

IDENTIFIKACIJA UGROŽENIH DELOVA URBANOG TKIVA NA PODRUČJU BEOGRADA UZ POMOĆ INDEKSA TOPLOTE

**Anđela Milenković¹, Mario Miličević²,
Rastko Čugalj³, Veljko Dmitrović⁴**

Apstrakt: Razvojem urbanizacije i sve većim antropogenim uticajem na životnu sredinu dolazi do smanjivanja zelenih površina i devastacije vegetacije. Sa globalnim porastom temperatura, kao i sa sve dužim trajanjem tropskih talasa, negativni efekti po stanovništvo su sve veći, a njihove posledice se najviše osećaju u gradovima. Zbog toga dolazi do porasta interesovanja za proučavanje urbanih toplotnih ostrva, odnosno delova grada koji duže akumuliraju toplotu i utiču na život stanovnika tog područja. S obzirom na to da urbana toplotna ostrva utiču na zdravlje ljudi, potrošnju energije i na sam kvalitet života, u urbanističkom i prostornom planiranju im je potrebno posvetiti više pažnje kako bi se njihovi efekti ili značajno ublažili ili u potpunosti odstranili. U ovom radu dobijeni su podaci o uticaju toplotnih ostrva na području Beograda kroz izračunavanje indeksa toplotnog rizika primenom GIS tehnologija. Osnovni cilj primene ovog postupka bio je izdvajanje najugroženijih delova urbanog tkiva (u konkretnoj metodologiji, statističkih krugova). Dobijeni podaci su kartografski predstavljeni takođe primenom GIS tehnologija.

Ključne reči: GIS, urbana ostrva toplote, indeks toplote, indikatori mikroklimе, klimatske promene

IDENTIFICATION OF ENDANGERED PARTS OF URBAN FABRIC IN THE BELGRADE AREA USING THE HEAT INDEX

Abstract: With the development of urbanization and the increasing anthropogenic impact on the environment, green areas are being reduced, and vegetation is being devastated. With the global rise in temperatures, as well as the prolonged duration of heatwaves, the negative effects on the population are becoming more severe, with the consequences being most strongly felt in urban areas. This has led to a growing interest in studying urban heat islands - parts of the city that retain heat for longer periods and affect the lives of the people living in those areas. Given that urban heat islands affect human health, energy consumption, and overall quality of life, they should receive greater attention in urban and spatial planning in order to either significantly reduce or completely eliminate their effects. This paper presents data on the impact of the urban heat island effect in the Belgrade

¹ GDi Solutions d.o.o, Bulevar Mihajla Pupina 165G 11000 Beograd, andjela.milenkovic@gdi.net, ORCID: 0009-0007-7279-4072

² GDi Solutions d.o.o, Bulevar Mihajla Pupina 165G 11000 Beograd, mario.milicevic@gdi.net, ORCID: 0009-0002-3501-8369

³ GDi Solutions d.o.o, Bulevar Mihajla Pupina 165G 11000 Beograd, rastko.cugalj@gdi.net, ORCID: 0009-0006-3808-4432

⁴ GDi Solutions d.o.o, Bulevar Mihajla Pupina 165G 11000 Beograd, veljko.dmitrovic@gdi.net, ORCID: 0009-0007-8242-5940

area through the calculation of a heat risk index using GIS technologies. The main goal of this approach was to identify the most vulnerable parts of the urban fabric (in this specific methodology, statistical units). The resulting data were also cartographically represented using GIS technologies.

Keywords: GIS, urban heat islands, heat index, microclimate indicators, climate changes

UVOD

Urbana ostrva toplote (eng. urban heat islands - UHI) su delovi urbanog tkiva u kojima su temperature značajno više nego u okolnim ruralnim, odnosno seoskim oblastima. Efekat urbanih ostrva toplote je izazvan urbanizacijom, zbog toga što urbane strukture slabije reflektuju sunčevo zračenje i zadržavaju toplotu, utiču na promene u strujanju vazduha, a samom urbanizacijom se smanjuju i zelene površine (Suh, 2019).

