

DALJINSKA DETEKCIJA KAO ALAT ZA IDENTIFIKACIJU ZONA PLANSKIH PRIORITETA - PRIMER OPŠTINE VOŽDOVAC

Nikola Smolović¹

Apstrakt: Savremeni procesi urbanizacije, posebno u periurbanim zonama velikih gradova, nameću potrebu za primenom analitičkih alata koji mogu pružiti pouzdanu i prostorno utemeljenu podršku donošenju planskih odluka. U tom kontekstu, daljinska detekcija predstavlja značajan izvor podataka za sagledavanje stanja i prostornih obrazaca prirodnih i izgrađenih elemenata prostora. Cilj ovog rada je da se ispita uloga daljinske detekcije kao alata za identifikaciju zona planskih prioriteta, na primeru opštine Voždovac, koja predstavlja tipično periurbano područje sa izraženim kontrastima između urbanih celina i prostora sa prirodnim karakteristikama.

Metodološki pristup zasniva se na integraciji pokazatelja stanja vegetacije (NDVI), temperature površine zemljišta (LST) i podataka o korišćenju zemljišta (LULC). Ovi indikatori korišćeni su kao analitički okvir za izdvajanje zona različitog ekološkog i mikroklimatskog značaja, pri čemu daljinska detekcija nije tretirana kao sredstvo za donošenje konačnih planskih odluka, već kao alat za podršku planskom procesu. Rezultati ukazuju na jasne prostorne razlike između zona sa visokim potencijalom očuvanja i zona u kojima su potrebne planske intervencije usmerene ka unapređenju zelenih struktura i mikroklimatskih uslova.

Rad potvrđuje da primena daljinske detekcije može značajno doprineti unapređenju analitičke osnove prostornog planiranja, posebno u kontekstu upravljanja razvojem periurbanih područja.

Glavne reči: daljinska detekcija, prostorno planiranje, periurbani prostor, NDVI, LST, LULC

REMOTE SENSING AS A TOOL FOR IDENTIFYING PLANNING PRIORITY ZONES – A CASE STUDY OF THE VOŽDOVAC MUNICIPALITY

Abstract: Contemporary urbanization processes, particularly in peri-urban areas of large cities, require analytical tools capable of providing reliable and spatially explicit support for planning decision-making. In this context, remote sensing represents an important source of data for assessing the spatial patterns and conditions of both natural and built environments. The aim of this paper is to examine the role of remote sensing as a tool for identifying zones of planning priorities, using the municipality of Voždovac as a case study. This area represents a typical peri-urban space characterized by pronounced contrasts between compact urban areas and zones with natural features.

The methodological framework is based on the integration of vegetation condition indicators (NDVI), land surface temperature (LST), and land use/land cover (LULC) data. These indicators are applied as an analytical basis for distinguishing zones of different ecological and microclimatic significance. Remote sensing is not treated as a means of making final planning decisions, but rather as a screening tool that supports the planning process by highlighting areas requiring different planning approaches. The results reveal clear spatial differences between zones with high conservation potential and zones where planning interventions aimed at improving green infrastructure and microclimatic conditions are needed.

¹ Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet, smolovic.cirko@gmail.com,
ORCID: 0009-0007-8546-6721

The study demonstrates that remote sensing can significantly enhance the analytical foundation of spatial planning, particularly in the context of managing development in peri-urban areas.

Key words: remote sensing, spatial planning, peri-urban areas, NDVI, LST, LULC

UVOD

Intenzivna urbanizacija i širenje izgrađenih struktura u periurbanim zonama dovode do značajnih promena u načinu korišćenja zemljišta, što direktno utiče na ekološku stabilnost prostora i kvalitet životne sredine. Promena prirodnih i vegetacionih površina u građevinske i infrastrukturne zone remeti energetske bilans površine, povećava temperaturu zemljišta i doprinosi formiranju lokalnih termalnih anomalija (Saha et al., 2024; Connors et al., 2013). Ovi procesi imaju posebno izražen značaj u prostornom planiranju, jer utiču na mikroklimatske uslove, kvalitet vazduha, vodni režim i ukupnu održivost urbanog sistema.

