

АСТРОНОМСКА ОПСЕРВАТОРИЈА БЕОГРАД
ASTRONOMICAL OBSERVATORY BELGRADE

ПОСЕБНА ИЗДАЊА БР. 5

SPECIAL ISSUES No. 5

**Зборник радова са радионице пројекта Градске опсерваторије
Београда „UrbObsBel“ одржане 20.06.2025.**

*ПРИЗМА пројекат Фонда за науку Републике Србије, број уговора 6775
Време реализације: 1. јануар 2024 - 31. децембар 2026.*

Уредници:

Дајана Бјелајац и Срђан Самуровић



БЕОГРАД 2026

BELGRADE 2026

Астрономска опсерваторија
Astronomical Observatory

Посебна издања бр. 5
Special Issues No. 5

Издавач:
Астрономска опсерваторија Београд, Волгина 7

Интернет страница: www.aob.rs
Електронска пошта: contact@aob.rs

Уредник:
Проф. др Лука Ч. Поповић

Технички уредник:
Др Дајана Бјелајац

ISSN 3042-2442
ISBN 978-86-82296-21-8

Истраживање спроведено уз подршку Фонда за науку Републике
Србије, бр. пројекта 6775, Urban Observatory of Belgrade - UrbObsBel.

Тираж: 100

Штампа: Donat Graf doo, Вучка Милићевића 29, Београд

ISSN 3042-2442

АСТРОНОМСКА ОПСЕРВАТОРИЈА БЕОГРАД
ASTRONOMICAL OBSERVATORY BELGRADE

ПОСЕБНА ИЗДАЊА БР. 5
SPECIAL ISSUES No. 5

**Зборник радова са радионице пројекта Градске
опсерваторије Београда „UrbObsBel“ одржане
20.06.2025.**

*ПРИЗМА пројекат Фонда за науку Републике Србије, број уговора
6775*

Време реализације: 1. јануар 2024 - 31. децембар 2026.

Уредници:

Дајана Бјелајац и Срђан Самуровић



БЕОГРАД 2026
BELGRADE 2026

НАУЧНИ ОРГАНИЗАЦИОНИ ОДБОР

др Срђан Самуровић,
научни саветник, Астрономска опсерваторија

др Дајана Бјелајац,
*доцент, Природно-математички факултет
Универзитета у Новом Саду*

др Зорица Цветковић,
научни саветник, Институт за физику

др Раде Павловић,
научни саветник, Институт за физику

др Зоран Симић,
научни саветник, Астрономска опсерваторија

др Горан Дамљановић,
научни саветник, Астрономска опсерваторија

др Бранислав Ровчанин,
*виши научни сарадник, Медицински факултет
Универзитета у Београду*

др Драган Лукић,
научни сарадник, Институт за физику

ЛОКАЛНИ ОРГАНИЗАЦИОНИ ОДБОР

др Срђан Самуровић,
научни саветник, Астрономска опсерваторија

др Дајана Бјелајац,
*доцент, Природно-математички факултет
Универзитета у Новом Саду*

др Раде Павловић,
научни саветник, Институт за физику

др Зоран Симић,
научни саветник, Астрономска опсерваторија

др Горан Дамљановић,
научни саветник, Астрономска опсерваторија

*ПРИЗМА пројекат Фонда за науку Републике Србије, број уговора 6775
Време реализације: 1. јануар 2024 - 31. децембар 2026.*

САДРЖАЈ

др Срђан Самуровић - ПРОЈЕКАТ ГРАДСКЕ ОПСЕРВАТОРИЈЕ БЕОГРАДА (UrbObsBel).....	1
др Раде Павловић, др Зоран Симић - ПРВИ РЕЗУЛТАТИ ПРОЈЕКТА UrbObsBel....	15
др Драган Лукић, др Раде Павловић, др Бранислав Ровчанин - ПРОЈЕКАТ UrbObsBel: HSI ИНСТРУМЕНТ ЗА ХИПЕРСПЕКТРАЛНО СНИМАЊЕ	29
Саша Жилић - ТЕРМОВИЗИЈСКЕ КАМЕРЕ: МОГУЋНОСТИ FLIR УРЕЂАЈА.....	443
Никола Галиот, Огњен Гојковић - TRON AI: СИСТЕМ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ ДРОНОВА И МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРСКИХ ПОЈАВА ЗАСНОВАН НА ВЕШТАЧКОЈ ИНТЕЛИГЕНЦИЈИ.....	49
др Бранислав Ровчанин - ПРОЈЕКАТ UrbObsBel: УТИЦАЈ СВЕТЛОСНОГ ЗАГАЂЕЊА НА ЗДРАВЉЕ ЧОВЕКА	51
др Марко Прокић - СВЕТЛОСНО ЗАГАЂЕЊЕ – ГЛОБАЛНИ ПРОБЛЕМ. ЕФЕКТИ ВЕШТАЧКОГ НОЋНОГ СВЕТЛА НА РАЗЛИЧИТЕ ГРУПЕ ЖИВОТИЊА.....	59
Бранко Радан - ADRISKY - НАПРЕДАК У УБЛАЖАВАЊУ СВЕТЛОСНОГ ЗАГАЂЕЊА РАДИ ОЧУВАЊА БИОДИВЕРЗИТЕТА И НОЋНИХ СТАНИШТА У ЈАДРАНСКО-ЈОНСКОМ РЕГИОНУ	71
др Дајана Бјелајац - МЕЂУНАРОДНИ ПРОГРАМ ЗАШТИТЕ ТАМНОГ НЕБА КАО ГЛОБАЛНИ МОДЕЛ ЗА ОЧУВАЊЕ ПРИРОДНО ТАМНИХ ПОДРУЧЈА	75
Зоран Танасијевић - СВЕТЛОСНО ЗАГАЂЕЊЕ НА ПЛАНИНИ РАЈАЦ — СТАЊЕ И ПЕРСПЕКТИВЕ ИСТРАЖИВАЊА	89
ПРОГРАМ.....	93
ДОДАТАК: Фотографије са радионице пројекта Градске опсерваторије Београда (UrbObsBel) одржане 20.06.2025. у библиотеци Астрономске опсерваторије у Београду	97

ПРЕДГОВОР

Овај зборник радова представља научно-стручни допринос са радионице одржане 20.06.2025. године у библиотеци Астрономске опсерваторије у оквиру пројекта Градске опсерваторије Београда (Urban Observatory of Belgrade, UrbObsBel), финансираног од стране Фонда за науку Републике Србије у периоду 2024-2026, чији је циљ унапређење истраживачких капацитета и боље разумевање светлосног загађења као једног од најбрже растућих и недовољно истражених облика деградације животне средине.

Пројекат је усмерен на мерење, мониторинг и анализу вештачког осветљења у ноћним условима, као и на његове шире еколошке и друштвене импликације. Радионица је окупила стручњаке и научнике из различитих научних области попут астрономије, физике, медицине, биологије, географије и других, са намером да се представе досадашња истраживања, искуства у мерењу вештачког осветљења у вечерњим сатима, као и иницијативе које покренуте са намером да се заштите природно тамна подручја. У овом зборнику приказани су прелиминарни резултати мерења светлосног загађења у оквиру Градске опсерваторије у Београду, затим примена HSI уређаја у детекцији и класификацији светлосних извора и њихових спектралних карактеристика, као и могућности примене термовизијских камера (конкретно FLIR уређаја).

Даље, у зборнику се може прочитати нешто више о међународном ADRISKY пројекту који обухвата више партнера из региона, а чији основни циљ је очување биодиверзитета и ноћних станишта у Јадранско-јонском региону. Неколико радова анализирано је негативне ефекте светлосног загађења по људско здравље и живи свет, а приказане су и могућности и предности прикључивању програму заштите природно тамних подручја. За крај, приказана је и локална иницијатива за оснивање парка тамног неба на подручју Предела изузетних одлика „Рајац“.

Захваљујемо се свим учесницима радионице Градске опсерваторије Београда. Посебно се захваљујемо директорима Астрономске опсерваторије из Београда који су учествовали на нашој радионици: проф. др Луки Поповићу, садашњем директору на помоћи и разумевању

у реализацији пројекта Градске опсерваторије Београда, као и претходним директорима др Гојку Ђурашевићу (2015-2023) и академику др Зорану Кнежевићу (2002-2014) на подршци пројекту. Захваљујемо се руководству Градске општине Звездара на подршци пројекту UrbObsBel. Захваљујемо се Фонду за науку Републике Србије који у периоду 2024-2026 финансира пројекат UrbObsBel, број уговора 6775.

Уредници:
др Дајана Бјелајац,
др Срђан Самуровић,
28. април 2026.

Astron. Obs. Belgrade Special Issues No. 5 (2026), 1-14

DOI: <https://doi.org/10.69646/aobsi00501>

ПРОЈЕКАТ ГРАДСКЕ ОПСЕРВАТОРИЈЕ БЕОГРАДА (UrbObsBel)

СРЂАН САМУРОВИЋ¹

¹Астрономска опсерваторија, Београд

Резиме. Приказан је пројекат Градске опсерваторије Београда (Urban Observatory of Belgrade, UrbObsBel) који у периоду 2024-2026. финансира Фонд за науку Републике Србије. Представљен је истраживачки тим пројекта, инструменти који се користе, као и активности и планови пројекта.

Abstract. The Urban Observatory of Belgrade (UrbObsBel) project, which is funded by the Science Fund of the Republic of Serbia in the period 2024-2026, is presented. The project's research team, the instruments used, as well as the project's activities and plans were presented.

1. УВОД

Главни задатак пројекта Градске опсерваторије Београда (Urban Observatory of Belgrade, UrbObsBel) који у периоду 2024-2026. финансира Фонд за науку Републике Србије је формирање нове посматрачке станице у оквиру једне од најстаријих српских научних институција, Астрономској опсерваторији у Београду¹ у циљу изучавања светлосног загађења, једног од најмање схваћених облика загађења применом астрономских техника. Светлосно загађење се дефинише као збир свих штетних ефеката вештачког осветљења: ово се односи на прекомерну, погрешно усмерену или неприкладну употребу вештачке светлости, која ремети природни ниво светлости и има негативан утицај на животну средину, људско здравље и могућност посматрања ноћног неба. Такође, треба имати у виду и економске ефекте светлосног загађења. Укратко, најбитније (и искључиво негативне) последице светлосног загађења су следеће²:

- *Културолошке последице:* губитак звезданог неба је велики губитак за све културе на планети.

¹<https://www.aob.rs>

²О утицају светлосног загађења на астрономију видети рад Varela Perez (2023).

- *Еколошке последице*: светлосно загађење утиче на флору и фауну на планети, али и на људе.
- *Економске последице*; спољно осветљење троши око 19% глобалне струје на планети (процена је да ће то бити око 27% до 2040. године) што чини око 30-50% енергетских трошкова просечног града на планети.

У овој публикацији су у прилозима Дајане Бјелајац и Зорана Танасијевића приказане активности везане за превазилажење културолошких проблема насталих губитком звезданог неба, док су у прилозима Марка Прокића и Бранислава Ровчанина описани утицаји светлосног загађења на различите групе животиња (Прокић) и на здравље човека (Ровчанин). Што се тиче превазилажења економских последица видети завршетак овог прилога.

2. УЧЕСНИЦИ ПРОЈЕКТА UrbObsBel И РАДНИ ПАКЕТИ ПРОЈЕКТА

Пројекат Градске опсерваторије почео је са радом 1. јануара 2024. године, планирано је да траје 3 године, односно до 31. децембра 2026. године и у њему учествују истраживачи са четиру научно-истраживачке организације из Београда и Новог Сада. Чланови тима UrbObsBel пројекта су: др Срђан Самуровић, научни саветник (Астрономска опсерваторија, Београд), др Зорица Цветковић, научни саветник (Институт за физику, Београд), др Раде Павловић, научни саветник (Институт за физику, Београд), др Горан Дамљановић, научни саветник (Астрономска опсерваторија, Београд), др Зоран Симић, научни саветник (Астрономска опсерваторија, Београд), др Драган Лукић, научни сарадник (Институт за физику, Београд) и др Бранислав Ровчанин, виши научни сарадник (Медицински факултет, Београд) и др Дајана Бјелајац, доцент (Природно-математички факултет, Нови Сад).

Руководилац пројекта и радног пакета бр. 1 везаног за управљање пројектом је др Срђан Самуровић; руководилац радног пакета бр. 2 који се односи на набавку и одржавање опреме је др Зорица Цветковић; руководилац радног пакета бр. 3 који се односи на инсталацију и одржавање софтвера је др Раде Павловић; руководилац радног пакета бр. 4 који се односи на анализу података је др Горан Дамљановић и руководилац радног пакета бр. 5 који се бави дисеминацијом резултата је др Дајана Бјелајац.



Слика 1. Интердисциплинарни тим Градске опсерваторије Београд (с лева на десно): др Дајана Бјелајац, др Драган Лукић, др Зорица Цветковић, др Срђан Самуровић, др Раде Павловић, др Горан Дамљановић, др Бранислав Ровчанин и др Зоран Симић.

3. ЛОКАЦИЈА И ИНСТРУМЕНТИ

Инструменти пројекта UrbObsBel монтирани су на две локације: на Кули Астрономске опсерваторије у Београду (општина Звездара) и на Астрономској станици Видојевица³ код Прокупља (географска дужина 21° 33' 20.4" и географска ширина 43° 08' 24.6") која се налази у оквиру тамне области мале светлосне загађености погодне за астрономска посматрања⁴. Мерења која се врше на овој тамној локацији се пореде са мерењима која се врше на Кули, односно у близини извора интензивног светлосног загађења. Разлика између ових мерења показује колико је светлости додато људском активношћу преко природног нивоа таме. Градска опсерваторија Њујорка и њени инструменти представљени

³<https://vidojevica.aob.rs>.

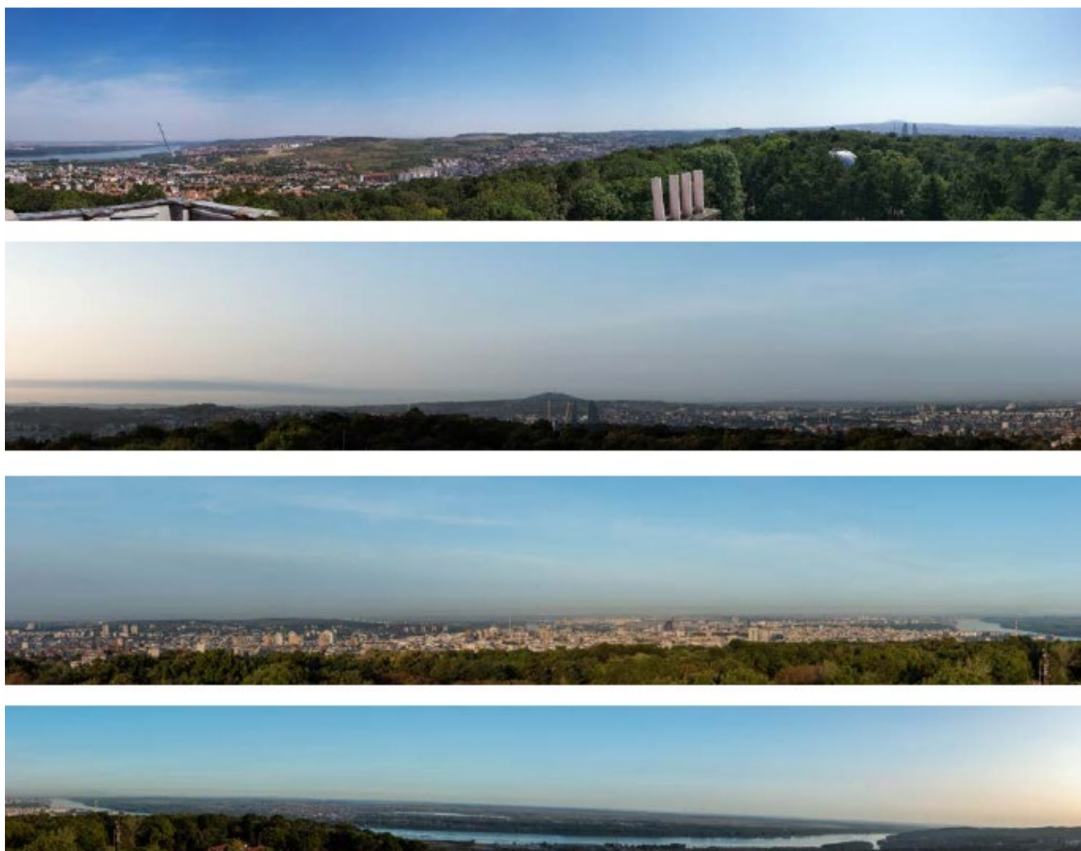
⁴Видети <https://www.lightpollutionmap.info>.

су у раду Dobler et al. (2019).

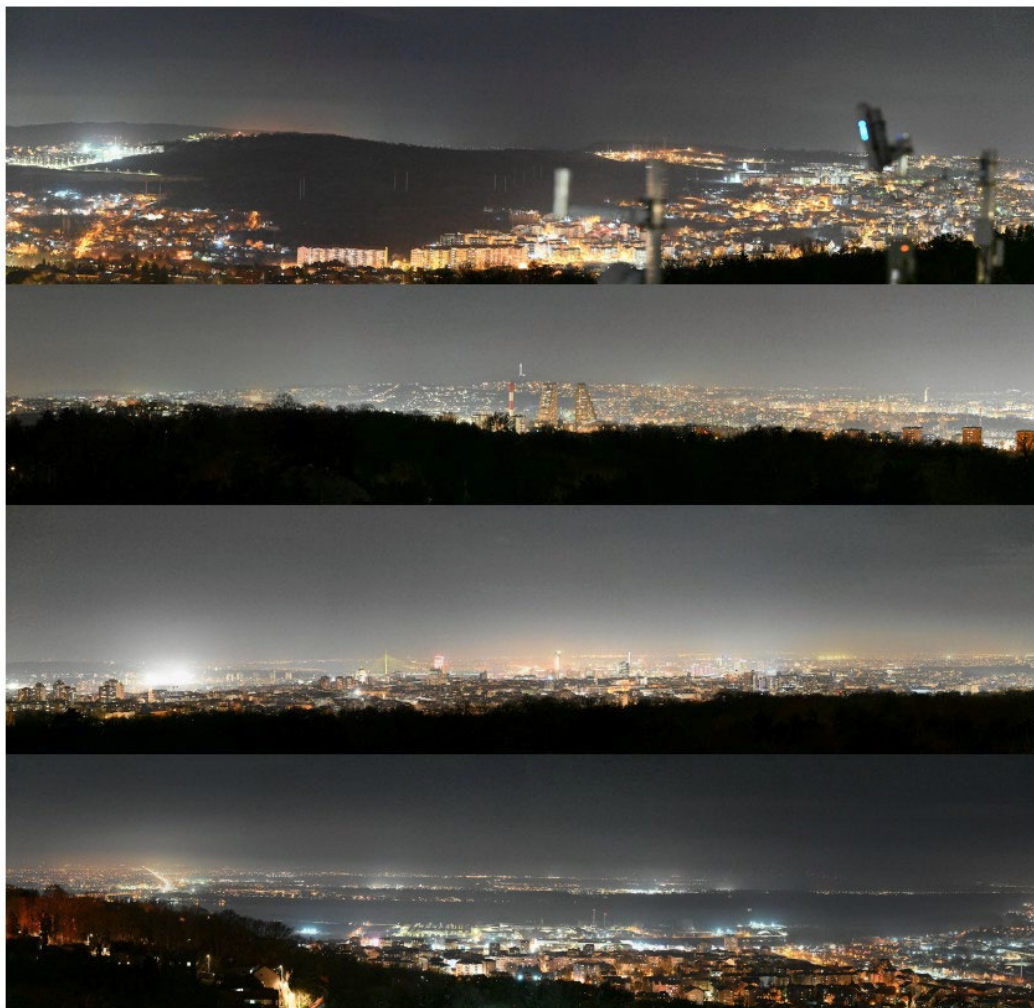


Слика 2. Кула Астрономске опсерваторије.

Врх Куле Астрономске опсерваторије (Слика 2) је највиша тачка урбаног дела Београда и због тога је била логичан избор за монтирање посматрачких инструмената пројекта. Астрономска опсерваторија налази се на 253 м надморске висине, а инструменти пројекта UrbObsBel се налазе на горњем нивоу терасе на Кули (у близини тзв. геодетске тачке) на висини од 24.8 м у односу на ниво Опсерваторије. Кула је од самог свог почетка, тј. од изградње тридесетих година прошлог века била виђена као објекат који може да се искористи у посматрачке сврхе и њен врх је тада био коришћен у сврху пријема сигнала бежичне телеграфије (Самуровић и Поповић, 2025). Панорамски поглед са врха Куле дат је на Сликама 3а и 3б; на ноћном снимку могуће је уочити снажно светлосно загађење у сва 4 правца.



Слика 3а. Панорамски поглед са врха Куле Астрономске опсерваторије дању. Одозго на доле: источна, јужна, западна и северна страна. У правцу југа види се планина Авала (надморска висина 511 м, удаљеност око 16 км од центра Београда).



Слика 3б. Панорамски поглед са врха Куле Астрономске опсерваторије ноћу. Одозго на доле: источна, јужна, западна и северна страна.

Инструменти пројекта UrbObsBel су детаљно описани у овој публикацији у раду Павловић и Симић и овде су дати само основни подаци и њихове локације (видети такође радове Pavlović et al., 2025a,б).



Слика 4. Уређаји монтирани на тераси Куле Астрономске опсерваторије (са лева на десно): TESS-W фотометар, SQM-LE уређај и all-sky камера Alcor OMEA 3C.



Слика 5. Уређаји монтирани на Астрономској станици Видојевица: TESS-W фотометар (лево) и SQM-LE уређај (у средини). Уређај на десној страни је тзв. „seeing“ монитор и монтиран је за потребе рада Астрономске станице.

У оквиру пројекта UrbObsBel набављени су и инсталирани следећи инструменти:

- **All-sky** камера **Alcor OMEGA 3C**, резолуције 3100×2100 пиксела, са видним пољем $180^\circ \times 180^\circ$ и величином пиксела 5.4 arcmin/пикселу монтирана је на врху Куле Астрономске опсерваторије и непрекидно снима небо изнад Београда (Слика 4).
- **Унихедрон Sky Quality Meter**, модел **SQM-LE** се користи за мерење осветљености ноћног неба а изражава је у магнитудама по квадрату лучне секунде. Један уређај монтиран је на Кули Астрономске опсерваторије (Слика 4), а други је монтиран на Астрономској станици Видојевица (Слика 5).