Luk Hauard (Luke Howard) bio je prvi naučnik koji je još u 19. veku uočio povezanost između porasta temperature i urbanog tkiva. Naime, on je u periodu između 1800. i 1830. godine analizirao meteorološke rezultate sa mernih stanica u Londonu i meteoroloških stanica koja su se nalazila u selima u okolini Londona. Uočio je da je temperatura u Londonu uvek viša od one u okolnim selima i zaključio: „temperatura grada ne može da se smatra klimatskom temperaturom; ona je previše pod uticajem veštačke toplote, izazvane njegovom strukturom, gustim stanovništvom i potrošnjom velike količine goriva za loženje” (Mills, 2008).

Nakon ovih početnih istraživanja, tema urbanih ostrva toplote počinje sve češće da se javlja u naučnim istraživanjima, naročito sa pojavom istraživanja klimatskih promena. Tako je devedesetih godina 20. veka objavljivano oko 30 studija vezanih za urbana ostrva toplote godišnje, 2010. godine je objavljeno preko 100 studija, dok je taj broj 2015. godine dostigao 300 studija (Assenova, Vitanova, & Petrova-Antonova, 2024).

Urbana ostrva toplote su izraženija u letnjem periodu kada je nebo vedro i kada je manja jačina vetra. Vetrovi doprinose mešanju vazduha u atmosferi, dok oblačnost blokira sunčevo zračenje što ublažava efekte toplotnih ostrva (U.S. Environmental Protection Agency, 2014). Tokom letnjih meseci toplotni talasi u Srbiji su sve intenzivniji i sve duži. Tako je 2024. godine na teritoriji Srbije bilo pet toplotnih talasa, od kojih su tri bila sa odstupanjima i preko 10°C u odnosu na normalu 1991- 2020 godine (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2024). Zbog toga je potrebno da se urbana ostrva toplote lociraju, mapiraju i da se pokaže njihova razmera, a zatim kroz urbanističko i prostorno planiranje više pažnje posveti njihovoj pojavi.

INDEKS TOPLOTNOG RIZIKA – METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Indeks toplotnog rizika predstavlja indikator kojim se može pratiti uticaj efekta toplotnih ostrva na urbanu sredinu. Izračunavanje ovog indikatora može biti veoma korisno i u planiranju budućih aktivnosti u razvoju jednog grada, poput izgradnje sa jedne strane i ozelenjavanja sa druge strane, kako bi se negativne posledice koje donose klimatske promene predvidele i adekvatnim delovanjem ublažile.

Za potrebe ovog rada indeks toplotnog rizika je izračunat za područje užeg gradskog tkiva Beograda, analizirajući dostupne podatke uz pomoć GIS tehnologije i softvera. U ovom segmentu rada će biti objašnjena metodologija izračunavanja ovog indikatora.

Sama metodologija koja je korišćena sastoji se iz više delova i bazirana je na metodologiji Marka Gilbert-a⁵, koja je prilagođena tako da odgovara dostupnim podacima i području istraživanja.



Slika 1. Dijagram izvorne metodologije (Gilbert, 2022)

Kao što se može videti iz prethodnog dijagrama, za izračunavanje ovog indeksa potrebno je imati podatke o temperaturi tla, pokrivenosti vegetacijom (zelena infrastruktura, drveće, ...) i populaciji odnosno broju stanovnika, što podrazumeva i administrativnu podelu područja istraživanja. Kako bi istraživanje bilo što detaljnije i kako bi rad ostvario svoj cilj da identifikuje područja koja su najugroženija, odlučeno je da se podaci sumiraju/agregiraju na nivou statističkog kruga, koji predstavlja nivo statističke i prostorne podele adekvatne površine kako bi se izvršila pravilna identifikacija i diferencijacija ugroženih područja. Međutim, pošto podaci o stanovništvu nisu javno dostupni na tom prostornom nivou, iz metodologije je izbačen segment vezan za populaciju, s toga će finalni indikator biti rezultat odnosa prva dva dela. Takođe, pored statističkih krugova, odlučeno je da rezultati budu agregirani i prikazani u zonama, koje su rezultat podele područja istraživanja na heksagone jednake veličine (10ha).