Savremeno prostorno planiranje zahteva precizne, kvantitativno zasnovane informacije o stanju i promenama u prostoru. Daljinska detekcija i GIS omogućavaju sistematsko praćenje promena u načinu korišćenja zemljišta, kao i analizu vegetacionog pokrivača i termalnih karakteristika prostora (Seyam et al., 2023; Xu & Zheng, 2024). NDVI analiza se u tom kontekstu koristi kao indikator intenziteta i zdravstvenog stanja vegetacije, dok analiza temperature površine zemljišta (LST) omogućava identifikaciju termalno opterećenih zona i prostora sa smanjenom ekološkom funkcionalnošću (Gandhi et al., 2015; Saha et al., 2024).

U planerskoj praksi, podaci o načinu korišćenja zemljišta predstavljaju osnovu za definisanje razvojnih pravaca, zoniranje i usmeravanje investicionih aktivnosti. Međutim, statički prikaz postojećeg stanja često nije dovoljan za identifikaciju prioriteta intervencija. Integracijom vegetacionih i termalnih pokazatelja moguće je izdvojiti zone u kojima su negativni efekti urbanizacije najizraženiji i gde su potrebne planske mere usmerene ka revitalizaciji, ozelenjavanju ili promeni načina korišćenja prostora (Kennedy et al., 2009; Manapragada et al., 2025).

Posebno je značajno sagledati međusobnu vezu između smanjenja vegetacionog pokrivača i porasta temperature površine, jer se u tim zonama javljaju prostorne neusklađenosti između postojeće namene prostora i njegovih ekoloških kapaciteta. Takav pristup omogućava prelazak sa deskriptivne analize na normativni okvir planiranja, gde se prostor ne posmatra samo kroz postojeću funkciju, već i kroz njegovu sposobnost da dugoročno obezbedi održive uslove razvoja.

U tom kontekstu, cilj ovog rada jeste da ispita mogućnosti primene daljinske detekcije kao podrške prostornom planiranju kroz identifikaciju zona planskih prioriteta na primeru beogradske opštine Voždovac. Integracijom pokazatelja vegetacionog indeksa (NDVI), temperature površine zemljišta (LST) i načina korišćenja zemljišta (LULC) formira se analitički model za izdvajanje prostora sa povećanim ekološkim i termalnim opterećenjem, koji može poslužiti kao osnova za definisanje planerskih intervencija i usmeravanje budućeg prostornog razvoja.

METODOLOGIJA

Metodološki okvir istraživanja zasniva se na integraciji daljinske detekcije i GIS analize u cilju identifikacije zona planskih prioriteta.

Istraživanje je sprovedeno na teritoriji opštine Voždovac, pri čemu je iz analize izuzet najseverniji, dominantno urbanizovani deo opštine, s obzirom na to da cilj rada nije analiza gustog urbanog jezgra, već identifikacija kontaktnih i transformacionih zona između izgrađenih i prirodnih struktura. Takav pristup omogućava fokusiranje na prostorne segmente u kojima planerske intervencije mogu imati najveći efekat u pogledu unapređenja mikroklimatskih i ekoloških uslova.

Kao primarni izvor podataka korišćeni su Landsat 8 OLI/TIRS Collection 2 Level-2 snimci iz 2019. godine. Iz multispektralnih kanala izračunat je NDVI, kao standardizovani

indikator stanja vegetacije i intenziteta fotosintetske aktivnosti (Gandhi et al., 2015). NDVI omogućava razlikovanje površina sa razvijenim vegetacionim pokrivačem od degradiranih i izgrađenih površina, što ga čini pogodnim pokazateljem u planerskim analizama zelenih struktura (Seyam et al., 2023).

Temperatura površine zemljišta (LST) preuzeta je iz termalnog kanala (ST_B10) i konvertovana u stepeni Celzijusa primenom zvaničnih skalirajućih faktora Landsat proizvoda. Analiza LST ima poseban značaj u urbanim i periurbanim istraživanjima, jer omogućava identifikaciju termalnih anomalija i prostora sa povećanim mikroklimatskim opterećenjem (Saha et al., 2024; Connors et al., 2013). Prilikom obrade LST rastera registrovane su NoData vrednosti u pojedinim delovima analiziranog područja, koje su posledica maskiranja oblaka i atmosferskih korekcija. Ove vrednosti su isključene iz daljih analiza kako ne bi uticale na identifikaciju zona planskih prioriteta.

