

## INVENTARIZACIJA URBANIH TOPLOTNIH OSTRVA MULTISPPEKTRALNOM ANALIZOM

Miško M. Milanović<sup>1</sup>, Nevena Nekić<sup>2</sup>, Tin Lukić<sup>3</sup>, Tomislav Đorđević<sup>4</sup>

**Apstrakt:** Vodene površine i vegetacija u urbanim zonama donose čitav niz prednosti, gde se smanjuje nivo zagađenja, omogućava se zasenčenje i prirodno hlađenje evapotranspiracijom. Takozvana urbana zeleno-plava zaštita, eliminiše troatomske čestice u vazduhu. Osnovni cilj ovog rada, jeste utvrđivanje uzročno-posledičnih veza između građevina, prateće infrastrukture, zelenila i vodnih tokova. Kada su te veze dobro uravnotežene, komfor stanovanja je na mnogo većem nivou. Multispektralnom analizom daljinskih snimaka, utvrđeni su uzročno-posledični odnosi izgrađene fizičke strukture (zgrade i infrastruktura) i raspodele sunčevog zračenja na životnu sredinu. Izvršena je procena nedostatka zelene vegetacije na nivou parcele, odnosno, stambenog bloka. Na ovaj način je moguće napraviti model koji će kvantifikovati evaporativni potencijal planirane listopadne vegetacije u zavisnosti od energije isparavanja lišća, što uključuje krošnje, smer vetra, vlagu, atmosferski pritisak, navodnjavanje biljaka i oblik fizičke strukture (parametre koji utiču na mikroklimu gradskog područja).

Ovaj rad se odnosi na urbanu celinu neposredno uz rečni tok, koji je analiziran u opciji sa i bez uličnih drvoreda, odnosno zelenih fasada i krovova. Zaključeno je da urbano zelenilo redukuje temperaturu površinskog sloja zemljišta do 4,5 oC.

**Ključne reči:** inventarizacija, multispektralna analiza, toplotna ostrva, urbana zona.

## DETECTING OF URBAN HEAT ISLANDS BY MULTISPECTRAL ANALYSIS

**ABSTRACT:** Water area and vegetation of urban zone bring benefit of environment. So-called blue-green protection are well known – they intercept airborne three-atom particles reducing pollution levels; they provide shade and cooling by evapotranspiration. The basic aim of this research is an attempt to ecological balance the conflicting impacts between the buildings and their infrastructure, greenery and water bodies of the surrounding area. When they are well balanced, living and heating comfort and the reduction of fossil fuels use for cooling of the urban area are at an acceptable level. By multispectral analysing of remote sensing images, the effect relationship of the envelope of the built up structures and of the solar radiation

---

1 Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd, Srbija, email: misko@gef.bg.ac.rs

2 Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd, Srbija, email: misko@gef.bg.ac.rs

3 Univerzitet u Novom Sadu, PMF, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad, Srbija: lukic021@gmail.com

4 Evropski centar za mir i razvoj – ECPD, Beograd, Srbija: tdjordjevic99@gmail.com

distribution on the environment, the estimation of the lack of green vegetation on the parcel was carried out. Now it is possible to create a prediction model that will incorporate this low temperature deciduous vegetation into the urban spaces with regard to the canopy evaporation potential, wind direction, humidity, atmosphere pressure, irrigations, and physical urban shape – the features which affect the microclimate of the urban area.

This article, showing water area of urban zone was analyzed with and without street tree line, green facades and roofs. It was concluded that the urban vegetation reduced the land surface temperature by up to 4.5 °C.