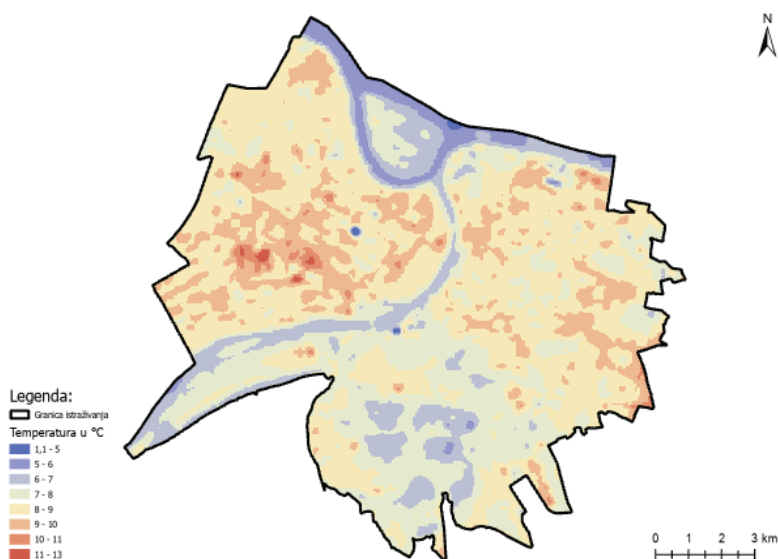
Definisanje područja istraživanja

Za područje istraživanja odabrano je područje užeg gradskog jezgra naselja Beograd, tj. područje 229 statističkih krugova, koji obuhvataju čitave opštine Stari Grad, Vračar i Savski Venac i delove opština Čukarica, Rakovica, Palilula, Zvezdara, Novi Beograd i Zemun. Ovo područje je izabrano zbog najveće koncentracije izgrađenog tkiva Beograda, ali i zbog ograničenja u dostupnim podacima posebno za podatak o temperaturi tla. Površina područja je 75,9 km².

⁵ Mark Gilbert – GIS inženjer iz ERSI-ja, stručnjak iz oblasti korišćenja rasterskih podataka i daljinske detekcije u razumevanju efekata i posledica klimatskih promena

Indikator 1 – Temperatura tla

Prvi deo indikatora toplotnog rizika predstavlja temperatura tla, odnosno prosečna temperatura tla u određenom vremenskom periodu. Za potrebe ovog rada korišćeni su podaci iz Multispectral Landsat servisa (Band 10 – Surface temperature in °C), koji su dobijeni uz pomoć Landsat 8 i 9 satelita, od 2013. godine do danas. Rezolucija korišćenog rasterskog podatka je 30 metara.