- **TESS-W фотометар** је такође инсталиран на Кули Астрономске опсерваторије (Слика 4) и на Астрономској станици Видојевица (Слика 5) и служи за мерење сјаја ноћног неба.
- Два **хиперспектрална HSI (Hyperspectral Imaging) уређаја** који су конструисани у оквиру пројекта UrbObsBel налазе се монтирани на врху Куле Астрономске опсерваторије (Слика 6). Овај уређај који служи за визуелно и блиско-инфрацрвено хиперспектрално снимање је детаљно описан у овој публикацији у раду Лукић, Павловић и Ровчанин.
- Две **FLIR A700 термалне камере** инфрацрвене резолуције 640×480 пиксела, спектралног опсега од 7.5 до 14.0 микрометара, видног поља од $14^\circ \times 10^\circ$ и термалне осетљивости од 25 mK на $+30^\circ\text{C}$ се користи за термалну карактеризацију извора и објеката (Слика 6). Могућности FLIR уређаја представљене су у овој публикацији у прилогу Саше Жилића. Као и случају HSI уређаја, једна камера је усмерена у правцу центра Београда (правац запад) а друга је усмерена у супротном правцу, тј. ка истоку.
- **Фотоапарат Nikon Z7II** и намењен је за снимање града у видљивом делу спектра. Монтиран је на врху Куле Астрономске опсерваторије, користи се са NIKKOR Z објективом „рибље око“ и има резолуцију од $8,256 \times 5,504$ пиксела тј. 45.7 мегапиксела, при чему је величина једног пиксела $4.3 \mu\text{m}$.



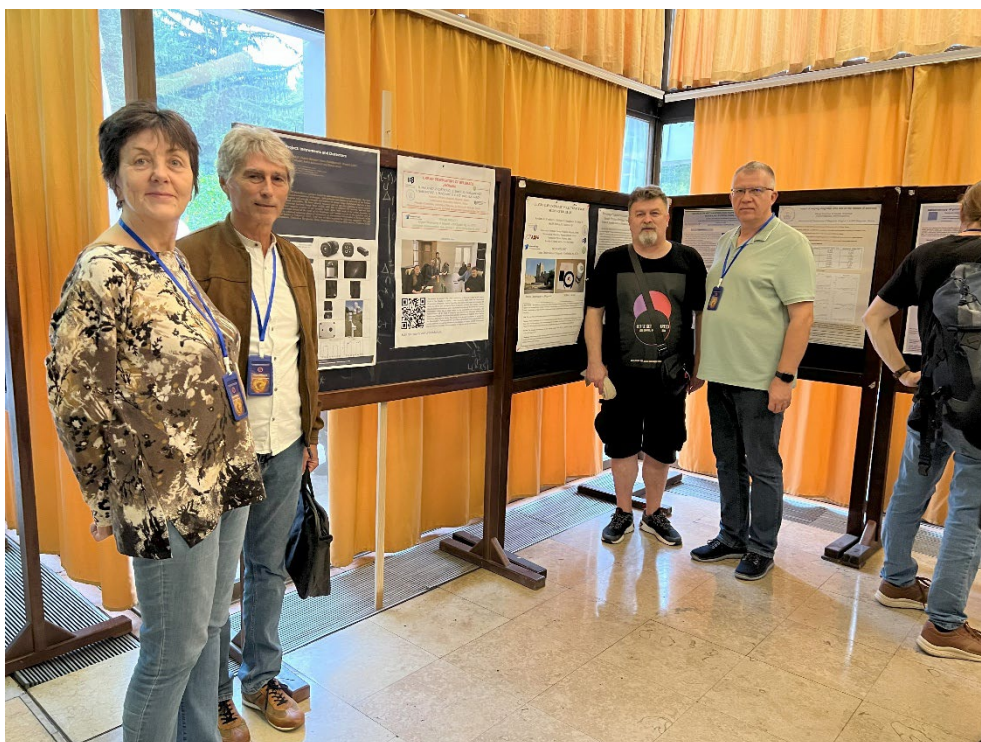
Слика 6. HSI хиперспектрални уређај (лево) и FLIR A700 термална камера (десно) монтирани на Кули Астрономске опсерваторије.

4. АКТИВНОСТИ ПРОЈЕКТА UrbObsBel

Активности пројекта UrbObsBel представљене су на сајту пројекта: <https://urbobsbel.aob.rs>. Сајт се редовно одржава и поред основних информација о пројекту, вести о активностима овај сајт омогућава приступ мерењима урађеним у оквиру пројекта. Конкретно, могуће је у реалном времену пратити мерења all-sky камере, TESS и SQM уређаја. Такође, омогућен је приступ бази података пројекта UrbObsBel која укључује и остала мерења добијена инструментима монтираним у оквиру пројекта.

Истраживачи са пројекта UrbObsBel учествовали су на више научних скупова у земљи и иностранству са прилозима везаним за пројекат. Поменимо на пример:

- *ENLIGHT International Conference*, међународну конференцију посвећену проблему светлосног загађења, која је одржана од 28. до 30. новембра 2025. у Новом Саду;
- Међународни скуп *Meeting on Operational and Research Capabilities for Better Understanding Solar-Terrestrial Interactions* који је одржан на Институту за физику у Земуну од 29. септембра до 3. октобра 2025;
- 8. међународну радионицу *Photonics* која је на Копаонику одржана од 16. до 20. марта 2025;
- 7. међународну радионицу *Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere*, која је одржана у Приморском у Бугарској од 2. до 6. јуна 2025;
- 14. Српско-бугарску астрономску конференцију, одржану у Врњачкој Бањи од 23. до 27. септембра 2024 (Слика 7);
- Конференцију коју је организовао Национални форум за модерна космичка истраживања (*NaFSKI*) у Софији од 22. до 24. октобра 2024.



Слика 7. Учесници пројекта UrbObsBel на 14. Српско-бугарској астрономској конференцији (с лева на десно): др Зорица Цветковић, др Горан Дамљановић, др Зоран Симић и др Раде Павловић.

Учесници пројекта UrbObsBel су активно промовисали пројекат и указивали на проблем светлосног загађења тако што су гостовали у телевизијским емисијама (различити РТС програми), представљали пројекат на интернету (разни портали и друштвене мреже), штампи, различитим научним дешавањима, као што је нпр. Светска недеља свемира одржана у октобру 2024. у Центру за промоцију науке у Београду, представљали пројекат научницима који су посећивали Астрономску опсерваторију, итд. Пројекат UrbObsBel је у оквиру штанда Астрономске опсерваторије био представљен на Међународном сајму технике два пута, 2024. и 2025. године.



Слика 8. 67. Међународни сајам технике одржан 20-23. маја 2025. у Београду (с лева на десно); др Раде Павловић, проф. др. Лука Поповић, директор Астрономске опсерваторије, др Срђан Самуровић и Јован Алексић.

4. ЗАКЉУЧАК

Основни циљ пројекта UrbObsBel је даље унапређење и регионална интеграција истраживачких капацитета Астрономске опсерваторије кроз изградњу нове структуре за градска посматрања. Ова посматрања ће пружити информације о расподели употребе енергије која има велики утицај на животну средину и екосистеме. Овај пројекат анализира везе између урбанизације, екологије, индустрије и, посебно, астрономије. Мерења се обављају у Београду и са планине Видојевица у близини Прокупља где се налази Астрономска станица којом управља

Астрономска опсерваторија, једне од ретких преосталих тамних области у Србији. Један од циљева пројекта је и анализа утицаја светлосног загађења на здравље људи и за реализацију овог пројекта добили смо подршку Градске општине Звездара са којом сарађујемо на овом пројекту у циљу решавања проблема светлосног загађења.

Стварањем нове посматрачке станице у Београду која ће се користити за различите задатке (мерење осветљености неба, видљивости атмосфере, одређивање покривености облацима и мерење загађења неба) пројекат Градске опсерваторије ће допринети нашем разумевању сложених аспеката светлосног загађења. Очекујемо да разни потенцијални корисници наших посматрања и анализа, поред научне заједнице, буду и градске управе, доносиоци одлука, привредници, еколошке организације, институције из области заштите животне средине, шира јавност, медији, просветни радници и сви заинтересовани. Наш пројекат ће омогућити оптимално коришћење ресурса за посматрање и међународну размену знања и резултата са другим, сродним, пројектима. Очекујемо да наше резултате користи Градска општина Звездара, на чијој територији се налази Астрономска опсерваторија, и град Београд, пошто ће наша мерења пружити елементе за доношење одлука у правцу стварања боље животне средине која ће унапредити здравље становништва Београда и околине. У оквиру дугорочне стратегије у вези са светлосним загађењем, покренућемо дискусију о дизајну осветљења прилагођеног тамном небу, као што су правац, спектрални састав и ограничено трајање осветљења што треба да утиче на смањење енергетских трошкова, а такође је у плану покретање изградње паркова тамног неба у Србији који већ постоје у суседним земљама. Овај трогодишњи пројекат Градске опсерваторије може да се примени и у другим градовима у Србији као образац за урбани објекат посвећен проучавању животне средине са циљем побољшавања квалитета живота њихових становника.

Очекујемо да пројекат Градске опсерваторије допринесе разумевању утицаја светлосног загађења на здравље људи. Планирамо да обавимо анкетање грађана везано за проблем светлосног загађења и очекујемо да ће добијени резултати омогућити боље разумевање утицаја светлосног загађења на животну средину и здравље, и у том погледу ће омогућити дефинисање будућих смерница које се односе на превенцију и смањење штетних ефеката светлосног загађења.

Захвалност Истраживање је спроведено уз подршку Фонда за науку Републике Србије, бр. пројекта 6775, Urban Observatory of Belgrade (UrbObsBel) и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз Пројектни уговор бр. 451-03-136/2025-03/200002.

Литература

Dobler, G., Bianco, F.B., Sharma, M.S., Karpf, A., Baur, J., Ghandehari, M., Wurtele, J.S., Koonin S.E., 2019, The Urban Observatory: a Multi-Modal Imaging Platform for the Study of Dynamics in Complex Urban Systems, arXiv:1909.05940.

Pavlović, R., Cvetković, Z., Simić, Z., Damljanović, G., Lukić, D., Rovčanin, B., Samurović, S., Bjelajac, D., 2025a, Urban Observatory of Belgrade (UrbObsBel), Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 107, pp. 123-127, <https://doi.org/10.69646/14sbac21p>

Pavlović, R., Cvetković, Z., Bjelajac, D., Damljanović, G., Lukić, D., Rovčanin, B., Samurović, S., Simić, Z., 2025b, The UrbObsBel Project: Instruments and Detectors, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 107, pp. 129-134, <https://doi.org/10.69646/14sbac22p>

Самуровић, С. и Поповић, Л.Ч., 2025, Војислав В. Мишковић и издавачка делатност Астрономске опсерваторије, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 108, pp. 31-65, <https://doi.org/10.69646/aob108p031>

Varela Perez, A.M., 2023, The increasing effects of light pollution on professional and amateur astronomy, *Science*, **380**, 1136-1140, <https://doi.org/10.1126/science.adg0269>

Astron. Obs. Belgrade Special Issues No. 5 (2026), 15-27

DOI: <https://doi.org/10.69646/aobsi00502>

ПРВИ РЕЗУЛТАТИ ПРОЈЕКТА UrbObsBel

РАДЕ ПАВЛОВИЋ¹ и ЗОРАН СИМИЋ²

¹ *Институт за физику, Београд*

² *Астрономска опсерваторија, Београд*

Резиме. Светлосно загађење представља све израженији облик антропогеног притиска на животну средину, са последицама које превазилазе само естетски губитак звезданог неба већ обухватају поремећаје у екосистемима као и могуће негативне ефекте на здравље људи, повећану потрошњу енергије и отежавање или чак онемогућавање астрономских посматрања. Пројекат UrbObsBel (Urban Observatory of Belgrade, Градска опсерваторија Београда) развијен је као градска опсерваторија за систематско праћење светлосног загађења у Београду, уз примену проверених астрономских техника и више комплементарних инструмената. Пројекат се реализује у периоду 2024–2026. године и окупља истраживаче из четири институције. У раду су представљени основни циљеви пројекта, локација посматрања, коришћена инструментација и први резултати. Инструментални систем обухвата FLIR A700 термалну камеру, all-sky камеру Alcor OMEA 3C, хиперспектрални уређај за VNIR снимање, Унихедрон SQM-LE и TESS-W фотометре. Посебан значај има упоредно мерење на Астрономској опсерваторији Београд (АОБ) и Астрономској станици Видојевица (АСВ). Према TESS-W мерењима из септембра 2024. године добијене су вредности магнитуде по квадратној лучној секунди $16.35 \text{ mag/arcsec}^2$ за АОБ, а $21.16 \text{ mag/arcsec}^2$ за АСВ, док су Унихедрон мерења из јануара 2025. године дала вредности $15.19 \text{ mag/arcsec}^2$ за АОБ и $21.94 \text{ mag/arcsec}^2$ за АСВ. Резултати потврђују изражен интензитет светлосног загађења изнад Београда и указују на значај дугорочног мониторинга, јавне доступности података и развоја мера за унапређење спољашњег осветљења.

Abstract. Light pollution represents an increasingly prominent form of anthropogenic pressure on the environment, with consequences that extend beyond the mere aesthetic loss of the starry sky to include ecosystem disturbances, potential negative effects on human health, increased energy consumption, and the hindering or even prevention of astronomical observations. The UrbObsBel (Urban Observatory of Belgrade) project was developed as an urban observatory for the systematic monitoring of light pollution in Belgrade, employing proven astronomical techniques and multiple complementary instruments. The project is being implemented during the 2024–2026 period and brings together researchers from four

institutions. This paper presents the project's primary objectives, the observation location, the instrumentation used, and the initial results. The instrumental system includes a FLIR A700 thermal camera, an Alcor OMEA 3C all-sky camera, a hyperspectral device for VNIR imaging, and Unihedron SQM-LE and TESS-W photometers. Of particular importance are the comparative measurements conducted at the Belgrade Astronomical Observatory (AOB) and the Vidojevica Astronomical Station (ASV). According to TESS-W measurements from September 2024, the recorded values for magnitude per square arcsecond were 16.35 mag/arcsec² for AOB and 21.16 mag/arcsec² for the ASV, while Unihedron measurements from January 2025 yielded values of 15.19 mag/arcsec² for AOB and 21.94 mag/arcsec² for the ASV. The results confirm the high intensity of light pollution over Belgrade and highlight the importance of long-term monitoring, public data accessibility, and the development of measures to improve outdoor lighting.

1. УВОД

Светлосно загађење данас се све чешће разматра као важан проблем савремене урбане средине, а дефинише се као нежељено или прекомерно вештачко осветљење које нарушава природну таму ноћног неба, ремети екосистеме, утиче на здравље људи и отежава астрономска посматрања. Оваква дефиниција јасно показује да се не ради само о естетском губитку могућности посматрања звезданог неба, већ о сложенем феномену са еколошким, енергетским, културним и научним последицама.

Додатни значај овог проблема проистиче из чињенице да се вештачка светлост повећава 10% сваке године, тј. Удвостручава се приближно сваких 8 година (Falchi & Bara, 2017). Такав тренд упућује на потребу за систематским, дугорочним и методолошки поузданим праћењем стања ноћног неба, нарочито у великим урбаним срединама.

Неке од најважнијих последица светлосног загађења су нестанак звездане ноћи као ненадокнадив губитак за све културе, снажан утицај на флору, фауну и људе, као и значајан економски аспект повезан са потрошњом електричне енергије за спољашњу расвету. Само спољашња расвета у градовима троши 19% глобалне електричне енергије, уз процену раста до 27% до 2040. године, док осветљење чини 30 – 50% типичног рачуна за енергију у градовима (Varela Perez, 2023).

Београд, као највећи урбани центар у Србији, представља веома погодно подручје за проучавање светлосног загађења. Разноврсност извора светлости, густина насељености, развијена јавна расвета и

комплексна урбана структура омогућавају да се овај феномен сагледа у реалним градским условима. Из таквог истраживачког и друштвеног контекста произашао је пројекат Градска опсерваторија Београда – UrbObsBel⁵ (Urban Observatory of Belgrade) који је први са групом разноврсних инструмената на две различите локације. Његов главни циљ јесте да се применом проверених астрономских техника проучавају светлосно загађење и динамички процеси у граду Београду.

2. ЦИЉ РАДА

У овом раду представљамо концепт пројекта UrbObsBel, његов институционални и методолошки оквир, коришћене инструменте и прве резултате мониторинга светлосног загађења у Београду. Посебан акценат је стављен на приказ могућности градске опсерваторије као модела за дугорочно праћење квалитета ноћног неба у урбаној средини и на поређење добијених вредности са референтном тамном локацијом на Астрономској станици на Видојевици (АСВ).

3. ПРОЈЕКАТ UrbObsBel: КОНЦЕПТ И ИНСТИТУЦИОНАЛНИ ОКВИР

Пројекат Градске опсерваторије Београд - UrbObsBel је трогодишњи пројекат који финансира Фонд за науку Републике Србије⁶ у периоду од 1. јануара 2024. до 31. децембра 2026. године (Simić et al., 2025). То је један од првих оваквих пројеката у Србији, усмерених на систематско мерење осветљености ноћног неба и проучавање светлосног загађења у урбаној средини каква је Београд. Очекује се да ће прикупљена посматрања пружити драгоцене информације о расподели потрошње енергије и њеном утицају на животну средину и екосистеме.

Посебна вредност овог пројекта огледа се у његовом интердисциплинарном карактеру. У тиму учествују истраживачи из четири институције: Астрономске опсерваторије Београд⁷, Института за физику Београд⁸, Медицинског факултета Универзитета у Београду⁹ и Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду¹⁰.

⁵ <https://urbobsbel.aob.rs>

⁶ <https://fondzanauku.gov.rs>

⁷ <https://www.aob.rs>

⁸ <https://www.ipb.ac.rs>

⁹ <https://med.bg.ac.rs>

¹⁰ <https://www.dgt.uns.ac.rs>

Пројекат окупља укупно осам истраживача: др Срђан Самуровић, др Горан Дамљановић, др Зоран Симић, др Зорица Цветковић, др Раде Павловић, др Драган Лукић, др Дајана Бјелајац и др Бранислав Ровчанин. Оваква мултидисциплинарна организација тима истраживача потврђује да светлосно загађење није могуће посматрати само као астрономски проблем, већ као тему која захтева истовремено разумевање физичких, еколошких, здравствених и урбаних аспеката (Pavlović et al., 2025a).

У концептуалном смислу, пројекат се заснива на коришћењу више врста инструмената, који покривају различите делове спектра, а који су намењени за проучавање осветљености неба услед присуства различитих извора загађења као што су уличне светиљке, рекламни екрани, рефлектори стадиона и разни типови светала постављених по фасадама „паметних зграда“. Овакав приступ треба да обезбеди висококвалитетне посматрачке податке и биће коришћен такође и за обуку и за информисање јавности. Истовремено, планирана су дугорочна мерења уз повремену верификацију, јавна доступност података и њихово повезивање са одговарајућим базама, као и широка промоција пројекта и добијених резултата.

4. ИНСТРУМЕНТИ ПРОЈЕКТА UrbObsBel

Астрономска опсерваторија у Београду се налази на изузетној локацији у граду тако да се читав град види са врха Куле. Дакле, сам географски положај Опсерваторије и распоред инструмената је такав да омогућава широк визуелни и инструментални обухват урбаног простора што је погодно за дугорочно праћење осветљености ноћног неба изнад града.

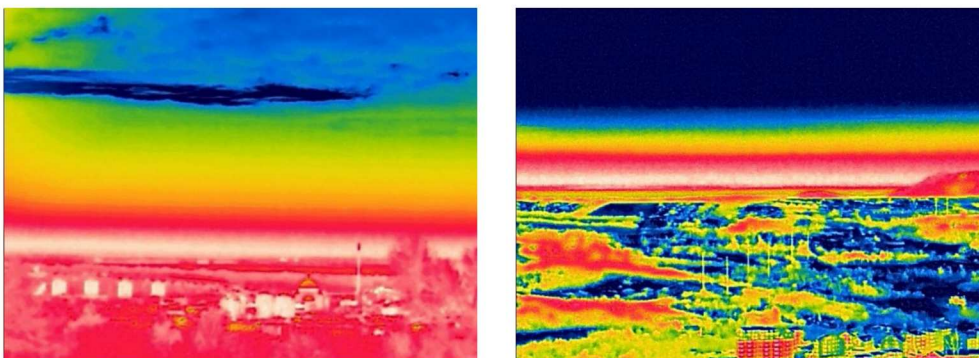
За компаративну анализу коришћена је и Астрономска станица на Видојевици (АСВ), која у овом пројекту има улогу референтне тамне локације. Управо могућност директног поређења урбане и тамне средине представља једну од методолошки највреднијих одлика овог пројекта.

У оквиру пројекта користимо више различитих инструмената (Pavlović et al., 2025b). Први инструмент који представљамо на Сликама 1 и 2 је **FLIR A700 термална камера**, која поседује инфрацрвену резолуцију 640×480 пиксела, видно поље од $14^\circ \times 10^\circ$ и термалну осетљивост од 25 mK на $+30^\circ\text{C}$. Овај уређај омогућава термалну

карактеризацију извора и објеката, што може бити корисно при анализи технолошких особина појединих извора осветљења и њиховог рада.



Слика 1. FLIR A700 термална камера, поглед са предње и задње стране.



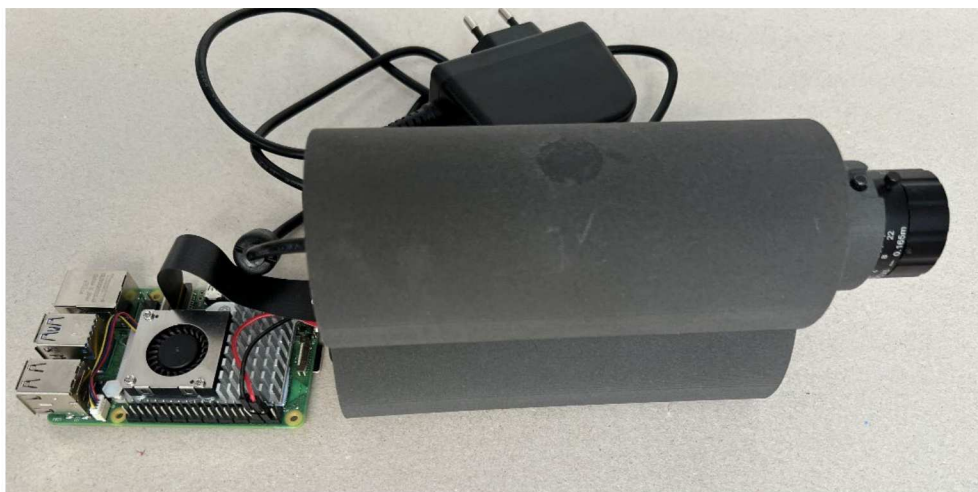
Слика 2. Снимци начињени 21. марта 2026. године у 23:53 истовремено са обе термалне FLIR A700 камере. Лево је поглед ка центру града, десно супротно од центра.

Други инструмент је **all-sky** камера **Alcor OMEA 3C** (Слика 3 лево), резолуције 3100×2100 пиксела, са видним пољем $180^\circ \times 180^\circ$ и величином пиксела $5,4 \text{ arcmin/пиксел}$. Оваква камера нам омогућава снимање целе небеске полулопте, што је корисно за просторну анализу расподеле сјаја неба, а то је изузетно важно за идентификацију доминантних праваца и сектора урбаног светлосног загађења.



Слика 3. All-sky камера Alcor OMEA 3C (лево) и Унихедрон Sky Quality Meter, модел SQM-LE (десно).

Трећи инструмент је хиперспектрални имидинг сензор (енгл. Hyperspectral imaging sensor) - **HSI уређај** који нам служи за визуелно и блиско-инфрацрвено хиперспектрално снимање (Слика 4). Заснован је на приступачној Raspberry Pi платформи, а сами смо га направили и калибрисали према упутствима датим у раду Salazar-Vazquez и Mendez-Vazquez, 2020.