**Keywords:** Detecting, Multispectral Analysis, Heat Islands, Urban Area.

## **UVOD**

Do sada je bilo brojnih teorijskih i eksperimentalnih radova koji su kvantifikovali ove prednosti. (Jetse Kalma at al., 2008; A.Bannari at al., 2016; Martin F. Grbulsky, 2011; Noyingbeni Kikon at al., 2016). Zelene površine urbanih zona predstavljaju osnovnu zaštitu od zagađenja čvrstim česticama, ali i od toplotnog zagađenja. Daljinskom detekcijom, odnosno multispektralnom analizom će se utvrditi specifični procesi unutar samih elemenata urbanih celina i doneti zaključci za sprečavanje, sanaciju i dalju zaštitu istih. Vrednosti koje će se dobiti primenom ove metode poslužiće kao osnova za kontrolu stanja javnih zelenih površina. Isti princip je i za vodene površine u gradovima, gde se najčešće misli na rečne tokove. Zato je potrebno stvoriti što bolju metodologiju koja će obezbediti tačne, sigurne i proverljive rezultate u primeni daljinske detekcije/multispektralne analize, a važno je i utvrđivanje lokacije antropopresije na zelene površine na području gradova. Multispektralnom analizom je moguće utvrditi pravila javljanja određenih pojava i prostorni raspored istih, upoređivanje urbanističko/prostornih podataka kroz analizu namene zemljišta. Rezultat koji proizilazi iz svega navedenog, jeste utvrđivanje stanja vegetacije, kao i uzročno-posledičnih veza na relaciji ljudske aktivnosti – gradske zelene površine i vodene površine u gradu. Ovde se postavlja osnovno pitanje, da li su ljudi, podaci i životna sredina međusobno povezani razumevanjem posmatranih podataka iz našeg okruženja? Da li možemo da merimo naš uticaj na antropogene promene? Kako odrediti meru između planerskih želja i mogućnosti specifičnog okruženja, odnosno, vegetacije u urbanim uslovima?

Zato je potrebno pre svega utvrditi trenutno stanje vegetacije na daljinskim snimcima, utvrditi stanje vodenih površina, najčešće vodenih tokova, utvrditi apsolutnu površinu gubitka zemljišta na račun širenja stambenih objekata ( $m^2$ ) i površina pod vegetacijom ( $m^2$ ), kao i površina uništene vegetacije.

I na kraju, potrebno je prikazati uticaj sociodemografskih faktora na izmenjeno stanje vegetacije i čitave urbane zone. Autori će pokušati da prikažu načine na koji su popisali urbana toplotna ostrva metodom multispektralne analize.

## **MATERIJALI I METODE**

Multispektralna analiza, kao posebna metoda daljinske detekcije, predstavlja upoređivanje spektralnih odnosa na snimcima (Jensen R., 2007). Ona je morala biti primenjena zbog kompenzacije nijansi boja, koje su odstupale od prirodnih boja, a prouzrokuje ih promenljivost topografije. Ova analiza obuhvata sistem funkcionisanja: intenzitet – boja – zasićenost. Intenzitet se odnosi na sjaj boje, boja na dominantnu srednju vrednost talasne dužine svetlosti koja utiče na boju, a zasićenje je nijansa boje u odnosu na belu (Milanović M., Lješević M., 2009; Milanović M., Valjarević A., Lukić T., 2020). Za potrebe ovog naučnog rada, korigovane su se greške, potom se računao koeficijent korelacije ili koeficijent odstupanja korigovanog snimka od originala, što se dobija (Jacobsen K., 2002):

$$P_n = \frac{P}{P + \Gamma + B} \times \text{ПАИ}$$

$$\Gamma_n = \frac{\Gamma}{P + \Gamma + B} \times \text{ПАИ}$$

$$B_n = \frac{B}{P + \Gamma + B} \times \text{ПАИ}$$

R – snimak dobijen sa crvenog spektralnog kanala

R<sub>n</sub> – nov ili korigovan snimak sa crvenog kanala

G – snimak dobijen sa zelenog spektralnog kanala

G<sub>n</sub> – nov ili korigovan snimak sa zelenog kanala

B – snimak dobijen sa plavog spektralnog kanala

B<sub>n</sub> – nov ili korigovan snimak sa plavog kanala

PAN – panhromatski snimak

Potom se pristupilo transformaciji jačine, nijansi i zasićenosti (Jacobsen K., 2002). Koeficijenti za ova tri parametra su dobijeni na sledeći način:

$$n = \max(P, \Gamma, B)$$

$$L = \frac{P + \Gamma + B}{3}$$

$$L' = \frac{\max(P, \Gamma, B) + \min(P, \Gamma, B)}{2}$$

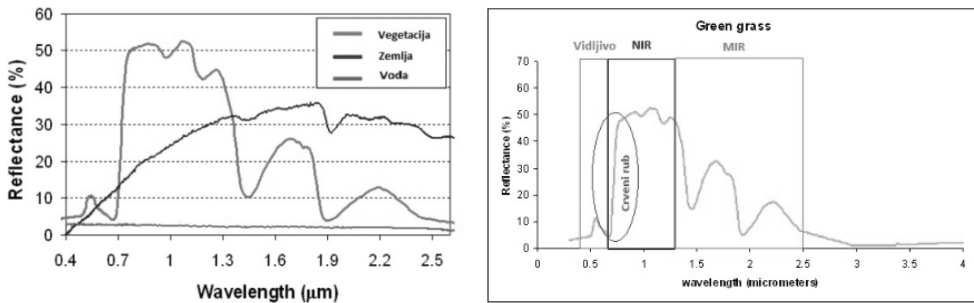
L – maksimalni koeficijent jačine boja sva tri kanala

L – aritmetička sredina nijanse boja sva tri kanala

L' – koeficijent zasićenosti bojom

Zbog problema nastalih korišćenjem snimaka iz vidljivog spektra (promena boje lišća, zeleni automobili, različite osvetljenosti područja i sl.), potrebno je bilo pristupiti pojačavanju/smanjanju vanju nijanse, kontrasta i intenziteta boje na snimku. što je naročito važno za detekciju vegetacije. Najveća revolucija u ovom području, predstavlja ideju da se posmatra spektar upijanja svetlosti gde se vegetacija jasno može razlikovati od drugih objekata, jer vegetacija bogata hlorofilom ima specifičan spektar upijanja svetlosti iz kojeg se računaju različiti parametri (tzv. indeksi vegetacije).

Kad elektromagnetno zračenje pogodi metu, moguće je propuštanje, reflektovanje ili upijanje tog zračenja. Deo zračenja koji se reflektuje, razlog je zbog kojeg mi, svojim okom, vidimo različite objekte i raspoznamo različite boje. Različite boje zavise od kombinacije različitih talasnih dužina koje se reflektuju od objekata i one čine tzv. vidljivi deo spektra elektromagnetnog zračenja. Refleksija se izražava kao udeo ukupne količine energije koja je pogodila objekat i poprima vrednost između 0 (nema refleksije) i 1 (potpuna refleksija). Iscrtavanjem vrednosti refleksije za raspon talasnih dužina čini spektralnu krivulju ili spektralni potpis objekta.



*Slika 1. Refleksija objekata prema talasnim dužinama (levo) i skok refleksije za vegetaciju u crvenom vidljivom delu i bliskom infracrvenom spektralnom području (desno)*

Na slici desno vidljiv je takozvani „crveni rub“ koji predstavlja nagli skok u spektru između velikog upijanja talasnih dužina vidljive crvene i jake refleksije u bliskom infracrvenom području (NIR) području. Za vidljivi deo spektra je zaslužan hlorofil koji se nalazi u vegetaciji i koji najviše upija crvenu svetlost, a reflektuje zelenu (otud zelena boja). Količina refleksije u NIR području je jako izražena i upravo to svojstvo je pogodno za detekciju vegetacije. To izraženo tranziciono područje spektra je za računanje različitih karakteristika vegetacije, tzv. indeksa vegetacije koji se koriste u postupku detekcije i klasifikacije rastinja.

U ovom radu su korišćeni satelitski snimci sa satelita LANDSAT 8.