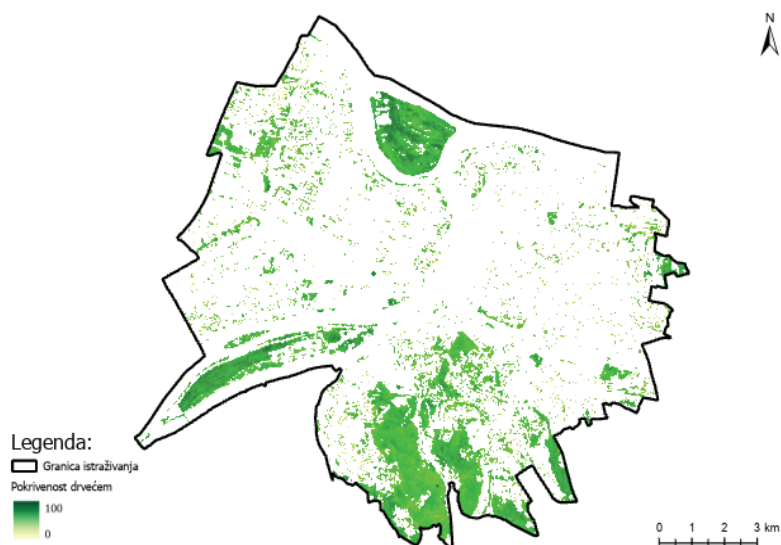


Slika 2. Temperatura tla u području istraživanja

Prosečna temperatura, prema dostupnim podacima, u definisanom području iznosi 8,9 °C i sva područja koja imaju iznadprosečnu temperaturu se mogu smatrati toplotnim ostrvom ili temperaturnom anomalijom ukoliko ja ta temperatura visoko iznad proseka, kao što je slučaj sa delovima Novog Beograda (IMT, GSP depo), Starog Grada, Palilule, Zvezdare i Zemuna. U širem posmatranju ovih rezultata može se zaključiti da se samo delovi oko reka i gradskih šuma ne mogu svrstati u toplotna ostrva.

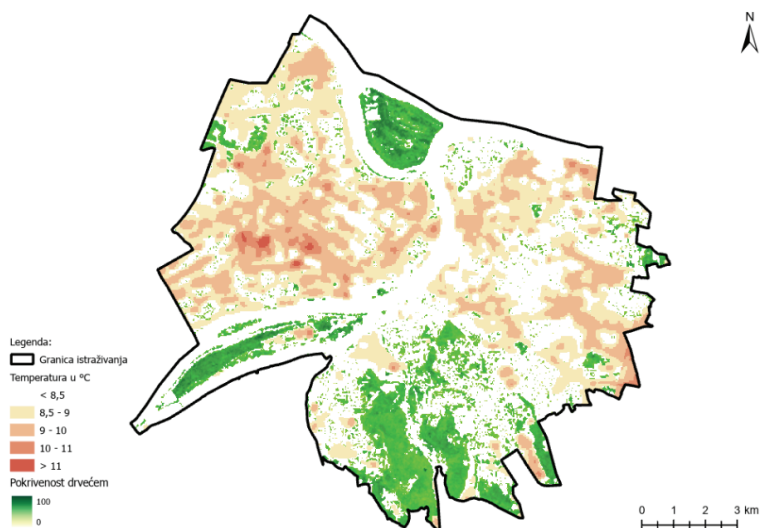
Indikator 2 – Pokrivenost zelenom infrastrukturom

Drugi deo indikatora predstavljaju podaci o pokrivenosti zelenim površinama, konkretno pokrivenost drvećem. Podaci koji su korišćeni u te svrhe su podaci iz rastersog servisa *Tree Cover Density 2018 (raster 10 m), Europe, 3-yearly, Sep. 2020*, koji su preuzeti sa Copernicus Land Monitoring servisa. Ovi podaci su u rezoluciji 10 metara, sa vrednošću piksela od 0 do 100, gde svaka vrednost predstavlja procenat pokrivenosti površine tog piksela drvećem.



Slika 3. Pokrivenost zelenim površinama u području istraživanja

Nakon pronalaska i obrade ulaznih podataka, pristupljeno je analizi i računanju indikatora ugroženosti toplotom. Prvo je odrađena analiza prostornog preklapanja površina gde je površina tla preko 8,5 °C i zelenih površina, kako bi se potvrdila hipoteza da zelene površine zaista imaju pozitivan uticaj na suzbijanje efekta toplotnih ostrva u gradskim sredinama.



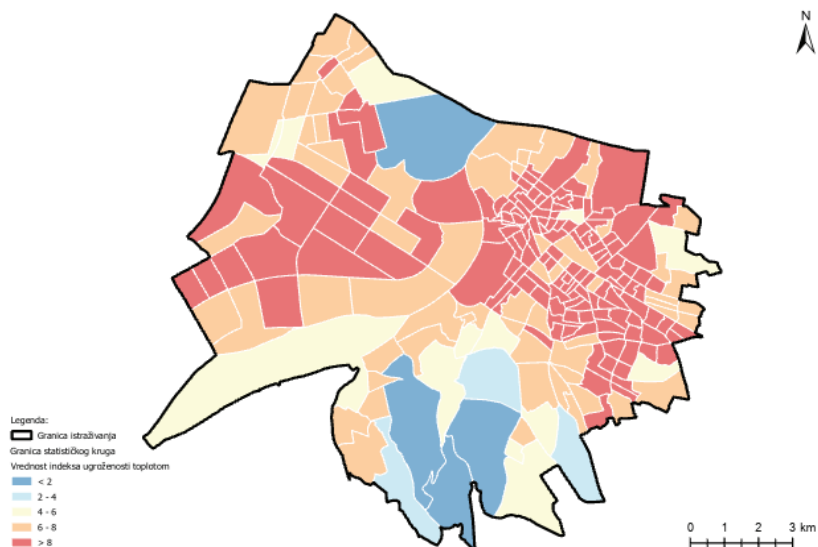
Slika 4. Distribucija toplotnih ostrva i zelenih površina