Podaci o načinu korišćenja zemljišta preuzeti su iz CORINE Land Cover baze (2018), koja pruža standardizovan prikaz funkcionalne organizacije prostora. U planerskom kontekstu, način korišćenja zemljišta predstavlja ključni element u definisanju prostorne strukture i identifikaciji zona potencijalne transformacije (Kennedy et al., 2009).

Zona planskog prioriteta definisana je kao prostor u kome se istovremeno javljaju nizak vegetacioni indeks i povišena temperatura površine zemljišta. Preklapanje kriterijuma izvršeno je raster analizom u GIS okruženju, čime su izdvojene površine sa kumulativnim ekološkim i termalnim opterećenjem. Radi eliminacije fragmentisanih i prostorno irelevantnih segmenata, izvršena je morfološka generalizacija rastera i uklanjanje površina manjih od 1 ha, čime su dobijene kompaktne i planerski relevantne zone.

Tabela 1. Pragovi za identifikaciju zona planskih prioriteta

Parametar	Opseg vrednosti	Interpretacija
NDVI	< 0,20	Nizak vegetacioni pokrivač
LST	> 35°C	Povišena temperatura površine
Površina zone	≥ 1 ha	Prostorno relevantna celina

Dobijene zone prioriteta potom su ukrštene sa podacima o načinu korišćenja zemljišta, čime je omogućena analiza njihove funkcionalne strukture i identifikacija tipova prostora u kojima se problemi najčešće javljaju. Ovakav pristup omogućava prelazak sa prostorne detekcije problema ka interpretaciji u planerskom okviru, što predstavlja ključni doprinos rada.

REZULTATI

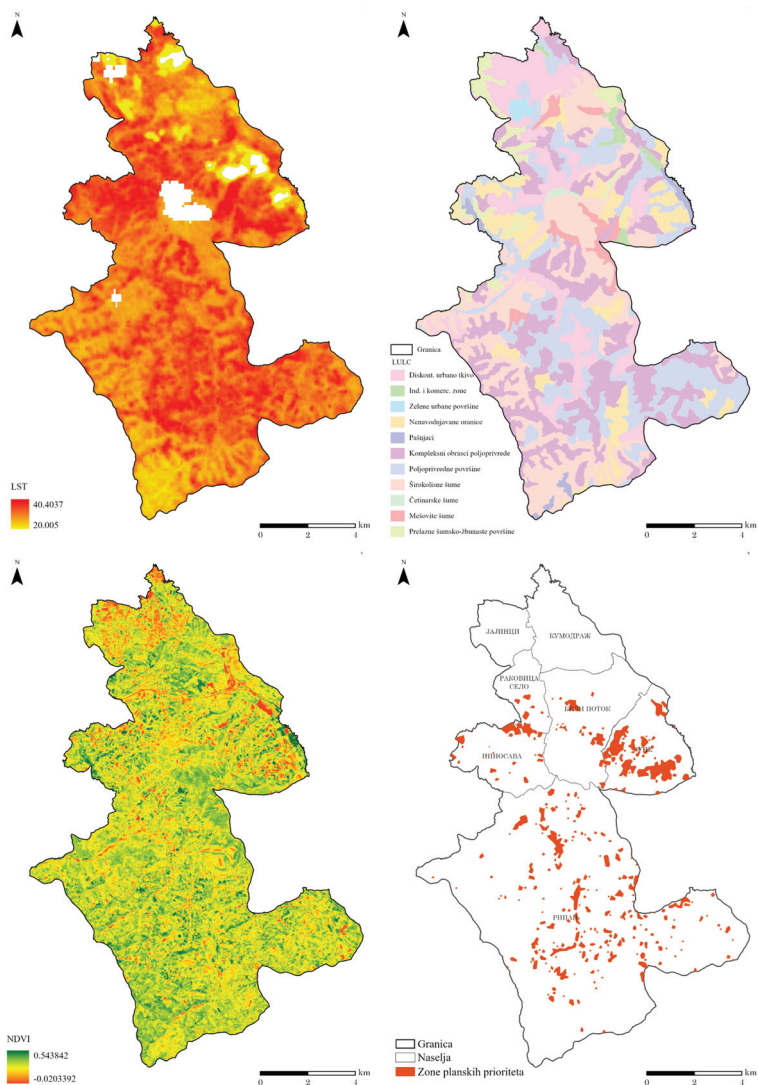
Preklapanjem kriterijuma niskog vegetacionog indeksa (NDVI) i povišene temperature površine zemljišta (LST) identifikovane su zone planskih prioriteta na teritoriji istraživanog dela opštine Voždovac. Nakon prostorne generalizacije i eliminacije površina manjih od 1 ha, ukupna površina izdvojenih zona iznosi 861,28 ha.