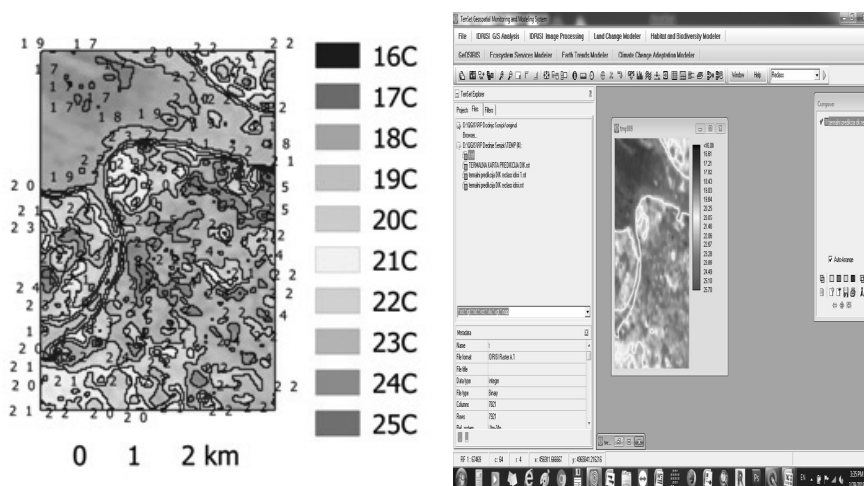
## **REZULTATI I DISKUSIJA**

Odgovarajuća vegetacija u toku letnjeg perioda može biti veoma efikasna mera koja istovremeno pruža i dopunjuje nekoliko mehanizama hlađenja, evaporativno hlađenje i evapotranspiraciju, tj. hlađenje na prirodnoj bazi. Multisppektralnom analizom utvrdiće se i kartirati zone vegetacije, bolesno i zdravo. Odnosno, one vegetativne zone koje mogu da pruže najveći evaporativni potencijal sa efektom hlađenja isparavanjem. Tako da će se kroz predikcioni urbani model analizirati efekti zelene infrastrukturne u cilju eventualnog smanjenja emisije „toplotnih ostrva“.

Predpostavlja se da u određenom vremenskim uslovima gde je prosečna vlažnost vazduha do max 60% zasićenja, i brzinom kretanja vetra od 0,5m/s, otvara se mogućnost da se utiče na povoljniju mikro klimu i smanjenje troškova za hlađenje zgrada, a samim tim i ukupnu emisiju CO<sub>2</sub>.

Učinak urbanih toplotnih ostrva (urban heat island), korespondira sa veličinom i geometrijom strukture grada i gustinom populacije, tako da više izgrađena urbana sredina ima veći efekat toplotnih ostrva. Kod manjih centara sa manje gustinom izgrađenosti se takodje pokazuje fenomen toplotnih ostrva.

Opseg urbanih toplotnih ostrva se prema tome razlikuje od grada do grada i nije moguće napraviti generalizaciju po tom pitanju. Toplotna ostrva se mogu razviti u džepovima i oko pojedinačnih zgrada a temperaturne razlike mogu biti i do 4,5 ° C na relativnom malom području.



Slika 2. Termalna karta, Beograd na vodi, Landsat 8, avgust 2013, - levo, kontrolna termalna karta, Beograd na vodi, Idrisi softver – desno

Tri faktora urbanog dizajna dodatno doprinose razvoju toplotnih ostrva, što je uočeno na snimcima i to:

- Visina i razmak zgrada i njihova orijentacija u odnosu na prevladavajući vetar ograničavaju protok vazduha i mešanje i time ograničavaju hlađenje.
- U urbanim područjima sa dubokim uličnim kanjonima (visoke zgrade u odnosu na širinu ulice) i visoke gustine zgrada, postoji gusti unos otpadne toplote iz ljudskih aktivnosti.
- Tip omotača zgrade (laki ili teški), apsorbira više toplotne energije toplotnom inercijom zgrada koja uzrokuje potrebe za većom potrošnjom energije za unutrašnje hlađenje, a kasnije ista energija se emituje i nakon zalaska sunca.

Urbana klima se može efektivno modifikovati promenom količine toplotne energije koja se apsorbira, skladišti i prenosi, usvajanjem strategija hlađenja. Vegetacija može biti veoma efikasan činilac u optimizaciju mikro klime jer istovremeno pruža i dopunjava nekoliko mehanizama hlađenja.