Слика 4. HSI уређај са извученим Raspberry Pi 5 мини компјутером.

Хиперспектрални приступ је од посебног значаја за наш пројекат јер омогућава снимање објеката само једним кликом чиме добијамо на брзини док сам објекат „видимо“ на различитим таласним дужинама, које можемо бирати у распону од 400 nm до 1000 nm, а то нам пружа бољи увид у спектралне карактеристике извора светлости, што је важно

за разумевање утицаја различитих типова расвете на околину и квалитет ноћног неба. Видети рад Лукић, Павловић и Ровчанин (2026) у овој публикацији који детаљно приказује овај инструмент и његов принцип рада.

Четврти инструмент је Унихедрон Sky Quality Meter, модел SQM-LE (Слике 3 десно, 5 и 6) којим се мери осветљеност ноћног неба а изражава је у магнитудама по квадрату лучне секунде. Угаону осетљивост је приближно 42° а то је заправо угао под којим се посматра небо око зенита. Овај инструмент представља једно од стандардних средстава за континуирани мониторинг квалитета ноћног неба. Инсталирана су три оваква уређаја, један на Астрономској опсерваторији (АОБ), други на Калемегдану практично у центру града инсталиран од стране Астрономског друштва Руђер Бошковић (АДРБ) и трећи на Астрономској станици на Видојевици (АСВ).



Слика 5. Изглед TESS-W фотометра (лево) и TESS-W фотометар монтиран на стубу на АСВ у предњем плану, иза се види Унихедрон Sky Quality Meter - модел SQM-LE док су у позадини куполе 40 см и 1.4 м телескопа.

Пети инструмент чини **TESS-W фотометар** (Слике 5 и 6). Инсталирали смо два оваква уређаја, један на Астрономској опсерваторији Београд (АОБ), а други на Астрономској станици Видојевица (АСВ). Тиме је обезбеђена директна основа за упоредна мерења између градске и референтне тамне локације.

Шести инструмент је **фотоапарат Nikon Z7II** (слика 7) који је намењен за снимање градског језгра у видљивом делу спектра. Основне карактеристике су: резолуција од $8,256 \times 5,504$ пиксела тј. 45.7 мегапиксела, величина једног пиксела је $4.3 \mu\text{m}$. Поседује електронски затварач (engl.: shutter) омогућава експозиције од $1/8000$ па све до 30 секунди са могућношћу да се продужи до 900 секунди.



Слика 6. TESS-W (лево), унихедрон (у средини) и all-sky камера (десно) на врху Куле са погледом на панораму града.

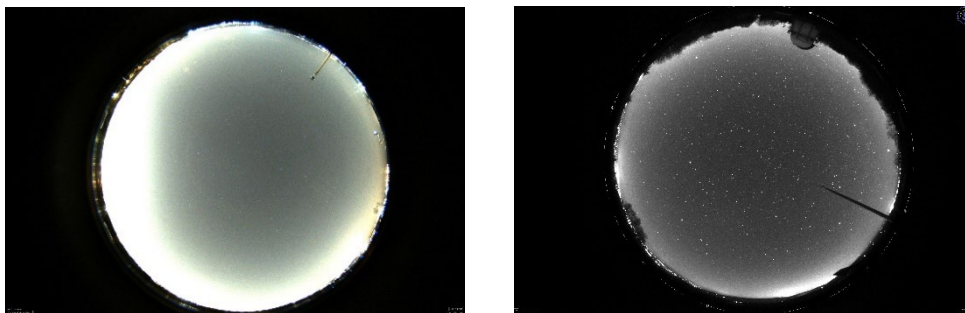


Слика 7. Фотоапарат Nikon Z7II са објективом NIKKOR Z 24-70mm f/2.8 изглед са предње (лево) и задње стране (десно).

5. ПРВА МЕРЕЊА И РЕЗУЛТАТИ

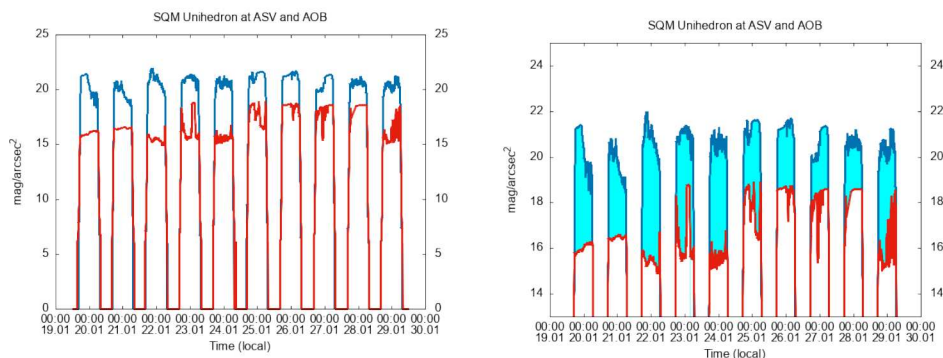
Септембра 2024. године су извршена TESS-W фотометаром прва мерења на обе станице, АОБ и АСВ, током две ноћи. Добијене средње вредности смо одмах упоредили. На Астрономској опсерваторији смо добили за сјај неба $16.35 \text{ mag/arcsec}^2$ док за Астрономску станицу на Видојевици је добијено $21.16 \text{ mag/arcsec}^2$. Разлика између ове две локације је износила $4.81 \text{ mag/arcsec}^2$ што говори о изузетно великом светлосном загађењу у Београду.

С обзиром на то да веће вредности у јединици mag/arcsec^2 одговарају тамнијем небу, ови резултати показују да је небо изнад Видојевице знатно тамније од неба изнад Београда. Тиме се потврђује да урбана средина снажно нарушава природну таму ноћног неба. Ово тврђење је још очигледније ако упоредимо слике са all-sky камера (Слика 8).



Слика 8. Снимак all-sky камером на АОБ (лево) и на АСВ (десно).

Други скуп резултата који овде приказујемо односи се на јануар 2025. године и заснива се на мерењима Унихедрон инструментима на обе локације, АОБ и АСВ, само у дужем интервалу тј. током десет ноћи. За АОБ је добијена вредност $15.19 \text{ mag/arcsec}^2$, а за АСВ $21.94 \text{ mag/arcsec}^2$ (Слика 9). Разлика између ових локација је још већа и износи $6.75 \text{ mag/arcsec}^2$. Овај податак још додатно потврђује изражену разлику између урбаног и тамног неба. Иако су овде коришћени други инструменти и други временски интервали у односу на претходни скуп мерења, општи закључак остаје исти: интензитет светлосног загађења изнад Београда је висок и јасно мерљив.



Слика 9. Графички приказ података са Унихедрона на АСВ (плава) и на АОБ (црвена) за период од 19.01.2025. до 30.01.2025. године (панел лево). На панелу десно је приказан исти график само је увећан део између магнитуда 14 и 24.

Поред нумеричких показатеља, снимали смо неба изнад Београда all-sky камером (Слика 8), као и фотоапаратом (Слика 10). Ови прикази су важни јер указују да светлосно загађење нема само укупни интензитет, већ и просторну структуру. Таква структура може зависити од распореда градских зона, саобраћајне инфраструктуре, типа расвете и оријентације у односу на нашу позицију према различитим деловима града. Такође је примећено да када се одиграва нека утакмица на стадионима и када су упаљени рефлектори, очекивано, се знатно повећава интензитет светла и „сјаја“ неба.

6. ДИСКУСИЈА

Добијени први резултати показују да пројекат UrbObsBel има значајну научну и практичну вредност. Пре свега, он потврђује да се светлосно загађење у једном великом граду може систематски пратити применом астрономских метода и релативно разноврсне, али комплементарне и пажљиво одабране групе инструмената. Тиме се успоставља основа за континуирано праћење промена у квалитету ноћног неба и за анализу ефеката могућих интервенција у систему спољашњег осветљења како би се смањило на разуман ниво.



Слика 10. Снимак града фотоапаратом 09.02.2026. у 20:37.

Посебан допринос пројекта јесте упоредна анализа у односу на референтну тамну локацију на Видојевници. Без такве референтне тачке, вредности добијене изнад Београда имале би знатно мању интерпретативну снагу. У овом случају, разлика између приближно 15–16 mag/arcsec² изнад Београда и преко 21 mag/arcsec² на Видојевници веома јасно показује степен деградације ноћног неба у урбаној средини. Још једна важна карактеристика пројекта јесте то што не остаје на нивоу простог регистровања проблема, већ у овој публикацији указује и на могућа решења. Због сложености антропогеног светла не постоје једноставна решења за његово смањење и ублажавање у природним системима. Истовремено се наглашава да су национална и међународна сарадња од суштинског значаја за прикупљање висококвалитетних података, као и да постоји хитна потреба за националним и међународним прописима за смањење светлосног загађења.

Посебно су важне и практичне препоруке за прилагођавање дизајна осветљења ради смањења утицаја на локалне екосистеме: заштита светилки, прилагодљиво улично осветљење, смањење интензитета светла и избор одговарајућег спектралног састава извора светлости. Као препоручени опсег на коме се израчи максимални флуks наводи се 570–605 nm, односно жуто-наранџасти део спектра, сличан оном код

сијалица са натријумовим парама. Ова препорука је значајна јер показује да проблем светлосног загађења није само у количини светлости, већ и у њеном спектралном саставу.

6. ЗАКЉУЧАК

Пројекат UrbObsBel представља важан корак ка систематском праћењу светлосног загађења у Србији. Као један од пионирских пројеката у земљи, он обједињује астрономску методологију, интердисциплинарни приступ и друштвено релевантне циљеве. Овај пројекат није замишљен само као појединачно истраживање, већ и као модел градске опсерваторије који се може применити и у другим урбаним срединама у Србији и окружењу.

Први резултати показују веома изражену разлику између квалитета ноћног неба изнад Београда и референтне тамне локације на Видојевици. Наши резултати потврђују висок ниво светлосног загађења у урбаној средини и оправдавају потребу за дугорочним мониторингом, даљим унапређењем мерних процедура и развојем мера за рационалније и еколошки прихватљивије спољашње осветљење.

У том смислу, UrbObsBel има двоструки значај: са једне стране доприноси научном разумевању светлосног загађења, а са друге стране пружа основу за практичне препоруке у области урбаног планирања, енергетске ефикасности и заштите животне средине како би се смањио ниво светлосног загађења, пре свега, у градској средини.

Захвалност Истраживање је спроведено уз подршку Фонда за науку Републике Србије бр. 6775, Urban Observatory of Belgrade (UrbObsBel) и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз Пројектни уговор бр. 451-03-136/2025-03/200002 и САНУ преко пројекта Ф-187.

Литература

Falchi, F., Bara, S., 2023, *Light pollution is skyrocketing*, *Science*, 379, Issue 6629, pp. 234-235, DOI: 10.1126/science.adf4952, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf4952>

Pavlović, R., Cvetković, Z., Simić, Z., Damljanović, G., Lukić, D., Rovčanin, B., Samurović, S., Bjelajac, D., 2025a, Urban Observatory of Belgrade (UrbObsBel), Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 107, pp. 123-127, <https://doi.org/10.69646/14sbac21p>

Pavlović, R., Cvetković, Z., Bjelajac, D., Damljanović, G., Lukić, D., Rovčanin, B., Samurović, S., Simić, Z., 2025b, The UrbObsBel Project: Instruments and Detectors, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 107, pp. 129-134, <https://doi.org/10.69646/14sbac22p>

Salazar-Vazquez, J. and Mendez-Vazquez, A. 2020, A plug-and-play Hyperspectral Imaging Sensor using low-cost equipment, *HardwareX*, 7, e00087, 21pp, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067219300513>

Simić, Z., Pavlović, R., Bjelajac, D., Cvetković, Z., Damljanović, G., Lukić, D., Rovčanin, B., Samurović, S., 2025, Urban Observatory of Belgrade (UrbObsBel) – Light Pollution, *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 3116, Issue 1, id.012003, 6 pp, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/3116/1/012003/pdf>

Varela Perez, A. M., 2023, The increasing effects of light pollution on professional and amateur, 380, Issue 6650, pp. 1136-1140, DOI: 10.1126/science.adg0269 <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adg0269>

**ПРОЈЕКАТ UrbObsBel: HSI ИНСТРУМЕНТ ЗА
ХИПЕРСПЕКТРАЛНО СНИМАЊЕ**

ДРАГАН ЛУКИЋ¹, РАДЕ ПАВЛОВИЋ¹ и БРАНИСЛАВ РОВЧАНИН²

¹ *Институт за физику, Београд*

² *Медицински факултет Универзитета у Београду, Београд*

Резиме. Светлосно загађење представља један од најизраженијих облика антропогеног утицаја на ноћну животну средину у савременим урбаним срединама. Његове последице огледају се у деградацији квалитета ноћног неба, отежавању астрономских посматрања, нарушавању екосистема, утицају на здравље становништва и повећању енергетске потрошње. Због тога је последњих година све израженија потреба за развојем поузданих система за праћење интензитета, просторне расподеле и спектралног састава вештачког осветљења током ноћи. У оквиру пројекта UrbObsBel развили смо интегрисани систем за праћење светлосног загађења у Београду. Пројекат је усмерен је на испитивање утицаја вештачког осветљења ноћу на урбану динамику, потрошњу енергије и одрживост, уз примену земаљских посматрања, напредне анализе података и метода машинског учења. У оквиру пројекта набављени су и монтирани на Кули Астрономске опсерваторије различити мерни инструменти, укључујући FLIR A700 термалне камере, all-sky камеру, SQM и TESS-W фотометре и фотоапарат Nikon Z 7II. Посебно место у оквиру пројекта има HSI инструмент који нам служи за хиперспектрално снимање, што представља кључни помак од класичног фотометријског праћења ка детаљној спектралној анализи урбаних извора светлости. Реализовали смо уређај на основу отвореног хардверског и софтверског концепта заснованог на Raspberry Pi 3 B+ платформи и Raspicam NoIR v2.1 камери, употребом лако доступних оптичких и механичких компоненти. Овај уређај смо унапредили преласком на Raspberry Pi 5 платформу са 8 GB меморије и Module 3 NoIR камером чиме су добијене боље перформансе, већа резолуција и могућност даљег развоја система. У овом раду дајемо преглед концепта, конструкције, техничке архитектуре и предлог за даљи развој HSI уређаја у оквиру пројекта UrbObsBel, са посебним освртом на проблеме компатибилности софтвера и драјвера приликом миграције на нову платформу. У ту сврху дајемо детаљан опис решења заснованог на C++ филтеру и Ethernet комуникацији. Приказујемо калибрацију система као и прве хиперкоцке потврђујући на тај начин његов потенцијал за спектралну анализу урбаног осветљења.

Abstract. Light pollution has emerged as one of the most significant forms of anthropogenic impact on the nighttime environment in modern urban areas. Its adverse effects include degradation of night-sky quality, limitations on astronomical observations, disruption of ecosystems, negative influences on human health, and increased energy consumption. These challenges have highlighted the need for reliable monitoring systems capable of assessing the intensity, spatial distribution, and spectral characteristics of artificial nighttime lighting. Within the UrbObsBel project, an integrated system for monitoring light pollution in Belgrade has been developed. The project is focused on investigating the influence of artificial nighttime illumination on urban dynamics, energy consumption, and sustainability through the combined use of ground-based observations, advanced data analysis, and machine-learning techniques. For this purpose, several measurement instruments have been installed on the Tower of the Astronomical Observatory, including FLIR A700 thermal cameras, an all-sky camera, SQM and TESS-W photometers, and Nikon Z 7II camera. A central component of the project is the hyperspectral imaging (HSI) sensor, which enables a transition from conventional photometric monitoring to detailed spectral analysis of urban light sources. The device was initially realized as an open hardware and software system based on the Raspberry Pi 3 B+ platform and the Raspicam NoIR v2.1 camera, using commercially available optical and mechanical components. It was subsequently upgraded to a Raspberry Pi 5 platform with 8 GB of memory and a Module 3 NoIR camera, resulting in improved performance, enhanced resolution, and expanded possibilities for future system development. This paper presents the concept, design, and technical architecture of the HSI instrument, along with a proposal for its further development within the UrbObsBel project. Particular emphasis is placed on the software and driver compatibility issues encountered during the migration to the new platform. A detailed description is given of the implemented solution based on a C++ filter and Ethernet communication. In addition, the paper presents the system calibration procedure and the first acquired hyperspectral cubes, confirming the instrument's potential for spectral analysis of urban lighting.

1. УВОД

Убрзан развој урбаних средина током последњих деценија праћен је сталним повећањем вештачког осветљења. Јавна расвета, декоративно осветљење, рекламни панели, осветљење пословних и стамбених зона, као и интензивна замена старијих извора светлости LED технологијом, довели су до тога да ноћно небо изнад градова постаје све светлије, али и спектрално сложеније. Светлосно загађење је због тога постало не само астрономски, већ и еколошки, енергетски и урбанистички проблем.

Класични приступи праћењу светлосног загађења углавном су усмерени на мерење укупног сјаја неба или укупног нивоа осветљености. Иако су таква мерења изузетно значајна, она често нису

довољна за детаљно разумевање природе извора светлости. У пракси, два урбана извора могу давати приближно сличан фотометријски сигнал, а да се у великој мери разликују по свом спектралном саставу. Управо због тога савремени приступи истраживању светлосног загађења све више укључују спектралну и хиперспектралну анализу.

Пројекат Градске опсерваторије Београда - UrbObsBel¹¹ (Urban Observatory of Belgrade) финансиран од стране Фонда за науку Републике Србије¹² развијен је са циљем да се у Београду успостави систематски, вишекомпонентни систем за праћење светлосног загађења. Пројекат је усмерен на испитивање утицаја вештачког осветљења на урбану динамику, потрошњу енергије и одрживост, уз примену земаљских посматрања, напредне анализе података, укључујући машинско учење и формирање посебног репозиторијума за јавно дељење података.

Иако пројекат обухвата више различитих инструмената чији детаљан опис можете наћи у радовима Pavlović et al. (2025a), Pavlović et al. (2025b) и Павловић и Симић (ова публикација). Овде ћемо детаљно описати инструмент за хиперспектрално снимање – HSI (енгл.: hyperspectral imaging) уређај. Разлог за то је његов посебан значај за квалитативно нов начин анализе урбаног осветљења. За разлику од класичних камера и фотометара, хиперспектрални систем омогућава издвајање уских спектралних опсега тј. таласних дужина и формирање података у облику хиперкоцке (енгл.: hypercube), чиме се просторне и спектралне информације интегришу у јединствен аналитички запис.

Дакле, овај уређај нам омогућава да само једним „кликом“ добијемо комплетну информацију о спектру светлости коју даје објекат. Тиме се отвара могућност за разликовање врста осветљења, анализу спектралног доприноса различитих делова града и прецизније моделовање светлосног загађења.

Циљ овог рада јесте да представи пројекат UrbObsBel из угла развоја и имплементације инструмента за хиперспектрално снимање, са посебним освртом на његову конструкцију, техничке особине, софтверске изазове и перспективе даљег развоја.

¹¹ <https://urbobsbel.aob.rs>

¹² <https://fondzanauku.gov.rs>

2. ЗНАЧАЈ HSI УРЕЂАЈА ЗА ПРОЈЕКАТ UrbObsBel

HSI уређај представља вишекомпонентни систем који је намењен за праћење светлосног загађења у Београду. Више детаља о осталој опреми пројекта као што су FLIR A700 термалне камере, AllSky камера, Sky Quality Meter и TESS-W фотометри и фотоапарат Nikon Z7II може се наћи у овој публикацији у раду Павловић и Симић (2026). Такође је наведено да је опрема већ израђена и набављена и да је монтирана на Кули Астрономске опсерваторије у Београду.

Оваква структура мерних инструмената указује на то да Пројекат UrbObsBel није усмерен само на један тип мерења, већ на повезивање више типова података ради добијања што потпуније слике о ноћном урбаном осветљењу. SQM и TESS-W инструменти дају податке о квалитету неба и фотометријском нивоу осветљености, all-sky камере омогућавају просторни увид у расподелу светлости на небеској полусфери док термалне камере уносе додатну димензију анализе урбаног окружења и, на крају, HSI уређај пружа увид у сам спектрални састав емитоване или расуте светлости.

Његов значај је посебно велики у урбаним срединама у којима истовремено постоје бројни и међусобно различити извори светлости: јавна расвета, декоративна расвета, спортски објекти, рекламе, индустријски извори и стамбени објекти. Укупна осветљеност таквог простора не говори довољно о физичкој природи светлосног загађења. Тек анализа спектралног састава може да укаже на то које технологије осветљења доминирају, како су распоређене по простору и у којој мери утичу на ноћно небо.

У том смислу, HSI - хиперспектрални инструмент има посебну улогу. Он не представља само још један сензор у систему, већ важан алат који омогућава дубљу физичку интерпретацију урбаног осветљења. Управо зато је овде он централна тема.

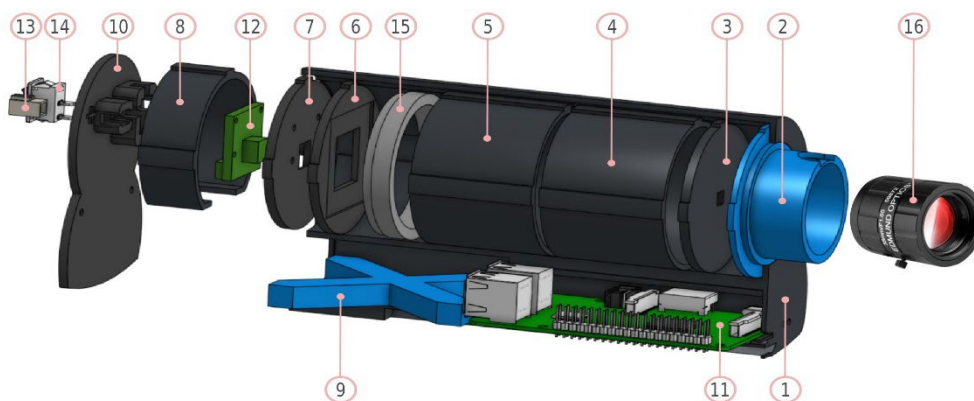
3. ОСНОВНИ КОНЦЕПТ HSI УРЕЂАЈА

HSI уређај је израђен према упутствима датим у раду Salazar-Vazquez & Mendez-Vazquez (2020). Овакав приступ је значајно поједноставио развој уређаја и скратио време неопходно за његову реализацију. Такође, одмах су били доступни писани и видео материјали

за поступак калибрације, као и софтвер за аквизицију, анализу и складиштење података у форми хиперкоцки.

Ово нам је било значајно из више разлога: најпре, развој уређаја је заснован на отвореној и већ провереној техничкој основи што је омогућило његову брзу израду и практично је одмах уведен у реално истраживачко окружење. Такође, оваквим приступом је омогућено да се пажња усмери не само на изградњу већ постојећег концепта, већ и на његово прилагођавање специфичним потребама пројекта UrbObsBel.

Основни HSI систем је обухватао више опто-механичких и електронских компонената: кућиште, предње сочиво, квадратни отвор, продужетке оптичког система, дифракциону решетку, носач камере, напајање, Raspberry Pi 3 B+ рачунар, Raspberry Pi NoIR V2 камеру од 8 мегапиксела, макро сочиво 52 mm и 35 mm објектив (Слика 1).



