated cameras with fisheye lenses to capture a comprehensive view of the night sky. This method allows for a detailed spatial analysis of sky brightness and the identification of light pollution sources. The technique is particularly useful for differentiating between natural and artificial sources of skyglow and for evaluating the effectiveness of lighting regulations.

Advantages:

- Offers a holistic perspective of the sky.
- Enables the identification of specific light pollution sources.

Limitations:

- Requires specialized equipment and expertise.
- Data processing can be complex and time-consuming.

Research has shown the efficacy of all-sky imaging in urban environments, providing valuable insights into the distribution of artificial light (Posch et al., 2018). Recent advances in image processing techniques have further improved the accuracy of brightness estimations from all-sky images, enabling more precise quantification of light pollution levels (Small & Eldvidge, 2013).

## 2.3 Modeling and Simulation

Computational models simulate light propagation based on known emission sources and atmospheric conditions, aiding in predictive analysis and policy development. Models such as radiative transfer simulations and artificial sky brightness calculations provide crucial insights into how light interacts with the atmosphere and terrain, supporting urban planning and conservation efforts (Aubé, 2015).

Advantages:

- Enables scenario testing to assess the impact of lighting modifications.
- Integrates diverse datasets for comprehensive analysis.

Limitations:

- Accuracy depends on the quality and completeness of input data.
- May require substantial computational resources.

A comprehensive review discussed the role of modeling in understanding light pollution dynamics and supporting evidence-based policymaking (Bará et al., 2019). Integrating field measurements with modeling approaches enhances predictive capabilities, allowing researchers to test the effectiveness of different lighting regulations before implementation (Falchi et al., 2011).

### 3. CONCLUSION

Each measurement approach offers distinct advantages and faces specific challenges. Satellite remote sensing is suitable for large-scale assessments, offering extensive spatial coverage and facilitating trend analysis over time. However, its limitations include reduced spatial resolution and susceptibility to atmospheric interference, which can impact data accuracy. Ground-based measurements, such as Sky Quality Meters and all-sky imaging, provide detailed local data, making them valuable for high-resolution studies and citizen science projects. Despite their effectiveness, these methods lack the broader spatial context provided by remote sensing and require multiple measurements for comprehensive coverage. Modeling and simulation approaches enable predictive analysis and scenario testing, integrating diverse datasets to enhance understanding of light pollution dynamics. However, their reliability depends on the accuracy and completeness of input data, and they often require significant computational resources.

An integrated approach that combines satellite observations, ground-based measurements, and modeling techniques enhances the accuracy and comprehensiveness of light pollution assessments, ultimately contributing to more effective mitigation strategies and policy development. Future research should focus on improving data fusion techniques and leveraging advancements in machine learning to refine predictive models and automated image processing for light pollution monitoring. Accurate measurement of light pollution is crucial for mitigating its adverse effects on ecosystems, human health, and astronomical research. While no single method is universally superior, integrating satellite observations, ground-based measurements, and computational modeling offers a robust framework for comprehensive assessment.

For the following project, we have selected Sky Quality Meters (SQMs) for measurements due to their cost-effectiveness, portability, and ability to provide immediate, location-specific data. SQMs have been widely adopted in various studies, including long-term monitoring of night sky brightness in urban environments, demonstrating their practicality and reliability (Unihedron, n.d.). Furthermore, networked SQM deployments have shown promising results in tracking regional trends and informing local lighting policies (Hänel et al., 2017).