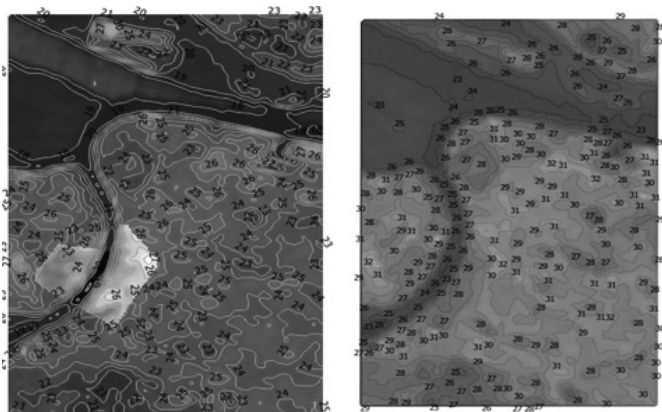


Slika 3. Bolesna/zdrava vegetacija, - levo, Bolesna/zdrava vegetacija preklapljena sa termalnom kartom – desno

Mehanizmi vegetativnog hlađenja:

Evaporativno ili adijabetsko hlađenje i evapotranspiracija često se naziva hlađenje isparavanjem, mada se u suštini vegetacija ne hladi, već manje greje. Kroz isparavanje, ulazna energija se koristi za pretvaranje vode u vodenu paru. Energija se koristi da pokrene proces isparavanja, a ne da se prenese za razmenu toplote koju mi osećajamo. Primera radi blizina rečnog toka, vodopada, fontane, je prirodan proces kada kapljice raspršene vode prilikom isparavanja oduzimju toplotu okolini. Prelazom iz tečnog u gasovito stanje, stvara se osećaj hlađenja. Tokom isparavanja voda oduzima potrebnu toplotu za isparavanje vazduha u kojem se nalazi te ga tako rashlađuje.

U primeru koji sledi utvrdiće se da je vegetacija retko zastupljena u centralnim delovima grada. Da zone oko dveju reka, zatim Veliko ratno ostrvo, Košutnjak, Kalimegdan i dr., sa većom zastupljenošću stabala (šume), utiču na proces hlađenja okolne isparavanjem. Ovo je glavni doprinos smanjenju urbanih toplotnih ostrva.



*Slika 4. Termalna karta, Beograd na vodi, septembar 2016 - levo, termalna karta, Beograd na vodi, avgust 2018 – desno*

Zdrava vegetacija od koje se očekuje evapotranspiracija u cilju hlađenja fizičke strukture ima smisla samo kada je vlažnost vazduha do 70% optimalno stanje je 55%. Posebno je važno detektovati zdravu vegetaciju sa kvalitetnom evapotranspiracijom koja utiče na efekat smanjenja temperature okoline. Permanetnim strujanjem vazduha omogućava se smanjenje zasićene vlage u vazduhu. Da bi se ovi principi realizovali, potrebno je registrovati pravce strujanja vazduha, odnosno, zone razlike u atmosferskim pritiscima. Primera radi, u Beogradu se uočava strujanje vazduha od reka prema centralnim delovima grada koja su na višim kotama (hram Sv. Save, Kalimegdan). Kumulativne ulice koje se prostiru u tom pravcu imaju ulogu provetranja grada princip „kanjon ulica“ (Schuch, F., Marpu, P., Masri, D., Afshari, A., 2017). Rezultat svega je da se u toku letnjih meseci vazduh kreće jako sporo, manje od 1 km/h. Kako je brzina jako mala, jako je važno da se ne stvaraju veštačke barijere u smislu neracionalne izgradnje. Objekti koji su planirani ili se planiraju u pravcu dominantnog vetra, stvaraju barijere i vazdušne turbulencije koje gomilaju čestice prašine i smanjuju protok vazduha, što podiže apsolutnu vlagu do nivoa zasićenja. Na taj način onemogućavaju da evotranspiracijom hladimo fizičke strukture. Ovo je važno kada efekti prirodnog hlađenja prestaju da daju efekte.