Identifikacija ugroženih delova urbanog tkiva na području Beograda uz pomoć indeksa toplote

Rezultati pokazuju to da se na mestima nadprosečnih visokih temperatura tla nalazi jako malo ili nimalo zelenih površina i obrnuto, a takođe se može primetiti kako izolovane zelene površine značajno utiču na smanjenje temperature (npr. Botanička bašta, park Šumice, Bajfordova šuma).

Sumiranje podataka

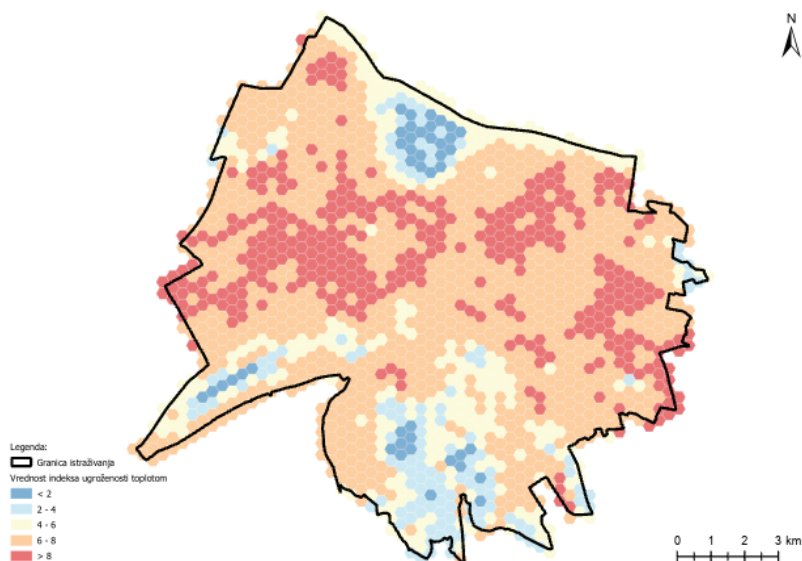
Kao što je već napomenuto, sumiranje/agregiranje podataka je urađeno na dva nivoa, nivou statističkog kruga i na nivou zona/mreže heksagona površine 10ha. Sumiranje je urađeno tako što je za svaki statistički krug/zonu primenom zonske statistike izračunata prosečna temperatura tla i prosečna vrednost piksela pokrivenosti zelenim površinama. Nakon toga je odrađena standardizacija vrednosti oba indikatora na skalu od 1 do 10, nakon čega je vrednost pokrivenosti oduzeta od vrednosti temperature tla i nakon čega je dobijena konačna vrednost indeksa ponovo standardizovana na skalu od 1 do 10, kako bi se dobila konačna vrednost na osnovu koje je izvršena klasifikacija zona.



Slika 5. Statistički krugovi prema indeksu ugroženosti toplote

Rezultati govore da su toplotnim rizicima najugroženiji veliki delovi Novog Beograda, kao i Savskog Venca, Starog Grada, Vračara i Zvezdare, dok su manje pogođeni prostor opština Čukarica i Voždovac. Kada se pogleda statistički, čak 145 od 229 (63,3%) statističkih krugova spada u najugroženiju kategoriju, dok u dve kategorije najnižeg rizika spada samo 7 statističkih krugova.