Слика 1. HSI компоненте: 1) кућиште, 2) носач објектива, 3) квадратна апертура, 4) продужни прстен 1, 5) продужни прстен 2, 6) дифракциона решетка, 7) носач камере, 8) полупрстенасти наставак, 9) X наставак, 10) задњи поклопац са прекидачем, 11) Raspberry Pi 3 B+, 12) Raspberry Pi NoIR V2 камера 8 мегапиксела, 13) конектор за напајање, 14) прекидач за укључивање/искључивање, 15) макро сочиво 52 mm, 16) објектив 35 mm.

Овде је важно нагласити да је концепт уређаја истовремено инжењерски рационалан и истраживачки довољно напредан. Уместо скупог комерцијалног хиперспектралног система, развијен је уређај заснован на приступачним компонентама, али са јасно дефинисаном спектралном функцијом и могућношћу стварне научне примене.

Детаљан приказ употребе за различите намене HSI – уређаја дат је у раду Hong et al. (2026).

4. ОТВОРЕНИ ХАРДВЕР И СОФТВЕР КАО ОСНОВА РАЗВОЈА

Једна од најважнијих карактеристика основног HSI решења јесте његова отворена архитектура. Уређај је заснован на open-source хардверској и софтверској лиценци, која омогућава коришћење, модификацију и унапређивање иницијалног прототипа. За прављење уређаја су употребљене приступачне компоненте које су практично доступне свакоме. Серверски софтвер HypRaspCam2, који се инсталира на Raspberry Pi унутар кућишта, дат је у C++ изворном коду, док за клијентски део squareHSIBetaV13 писан за GNU Linux PC или Android окружење дата је само извршна верзија тј. нема изворног кода.

Овакав концепт нам је посебно био важан јер у условима ограничених буџета, развој инструмента заснованог на приступачним компонентама и отвореним софтверским решењима омогућава не само техничку реализацију већ и пуну контролу над читавим системом. То је нарочито значајно код HSI система, где избор оптике, начин аквизиције, а и каснија обрада података могу директно утицати на квалитет добијених резултата.

Поред економске оправданости, отворени концепт има и научну вредност. Он омогућава репродуктивност, лакше техничко разумевање система и могућност да се уређај даље развија у складу са конкретним истраживачким потребама. У случају UrbObsBel пројекта, то је омогућило да концепт HSI уређаја буде не само преузет, већ и суштински прилагођен и унапређен.

5. УНАПРЕЂЕЊЕ УРЕЂАЈА: ПРЕЛАЗАК НА Raspberry Pi 5

Један од кључних развојних корака при изради HSI уређаја јесте увођење најновије Raspberry Pi 5 платформе. Према карактеристикама, нова платформа доноси бржи процесор од 2,4 GHz, више оперативне меморије од 8 GB и подршку за две камере. Такође, изабрали смо најновији модел камере Module 3 NoIR који је заснован на Sony IMX708 чипу, чиме је добијена боља резолуција од 11,9 мегапиксела (4608 × 2592), што је 50 % боља резолуција у поређењу са претходном камером од 8 мегапиксела (3280 × 2464).

Овај корак има велики значај за практичну употребу самог HSI уређаја. Већа процесорска снага омогућава стабилнији рад и бржу локалну обраду. Већа количина меморије оставља простор за извршавање сложенијих задатака док виша резолуција сензора потенцијално побољшава квалитет издвојених спектралних информација. На крају, могућност рада са две камере представља важну основу за будућу комбинацију хиперспектралног и класичног визуелног снимања.

Из тог разлога ова миграција није само техничка замена платформе, већ суштинско унапређење HSI уређаја. Она показује да инструмент није остао на нивоу иницијалног прототипа, већ да се развија у складу са савременим хардверским могућностима и потребама пројекта.

6. МЕХАНИЧКА РЕАЛИЗАЦИЈА И ИЗРАДА КУЋИШТА

Значајан, али често недовољно истакнут део развоја оваквог инструмента јесте његова механичка реализација. Кућишта за HSI уређаје су 3D штампана у Иновационом центру Института за физику у Београду.

Ово показује да је пројекат обухватио не само набавку и склапање електронских компоненти већ и локалну израду прилагођене опто-механичке структуре. Код оптичких тј. хиперспектралних система ово је од посебне важности, јер положај оптичких елемената мора бити стабилан и поуздан и тачно на одређеном месту. Чак и мала померања могу довести до деградације слике или нежељених спектралних изобличења.

Поред тога, 3D штампа омогућава брзу израду прототипова, једноставну модификацију геометрије и ефикасно тестирање различитих решења. У контексту домаћег развоја научне инструментације, овакав приступ представља велику предност, јер омогућава релативно брз циклус развоја и адаптације без ослањања на скупе индустријске процесе производње.

7. СОФТВЕРСКИ ПРОБЛЕМИ ПРИ МИГРАЦИЈИ НА НОВУ ПЛАТФОРМУ

Прелазак на новију хардверску платформу није протекао без проблема. Након инсталације оперативног система Debian GNU/Linux 12 на Raspberry Pi 5 платформи уочене значајне разлике између драјвера libcamera v0.4.0 за камеру Module 3 NoIR и драјвера који је коришћен за старији модел Raspicam NoIR v2.1. Проблем су правили поједини прекидачи (свичеви) који више нису били подржани у новом драјверу. Негде је само синтакса била промењена, на пример замењене су скраћене верзије прекидача (`-h` или `-w`) дужим верзијама (`--height` или `--width`) док су неки прекидачи или потпуно укинута или су им укинута само неке одређене вредности. Поред тога, покушај да се стари драјвер прекомпајлира и примени на новој платформи није био успешан због проблема са различитим верзијама коришћених библиотека.

Ови проблеми су веома значајни, јер показују реалну сложеност развоја модерних истраживачких инструмената. Уређај није само оптичко-електронски склоп, већ систем чије функционисање зависи и од компатибилности софтвера, драјвера, библиотека и начина комуникације између различитих слојева система (Слика 2).

У научном и инжењерском смислу, овај сегмент рада је веома вредан јер показује да је тим морао да решава конкретан проблем миграције и очувања постојећег радног тока у условима промењене софтверске инфраструктуре. То је често један од најзахтевнијих корака у развоју инструмената који се ослањају на комерцијално доступне хардверске и софтверске платформе.

8. РАЗВИЈЕНО РЕШЕЊЕ: C++ ФИЛТЕР И Ethernet КОМУНИКАЦИЈА

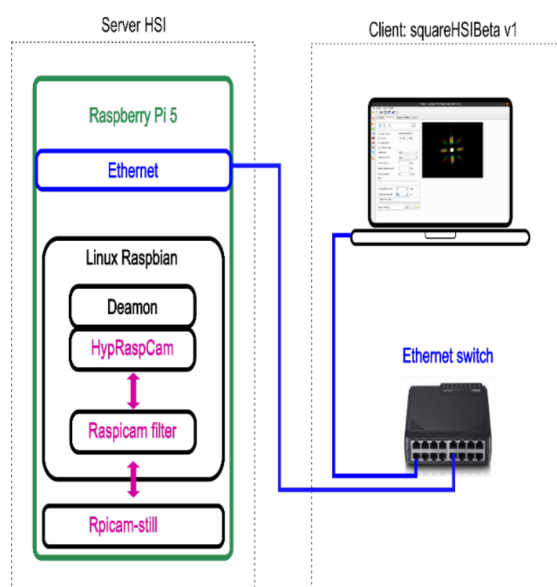
Као одговор на уочене проблеме, развијено је прилагођено софтверско решење. Филтер је написан на програмском језику C++ који прегледа прекидаче и њихове вредности, задржава подржане, одбацује неподржане и, где је то могуће, прилагођава их новом драјверу за камеру Module 3 NoIR.

Овакво решење је посебно значајно јер уместо да се цео систем поново развија од почетка, уведен је посредни слој ради

компатибилности који омогућава задржавање претходне логике рада у новом хардверско-софтверском окружењу. Такав приступ нам је уштедео значајно време и омогућио контролисан прелазак са старе на нову платформу.

Поред тога, спора WiFi веза је замењена Ethernet кабловском мрежом, чиме је значајно убрзана комуникација између HSI сервера и Linux клијента. Такође, HSI уређаји су предвиђени да буду стационарни и монтирани на Кули Астрономске опсерваторије на Звездари, при чему је један усмерен ка центру града, а други ка супротној страни (Слике 3 и 4).

Ова промена комуникационе архитектуре има и практичан и методолошки значај. Код стационарних уређаја који континуирано прикупљају податке, стабилност и поузданост преноса од посебне су важности. Ethernet је у том смислу прикладнији избор од бежичне везе, нарочито када је потребно обезбедити брз и стабилан пренос већег броја слика.



Слика 2. Блок схема рада HSI уређаја. Сервер Raspberry Pi 5 се активира софтвером HypRaspCam који очекује захтев за слику од клијентског софтвера. Када сервер прими захтев за слику најпре се активира Raspicam филтер пропуштајући само подржане прекидаче и њихове вредности до драјвера rpicam-still који “скида” слику са камере.

Затим, ту слику прослеђује путем етернет мреже клијентском програму SquareHSIBetaV1. Даље, у овом програму се може обрађивати слика или сачувати у формату хиперкоцке.



Слика 3. HSI уређај (лево) и FLIR A700 термална камера (десно) постављени на Кули Астрономске опсерваторије.



Слика 4. HSI уређај (лево) и FLIR A700 термална камера (десно), изглед са предње стране.

9. АРХИТЕКТУРА РАДА СИСТЕМА И ФОРМИРАЊЕ ХИПЕРКОЦКЕ

Систем функционише тако што HSI уређај ради као сервер за аквизицију слике, користећи софтвер отвореног кода HypRaspCam. Он очекује захтев за снимање од клијентског програма SquareHSIBetaV1 на Linux гачунару. По пријему захтева, најпре се активира филтер који пропушта само подржане прекидаче и њихове вредности, након чега се покреће libcamera драјвер, односно gpicam-still. Клијентски софтвер SquareHSIBetaV1 затим преко Ethernet мреже преузима слике са сервера, формира слојеве према изабраним таласним дужинама и извози резултат у облику хиперкоцке.

Хиперкоцка као резултат представља кључни излазни формат хиперспектралног снимања, јер садржи просторну расподелу сигнала по више спектралних канала. Управо оваква структура омогућава каснију спектралну анализу, издвајање појединих опсега таласних дужина и поређење различитих извора светлости.

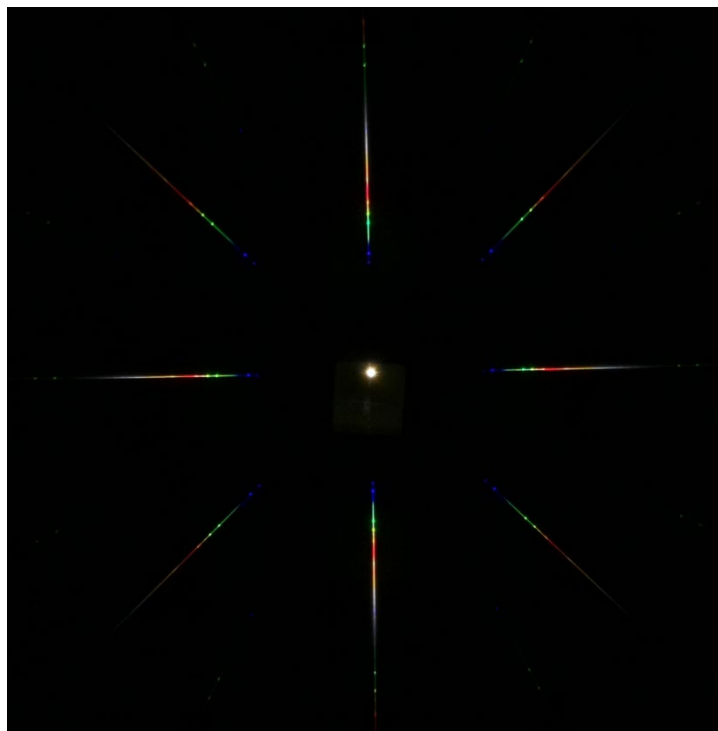
Са становишта истраживања светлосног загађења, то значи да систем не бележи само визуелно ноћне сцене, већ даје физички информативну декомпозицију светлосног сигнала по таласним дужинама. Тиме се HSI уређај издваја као посебно вредан истраживачки алат.

10. КАЛИБРАЦИЈА УРЕЂАЈА И ПРВИ РЕЗУЛТАТИ

Калибрација HSI уређаја је урађена помоћу живине сијалице PHILIPS ML 250W која даје дискретни спектар приказан на Сликама 5 и 6. За калибрацију смо користили три линије: плаву на 403 nm, зелену на 545 nm и црвену на 616 nm.

Калибрација нам омогућава да уређај може успешно да региструје спектралне разлике између различитих типова извора светла и различитих спектралних подопсега што нам омогућава његову даљу примену у реалним условима мерења светлосног загађења.

Показало се да HSI уређај није ограничен само на снимање осветљености већ да је способан да пружи информације о спектралној структури извора светлости. Управо га то чини погодним за квалитативно напредну анализу светлосног загађења.



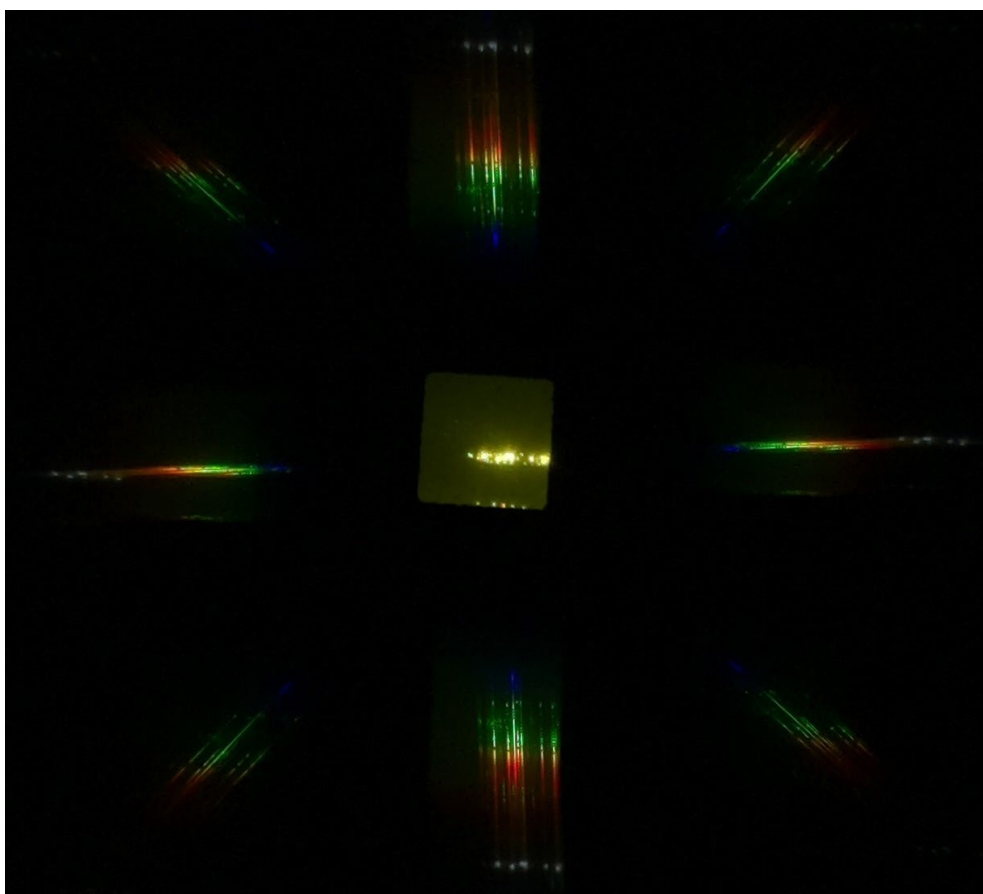
Слика 5. Калибрациони спектар живине лампе.

Највећа вредност инструмента за хиперспектрално снимање у оквиру пројекта UrbObsBel лежи у чињеници да омогућава прелазак са класичног мерења количине светлости на анализу њеног спектралног састава. Ово је од суштинског значаја, јер се различите технологије осветљења могу знатно разликовати по утицају на ноћно небо, биолошке системе и визуелни квалитет простора, па чак и када дају сличан укупан ниво осветљености.

У урбаном окружењу као што је Београд, где коегзистирају јавна расвета, декоративно осветљење, рекламни извори, спортски објекти и различите комерцијалне светлосне инсталације, управо спектрална анализа може да помогне у разликовању и класификацији доминантних извора. На Слици 6 је приказан како се центар града види на свим таласним дужина, док на слици 7 су издвојене само четири таласне дужине: 474.139 nm, 550.146 nm, 648.955 nm и 694.560 nm. Ове четири сличице су намерно “вештачки” обојене како би се боље истакао контраст. Можемо рећи да HSI уређај има потенцијал да нам омогући идентификацију спектралних потписа појединих типова расвете,

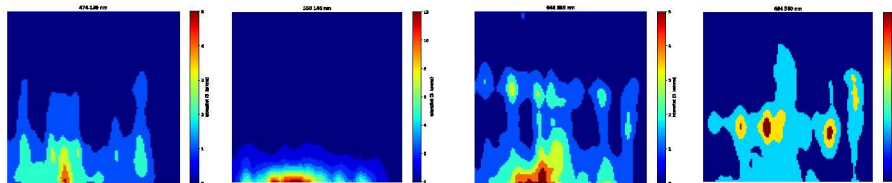
праћење промена кроз време и стварање базе података од значаја не само за астрономију, већ и за урбанизам, енергетику и екологију.

Посебан значај овог уређаја лежи и у чињеници да је развијен у оквиру домаћег пројекта, уз комбинацију отворених решења и сопствених модификација. Због тога он представља и пример успешног развоја савременог научног инструмента у локалним условима.



Слика 6. Снимак центра града 26. фебруара 2026. године у 23:37 часова помоћу кога добијамо хиперкоцку.

Планирамо да у потпуности искористимо могућности Raspberry Pi 5 платформе и да се постојећем уређају у будућности дода још једна камера, без оптичке решетке, која би снимала у визуелном делу спектра и давала уобичајен приказ сцене, сличан ономе како би се видело голим оком.



Слика 7. Издвојени делови хиперкоцке са снимка на слици 6 на таласним дужинама 474.139 nm, 550.146 nm, 648.955 nm и 694.560 nm респективно. Ове слике су “вештачки” обојене тако да најнижем интензитету одговара плава док највишем црвена боја.

Овакав план развоја је веома значајан јер комбинација хиперспектралног и класичног визуелног снимка омогућила би директно повезивање спектралних информација са визуелно препознатљивим деловима урбане сцене. То би знатно олакшало интерпретацију резултата, локализацију конкретних извора и поређење различитих типова осветљења.

У ширем смислу, ова надоградња могла би да HSI систем учини не само инструментом за аквизицију и постобраду података, већ и још употребљивијом платформом за мултимодалну анализу урбаног ноћног окружења.

11. ЗАКЉУЧАК

Пројекат UrbObsBel представља значајан корак у домаћим истраживањима светлосног загађења, јер повезује више типова инструмената, више врста података и више аналитичких приступа у јединствен систем за праћење урбаног осветљења. Ипак, унутар таквог система инструмент за хиперспектрално снимање има посебно место, јер омогућава квалитативно нов ниво анализе — анализу спектралног састава светлости.

Развој овог уређаја показује неколико важних квалитета: ослањање на отворену и приступачну технолошку основу, способност локалне механичке и електронске реализације, успешно технолошко унапређење преласком на Raspberry Pi 5 и нову камеру, као и способност да се конкретни софтверски проблеми реше кроз развој сопственог C++ филтера и нове комуникационе архитектуре. Први тестови потврђују функционалност система и показују да он има реалан потенцијал за даљу примену у проучавању урбаног осветљења и светлосног загађења.

Може се закључити да HSI уређај у оквиру пројекта UrbObsBel није споредна, већ једна од централних истраживачких компоненти система. Његов даљи развој може дати важан допринос не само астрономским истраживањима, већ и разумевању и планирању одрживог ноћног осветљења у урбаним срединама.

Захвалност Ово истраживање је спроведено уз подршку: Фонда за науку Републике Србије, бр. 6775, Градска опсерваторија Београда - UrbObsBel и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз Пројектни уговор бр. 451-03-136/2025-03/200002 и САНУ преко пројекта Ф-187.

Литература

Hong, D., Li, Ch., Yokoya, N., Zhang, B., Jia, X., Plaza, A., Gamba, P., Benediktsson, J. A., Chanussot, J., (2026), Hyperspectral Imaging, Nature Reviews Methods Primers, 6, Article number 19, <https://arxiv.org/pdf/2508.08107>

Pavlović, R., Cvetković, Z., Simić, Z., Damjanović, G., Lukić, D., Rovčanin, B., Samurović, S., Bjelajac, D., 2025a, Urban Observatory of Belgrade (UrbObsBel), Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 107, pp. 123-127, <https://doi.org/10.69646/14sbac21p>

Pavlović, R., Cvetković, Z., Bjelajac, D., Damjanović, G., Lukić, D., Rovčanin, B., Samurović, S., Simić, Z., 2025b, The UrbObsBel Project: Instruments and Detectors, Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade, vol. 107, pp. 129-134, <https://doi.org/10.69646/14sbac22p>

Salazar-Vazquez, J. and Mendez-Vazquez, A. 2020, A plug-and-play Hyperspectral Imaging Sensor using low-cost equipment, HardwareX, 7, e00087, 21pp, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468067219300513>

Astron. Obs. Belgrade Special Issues No. 5 (2026), 46-49

DOI: <https://doi.org/10.69646/aobsi00504>

ТЕРМОВИЗИЈСКЕ КАМЕРЕ: МОГУЋНОСТИ FLIR УРЕЂАЈА

САША ЖИЛИЋ¹

¹ *DAMIBA trade d.o.o., Београд*

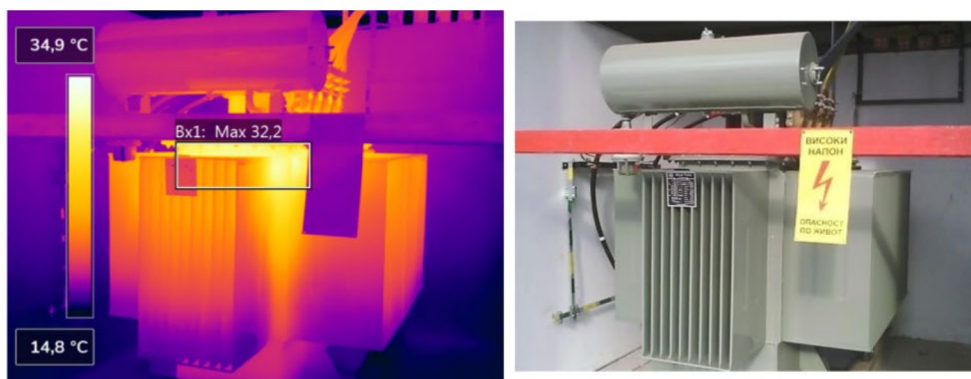
Резиме. Термовизијске камере представљају напредну технологију за бесконтактну детекцију температурних разлика, засновану на анализи инфрацрвеног зрачења. Савремени уређаји, као што су FLIR системи, омогућавају прецизну визуелизацију и мерење температуре уз подршку софтверских алата за детаљну анализу. Њихова примена обухвата широк спектар области, укључујући електроенергетику, индустрију, грађевинарство, медицину и заштиту животне средине. Посебан значај имају у превентивној дијагностици, детекцији топлотних губитака, влаге и конструктивних недостатака, као и у унапређењу енергетске ефикасности објеката. Захваљујући својој поузданости и мултидисциплинарној примени, термовизија представља кључан алат савремене техничке праксе.