Tabela 2. Struktura zona planskih prioriteta prema tipu načina korišćenja zemljišta

Tip korišćenja zemljišta	Površina (ha)	Udeo (%)
Poljoprivredno zemljište	696,68	80,88
Urbane površine	81,88	9,51
Šumske površine	80,48	9,34
Prirodne/poluprirodne formacije	2,5	0,29
Ukupno	861,28	100,00

Daljinska detekcija kao alat za identifikaciju zona planskih prioriteta - primer opštine Voždovac

Rezultati prikazani u Tabeli 1 ukazuju na izrazitu koncentraciju zona planskih prioriteta unutar poljoprivrednih površina, koje obuhvataju više od četiri petine ukupne identifikovane površine. Ovakva raspodela sugerise da su upravo prostori sa mešovitom i fragmentisanom strukturom korišćenja zemljišta najpodložniji istovremenom javljanju povišene temperature površine i smanjenog vegetacionog pokrivača. Urbane površine učestvuju sa 9,51%, što potvrđuje prisustvo lokalizovanih termalnih žarišta unutar diskontinuirane izgradnje, dok šumske kategorije sa 9,34% ukazuju na pojavu rubnih ili degradacionih efekata u kontaktnoj zoni između urbanog i prirodnog prostora. Prirodne i poluprirodne formacije zastupljene su u zanemarljivom procentu, što potvrđuje da su dominantni problemi koncentrisani u tranzicionim pejzažima. Naselje koje ima najveću površinu pod zonama planskih prioriteta je Zuce.



Slika 1. Integrisana analiza LST, NDVI i LULC sa zonama planskih prioriteta

DISKUSIJA

Dobijeni rezultati ukazuju na jasnu prostornu povezanost između povišenih vrednosti temperature površine zemljišta (LST), sniženih vrednosti NDVI i određenih kategorija načina korišćenja zemljišta. Zone planskih prioriteta prostorno su koncentrisane u područjima sa izraženim termalnim stresom i deficitom vegetacije, što potvrđuje pretpostavku da degradirani i antropogeno transformisani prostori predstavljaju ključne tačke intervencije u planerskom smislu.

Visoke LST vrednosti registrovane su dominantno u zonama diskontinuiranog urbanog tkiva, industrijskim i komercijalnim zonama, kao i na poljoprivrednim površinama sa slabijim vegetacionim pokrivačem. Ovakav obrazac u skladu je sa nalazima istraživanja koja ukazuju da intenzivna urbanizacija i smanjeni vegetacioni pokrivač doprinose formiranju urbanih toplotnih ostrva i povećanju površinske temperature. NDVI analiza dodatno potvrđuje da su problematične zone povezane sa niskim stepenom fotosintetske aktivnosti, odnosno degradacijom ili nedostatkom vegetacije.

Posebno je značajno što su najveće kontinuirane zone prioriteta identifikovane u perifernim i prelaznim delovima opštine, dok je najurbanizovaniji severni deo, koji je izuzet iz analize kao nerelevantan za istraživački cilj, pokazao očekivano drugačiji morfološko-funkcionalni karakter. Time je metodološki fokus usmeren na prostorne jedinice u kojima planerske intervencije imaju najveći potencijal efekta.

Analiza preseka sa kategorijama načina korišćenja zemljišta pokazala je da dominantan deo površine zona prioriteta pripada poljoprivrednim kategorijama i diskontinuiranom urbanom tkivu. Ovo sugerše da problem nije isključivo vezan za visoko urbanizovane prostore, već i za tranzicione pejzaže u kojima dolazi do fragmentacije vegetacije i neadekvatnog upravljanja zemljištem. Takvi prostori predstavljaju tipične zone konflikta između urbanog širenja i prirodnih sistema, što potvrđuju i ranija istraživanja o ulozi daljinske detekcije u prostornom planiranju.