Uz pomoć heksagonalne mreže, na isti način, dobijeni su nešto detaljniji rezultati koji prikazuju zone koje su najugroženije toplotnim rizicima. Rezultati su više manje slični i kao najugroženije zone se izdvajaju delovi Novog Beograda, Starog grada, Palilule i delovi Zvezdare i Voždovca, kao i sam centar Zemuna, koji se nalaze u najugroženijoj zoni. Svakako, najviše zona se nalazi u zoni od 6 do 8 vrednosti indeksa, što je druga najugroženija zona i s toga se može zaključiti da je sam centar Beograda veoma ugrožen toplotnim rizicima.



Slika 6. Heksagonalna mreža prema indeksu ugroženosti toplote

ZAKLJUČAK

Nakon izračunavanja indeksa toplotnog rizika, na teritoriji Beograda jasno su se izdvojila najugroženija područja ugrožena efektima urbanih toplotnih ostrva. Primena ove metode je izdvojila pojedine mikrolokacije (npr. kompleks bivše fabrike IMT i depo GSP-a na Novom Beogradu), ali i pokazala da su skoro čitave površine opština ugrožene (Vračar i Stari Grad). Sumiranjem podataka na statističke krugove pokazalo se da je velika većina stanovništva centralnih delova Beograda izložena većem ili manjem intenzitetu štetnog uticaja urbanih toplotnih ostrva. Samo statistički krugovi uz velike zelene i vodne površine imaju zadovoljavajuće rezultate.

Postojeća analiza bi se mogla unaprediti ukoliko bi podaci o broju stanovnika u statističkim krugovima bili javno dostupni te bi se indeks toplotnog rizika mogao u potpunosti izračunati, odnosno dovesti u vezu sa izloženim stanovništvom. Na taj način bi imali pouzdane podatke o brojnosti ugrožene populacije, što bi bilo dobra osnova za detaljnija istraživanja o uticaju na zdravlje, životni vek itd. Takođe, analiza bi mogla značajno da se unapredi podacima o lokacijama intervencija hitne pomoći na javnim mestima povezanim sa toplotnim udarima u letnjim mesecima, te da se utvrdi postoji li međuzavisnost ovih pojava.

Indeks toplotnog rizika je dobra polazna tačka za uključivanje fenomena toplotnih urbanih ostrva u prostorno i urbanističko planiranje. Na osnovu dostupnih podataka bi se u planove u čijem su obuhvatu najugroženija područja moglo delovati kroz povećanje zelenih površina, a naročito kada su u pitanju najugroženije mikrolokacije.

LITERATURA

Suh, C. (2019). The urban heat island effect in Montréal: Effective policy through an interdisciplinary perspective. Samuel Centre for Social Connectedness. <https://www.socialconnectedness.org/wp-content/uploads/2019/10/The-Urban-Heat-Island-Effect-in-Montre%CC%81al.pdf>

Mills, Gerald. (2008). Luke Howard and The Climate of London. *Weather* 10.1002/wea.195

Assenova, I. A., Vitanova, L. L., & Petrova-Antonova, D. (2024). Urban heat islands from multiple perspectives: Trends across disciplines and interrelationships. *Urban Climate*, 56, 102075. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102075>

U.S. Environmental Protection Agency. (2014). Urban heat island basics. In *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-06/documents/basicscompendium.pdf>

Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2024). Sezonski bilten za Srbiju: Leto 2024. godine. <https://www.hidmet.gov.rs/data/klimatologija/latin/leto.pdf>

Gilbert, M. (2022, October 6). Build a heat risk index for local climate planning: Part 1 of 3. Esri. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/imagery/heat-resilience-planning-part-1>

European Environment Agency. (2020, September 18). Tree Cover Density 2018 (raster 10 m), Europe, 3-yearly. Copernicus Land Monitoring Service. <https://doi.org/10.2909/486f77da-d605-423e-93a9-680760ab6791>

Esri. (n.d.). Multispectral Landsat (landsat-8) [Image service]. ArcGIS Online. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d9b466d6a9e647ce8d1dd5fe12eb434b>