Abstract. Thermal imaging cameras represent an advanced technology for non-contact detection of temperature differences, based on the analysis of infrared radiation. Modern devices, such as FLIR systems, enable precise visualization and temperature measurement supported by specialized software for detailed analysis. Their applications span a wide range of fields, including power engineering, industry, construction, medicine, and environmental protection. They are particularly valuable in preventive diagnostics, detection of heat losses, moisture, and structural defects, as well as in improving building energy efficiency. Owing to their reliability and multidisciplinary applicability, thermal imaging systems constitute a key tool in modern technical practice.

Термовизијске камере представљају напредне инструменте за детекцију и анализу инфрацрвеног зрачења, који омогућавају визуелизацију температурних разлика на површини објеката без директног контакта. Ови уређаји функционишу у инфрацрвеном делу електромагнетног спектра, формирајући слику на основу топлотне радијације коју емитују посматрани објекти. У зависности од таласне дужине, термовизијске камере се деле на краткоталасне (short-wave) и дуготаласне (long-wave), при чему свака група има специфичне области примене.

Савремени уређаји, попут оних које производи компанија FLIR Systems¹³, омогућавају не само визуелизацију топлотног поља, већ и прецизно мерење температуре, уз значајну подршку софтверских алата за анализу и интерпретацију података. Софтверска решења играју кључну улогу у обради термографских снимака, омогућавајући детаљну дијагностику и доношење закључака на основу добијених резултата. Примена термовизијских камера је изузетно широка. У области безбедности и одбране, краткоталасне камере омогућавају детекцију објеката у условима смањене видљивости, укључујући ноћне услове. Са друге стране, дуготаласне камере налазе доминантну примену у индустрији и грађевинарству, где омогућавају мерење температуре и идентификацију аномалија у функционисању система.

Најзначајнија индустријска примена термовизије је у електроенергетици, где се користи за превентивне инспекције постројења. Термографским снимањем могуће је идентификовати такозвана „врућа места“, која представљају потенцијалне ризике за настанак кварова и прекида у снабдевању електричном енергијом. Поред тога, технологија се широко примењује у металургији, нафтној и петрохемијској индустрији, као и у производњи цемента, папира и стакла.

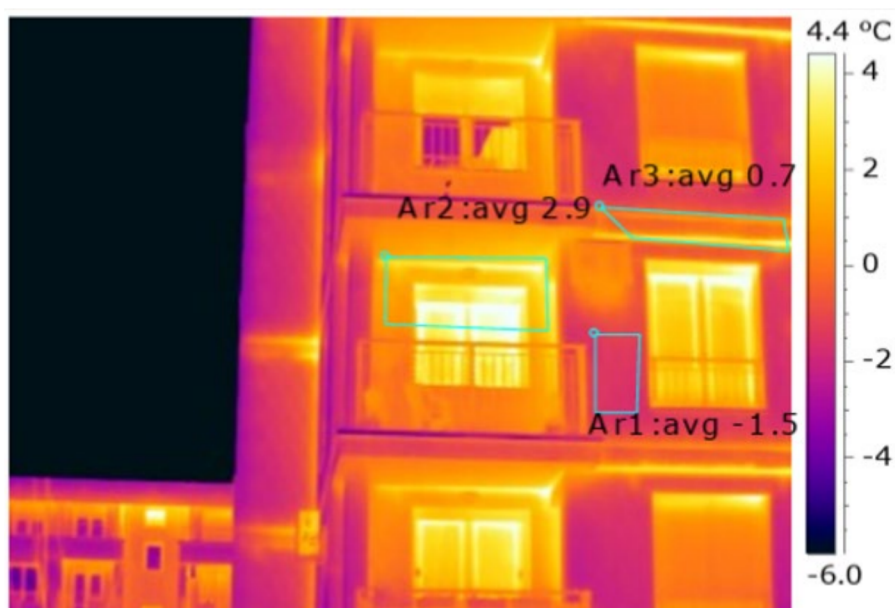


Слика 1. На слици лево је приказана Трафо станица 426, Трансформатор 1, снимљена у инфрацрвеном делу спектра. На слици десно је приказан исти објекат снимљен у видљивом делу спектра. Нема недозвољених загревања.

¹³<https://www.flir.com>

Посебно значајна примена уочава се у системима даљинског грејања, где термовизијске камере омогућавају детекцију цурења топловода, процену стања изолације и анализу енергетске ефикасности објеката. Ова технологија се, у ширем смислу, може применити у свим процесима где су топлотни ефекти релевантни за функционисање система. У новије време развијене су и високо осетљиве камере способне за детекцију цурења гасова, што додатно проширује спектар примене. Такође, све већу улогу термовизија има у медицини, ветерини и пољопривреди, где се користи као неинвазивна дијагностичка метода.

У области грађевинарства, термовизијске камере представљају важан алат за процену енергетске ефикасности и стања објеката. Снимањем спољашњег омотача зграда могуће је идентификовати недостатке у изолацији, термичке мостове и зоне повећаних топлотних губитака.



Слика 2а. На слици је приказан објекат снимљен у инфрацрвеном делу спектра.



Слика 26. На слици је приказан исти објект снимљен у видљивом делу спектра.

Оптимални услови за снимање подразумевају значајну температурну разлику између унутрашњег и спољашњег простора, што омогућава јаснију визуализацију губитака топлоте. Додатно, термовизија омогућава детекцију влаге у конструкцијама, како у зидовима тако и у кровним системима. Влажне зоне се на термограмима манифестују као температурне аномалије, што омогућава праћење њиховог обима и извора. Посебно је значајна примена код равних кровова, где се снимање врши у фазама хлађења након заласка сунца, када влажни делови дуже задржавају топлоту услед већег топлотног капацитета воде. Такође, анализа столарије представља важан сегмент примене, јер термовизија омогућава уочавање губитака топлоте на спојевима прозора и врата, што директно утиче на енергетску ефикасност објекта. У одређеним случајевима, резултати термографских испитивања могу имати и правни значај, на пример у процесима вештачења квалитета изведених радова. Све наведено указује на то да термовизијске камере представљају мултидисциплинарну технологију са широким спектром примене. Њихова способност да омогуће рану дијагностику, превенцију проблема и унапређење енергетске ефикасности чини их незаменљивим алатом у савременим техничким и научним областима.

Astron. Obs. Belgrade Special Issues No. 5 (2026), 51

DOI: <https://doi.org/10.69646/aobsi00505>

**TRON AI: СИСТЕМ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ ДРОНОВА И
МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРСКИХ ПОЈАВА ЗАСНОВАН НА
ВЕШТАЧКОЈ ИНТЕЛИГЕНЦИЈИ**

НИКОЛА ГАЛИОТ¹, ОГЊЕН ГОЈКОВИЋ¹

¹ *TRON Tech, Нови Сад*

Резиме. TRON AI је напредни систем за надзор неба, примарно намењен детекцији дренова, који користи вештачку интелигенцију за праћење ваздушних објеката и анализу атмосферских појава. Систем је оптимизован за детекцију малих ваздушних циљева укључујући беспилотне летелице пречника свега 30 cm, на висини до 1 km и брзини до 120 km/h. За разлику од конвенционалних решења која се ослањају на основне методе уз минималну интеграцију вештачке интелигенције, TRON AI обезбеђује висок број кадрова у секунди (FPS) при великој резолуцији, чиме превазилази ограничења традиционалних система. Посебна пажња посвећена је прецизној класификацији ваздушних објеката уз потискивање „лажних аларма“ узрокованих ветром или облацима. Поред примарне намене, систем налази примену у мониторингу светлосног загађења путем праћења промена у сјају ноћног неба, анализи облачности и процени карактеристика облака, бележењу оптичких атмосферских феномена (дуге, хала и слично), као и у праћењу објеката у ниској Земљиној орбити, попут сателита, метеора и фрагмената који улазе у атмосферу.

Abstract. TRON AI is an advanced sky monitoring system primarily designed for drone detection, utilizing artificial intelligence to track aerial objects and analyze atmospheric phenomena. The system is optimized for detecting small aerial targets, including unmanned crafts as small as 30 cm in diameter, flying at altitudes of up to 1 km and speeds of up to 120 km/h. Unlike conventional solutions that rely on basic computer vision methods with minimal AI integration, TRON AI delivers high frame rates (FPS) at large resolutions, overcoming the limitations of traditional systems. Particular emphasis is placed on precise classification of aerial objects while suppressing false alarms caused by wind or clouds. Beyond its primary application, the system is also used for light pollution monitoring through the tracking of changes in night sky brightness, cloud analysis and volumetric estimation, recording of optical atmospheric phenomena (rainbows, halos, and similar events), as well as tracking of objects in low Earth orbit (LEO), including satellites, meteors, and re-entering debris.

Astron. Obs. Belgrade Special Issues No. 5 (2026), 51-58

DOI: <https://doi.org/10.69646/aobsi00506>

ПРОЈЕКАТ UrbObsBel: УТИЦАЈ СВЕТЛОСНОГ ЗАГАЂЕЊА НА ЗДРАВЉЕ ЧОВЕКА

БРАНИСЛАВ РОВЧАНИН¹

¹Медицински факултет Универзитета у Београду, Београд

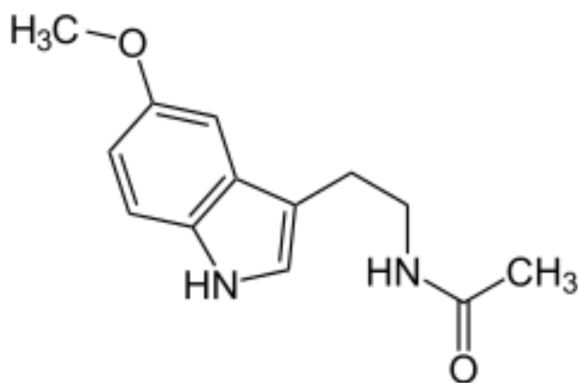
Резиме: Светлосно загађење представља растући еколошки и здравствени проблем који настаје услед прекомерне или неправилно усмерене употребе вештачког осветљења, нарочито током ноћи. Савремена истраживања указују на његов значајан утицај на циркадијалне ритмове и синтезу мелатонина, хормона кључног за регулацију сна. Изложеност плавом делу спектра светлости, карактеристичном за LED изворе и дигиталне уређаје, доводи до смањене продукције мелатонина и нарушавања природног циклуса спавања и будности. Последице ових поремећаја огледају се у смањеном квалитету сна, когнитивним потешкоћама, повећаном стресу и већем ризику од развоја анксиозности и депресије. Дугорочна изложеност светлосном загађењу доводи се у везу и са кардиоваскуларним и метаболичким обољењима, као и ослабљеном функцијом имуног система. Поред тога, негативни ефекти могу се испољити и на органу вида. Иако је често занемарено у односу на друге облике загађења, светлосно загађење има широк утицај, посебно у урбаним срединама. Мере заштите обухватају унапређење система јавне расвете и примену индивидуалних навика, као што су смањење изложености светлу у вечерњим часовима и обезбеђивање адекватних услова за спавање. Едукација становништва има кључну улогу у смањењу ризика и унапређењу здравља и квалитета живота.

Abstract: Light pollution represents a growing environmental and public health issue caused by excessive or improperly directed artificial lighting, particularly during nighttime. Contemporary research highlights its significant impact on circadian rhythms and the synthesis of melatonin, a hormone essential for sleep regulation. Exposure to the blue part of the light spectrum, characteristic of LED sources and digital devices, reduces melatonin production and disrupts the natural sleep–wake cycle. These disturbances are associated with decreased sleep quality, cognitive difficulties, increased stress, and a higher risk of anxiety and depression. Long-term exposure to light pollution has also been linked to cardiovascular and metabolic disorders, as well as impaired immune function. Additionally, adverse effects may manifest in the visual system. Although often overlooked compared to other forms of pollution, light pollution has widespread consequences, especially in urban environments. Protective measures include improvements in public lighting

systems and the adoption of individual habits, such as reducing light exposure in the evening and ensuring appropriate sleep conditions. Public education plays a key role in mitigating risks and improving overall health and quality of life.

1. ИСТОРИЈАТ

Испитивање утицаја светлосног загађења на здравље човека представља релативно млад истраживачки подухват. Неке од првих публикација које се баве овом проблематиком појавиле су се у другој половини 20. века када су научници почели да испитују улогу светлости у регулацији биолошких ритмова. У овој области су од посебног значаја истраживања дневних (циркадијалних) ритмова, зависних од смене обданице и ноћи (Cao et al., 2023). Кључни значај припада мелатонину, хормону пинеалне жлезде откривеном 50-их година прошлог века, чија је биолошка улога регулација сна (Слика 1).



Слика 1. Хемијска структура мелатонина.

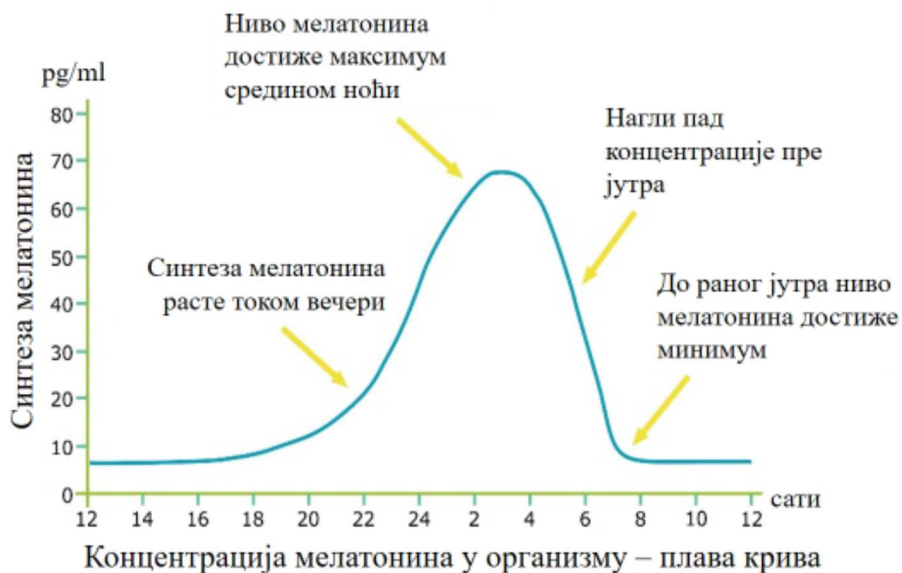
У каснијем периоду током 70-их и 80-их година 20. века експериментално је доказано да вештачко осветљење може значајно инхибирати синтезу мелатонина и тако изазвати значајне негативне утицаје по здравље. Овај корпус истраживања је спроведен на радницима који су радили у ноћним сменама и имали приметан поремећај сна и других физиолошких процеса, као што је контрола крвног притиска, нивоа шећера у крви и расположења. Са појавом технологије LED извора светлости током 1990-их и омасовљењем њене употребе, учињена су даља истраживања, која су такође асоцирала ефекте светлосног загађења на кардиоваскуларне, менталне и метаболичке поремећаје здравља човека (Guan et al., 2022). Данас се ова

тематика сматра интердисциплинарним подручјем истраживања које повезује медицину, биологију, физику, економију и правне науке (Kernbach et al., 2021).

2. УТИЦАЈ НА ЗДРАВЉЕ ЧОВЕКА

Може се са пуним правом констатовати да је светлосно загађење један од најбрже растућих еколошких проблема савременог друштва, који је за разлику од загађења хране, воде и ваздуха у значајној мери запостављено. Када говоримо о светлосном загађењу подразумевамо прекомерну или неправилно усмерену вештачку расвету која ремети природни циркадијални ритам смењивања светлости и таме. Овде се посебно мисли на прекомерну изложеност осветљењу током ноћи, што може имати значајне последице по људски организам (Zeman et al., 2023).

Међу најпроминентнијим ефектима светлосног загађења на физиологију човека издваја се утицај на циркадијални ритам. Овај хронобиолошки механизам је задужен за регулацију смене будности и сна, која се остварује преко централног нервног и неуроендокриног система на све остале физиолошке процесе. Његово адекватно функционисање омогућује организму ресторативну функцију спавања, која обезбеђује нормално функционисање нервног, кардиоваскуларног, имуног и ендокриног система. Синтеза мелатонина се обавља током дубоком спавања средином ноћи и изузетно је подложна дисрегулацији од стране повећаног интензитета и посебних квалитета светлости (Слика 2).



Слика 2. Графикон зависности синтезе мелатонина у односу на доба дана. Уочава се да је највећи скок у продукцији током средине ноћи, а да почетак овог физиолошког максимума настаје око 22 часа и завршава се око 6 часова ујутру. Преузето од: *Wikimedia Commons*.

Када је човек изложен вештачком осветљењу током ноћи, посебно плавом делу спектра (380-500 nm), наступају значајни ефекти на наведени механизам. Извори овог осветљења су екрани телефона, рачунара, телевизора и LED сијалице које емитују хладно светло (преко 6000 K). Ови квалитети светлости са значајним потенцијалом смањују синтезу мелатонина, доводећи до значајног пада његове концентрације у циркулацији (Touitou et al., 2015).

Последице овог ефекта се огледају у отежаном успављивању и смањеном субјективном и објективном квалитету сна. Лош сан негативно утиче на цео људски организам и повезује се са бројним психичким и физиолошким поремећајима. У првом реду се јавља смањена концентрација, отежано памћење, раздражљивост, повећан ниво стреса и јављање психомоторних потешкоћа у обављању свакодневних активности. Истраживања показују да светлосно загађење може имати негативан утицај и на ментално здравље човека. Особе које живе у урбаним срединама са високим нивоом светлосног загађења имају већу вероватноћу да оболе од анксиозности и депресије. У данашње време је од посебног значаја синдром хроничног замора, чији

је значајан етиолошки чинилац поремећај сна, који се често може довести у везу са светлосним загађењем (Tähkämö et al., 2019).

Дугорочна изложеност светлосном загађењу може довести и до поремећаја кардиоваскуларног система, срчаних аритмија и хипертензије, гојазности и дијабетеса мелитуса типа 2 (Wojciechowska et al., 2025; Zhang et al., 2026). Правилно функционисање имунолошког система је у великој мери зависно од уравнотеженог циркадијалног ритма. Регенерација организма током сна подразумева и јачање одбрамбених антимикуробних и антитуморских механизма. Уколико дође до поремећаја сна, имунолошки систем значајно слаби и јавља се подложност различитим акутним и хроничним упалним стањима (Walker et al., 2022).

Штетан утицај светлосног загађења може се регистровати и на очима, што се огледа у појачаном напрезању очних мишића, сувоћи вежњаче, осећају пецкања и поремећај способности прилагођавања на мрак. Додатно, убрзава се и старење очног сочива, што доводи до услова за ранији настанак катаракте (Salceda 2024).

Уопштено говорећи, светлосно загађење поред ефеката на појединца, штетно утиче и на друштво у целини. Највећи део светске популације настањен је у градовима и самим тим свакодневно изложен прекомерном осветљењу у вечерњим часовима, што људском организму чини отежано регистровање природних сигнала за одмор.

3. МЕТОДЕ ЗАШТИТЕ ОД СВЕТЛОСНОГ ЗАГАЂЕЊА

Иако ефекти светлосног загађења могу оставити значајне последице по здравље човека, уз примену адекватних мера се они могу контролисати, а утицај на здравље преокренути. Заштитне мере не штите само здравље људи, већ доприносе смањењу потрошње енергије и очувању животне средине. У ширем смислу, системски напори подразумевају боље планирање јавне расвете, коришћење светала која су усмерена надоле, коришћење сијалица са топлијим тоном светлости (мање од 4000 K) и укидање непотребног осветљења. Одговорно управљање јавном расветом подразумева да се користе светла која су усмерена ка тлу, без околног расипања светлости ка околним објектима и небу. Додатно, ова рационализација се може постићи употребом сензора покрета и временски контролисаних сијалица (Menendez-Velazquez et al., 2022).

Допринос појединца (само)заштити од светлосног загађења је тренутно можда најзначајнији начин како се штетни ефекти на здравље могу спречити или у великој мери поништити. Очување правилног ритма спавања представља најприоритетнији задатак. Препоручује се да се у вечерњим сатима максимално смањи изложеност јаким изворима светлости, посебно плавом светлу које емитују телефони, рачунари и телевизори. Коришћење функција ноћног режима слике или других начина за филтрирање плавог светла, у шта спада употреба различитих филтера или заштитних наочара, у великој мери штити здравље појединца. Пожељно је и да се избегава употреба наведених екрана најмање један сат пре одласка на спавање. Од великог значаја је и уређење простора за спавање, што подразумева да спаваћа соба буде што тамнија током ноћи, будући да потпуни мрак представља јак стимуланс за лучење мелатонина. Коришћење завеса, ролетни и маски за очи у великој мери доприноси заштити од ефеката јавног осветљења високог интензитета које допире у стамбени простор (Нао et al., 2023).

Поред заштите домаћинства од јаких извора јавне расвете, правилно коришћење унутрашње вештачке расвете је од кључног значаја. Боље је користити више мањих извора пригушене и усмерене топле светлости, уместо јаког централног осветљења. На овај начин се може постићи заштитни ефекат на природне биолошке ритмове који су зависни од светлости.

Иако су наведене мере техничког типа које највише доприносе заштите здравља од ефеката светлосног загађења, едукација становништва је такође кључна компонента заштите. Велики проблем представља неинформисаност становништва о овој проблематици, њеном значају и мерама за заштиту. Боља информисаност о битности квалитета сна и правилне употребе осветљења може подстаћи промене у свакодневним навикама и тиме заштитити појединца од штетних последица. Минималне промене, као што су раније гашење светла пре спавања, смањивање осветљења, избегавање дигиталних уређаја могу имати велики утицај на дугорочно здравље (Kocifaj et al., 2023).

Од посебно интереса су ризичне групе, као што су радници у ноћним сменама, оболели од кардиоваскуларних и психичких обољења, деца и старије особе. Код њих је присутан израженији поремећај циркадијалног ритма, па је неопходно прилагодити услове осветљења и режим одмора.

4. ЗАКЉУЧАК

У претходним деценијама јасно је показано да је светлосно загађење значајан еколошки фактор, који доприноси промени услова животне средине. Штетан утицај на здравље човека је неоспоран, на основу бројних студија које су асоцирале светлосно загађење са различитим поремећајима здравља. С друге стране, показано је и да бројне заштитне мере могу значајно смањити овај штетни утицај и деловати повољно на здравље. Упркос томе што светлосно загађење представља један од изазова модерног животног амбијента, комбинација ефикасних системских и индивидуалних мера може у великој мери поништити њен негативан утицај и унапредити квалитет живота појединца и друштва у целини.

Захвалност Ово истраживање је спроведено уз подршку: Фонда за науку Републике Србије, бр. 6775, Градска опсерваторија Београда - UrbObsBel и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз Пројектни уговор бр. 451-03-136/2025-03/200002.