## References

- Aube M. 2015 Physical behaviour of anthropogenic light propagation into the nocturnal environment. *Phil.Trans. R. Soc. B* 370: 20140117. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0117>
- Aubé M, Roby J, Kocifaj M (2013) Evaluating Potential Spectral Impacts of Various Artificial Lights on Melatonin Suppression, Photosynthesis, and Star Visibility. *PLOS ONE* 8(7): e67798. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067798>
- Bará, S., Rigueiro, I., & Lima, R. C. (2019). Monitoring transition: Expected night sky brightness trends in different photometric bands. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 239, 106644. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2019.106644>
- Bará S, Falchi F. Artificial light at night: a global disruptor of the night-time environment. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2023 Dec 18;378(1892):20220352. doi: 10.1098/rstb.2022.0352. Epub 2023 Oct 30. PMID: 37899010; PMCID: PMC10613534.
- 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*, 92(10), 2714-2722. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>
- Hänel, A., Posch, T., Ribas, S., Aubé, M., Duriscoe, D., Jechow, A., Kolláth, Z., Lolkema, D., Moore, C., Schmidt, N., Spoelstra, H., Wuchterl, G., & Kyba, C. (2017). Measuring night sky brightness: Methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 205, 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2017.09.008>
- Jamal, Md & Falak, Shahkar & Khan, Zeeshan. (2022). An Analysis on How Artificial Light at Night May Impact the Sustainable Development Goals 2030 and Human Health. *Chronobiology in Medicine*. 4. 8-20. 10.33069/cim.2021.0030.
- Jechow, Andreas & Ribas, Salvador & Domingo, Ramon & Hölker, Franz & Kolláth, Zoltán & Kyba, Christopher. (2018). Tracking the dynamics of skyglow with differential photometry using a digital camera with fisheye lens. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 209. 212-223. 10.1016/j.jqsrt.2018.01.032.
- Kyba, C. C. M., Ruby, A., Kuechly, H. U., Kinzey, B., Miller, N., Sanders, J., Barentine, J., Kleinodt, R., & Espey, B. (2020). Direct measurement of the contribution of street lighting to satellite observations of nighttime light emissions from urban areas. *Lighting Research & Technology*, 53(3), 189–211. <https://doi.org/10.1177/1477153520958463>
- Levin, N., Kyba, C. C. M., Zhang, Q., Sánchez de Miguel, A., Román, M. O., Li, X., Portnov, B. A., Molthan, A. L., Jechow, A., Miller, S. D., Wang, Z., Shrestha, R. M., & Elvidge, C. D. (2020). Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111443. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111443>

Posch, T., Binder, F., & Puschnig, J. (2018). Systematic measurements of the night sky brightness at 26 locations in Eastern Austria. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 211, 144–165. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.03.010>

Puschnig, Johannes & Wallner, Stefan & Schwöpe, Axel & Näslund, Magnus. (2022). Long-term trends of light pollution assessed from SQM measurements and an empirical atmospheric model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 518. 4449–4465. 10.1093/mnras/stac3003.

Sanchez de Miguel, Alejandro & Aubé, Martin & Kocifaj, Miroslav & Roby, Johanne & Tapia Ayuga, Carlos Eugenio. (2017). Sky Quality Meter measurements in a colour changing world. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 467. 2966–2979. 10.1093/mnras/stx145.

Small, C., & Elvidge, C. D. (2013). Night on Earth: Mapping decadal changes of anthropogenic night light in Asia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 22, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.02.009>

Unihedron. (n.d.). Sky Quality Meter. Retrieved from [unihedron.com](http://unihedron.com)

Žiberna, I. (2016). Svetlobna onesnaženost na območju Maribora. *Revija za geografijo - Journal for Geography*, 11(2), 119–130. UDK: 504.03.

Priloga 3: Stanje PP2



University of Maribor

Faculty of Natural Sciences  
and Mathematics

Status of Deliverables **PP2**  
(February 2025)

Activities

|                                                   | 1.9.2024-<br>28.2.2025 | 1.3.2025-<br>31.8.2025 |
|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| WP1 KNOWLEDGE INTEGRATION, EXCHANGE               |                        |                        |
| A1.1 State of Art:                                |                        |                        |
| 1. Comprehensive report on state of the art       |                        |                        |
| 2. Light Pollution Conference                     |                        |                        |
| A1.2 Methodological and Epistemological Framework |                        |                        |
| 1. Data Collection and Analysis Guidelines        |                        |                        |
| 2. Stakeholder Engagement plan                    |                        |                        |
| 3. Best practices catalogue                       |                        |                        |
| WP2 DESIGNING AND TESTING SOLUTION                |                        |                        |
| WP3 KNOWLEDGE AND EXPERIENCE TRANSFER             |                        |                        |

## Activities

### WP1 KNOWLEDGE INTEGRATION, EXCHANGE

#### State of Art

- 2. Light Pollution Conference
- 2.1 Program planning (In Progress)
- 2.2 Organization of venue (In Progress)
- 2.3 Execution and evaluation (Planned)



## Activities

### WP1 KNOWLEDGE INTEGRATION, EXCHANGE

#### Methodological and Epistemological Framework

- 1. Data Collection and Analysis Guidelines
- 1.1 Sources analysis (Completed)
- 1.2 Equipment tryouts (Completed)
- 1.3 Developing guidelines (In Progress)
- 1.4 Testing and evaluation of guidelines (In Progress)
- 1.5 Final version of guidelines (Planned)