Metodološki pristup zasnovan na kombinovanju pragova LST i NDVI sa analizom načina korišćenja zemljišta pokazao se kao efikasan alat za identifikaciju prostornih prioriteta. Prednost ovog pristupa leži u njegovoj reproduktivnosti i mogućnosti primene na drugim urbanim i periurbanim sredinama. Međutim, treba naglasiti da je analiza zasnovana na satelitskim podacima jedne vremenske epizode, te sezonske varijacije i meteorološki uslovi mogu uticati na apsolutne vrednosti indikatora. U kontekstu prostornog planiranja, dobijene zone ne treba posmatrati kao restriktivne već kao indikativne – one predstavljaju signal gde je neophodno detaljnije planersko ispitivanje i definisanje mera poput povećanja urbanog zelenila, restrukturiranja poljoprivrednih površina ili kontrole širenja izgrađenih zona. Time daljinska detekcija i GIS analiza postaju alat podrške odlučivanju, a ne zamena za plansku proceduru.

ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja potvrđuju da integrisana primena daljinske detekcije i GIS analize omogućava efikasnu identifikaciju zona planskih prioriteta u heterogenim periurbanim sredinama. Kombinovanjem vegetacionog indeksa (NDVI), temperature površine zemljišta (LST) i podataka o načinu korišćenja zemljišta (LULC) izdvojene su prostorne celine sa istovremenim deficitom vegetacije i povišenim termalnim opterećenjem.

Analiza je pokazala da se dominantan deo zona prioriteta nalazi u poljoprivrednim i tranzicionim pejzažima, dok urbane površine učestvuju u manjem, ali prostorno značajnom obimu. Ovakav obrazac ukazuje da problem termalnog stresa i degradacije vegetacije nije ograničen isključivo na gusto urbanizovane prostore, već je izražen i u kontaktnoj zoni između urbanih i prirodnih sistema.

Primena praga površine od 1 ha omogućila je izdvajanje kompaktnijih i planerski relevantnijih zona, čime je metodološki pristup prilagođen potrebama prostornog planiranja. Dobijeni rezultati ne predstavljaju konačnu plansku odluku, već analitičku osnovu za dalje detaljnije prostorne i urbanističke studije.

Istraživanje potvrđuje da daljinska detekcija može predstavljati operativan alat u podršci planiranju, posebno u kontekstu adaptacije na klimatske promene i unapređenja zelene infrastrukture u periurbanim sredinama. Buduća istraživanja trebalo bi da uključe multitemporalne analize i dodatne socioekonomske pokazatelje, kako bi se model zona planskih prioriteta dodatno unapredio i prilagodio lokalnim planerskim praksama.

LITERATURA

- Copernicus Land Monitoring Service (CLMS). (2018). *CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 2020_20u1*. European Environment Agency. <https://land.copernicus.eu>
- Connors, J. P., Galletti, C. S., & Chow, W. T. L. (2013). Landscape configuration and urban heat island effects: Assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona. *Landscape Ecology*, 28(2), 271–283.
- Gandhi, G. M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and GIS – A case study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57, 1199–1210.
- Kennedy, R. E., Townsend, P. A., Gross, J. E., Cohen, W. B., Bolstad, P., Wang, Y. Q., & Adams, P. (2009). Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. *Remote Sensing of Environment*, 113(7), 1382–1396.
- Manapragada, S., Yao, Y., & Yu, C. (2025). Geospatial analytics and machine learning for sustainable urban planning: A systematic review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100615.
- Saha, S., Ghosh, S., & Roy, S. (2024). Assessing land use change and its impact on land surface temperature using remote sensing techniques. *Environmental Challenges*, 15, 100928.
- Seyam, M., Shams, M., & Hassan, M. (2023). Monitoring land use and land cover change using remote sensing and GIS techniques. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 26(3), 507–518.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2023). *Landsat 8–9 Collection 2 Level-2 Science Product Guide*. U.S. Department of the Interior. <https://www.usgs.gov>
- Xu, X., & Zheng, X. (2024). Remote sensing data analysis for urban planning: Integrating spatial metrics and land use change. *Urban Climate*, 55, 101928.