Литература

Cao M, Xu T, Yin D. Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations. J Environ Sci (China). 2023; 127: 589-602.

Guan Q, Wang Z, Cao J, Dong Y, Chen Y. The role of light pollution in mammalian metabolic homeostasis and its potential interventions: A critical review. Environ Pollut. 2022; 312: 120045.

Hao Q, Wang L, Liu G, Ren Z, Wu Y, Yu Z, Yu J. Exploring the construction of urban artificial light ecology: a systematic review and the future prospects of light pollution. Environ Sci Pollut Res Int. 2023; 30 (46): 101963-101988.

Kernbach ME, Miller C, Alaasam V, Ferguson S, Francis CD. Introduction to the Symposium: Effects of Light Pollution Across Diverse Natural Systems. Integr Comp Biol. 2021; 61 (3): 1089-1097.

Kocifaj M, Wallner S, Barentine JC. Measuring and monitoring light pollution: Current approaches and challenges. Science. 2023; 380 (6650): 1121-1124.

Menéndez-Velázquez A, Morales D, García-Delgado AB. Light Pollution and Circadian Misalignment: A Healthy, Blue-Free, White Light-Emitting Diode to Avoid Chronodisruption. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19 (3): 1849.

Salceda R. Light Pollution and Oxidative Stress: Effects on Retina and Human Health. *Antioxidants (Basel)*. 2024; 13 (3): 362.

Tähhkämö L, Partonen T, Pesonen AK. Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm. *Chronobiol Int*. 2019; 36 (2): 151-170.

Touitou Y. Light at night pollution of the internal clock, a public health issue. *Bull Acad Natl Med*. 2015; 199 (7): 1081-1098.

Walker WH 2nd, Bumgarner JR, Becker-Krail DD, May LE, Liu JA, Nelson RJ. Light at night disrupts biological clocks, calendars, and immune function. *Semin Immunopathol*. 2022; 44 (2): 165-173.

Wojciechowska W, Hahad O, Daiber A, Rajzer M. Night light pollution and cardiovascular disease. *Kardiol Pol*. 2025; 83 (7-8): 801-807.

Zeman M, Okuliarova M, Rumanova VS. Disturbances of Hormonal Circadian Rhythms by Light Pollution. *Int J Mol Sci*. 2023; 24 (8): 7255.

Zhang M, Xie Y, Hu D, Xu J, Wang J, Yang L, Tian J, Li B. Light pollution and risk of diabetes: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Front Public Health*. 2026; 14: 1709841.

Astron. Obs. Belgrade Special Issues No. 5 (2026), 59-70

DOI: <https://doi.org/10.69646/aobsi00507>

**СВЕТЛОСНО ЗАГАЂЕЊЕ – ГЛОБАЛНИ ПРОБЛЕМ. ЕФЕКТИ
ВЕШТАЧКОГ НОЋНОГ СВЕТЛА НА РАЗЛИЧИТЕ ГРУПЕ
ЖИВОТИЊА**

МАРКО Д. ПРОКИЋ¹

¹*Одељење за физиологију, Институт за биолошка истраживања „Синиша
Станковић”, Београд*

Резиме. Светлосно загађење представља све присутнији глобални еколошки проблем који директно утиче на биодиверзитет и физиологију животиња. Развој људских насеља, урбанизација и ширење LED технологије довели су до значајног повећања вештачког ноћног осветљења, које мења природне циклусе светлости и таме и нарушава циркадијалне ритмове организама. Основни хормони који код животиња регулишу ове ритмове, мелатонин и глукокортикоиди, показују изражене дневно-ноћне варијације, а њихова дисрегулација под утицајем вештачког светла доводи до поремећаја сна, метаболизма, имунског одговора и процеса репродукције. Истраживања показују да су ноћне врсте, као што су водоземци, птице, слепи мишеви и инсекти, посебно осетљиве. Промене у понашању изазване овим загађењем укључују дезоријентацију, измену обрасца исхране, смањење репродуктивне успешности и повећан ризик од предатора. У воденим екосистемама, светлосно загађење ремети миграције планктона и рибе, док корњаче и други копнени организми показују смањену способност избегавања вештачког светла. Последице су каскадне, са утицајем на трофичке мреже, структуру заједница и дугорочно функционисање екосистема. С обзиром на широку распрострањеност светлосног загађења и његов утицај на различите групе животиња, неопходна су даља истраживања која би омогућила развој еколошки прихватљивих мера управљања осветљењем, као и заштиту угрожених врста и станишта.

Abstract. Light pollution is an increasingly pervasive global environmental issue that directly affects biodiversity and animal physiology. Human settlement expansion, urbanization, and the spread of LED technology have significantly increased artificial nocturnal lighting, altering natural light-dark cycles and disrupting circadian rhythms. The key hormones regulating these rhythms, melatonin and glucocorticoids, display daily fluctuations, and their dysregulation due to exposure to artificial light leads to disturbances in sleep, metabolism, immune response, and reproduction. Studies show that nocturnal species, such as amphibians, birds, bats, and insects, are particularly sensitive. Behavioral changes include

disorientation, altered feeding patterns, reduced reproductive success, and increased predation risk. In aquatic ecosystems, light pollution disrupts plankton and fish migrations, while turtles and other terrestrial organisms show reduced ability to avoid artificial light. The consequences cascade through food webs, community structure, and long-term ecosystem functioning. Given the widespread presence of light pollution and its impact across animal groups, further research is essential to develop environmentally compatible lighting management strategies and to protect endangered species and their habitats.

1. РЕГУЛАЦИЈА ЦИРКАДИЈАЛНОГ РИТМА

Живот на Земљи еволуирао је током милиона година у условима природног циклуса светла и таме (Irwin, 2018). Светлост је један од ретких срединских фактора који се најмање мењао током дуге историје наше планете. На основу циклуса светла и мрака организми су развили унутрашњи биолошки сат познат као циркадијални сат. Он регулише биолошке процесе на различитим нивоима, од молекуларних механизма до динамике екосистема, и усклађује дневне, сезонске и годишње обрасце активности (Rich & Longcore, 2006).

Циркадијални сат своју улогу остварује кроз неуроендокрини систем и однос две групе хормона — мелатонина и глукокортикоида (кортизола и кортикостерона). Мелатонин, који је још познат и као хормон таме, синтетише се и лучи у пинеалној жлезди у одсуству светла. Мелатонин показује јасну дневно-ноћну динамику: његова концентрација расте током ноћи и опада у току дана, што га чини поузданим сигналом за означавање фазе биолошког дана и ноћи. Мелатонин утиче на регулацију сна и будности, модулацију сезонских ритмова код многих врста, а поседује и снажна антиоксидативна и имуномодулаторна својства. Сматра се главним хормонским посредником који преноси информацију о светлосном режиму из спољашње средине на унутрашње процесе у организму (Grubišić et al., 2019).

Друга важна група хормона укључена у регулацију циркадијалних ритмова су глукокортикоиди — кортизол код људи и неких врста сисара, односно кортикостерон код већине кичмењачких група. Лучење ова два хормона показује карактеристичан дневни образац: концентрација достиже врхунац у раним јутарњим часовима, у периоду пре буђења, а опада увече и током ноћи. Ова динамика омогућава припрему организма за дневне активности, утиче на метаболизам

глукозе, липида и протеина, и има кључну улогу у регулацији имунског система и стресног одговора (Shimba & Ikuta, 2020).

Интеракција мелатонина и глукокортикоида обезбеђује фину регулацију физиолошких процеса и стабилност циркадијалног система. Док мелатонин преноси информацију о трајању ноћи и доприноси регенеративним процесима током одмора, глукокортикоиди припремају организам за активности током дана. Равнотежа између ових хормона од пресудног је значаја за хомеостазу, а поремећаји у њиховој регулацији повезани су са низом патолошких стања (Begemann et al., 2025).

2. СВЕТЛОСНО ЗАГАЂЕЊЕ

Током последњих деценија, људске активности су значајно измениле ноћна станишта. Урбанизација, социо-економски развој и убрзано ширење LED технологије допринели су значајном повећању вештачког ноћног светла (Kyba et al., 2017). Светлосно загађење данас се препознаје као нов облик загађења животне средине и једна од најбрже растућих промена (Challéat et al., 2021). До 2016. године, више од 10% копнених површина било је директно изложено вештачком светлу, док је скоро четвртина копна била под неким обликом светлосног зрачења неба (skyglow). Глобални раст вештачког светла током ноћи износи у просеку 9,6% годишње (Falchi & Bará, 2023), а предвиђа се да ће до 2052. године половина планете имати измењене ноћне услове (Gaston & Sánchez de Miguel, 2022).

Иако вештачко светло омогућава обављање бројних активности током ноћи и доноси друштвене и економске користи, оно је истовремено постало кључни покретач глобалних промена животне средине (Challéat et al., 2021). Према подацима, око 83% светске популације и више од 99% становништва Сједињених Америчких Држава и Европе живи под светлосним загађењем (Falchi et al., 2016). Светлосно загађење више није ограничено на урбана подручја, већ све чешће погађа заштићена подручја и жаришта биодиверзитета (Davies & Smyth, 2018). „Skyglow” данас вештачки удвостручује нивое светлости присутне током младог месеца на скоро 25% копнене површине Земље, утичући на више од половине кључних подручја биодиверзитета и преко три четвртине глобалних заштићених подручја (Seymour et al., 2025).

За разлику од већине традиционалних загађивача, који имају природне аналоге, вештачка светлост представља потпуно нов

поремећај. Организми који зависе од усклађивања унутрашњих процеса са спољним светлосним сигнаlima сада се суочавају са измењеним фотопериодима и смањеним периодима природне таме. Светлосно загађење тако постаје значајан изазов за дивље врсте, јер приморава организме да померају временско усклађивање кључних биолошких процеса, што доводи до наглих фенотипских и молекуларних промена (Hölker et al., 2010).

Код многих животиња, вештачко ноћно светло нарушава основне физиолошке механизме — ремети хормонску регулацију, смањује лучење мелатонина, повећава нивое кортикостероида и мења енергетски метаболизам (Dominoni et al., 2016; Grubišić et al., 2019). Ове промене имају далекосежне последице: ослабљену имунолошку функцију, повишен оксидативни стрес и поремећене репродуктивне циклусе (Petrović et al., 2025). На нивоу понашања, вештачка светлост мења обрасце храњења, парења, миграција и комуникације код бројних врста (Grunst & Grunst, 2023).

Светлосно загађење утиче и на међусобне односе међу врстама. Промене у обрасцима активности доводе до преклапања између предатора и плепа, реметећи трофичке мреже. Дугорочно излагање светлосном загађењу може фаворизовати одређене врсте (нпр. опортунистичке предаторе или инвазивне организме) и довести до локалних изумирања осетљивијих таксона (Hölker et al., 2023). Ови процеси мењају структуру заједница, обрасце биодиверзитета и функционисање екосистема (Seymour et al., 2023). Дугорочно посматрано, светлосно загађење може деловати и као селективна сила, убрзавајући еволутивне промене у понашању, перцепцији и физиологији врста.

3. ЕФЕКТИ СВЕТЛОСНОГ ЗАГАЂЕЊА НА РАЗЛИЧИТЕ ГРУПЕ ЖИВОТИЊА

Утицај вештачког осветљења ноћу није ограничен на поједине врсте или екосистеме, већ обухвата широк спектар животињских група. Циркадијални ритмови су проучени код скоро свих живих организама, међутим осетљивост на промене у обрасцима светла и таме разликује се између група. Посебно су погођене ноћне врсте које су се кроз еволуцију прилагодили условима таме и ниских интензитета ноћне светлости. Најиспитиванији ефекти светлосног загађења су код инсеката, птица, слепих мишева и морских корњача (Falcón et al., 2020). Код птица, светлосно загађење има нарочито изражене ефекте на миграторне врсте. Током дугих сезонских путовања, оне се ослањају на звездано небо и месечеву светлост као основне навигационе сигнале. Вештачка светла градова и приобалних насеља ремете те механизме, доводећи до дезоријентације и судара са прозорима, комуникационим кулама, приобалним бродовима и другим грађевинама (Burt et al., 2023).

Поред тога, осветљени простори продужавају „дан“ и мењају време када птице певају, хране се или започињу репродукцију. Ови поремећаји могу довести до несклада између птица и њихове околине, јер се њихова активност одвија у тренутку када ресурси, попут хране или партнера, нису оптимално доступни. Код сисара, последице су највидљивије код ноћних врста. Слепи мишеви на присуство промењеног ноћног режима реагују на различите начине у зависности од фототаксије самих врста: док неке врсте избегавају осветљена станишта (негативна фототаксија), друге користе концентрацију инсеката око светила као извор хране (позитивна фототаксија). Тиме се мења структура заједница и долази до поремећаја природне равнотеже између предатора и плена (Seewagen et al., 2023).

Ноћни глодари, изложени вештачком осветљењу, смањују своје кретање и исхрану како би избегли опасност да постану уочљив плен предаторима, што даље утиче на њихову биолошку способност и дугорочни опстанак. Крупнији сисари мењају ритмове активности у присуству осветљења, што може повећати учесталост сусрета са људима и стопу страдања од возила (Falcón et al., 2020).

Инсекти су међу најосетљивијим групама. Њихова привученост светлу, позната као позитивна фототаксија, у природним условима омогућава оријентацију према месечевој светлости. Међутим, у

присуству вештачких извора светла инсекти се окупљају у великом броју, где често страдају услед исцрпљености, предатора или прегревања (Dietenberger et al., 2024). Тачан узрок оваквог понашања још увек није у потпуности разјашњен; сматра се да вештачко светло ремети унутрашњи систем оријентације, миграционе руте и смањује успешност размножавања. Ово има каскадне последице на екосистеме, јер многи инсекти обављају кључне еколошке функције попут опрашивања. Губитак ноћних опрашивача директно утиче на биљке које зависе од њих, а посредно и на све организме у ланцу исхране (Straka et al., 2021).

Водени организми и рибе такође зависе од природних светлосних циклуса, нарочито у сезонским миграцијама и репродуктивним процесима. На пример, вертикалне миграције планктона током ноћи усмерене су месечевом светлошћу, а додатно осветљење мења њихову динамику, са далекосежним последицама по цео водени ланац исхране (Tüzün et al., 2025).

Корњаче су такође погођене овим проблемом. Све већи изазов представља индустријализација плажа и околине на којима морске корњаче живе и размножавају се. Светлосно загађење не само да утиче на размножавање корњача на обали, већ ремети и способност тек излежених младунца да успешно стигну до мора (Truscott et al., 2017). У природним условима, младунци се крећу директно ка океану пратећи месечеву светлост на хоризонту (Lohmann & Lohmann, 1996). Ноћно осветљење ремети знакове оријентације и млади се крећу ка изворима вештачког светла који надјачавају природну светлост. Корњаче које не стигну до мора изложене су дехидратацији, копненим предаторима и страдању од возила (Burt et al., 2023; Truscott et al., 2017).

Копнени бескичмењаци, попут паукова или копнених ракова, такође мењају обрасце активности у осветљеним условима. Док неки визуелно оријентисани предатори користе већу концентрацију плена око извора светлости, други организми смањују кретање, храњење или репродукцију (Ganguly & Candolin, 2023). На тај начин поново се нарушава равнотежа у екосистемама, а последице су често дугорочне и тешко предвидиве. Светлосно загађење представља универзалан притисак који преобликује понашање, физиологију и екологију бројних животиња и сврстава се међу најсуптилније облике антропогених промена које утичу на биодиверзитет.

4. ПОСЕБНА РАЊИВОСТ ВОДОЗЕМАЦА

Међу свим кичмењацима, водоземци се издвајају као посебно осетљива група. Преко 90% врста активно је током сумрака или ноћи, ослањајући се на таму током исхране и репродукције (Buchanan, 2006). Њихов сложени животни циклус — од водених ларви до копнених адулата — подразумева излагање светлосном загађењу у различитим срединама, док ограничене дисперзионе способности и висока верност локалитету отежавају избегавање осветљених станишта (Wise et al., 2006).

Водоземци се често налазе унутар или у близини људских насеља, живећи или се размножавајући у мочварама, парковима и рекреативним зонама. Упркос чињеници да је преко 40% врста водоземаца тренутно угрожено (IUCN, 2024), њихов одговор на светлосно загађење и даље је недовољно истражен, што представља озбиљан проблем у области конзервационе биологије. Показано је да вештачко осветљење може пореметити репродуктивне сигнале, смањити учесталост оглашавања мужјака и тиме утицати на успешност репродукције.

Поред тога, осветљење повећава видљивост жаба и даждевњака предаторима, док њихова ограничена покретљивост и изражена везаност за специфична станишта смањују могућност избегавања изложених простора (Wise et al., 2006). Истраживања спроведена у Србији у оквиру пројекта ENLIGHT на крестастим мрмољцима (род *Triturus*) показала су да вештачко ноћно ЛЕД осветљење може негативно утицати на развој, величину тела и физиолошко стање репатих водоземаца (Prokić et al., 2026).

5. ШИРЕ КОНЗЕРВАЦИОНЕ ИМПЛИКАЦИЈЕ

Светлосно загађење је данас све присутније у заштићеним подручјима и кључним стаништима биодиверзитета, мењајући природне ноћне услове у екосистемима који су донедавно били нетакнути (Davies & Smyth, 2018). Овај тренд додатно компликује напоре у очувању угрожених врста и станишта. За разлику од многих других облика загађења, светлосно загађење може се релативно брзо ублажити одговарајућим мерама — прилагођавањем типа осветљења, смањењем интензитета, усмеравањем светлосног снопа и увођењем временских ограничења (Gaston et al., 2015).

Међутим, успешна примена ових мера захтева детаљно разумевање специфичних потреба различитих група животиња и локалних еколошких услова. Ово отвара нову област истраживања која захтева заједничку сарадњу урбаниста, конзервационих биолога и инжењера у развоју светлосних система који су истовремено практични и еколошки прихватљиви.

Захвалница. Истраживање је спроведено уз подршку Фонда за науку Републике Србије, број пројекта 11120, ENLIGHT.

Литература

- Begemann, K., Rawashdeh, O., Olejniczak, I., Pilorz, V., De Assis, L. V. M., Osorio-Mendoza, J., & Oster, H. (2025). Endocrine regulation of circadian rhythms. *npj Biological Timing and Sleep volume*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s44323-025-00024-6>
- Buchanan, B.W. 2006. Observed and potential effects of artificial night lighting on Anuran amphibians. In *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, edited by C. Rich and T. Longcore, pp. 192-220. Washington, D.C.: Island Press.
- Burt, C. S., Kelly, J. F., Trankina, G. E., Silva, C. L., Khalighifar, A., Jenkins-Smith, H. C., Fox, A. S., Fristrup, K. M., & Horton, K. G. (2023). The effects of light pollution on migratory animal behavior. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(4), 355–368. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.12.006>
- Candolin, U. (2024). Coping with light pollution in urban environments: Patterns and challenges. *iScience*, 27(3), 109244. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109244>

- Challéat, S., Barré, K., Laforge, A., Lapostolle, D., Franchomme, M., Sirami, C., Viol, I. L., Milian, J., & Kerbiriou, C. (2021). Grasping darkness: the dark ecological network as a social-ecological framework to limit the impacts of light pollution on biodiversity. *Ecology and Society*, 26(1). <https://doi.org/10.5751/es-12156-260115>
- Davies, T. W., & Smyth, T. (2017). Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21st century. *Global Change Biology*, 24(3), 872–882. <https://doi.org/10.1111/gcb.13927>
- De Miguel, A. S., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S., & Gaston, K. J. (2021). First estimation of global trends in nocturnal power emissions reveals acceleration of light pollution. *Remote Sensing*, 13(16), 3311. <https://doi.org/10.3390/rs13163311>
- Dietenberger, M., Jechow, A., Kalinkat, G., Schroer, S., Saathoff, B., & Hölker, F. (2024). Reducing the fatal attraction of nocturnal insects using tailored and shielded road lights. *Communications Biology*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06304-4>
- Dominoni, D. M., Borniger, J. C., & Nelson, R. J. (2016). Light at night, clocks and health: from humans to wild organisms. *Biology Letters*, 12(2), 20160015. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0015>
- Falchi, F., & Bará, S. (2023). Light pollution is skyrocketing. *Science*, 379(6629), 234–235. <https://doi.org/10.1126/science.adf4952>
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., & Furgoni, R. (2016). The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness. *Science Advances*, 2(6). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Falcón, J., Torriglia, A., Attia, D., Viénot, F., Gronfier, C., Behar-Cohen, F., Martinsons, C., & Hicks, D. (2020). Exposure to artificial light at night and the consequences for flora, fauna, and ecosystems. *Frontiers in Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602796>
- Ganguly, A., & Candolin, U. (2023). Impact of light pollution on aquatic invertebrates: Behavioral responses and ecological consequences. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 77(9). <https://doi.org/10.1007/s00265-023-03381-z>
- Gaston, K. J., & De Miguel, A. S. (2022). Environmental impacts of artificial light at night. *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1), 373–398. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112420-014438>

- Gaston, K. J., Visser, M. E., & Hölker, F. (2015). The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 370(1667), 20140133. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>
- Grubisic, M., Haim, A., Bhusal, P., Dominoni, D. M., Gabriel, K. M. A., Jechow, A., Kupprat, F., Lerner, A., Marchant, P., Riley, W., Stebelova, K., Van Grunsven, R. H. A., Zeman, M., Zubidat, A. E., & Hölker, F. (2019). Light pollution, circadian photoreception, and melatonin in vertebrates. *Sustainability*, 11(22), 6400. <https://doi.org/10.3390/su11226400>
- Grunst, M. L., & Grunst, A. S. (2023). Endocrine effects of exposure to artificial light at night: A review and synthesis of knowledge gaps. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 568–569, 111927. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2023.111927>
- Hölker, F., Jechow, A., Schroer, S., Tockner, K., & Gessner, M. O. (2023). Light pollution of freshwater ecosystems: principles, ecological impacts and remedies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 378(1892). <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0360>
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K., & Tockner, K. (2010). Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(12), 681–682. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>
- Irwin, A. (2018). The dark side of light: how artificial lighting is harming the natural world. *Nature*, 553(7688), 268–270. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-00665-7>
- IUCN, 2024. Amphibians Species Richness 2024. IUCN Red List of Threatened Species. Version: 2024-2
- Kyba, C. C. M., Kuester, T., De Miguel, A. S., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C. D., Gaston, K. J., & Guanter, L. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 3(11). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>
- Lohmann, K. J., & Lohmann, C. M. (1996). Orientation and open-sea navigation in sea turtles. *Journal of Experimental Biology*, 199(1), 73–81. <https://doi.org/10.1242/jeb.199.1.73>
- Petrović, T. G., Gavrić-Čampar, J. P., Burraco, P., Gavrilović, B. R., Despotović, S. G., Radovanović, T. B., Radmilović, A., Mirč, M., Kolarov, N. T., & Prokić, M. D. (2025). Developing under artificial light is not so bright: Oxidative stress as a

physiological response to light pollution across amphibian life stages. *Comparative Biochemistry and Physiology Part a Molecular & Integrative Physiology*, 302, 111819. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2025.111819>

Prokić, M. D., Gavrilović, B. R., Gavrić-Čampar, J. P., Despotović, S. G., Radovanović, T. B., & Petrović, T. G. (2026). Amphibians under artificial light at night: Current knowledge, conservation challenges and future directions. *Biological Conservation*, 315, 111729.

Rich, C., & Longcore, T. (2006). Ecological consequences of artificial night lighting. In *Island Press eBooks*. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA76471110>

Seewagen, C. L., Nadeau-Gneckow, J., & Adams, A. M. (2023). Far-reaching displacement effects of artificial light at night in a North American bat community. *Global Ecology and Conservation*, 48, e02729. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02729>

Seymoure, B. M., Buxton, R., White, J. M., Linares, C. R., Fristrup, K., Crooks, K., Wittemyer, G., & Angeloni, L. (2025). Global artificial light masks biologically important light cycles of animals. *Frontiers in Ecology and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/fee.2832>

Seymoure, B., Dell, A., Hölker, F., & Kalinkat, G. (2023). A framework for untangling the consequences of artificial light at night on species interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 378(1892). <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0356>

Shimba, A., & Ikuta, K. (2020). Glucocorticoids regulate circadian rhythm of innate and adaptive immunity. *Frontiers in Immunology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.02143>

Straka, T. M., Von Der Lippe, M., Voigt, C. C., Gandy, M., Kowarik, I., & Buchholz, S. (2021). Light pollution impairs urban nocturnal pollinators but less so in areas with high tree cover. *The Science of the Total Environment*, 778, 146244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146244>

Truscott, Z., Booth, D. T., & Limpus, C. J. (2017). The effect of on-shore light pollution on sea-turtle hatchlings commencing their off-shore swim. *Wildlife Research*, 44(2), 127. <https://doi.org/10.1071/wr16143>

Tüzün, N., De Meester, L., & Hölker, F. (2025). Eco-evolutionary feedbacks under artificial light at night. *iScience*, 28(6), 112616. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112616>

Wise, S. E., Buchanan, B. W., Rich, C., & Longcore, T. (2006). Influence of artificial illumination on the nocturnal behavior and physiology of salamanders. Ecological consequences of artificial night lighting, edited by Rich, C. & Longcore T., 221-251. Washington D.C.: Island Press

Astron. Obs. Belgrade Special Issues No. 5 (2026), 71-73

DOI: <https://doi.org/10.69646/aobsi00508>

**ADRISKY - НАПРЕДАК У УБЛАЖАВАЊУ СВЕТЛОСНОГ
ЗАГАЂЕЊА РАДИ ОЧУВАЊА БИОДИВЕРЗИТЕТА И НОЋНИХ
СТАНИШТА У ЈАДРАНСКО-ЈОНСКОМ РЕГИОНУ**

БРАНКО РАДАН¹

¹Регионална агенција за развој и европске интеграције Београд

Резиме. ADRISKY је међународни пројекат који окупља партнере из Европске уније и земаља које су део IPA механизма Европске уније са циљем ублажавања светлосног загађења и заштите ноћних станишта у Јадранско-јонском региону. Пројекат одговара на растући проблем који погађа већину Европе и негативно утиче на екосистеме, кроз подизање свести, развој иновативних решења и примену практичних алата. Кључни резултати обухватају израду Територијалних акционих планова за седам пилот подручја, као и развој свеобухватног решења са конкретним методама за смањење светлосног загађења. Ови резултати омогућавају институцијама, истраживачима и локалним заједницама да ефикасно допринесу очувању ноћног биодиверзитета и дугорочној одрживости.

Abstract. ADRISKY is an international project bringing together partners from EU and IPA countries to mitigate light pollution and protect nocturnal habitats in the Adriatic-Ionian region. It addresses a growing issue affecting most of Europe and negatively impacting ecosystems, through awareness-raising, innovative solutions, and practical tools. Key outputs include the development of Territorial Action Plans for seven pilot areas and a comprehensive toolkit providing concrete methods for reducing light pollution. These results enable institutions, researchers, and local communities to effectively contribute to the preservation of nocturnal biodiversity and long-term sustainability.

Пројекат ADRISKY (Advancing Light Pollution Mitigation for Biodiversity and Nocturnal Habitats Conservation in the Adriatic-Ionian Region)¹⁴ представља заједничку, стратешки осмишљену иницијативу усмерену на решавање заједничког изазова – светлосног загађења и његових негативних утицаја на биодиверзитет и ноћна станишта у оквиру Јадранско-јонског програмског подручја. Са укупно девет партнера и пет придружених партнера (основне информације дате су на

¹⁴<https://adrisky.interreg-ipa-adrion.eu>

крају овог прилога) из три државе чланице Европске уније (Италија, Словенија и Хрватска) и три земље које су део IPA механизма Европске уније (Србија, Босна и Херцеговина и Северна Македонија), пројекат препознаје међународни карактер проблема и значај заједничког деловања.

Главни циљ пројекта јесте ублажавање светлосног загађења и очување ноћних станишта, чиме се доприноси унапређењу постојећег стања у коме светлосно загађење захвата готово 90% територије Европе и има негативне последице на организме и екосистеме. Пројекат ADRISKY заснива се на вишеслојном приступу, кроз спровођење различитих активности и интервенција које обухватају подизање свести, развој иновативних стратегија и израду практичних алата за ефикасно ублажавање светлосног загађења и заштиту ноћног биодиверзитета. Један од главних резултата пројекта јесте израда Територијалних акционих планова, који ће представљати стратешко-техничке документе са јасно дефинисаним смерницама и активностима за спровођење дугорочних мера у области смањења светлосног загађења и очувања ноћних станишта на седам географски различитих пилот територија. Пројектни партнери ће заједнички развити наведене планове, користећи стечено знање, искуство и стручност. Формалним усвајањем и спровођењем Територијалних акционих планова, регионалне и локалне самоуправе добиће могућност да систематски и ефикасно заштите биодиверзитет и очувају ноћна станишта, обезбеђујући тиме дугорочну одрживост. Други значајан резултат пројекта јесте израда свеобухватног приручника, односно тзв. «toolkit»-а, заснованог на искуствима и сазнањима стеченим кроз активности интеграције знања и спроведене пилот акције у оквиру пројекта ADRISKY. Овај приручник ће садржати практичне методе, процедуре и решења за ублажавање светлосног загађења и очување ноћних станишта, намењене истраживачима, доносиоцима одлука, локалним заједницама, као и развојним и еколошким организацијама. На тај начин, заинтересоване стране ће бити оснажене да предузму конкретне мере у циљу заштите ноћног биодиверзитета и смањења светлосног загађења.

Кључни очекивани резултат пројекта јесте јачање прекограничне сарадње и институционалних капацитета након завршетка пројекта, као и израда и имплементација заједничких стратегија и акционих планова које ће преузети релевантне организације и институције у региону.

Такође, Регионална агенција за развој и европске интеграције из Београда, на територији свог деловања, успоставила је сарадњу са

кључним заинтересованим странама и постојећим пројектима из ове области, тако да ће се кроз размену информација, заједничке активности и сарадњу остварити синергетски ефекти резултата свих пројеката.

Основне информације о пројекту:

- **Водећи партнер:** Развојни центар Мурска Собота, Словенија.
- **Партнер из Републике Србије:** Регионална агенција за развој и европске интеграције, Београд¹⁵.
- **Укупан буџет пројекта:** 1.763.080,00 EUR.
- **Interreg буџет:** 1.498.618,00 EUR (85,00%).
- **Суфинансирање:** 264.462,00 EUR.
- **Трајање пројекта:** 36 месеци (од 01.09.2024. до 31.08.2027).
- **Пројектни партнери:**
 - *Словенија:* Развојни центар Мурска Собота;
 - *Словенија:* Универзитет у Марибору;
 - *Италија:* Парк природе Минџо (Mincio), Општина Сироло;
 - *Италија:* Општина Сироло (Sirolo);
 - *Хрватска:* Јавна установа за развој Међимурске жупаније – REDEA;
 - *Босна и Херцеговина:* Универзитет у Мостару;
 - *Босна и Херцеговина:* Јавно предузеће Парк природе „Хутово блато“ д.о.о.
 - *Северна Македонија:* Општина Пехчево;
 - *Србија:* Регионална агенција за развој и европске интеграције, Београд.
- **Придружени партнери:**
 1. *Словенија:* Општина Мурска Собота;
 2. *Италија:* Општина Мантова (Mantova);
 3. *Италија:* Парк природе Конеро (Conero);
 4. *Хрватска:* Међимурска жупанија;
 5. *Босна и Херцеговина:* Град Чапљина.

¹⁵<https://www.rarei.rs>

Astron. Obs. Belgrade Special Issues No. 5 (2026), 75-88

DOI: <https://doi.org/10.69646/aobsi00509>

**МЕЂУНАРОДНИ ПРОГРАМ ЗАШТИТЕ ТАМНОГ НЕБА КАО
ГЛОБАЛНИ МОДЕЛ ЗА ОЧУВАЊЕ ПРИРОДНО ТАМНИХ
ПОДРУЧЈА**

ДАЈАНА БЈЕЛАЈАЦ¹

¹Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду

Резиме. Светлосно загађење представља глобални еколошки проблем који утиче на живи свет, здравље човека, енергетске и економске трошкове, док истовремено нарушава естетику ноћног пејзажа у животној средини. Као одговор на наведене претње по животну средину, као и астрономска посматрања, оснивају се бројне међународне иницијативе са идејом да заштите природно тамна подручја, где предњачи „Међународни програм заштите природно тамних подручја“. Наведени програм основан је 2001. године у оквиру Међународне организације „Тамно небо“ (данас DarkSky International), а циљеве остварује кроз комплексан процес сертификације у трајању годину или више дана. У раду су представљени основни механизми на основу којих програм заштите погодује очувању природно тамних локација, као и бенефити које остварују дестинације које успешно прођу кроз процес. Поред наведеног, у раду ће бити поменуте и друге иницијативе, важна документа и организације које додатно уређују и потврђују значај астрономије и природно тамних локација.

Abstract. Light pollution is a global environmental problem that affects wildlife, human health, energy and economic costs, while at the same time damaging the aesthetics of the night landscape in the environment. In response to the above environmental threats, as well as astronomical observations, numerous international initiatives are being established with the idea of protecting naturally dark areas, where the "International Dark Sky Places program" is at the forefront. The program was established in 2001 within the framework of the International Dark Sky Organization (today known as DarkSky International), and achieves its goals through a complex certification process lasting a year or more. The paper presents the basic mechanisms on the basis of which the protection program favors the preservation of naturally dark locations, as well as the benefits that destinations that successfully go through the process achieve. In addition to the above, the paper will also mention other initiatives, important documents and organizations that further regulate and confirm the importance of astronomy and naturally dark locations.

1. УВОД

Светлосно загађење представља један од најбрже растућих, глобалних облика загађења на свету, трансформишући ноћне пејзаже урбаних, али и заштићених природних области (Gaston et al., 2015). Процењено је да преко 80% светске популације живи у условима измењене природне таме, док ова бројка у Северној Америци и Европи прелази 90% (Falchi et al., 2016). Додатно, према извештају УН-а већ је 2018. године преко 55% светске популације живело у урбаним срединама са измењеним ноћним условима и нивоима осветљења, а процењује се да ће 2050. године урбана популација досећи чак 68% укупне популације. Управо овако изражен раст урбаног становништва и последично пратеће инфраструктуре у виду уличног и других облика спољашњег осветљења, највише доприносе томе да проблем светлосног загађења расте алармантном брзином. На основу података добијених у склопу међународног пројекта грађанске науке (Globe At Night), глобална осветљеност ноћног неба се сваке године у просеку увећавала за 9,6% у периоду од 2011. до 2022. Овакви трендови указују да би ниво вештачког осветљења у атмосфери могао да се дуплира за мање од једне декаде (Kyba et al., 2023). Вештачко осветљење у ноћним сатима, или како се у стручној литератури често користи термин „*ALAN – Artificial Light at Night*“, оставља значајне последице по живи свет и људско здравље. Прекомерна количина светлости у вечерњим сатима најпре утиче на нарушавање циркадијалног ритма, што посредно утиче на измене у понашању различитих организама (при храњењу, репродукцији или миграцији) или развој различитих здравствених поремећаја (Higuchi, 2024; Stanton & Cowart, 2024.). Истовремено, непотребно, преинтензивно и погрешно усмерено осветљење генерише значајне енергетске и економске трошкове, док истовремено утиче и на квалитет астрономских посматрања са површине Земље (Gallaway et al., 2010; Kolláth et al., 2021; Green et al., 2022).

Као одговор на наведене изазове, природна тама се све чешће у стручној литератури препознаје као изузетан еколошки, па чак и културолошки ресурс који је у опасности од нестајања у областима где постоји било какав вид људске активности. Поред наведеног значаја за живи свет, природно тамно небо игра изузетну, па чак и пресудну улогу у очувању астрономског и археоастрономског наслеђа, где игра кључну улогу у развићу најновијег, специфичног облика одрживог туризма - астрономског туризма (Soleimani et al., 2019; Tapada et al., 2021).

Постоји неколико међународних и регионалних иницијатива које су у последњих педесет година покренуле различите програме и регулативе са намером да се природна тама препозна као важан ресурс и подвргне различитим облицима заштите. Као један од успешнијих, издваја се „Међународни програм заштите природно тамних локација“ (*International DarkSky Places Program*), развијен од стране **Међународне организације „Тамно небо“** (*DarkSky International*). Овај програм подразумева конкретне кораке ка заштити природно тамних локација што подразумева – уређење спољашњег осветљења, континуирани мониторинг сјаја ноћног неба и различите едукативне активности које подижу свест грађана о проблематици светлосног загађења. Поред наведене организације, важно је поменути и **УНЕСКО** који је афирмисао астрономско наслеђе кроз иницијативу „Астрономија и светско наслеђе“ (*Astronomy and World Heritage*) (Ruggles & Cotte, 2010), док је коју годину раније **фондација Старлајт** (*Starlight Foundation*) развила још један систем сертификације за астротуристичке дестинације (Starlight Initiative, 2007). Истовремено, **Међународна астрономска унија** (*The International Astronomical Union - IAU*) додатно доприноси ублажавању и унапређењу истраживања светлосног загађења и очувања природно тамних локација.

У складу са свим претходно наведеним, циљ овог рада је да представи један од најуспешнијих програма за заштиту природно тамних локација, са посебним акцентом на критеријуме које свака категорија мора да испуни како би успешно прошла систем сертификације и самим тим унапредила постојеће капацитете за развој астрономског туризма.

2. О МЕЂУНАРОДНОМ ПРОГРАМУ ЗА ЗАШТИТУ ПРИРОДНО ТАМНИХ ЛОКАЦИЈА

Међународни програм заштите природно тамних локација (*International DarkSky Places Program*) основан је 2001. године и представља иницијативу која своје корене вуче из грађанског активизма, напора локалног становништва и експерата из области да заштите природно тамна подручја. Данас је овај програм конзервационо оријентисан и базиран је на смерницама и правилима која омогућавају сваком сертификованом месту да активно доприноси очувању и унапређењу природно тамних локација. Сертификациони процес нема регулативну улогу, него је базиран на основу постојећих, глобалних оквира попут УНЕСКО иницијатива (*UNESCO World Heritage Sites and*

Biosphere Reserves) и његова главна намена је стицање препознатљивости и уважавање уложеног напора локалног становништва у очување природно тамног неба. Учешће у програму је на волонтерској основи и најчешће је иницирано од стране локалне заједнице, што се према досадашњим сертификацијама може препознати као добар модел на међународној сцени.

У оквиру програма издвојила су се два приступа сертификацији – **први** који је примарно оријентисан ка конзервацији природно тамних подручја – *уточишта, паркови и резервати тамног неба* и **други**, који је усмерен ка креирању регулатива, смерница и планова за измену спољашњег осветљења, те његово прилагођавање еколошким принципима – *заједнице тамног неба и урбана подручја ноћног неба*. Будући да је фокус овог рада усмерен више ка конзервационим напорима, него регулативама, у наставку текста биће детаљно образложени описи и критеријуми за успешну сертификацију уточишта, паркова и резервата тамног неба (DarkSky International – Dark Sky Places, Guidelines 2026).

- **Међународна уточишта тамног неба (International Dark Sky Sanctuaries)**

Представљају подручје у јавном или приватном власништву где су звездано небо и природно таман амбијент изразито очувани. Ова локација је заштићена због својих научних, природних, едукативних или културних вредности и доступна је јавности на коришћење. У односу на паркове и резервате, уточишта су најчешће на изолованим подручјима са минималном количином светлосног загађења у околини.

Критеријуми за квалификацију су следећи:

- **Управљање** – Уточиште може бити у оквиру приватног или јавног власништва, али се мора доказати да је наведена површина правно заштићена.
- **Приступ у вечерњим часовима** – Уточиште мора да обезбедити јавни приступ грађанима у вечерњим сатима са или без надзора. Уколико је потребно, може се ограничити површина којој се може приступити или време током које се може посетити. Уколико је локацији ограничен приступ због угрожених врста,

археолошких налазишта или других сензитивних ресурса, овај критеријум може да се прилагоди.

- **Квалитет ноћног неба** – Уточишта морају доказати изузетан квалитет ноћног неба, где зенитни сјај ноћног неба треба да износи најмање 21,5 магнитуде по квадратној лучној секунди, док на хоризонту не сме бити присутна већа количина светлосног загађења.
- **Ресурси** – Будући да су уточишта најчешће на далеким и изолованим локацијама, не очекује се значајнији број едукативних активности, али је пожељно да постоје повремени програми који промовишу заштиту природно тамних подручја.

Тренутно постоји 23 уточишта широм света, од чега је највећи број у Сједињеним Америчким Државама (11) и често обухватају познате научне опсерваторије (DarkSky International – Dark Sky Places, Guidelines 2026).



Слика 1. Уточиште тамног неба „Isle of Rum“ (Уједињено Краљевство). Преузето из апликације на сајту програма¹⁶

¹⁶ <https://darksky.org/places/isle-of-rum/>

- **Међународни парк тамног неба (International Dark Sky Parks)**

Представља дестинацију са веома добрим или изузетним квалитетом звезданог неба и тамног амбијента, заштићену због својих научних, природних, едукативних или културних вредности. Локација може бити у јавном или приватном власништву, а приступ површини наведеној при сертификацији мора бити омогућен свим грађанима.

Критеријуми за квалификацију су следећи:

- **Управљање** – Парк може бити у оквиру приватног или јавног власништва, али се мора доказати да је наведена површина правно заштићена.
- **Приступ у вечерњим часовима** – Парк мора да обезбеди јавни приступ грађанима у вечерњим сатима са или без надзора. Уколико је потребно, може се ограничити површина којој се може приступити или време током које се може посетити.
- **Квалитет ноћног неба** – Паркови могу бити лоцирани у близини насеља, због чега је важно доказати изузетан квалитет ноћног неба и видљивост Млечног пута при уобичајеним атмосферским условима. У мерљивим јединицама, зенитни сјај ноћног неба треба да износи најмање 21,2 магнитуде по квадратној лучној секунди, или да гранична магнитуда видљива голим оком (NELM - *Naked Eye Limiting Magnitude*) буде једнака или већа од +6.
- **Ресурси** – Парк мора бити у могућности да организује редовне едукативне садржаје или активности посетиоцима, како би подигао ниво свести грађана о проблематици светлосног загађења и значају природне таме. Поред наведеног едукација се може усмерити и ка заштити астрономског наслеђа.

Тренутно постоји 139 паркова широм света, од чега је највећи број у Сједињеним Америчким Државама (95). У региону, два парка су основана у Хрватској – „Петрова Гора-Биљег“ и „Врани камен“ и три у Мађарској – „Bükk“, „Hortobágy“ и „Zselic“ (DarkSky International – Dark Sky Places, Guidelines 2026).



Слика 2. Парк тамног неба „Bükk National Park“ (Мађарска). Преузето из апликације на сајту програма¹⁷

- **Резерват тамног неба (International Dark Sky Reserves)**

Подразумева значајно већу површину у јавном или приватном власништву (минимално 700 km²), која поседује изузетан квалитет ноћног неба и амбијента. Ова локација је заштићена због својих научних, природних, едукативних или културних вредности и доступна је јавности на коришћење. Резервати су формирано кроз партнерство власника и/или управљача који препознају вредност природно тамног амбијента и његово очување помоћу регулатива, формалних споразума и дугорочног планирања. Резерват се састоји од две целине – „језгра“ које испуњава минимално задате вредности квалитета ноћног неба и „периферије“ или тампон зоне која окружује централни део резервата и остварује сличне бенефите.

Критеријуми за квалификацију су следећи:

1) ЦЕНТРАЛНИ ДЕО РЕЗЕРВАТА

- **Управљање** – Језгро резервата може бити у оквиру приватног или јавног власништва, али се мора доказати да је наведена површина правно заштићена.

¹⁷ <https://darksky.org/places/bukk-national-park-dark-sky-park/>

- **Пристап у вечерњим часовима** – Резерват мора да обезбеди јавни пристап грађанима централним деловима у вечерњим сатима са или без надзора. Уколико је потребно, може се ограничити површина којој се може приступити или време током које се може посетити.
- **Квалитет ноћног неба** – Централни делови резервата могу бити лоцирани у близини насеља, због чега је важно доказати изузетан квалитет ноћног неба и видљивост Млечног пута при уобичајеним атмосферским условима. У мерљивим јединицама, зенитни сјај ноћног неба треба да износи најмање 21,2 магнитуде по квадратној лучној секунди, или да гранична магнитуда видљива голим оком (NELM - *Naked Eye Limiting Magnitude*) буде једнака или већа од +6.
- **Територија** – За централни део резервата не постоји минимално прописана површина коју треба да заузима, али величина територије мора да подржи окупљање већег броја грађана ради промотивних кампања и едукативних садржаја описаних даље у смерницама (доступним на сајту организације¹⁸). Предложено језгро резервата може да има било који облик и може бити фрагментисано до три целине, али се то мора детаљно образложити у апликацији. Такође, уколико на територији резервата постоји национални парк или неки други заштићени ентитет, пожељно је да потпуно испрати његове границе.
- **Ресурси** – Резерват мора бити у могућности да организује редовне едукативне садржаје или активности посетиоцима, како би подигао ниво свести грађана о проблематици светлосног загађења и значају природне таме. Такође, резерват мора да прилагоди спољашње осветљење на целокупној површини у етапама од 67%, 90% до 100%. Препорука је да се формира и комисија за управљање парком, сачињена од управљача и партнера ради лакше организације и бољег управљања.

2) ПЕРИФЕРНИ ДЕО РЕЗЕРВАТА

- **Управљање** – Минимално 80% популације и 80% површине територије у оквиру предвиђених периферних делова мора бити укључено у креирање резервата. То подразумева локалне самоуправе, општине, јавна и приватна земљишта, а учешће се најпре односи на усвајање регулатива и дугорочног плана

¹⁸<https://darksky.org/what-we-do/international-dark-sky-places/>

осветљења ових области (Lighting Management Plan or Policy – LMP).

- **Приступ у вечерњим часовима** – Приступ централном делу резервата је обавезан, али у периферним областима није неопходан иако пожељан.
- **Квалитет ноћног неба** – У периферним деловима резервата не постоје елиминишуће вредности зенитног сјаја ноћног неба, али је обавезан мониторинг.
- **Територија** – Периферни део резервата мора бити јединствена континуирана целина која потпуно окружује језгро. Може да заузме било који положај и облик, а треба да износи минимално 700 km² или бар 80% површине која ће бити довољна да умањи утицај потенцијалних извора светлосног загађења у околини. Велике површине језера, мора или океана се не рачунају у периферне делове резервата. Граница периферије не сме бити вештачки измењена на локацијама које ће отежати процедуру, него се радије требају посматрати као подручја за будуће унапређење у оквиру стицања статуса резервата.
- **Ресурси** – Заједнице које су укључене у резерват морају да имају едукативни програм, финансијске ресурсе, дозволе и регулативе које им омогућавају да прилагоде осветљење у складу са заштитом тамног неба.

Тренутно постоји 26 резервата широм света, од чега их је највише у Уједињеном Краљевству (7) и Немачкој (3) (DarkSky International – Dark Sky Places, Guidelines 2026).



Слика 3. Резерват тамног неба „Bavarian Forest National Park“ (Немачка). Преузето из апликације на сајту програма¹⁹

За разлику од претходних категорија, **Заједница тамног неба** се најчешће односи на насеља, градове, општине и друге административне целине које докажу велику посвећеност заштити природне таме кроз адаптацију спољашњег осветљења, доношење регулатива и дугорочних планова за осветљење. У оквиру заједница, али и **Урбаних локација ноћног неба**, значајан део сертификационог процеса подразумева едукативне програме, активности и уопштено, укључење локалног становништва у процес (DarkSky International – Dark Sky Places, Guidelines 2026).

3. ЗАКЉУЧАК

Светлосно загађење представља брзорастући, глобални проблем животне средине са значајним еколошким, енергетским, економским и научним импликацијама. Како је у раду претходно наведено, губитак природно тамних станишта није проблематичан само из угла заштите животне средине, него представља изазов и по одрживи развој и очување астрономског наслеђа.

Међународни програм заштите природно тамних подручја се позиционирао као водећи, међународни ентитет који кроз процес

¹⁹ <https://darksky.org/places/bavarian-forest-national-park/>

сертификације адресира различите проблеме изазване светлосним загађењем. У односу на одабрани систем сертификације (природних средина – паркова, резервата или уточишта; или изграђених средина – заједница и урбаних локација ноћног неба), апликанти пролазе кроз више различитих фаза које у коначници утичу на умањење светлосног загађења, повећање свести о значају природне таме и позиционирају дестинације на међународној мапи природно тамних локација.

У Србији је број очуваних природно тамних локација које испуњавају критеријуме паркова и резервата тамног неба и даље ограничен. Подручја са очуваном природном тамом се углавном налазе у периферним деловима земље, најчешће у пограничним зонама или у оквиру заштићених природних подручја, где је утицај светлосног загађења мање изражен.

Ипак, у последњих неколико година уочава се све већи број локалних иницијатива усмерених ка заштити природне таме. Посебно се издвајају напори за оснивање парка тамног неба на подручју планине Видојевице, где се налази астрономска станица за научна посматрања, као и иницијатива за успостављање парка тамног неба у оквиру Предела изузетних одлика „Рајца“, што указује на растући значај ове теме на нашим просторима.

Захвалност Истраживање је спроведено уз подршку Фонда за науку Републике Србије бр. 6775, Urban Observatory of Belgrade (UrbObsBel) и Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз Пројектни уговор бр. 451-03-136/2025-03/200002. Истраживања је финансирало Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (Ев.бр. 451-03-33/2026-03/ 200125 и 451-03-34/2026-03/ 200125)

Литература

Bjelajac, D., Đerčan, B., & Kovačić, S. (2021). Dark skies and dark screens as a precondition for astronomy tourism and general well-being. *Information Technology & Tourism*, 23, 19–43. <https://doi.org/10.1007/s40558-020-00189-9>

DarkSky International. (2026). *Dark Sky Places program guidelines*. <https://darksky.org/>

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of

artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6).
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>

Gallaway, T., Olsen, R. N., & Mitchell, D. M. (2010). The economics of global light pollution. *Ecological economics*, 69(3), 658-665.

Gaston, K. J., Visser, M. E., & Hölker, F. (2015). The biological impacts of artificial light at night: The research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667). <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0133>

Green, R. F., Luginbuhl, C. B., Wainscoat, R. J., & Duriscoe, D. (2022). The growing threat of light pollution to ground-based observatories. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 30(1), 1.

Higuchi, S. (2024). Light at night and circadian rhythms: From the perspective of physiological anthropology research. *Journal of Physiological Anthropology*, 43(1), 32.

Kolláth, Z., Száz, D., & Kolláth, K. (2021). Measurements and modelling of artificial sky brightness: Combining remote sensing from satellites and ground-based observations. *Remote Sensing*, 13(18), 3653.

Kyba, C. C., Altıntaş, Y. Ö., Walker, C. E., & Newhouse, M. (2023). Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022. *Science*, 379(6629), 265–268.

Quintanilla-Ahumada, D., Quijón, P. A., Jahnsen-Guzmán, N., Zúñiga-Cueto, N., Miranda-Benabarre, C., Lynn, K. D., Pulgar, J., Palma, J., Manríquez, P. H., & Duarte, C. (2024). The impacts of artificial light at night (ALAN) spectral composition on key behavioral traits of a sandy beach isopod. *Marine Pollution Bulletin*, 208, 116924.

Ruggles, C. L., & Cotte, M. (2017). *Heritage sites of astronomy and archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention*. International Council on Monuments and Sites & International Astronomical Union. Ocarina Books Limited.

Starlight Initiative. (2007). *Starlight Initiative*.
https://starlight2007.net/index_option_com_content_view_article_id_234_itemid_78_lang_en.html

Soleimani, S., Bruwer, J., Gross, M. J., & Lee, R. (2019). Astro-tourism conceptualisation as a special-interest tourism (SIT) field: A phenomenological

approach. *Current Issues in Tourism*, 22(18), 2299–2314.
<https://doi.org/10.1080/13683500.2018.1444021>

Stanton, D. L., & Cowart, J. R. (2024). The effects of artificial light at night (ALAN) on the circadian biology of marine animals. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1372889.

Tapada, A., Marques, C. S., Marques, C. P., & Costa, C. (2021). Astrotourism: A literature review and framework for future research. *Enlightening Tourism*, 11(2), 291–331. <https://doi.org/10.33776/et.v11i2.5189>

United Nations. (2018). *World urbanization prospects*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.

Astron. Obs. Belgrade Special Issues No. 5 (2026), 89-92

DOI: <https://doi.org/10.69646/aobsi00510>

СВЕТЛОСНО ЗАГАЂЕЊЕ НА ПЛАНИНИ РАЈАЦ — СТАЊЕ И ПЕРСПЕКТИВЕ ИСТРАЖИВАЊА

ЗОРАН ТАНАСИЈЕВИЋ¹

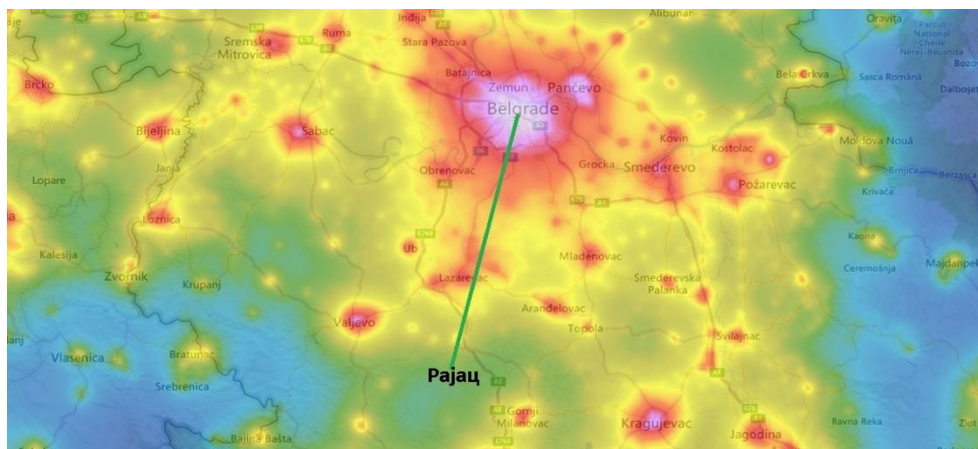
¹ Предео изузетних одлика „Рајац“

Резиме. Светлосно загађење представља један од најзначајнијих савремених притисака на ноћни пејзаж, а нарочито је важно у контексту очувања природних вредности и развоја астрономског туризма. На планини Рајац (Западна Србија) систематска мерења светлосне загађености започета су у оквиру астроклиматских истраживања астронома аматера још 1984. године. Последње две деценије показују постепено повећање светлосне куполе на северном хоризонту, пре свега услед урбанизације и постављања јавне расвете у сливу Колубаре. Рад даје преглед досадашњих истраживања, методологије мерења, резултата и даље перспективе, са посебним освртом на могућност успостављања Парка тамног неба као нове туристичке и еколошке вредности.

Abstract. Light pollution is one of the most significant contemporary pressures on the nighttime landscape, and is particularly important in the context of preserving natural values and developing astronomical tourism. On Mount Rajac (Western Serbia), systematic measurements of light pollution began as part of astroclimate research by amateur astronomers in 1984. The last two decades show a gradual increase in the light dome on the northern horizon, primarily due to urbanization and the installation of public lighting in the Kolubara basin. The paper provides an overview of previous research, measurement methodology, results and further perspectives, with a special focus on the possibility of establishing the Dark Sky Park as a new tourist and ecological value.

1. УВОД

Светлосно загађење (енгл.: light pollution) подразумева вештачко осветљење које нарушава природну тамну ноћ. Оно утиче на видљивост звезданог неба, астрономска посматрања, али и на екосистеме и здравље људи. Планина Рајац, као једно од истакнутих узвишења у Шумадији и западној Србији, позната је по повољним условима за астрономска посматрања, али последњих деценија бележи пораст светлосне емисије из урбаних зона (Слике 1 и 2).



Слика 1. Географски положај Рајца.

2. ИСТОРИЈАТ ИСТРАЖИВАЊА НА РАЈЦУ

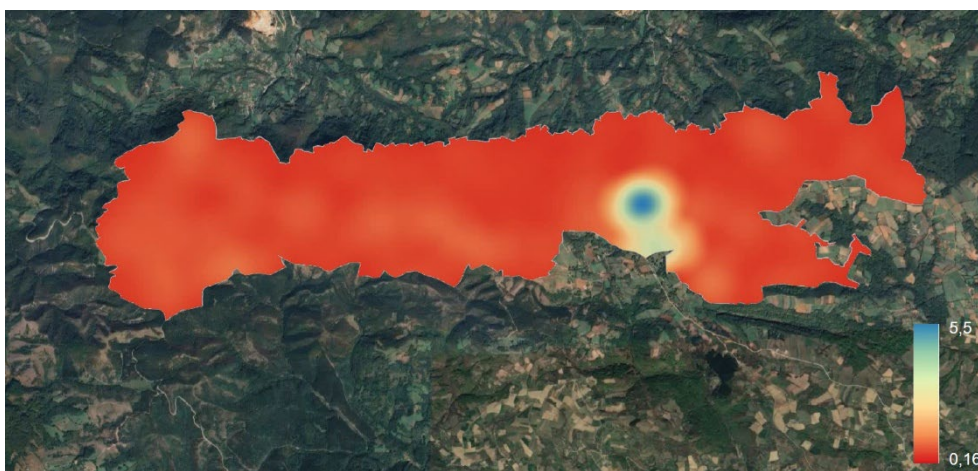
Организована астроклиматска истраживања на Рајцу започета су 1984. године, истовремено са првим испитивањима на планини Видојевици. Ова иницијатива потекла је од групе астронома аматера при организацији „Млади истраживачи Србије“. Истовремено је и Астрономска опсерваторија у Београду започела процену потенцијалних локација за нову велику опсерваторију, услед прекомерног светлосног загађења изнад главног града. Паралелна истраживања на Видојевици довела су до изградње савременог астрономског комплекса на тој планини, док су резултати мерења на Рајцу послужили за прве стручне радове о локалној астроклими и видљивости ноћног неба. Последњих двадесет година уочено је формирање мање светлосне куполе на северном хоризонту Рајца. Ова промена значајно утиче на квалитет неба, нарочито у условима дугорочног развоја астрономског туризма.

3. МЕРЕЊА И МЕТОДОЛОГИЈА

Године 2024. Туристичка организација општине Љиг званично је постављена за управљача Предела изузетних одлика „Рајац“. Одмах је покренут пројекат систематског истраживања извора и интензитета светлосне загађености на целој површини заштићеног подручја.

Набављен је мерач квалитета ноћног неба (Sky Quality Meter – SQM-L), а мерења се редовно спроводе током ведрих ноћи без Месеца и снежног покривача. Поред теренских мерења, коришћени су и

сателитски подаци о радијанси (енгл.: radiance) који пружају поуздан показатељ извора вештачке светлости у ноћном пејзажу. Ови подаци омогућавају просторну анализу интензитета емисије и идентификацију зона најмањег загађења. Комбинацијом теренских и сателитских података израђена је топлотна мапа са изофотама, на којој су јасно издвојене зоне директних извора светлости и области најмањег загађења — погодне за астрономска посматрања и едукацију.

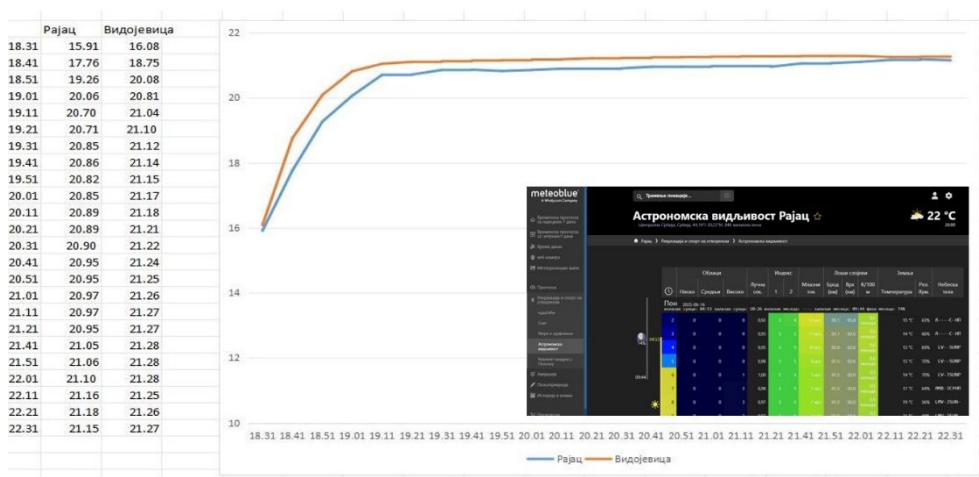


Слика 2. Просторна дистрибуција вредности мерења на планини Рајац.

4. РЕЗУЛТАТИ И ПРОСТОРНА ДИСТРИБУЦИЈА ЗАГАЂЕЊА

Прелиминарни резултати указују да се најмања светлосна загађеност задржава у централним и западним деловима Рајца, где је антропогени утицај ограничен. Мерења на ширем простору планине показују вредности од 21,00 до 21,40 mag/arcsec² (Слика 3), што указује на релативно тамно небо са dobrим условима за визуелна и фотографска астрономска посматрања. Повољна околност је што су источна, јужна и западна страна хоризонта углавном без значајних извора светлосног загађења, што омогућава дуге експозиције и висок квалитет посматрања. Насупрот томе, северни обод подручја бележи израженију светлосну куполу услед јавне расвете у равничарским насељима. За будућност су значајне две чињенице: тренд промена радијансе је врло мали, што указује на релативну стабилност стања светлосне емисије, и чињеница да је Општина Љиг, на чијој територији се налази највећи део ПИО „Рајац“, увела праксу ноћног искључивања јавне расвете у сеоским

насељима у периоду од 22 до 4 часа ујутро, чиме се додатно смањује светлосно загађење.



Слика 3. Резултати мерења светлосног загађења на планинима Рајац и Видојевица обављеног 16. јуна 2025. године.

5. ПЕРСПЕКТИВЕ РАЗВОЈА ЗВЕЗДАНОГ ПАРКА

На основу до сада прикупљених података започет је елаборат за формирање Звезданог парка у централној и западној зони ПИО „Рајац“. Додатна истраживања су планирана за југозападни део подручја, који би у будућности могао да испуни услове за међународно признање „Парк тамног неба“. Астрономски туризам постаје све значајнији сегмент туристичке понуде, а Рајац има потенцијал да постане једно од водећих места за ову врсту активности у Србији. Туристичка организација Љига планира промоцију овог вида туризма, као и набавку додатне опреме за дугорочно праћење светлосне загађености и истраживање његовог утицаја на биодиверзитет.

6. ЗАКЉУЧАК

Истраживање светлосног загађења на Рајцу прерасло је из аматерске иницијативе покренуте још 1984. године у систематски научно-стручни процес који повезује астрономију, заштиту природе и туризам. Наставак мониторинга и унапређење опреме омогућиће прецизније карте светлосне емисије и боље управљање заштићеним подручјем. Стварање Звезданог парка може допринети очувању природне таме и позиционирати Рајац као пример добре праксе у Србији.

ПРОГРАМ

РАДИОНИЦА ПРОЈЕКТА ГРАДСКА ОПСЕРВАТОРИЈА БЕОГРАДА

- Датум одржавања: петак, 20.06.2025.
 - Место одржавања: Астрономска опсерваторија, Волгина 7, Београд
 - Број учесника: ограничен на 30
-

10:00 - 10:30 | Отварање и представљање пројекта UrbObsBel

- др Лука Поповић, директор Астрономске опсерваторије у Београду
- академик др Зоран Кнежевић, председник Српске академије наука и уметности
- др Гојко Ђурашевић, Астрономска опсерваторија, Београд
- др Срђан Самуровић, руководилац пројекта UrbObsBel, Астрономска опсерваторија, Београд

10:30 - 11:00 | Први резултати пројекта UrbObsBel

- др Раде Павловић, Институт за физику, Београд
- др Зоран Симић, Астрономска опсерваторија, Београд

11:00 - 11:30 | Употреба HSI уређаја у детекцији и класификацији извора светлости и њихових спектралних карактеристика

- др Драган Лукић, Институт за физику, Београд
- др Раде Павловић, Институт за физику, Београд
- др Бранислав Ровчанин, Медицински факултет Универзитета у Београду, Београд

11:30 - 12:00 | Термовизијске камере: могућности FLIR уређаја

- Саша Жилић, DAMIBA trade d.o.o., Београд

12:00 - 12:30 | Биолошки ефекти светлосног загађења на човека

- др Бранислав Ровчанин, Медицински факултет Универзитета у Београду, Београд

12:30 - 12:45 | TRON AI - Иновативни приступ посматрању неба и атмосфере

- Никола Галиот, TRON Tech, Нови Сад

14:00 - 14:30 | Биолошки ефекти светлосног загађења на живи свет

- др Марко Прокић, Одељење за физиологију, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић”, Београд

14:30 - 15:00 | Представљање ADRISKY пројекта

- Бранко Радан, Регионална агенција за развој и европске интеграције Београд

15:00 - 15:30 | Представљање међународног програма за заштиту природне таме - DarkSky Places

- др Дајана Бјелајац, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду

15:30 - 16:00 | Заштита природне таме на Рајцу: могућности формирања парка тамног неба

- Зоран Танасијевић, Предео изузетних одлика „Рајац“

16:30 - 17:15 | Документарни филм: „У потрази за тамом - прича о светлосном загађењу“

- HBO Carpe Noctem, интернет страница која упућује на документарни филм: www.carpenoctem.rs

17:15 - 18:15 | Дискусија учесника радионице

ЛИСТА ПРЕДАВАЧА НА РАДИОНИЦИ:

- др Лука Поповић, директор Астрономске опсерваторије у Београду (уводно обраћање),
- академик др Зоран Кнежевић, председник Српске академије наука и уметности (уводно обраћање),
- др Гојко Ђурашевић, Астрономска опсерваторија, Београд (уводно обраћање),
- др Срђан Самуровић, руководилац пројекта UrbObsBel, Астрономска опсерваторија, Београд
- др Раде Павловић, Институт за физику, Београд
- др Зоран Симић, Астрономска опсерваторија, Београд
- др Драган Лукић, Институт за физику, Београд
- др Раде Павловић, Институт за физику, Београд
- др Бранислав Ровчанин, Медицински факултет Универзитета у Београду, Београд
- Саша Жилић, DAMIBA trade d.o.o., Београд
- др Бранислав Ровчанин, Медицински факултет Универзитета у Београду, Београд
- Никола Галиот, TRON AI
- др Марко Прокић, Одељење за физиологију, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић”, Београд
- Бранко Радан, Регионална агенција за развој и европске интеграције Београд
- др Дајана Бјелајац, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду
- Зоран Танасијевић, Предео изузетних одлика „Рајац“

**ДОДАТАК: Фотографије са радионице пројекта Градске
опсерваторије Београда (UrbObsBel) одржане 20.06.2025. у
библиотеци Астрономске опсерваторије у Београду**



Слика 1. Др Срђан Самуровић.



Слика 2 (с лева на десно): академик др Зоран Кнежевић, др Бојан Ђерчан, Зоран Танасијевић, Саша Жилић, др Бранислав Ровчанин, Бранко Радан, др Драган Лукић, Анђела Николић, Весна Мијатовић, др Горан Дамљановић, др Зоран Симић, др Лука Поповић, др Дајана Бјелајац, Никола Галиот, Огњен Гојковић и др Гојко Ђурашевић.



Слика 3 (с лева на десно): др Горан Дамљановић, др Дајана Бјелајац, др Драган Лукић (окренут леђима), Јела Пешић, др Срђан Самуровић, др Зоран Симић, др Лука Поповић, др Бранислав Ровчанин (окренут леђима), Саша Жилић (окренут леђима), Зоран Танасијевић и академик др Зоран Кнежевић.



Слика 4 (с лева на десно): др Дајана Бјелајац и др Срђан Самуровић.



Слика 5: др Раде Павловић.



Слика 8: Саша Жилић (пored екрана)



Слика 9: др Бранислав Ровчанин.



Слика 10: Никола Галиот и Огњен Гојковић



Слика 11: др Марко Прокић.



Слика 12: др Срђан Самуровић (лево) и Бранко Радан (десно).



Слика 13: др Дајана Бјелајац.



Слика 14: Зоран Танасијевић.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

504.61:628.97(082)

АСТРОНОМСКА опсерваторија. Радионица
пројекта Градске опсерваторије
Београда "UrbObsBel" (2025 ; Београд)

Зборник радова са радионице пројекта
Градске опсерваторије Београда "UrbObsBel"
одржане 20.06.2025. / уредници Дајана
Бјелајац и Срђан Самуровић. - Београд :
Астрономска опсерваторија, 2026 (Београд
: Donat graf). - [8], 105 стр. : илустр. ; 25 cm. -
(Посебна издања / Астрономска
опсерваторија Београд ; бр. 5 = Special issues /
Astronomical Observatory Belgrade ; no 5, ISSN 3042-2442)

Тираж 100. - Стр. [7-8]: Предговор / уредници.
- Библиографија уз већину радова и уз
текст. - Abstracts.

ISBN 978-86-82296-21-8

а) Светлосно загађење -- Зборници

COBISS.SR-ID 197153801