Senka ili hlad detektovan na satelitskim snimcima pomaže u borbi protiv toplotnih ostrva u gradu na tri načina. Prvo, ograničavanjem sunčeve toplote, ograničava se skladištenje energije i zagrevanje lokalnog okruženja koje se kroz toplotnu inerciju kasnije dešava. Drugo, smanjuje se direktna energija kroz omotač objekta posebno prozore i smanjuje efekat staklene bašte unutar same zgrade. Smanjenje potražnje za klimatizacijom dovodi do uštede energije i troškova i smanjuje emisiju otpadne toplotne energije. Konačno, senka štiti ljude od direktnog izlaganja suncu. Senka od stabla zavisi od oblika krošnje (široko je najbolje) i njene gustine. Gusto dr-

veće blokira više dolaznog sunčevog zračenja, smanjujući solarno zagrevanje, ali i smanjuje infiltraciju svetlosti. Kako upotreba veštačkog osvetljenja može dovesti do lokalnog zagrevanja, potrebna je ravnoteža. Veličina hlađenja takođe zavisi od brzine rasta stabla i dugovečnosti, i od položaja stabla u odnosu na zgradu koju treba zasenčiti.

## **ZAKLJUČAK**

Rezultati do kojih se došlo pokazuju da se na satelitskim snimcima iz različitih vremenskih perioda, tačno mogu utvrditi antropogeni uticaji na vegetaciju i vodene površine u gradovima. Odnosno, podaci za površine pod vegetacijom, kao i određeni objekti, koji postoje u aktuelnom katastru namene zemljišta, nisu vidljivi na daljinskim snimcima. Takve strukture uopšte ne postoje, ali se i dalje vode u zemljišnim knjigama. Na ovaj način je moguće napraviti model koji će kvantifikovati evaporativni potencijal planirane listopadne vegetacije u zavisnosti od energije isparavanja lišća, što uključuje krošnje, smer vetra, vlagu, atmosferski pritisak, navodnjavanje biljaka i oblik fizičke strukture (parametre koji utiču na mikroklimu gradskog područja).

Ovaj rad se odnosi na urbanu celinu neposredno uz rečni tok koji je analiziran u opciji sa i bez uličnih drvoreda, odnosno zelenih fasada i krovova. Zaključeno je da urbano zelenilo redukuje temperaturu površinskog sloja zemljišta do 4,5 °C.

Na kraju, multispektralna analiza se pokazala kao najpogodnija metoda za popis i analizu toplotnih ostrva u gradovima. Ovaj rad predstavlja nov način za kontrolu rečnog priobalja, vegetacije i toplotnih ostrva u urbanim uslovima i prikazuje smernice za upravljanje kompleksnim sistemom životne sredine. Ovakva vrsta istraživanja može predstavljati početak novog proučavanja toplotnih ostrva gradova i oslonac je za dalje segmente istraživanja.

## **LITERATURA**

- A.Bannari, D.Morin and F.Bonn (2016): "A Review of Vegetation Indices". Remote Sensing Reviews, Vol.13, pp. 95-120, source: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02757259509532298>
- Jacobsen K. (2002): „Comparison of High Resolution Mapping From Space”, INCA, Ahmedabad, India.
- Jensen J. R. (2007): „Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective”, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 608 pp.
- Jetse Kalma, Tim McVicar, Matthew McCabe (2008): "Estimating Land Surface Evaporation: A Review of Methods Using Remotely Sensed Surface Temperature Data", AUS; Surv Geophys 29, pp.421-469. Source: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10712-008-9037-z>
- Lješević M. (2010): Životna sredina – teorija i metodologija istraživanja, Fakultet za primenjenu ekologiju FUTURA, Univerzitet Singidunum, NVO EKORIZIK, Beograd.
- Martin F. Grbulsky, (2011): "The photochemical reflectance index (PRI) and remote sensing of leaf canopy, and ecosystem radiation use efficiencies", ELSEVIER. Source: <http://www.elsevier.com>
- Milanović M., Lješević M. (2009): Teledetekcione metode istraživanja životne sredine, Geografski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Milanović M., Valjarević A., Lukić T. (2020): Daljinska detekcija u životnoj sredini, Geografski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Noyingbeni Kikon, Prafull Singh, Sudhir Singgh and Anjana Vyas, (2016): Assessment of urban heat islands (UHI) of Noida City, India using multi-temporal satellite data", Sustainable Cities and Society, ELSEVIER, Source: <https://www.elsevier.com>
- Schuch, F., Marpu, P., Masri, D., Afshari, A. 2017. Estimation of urban air temperature from a rural station using remotely sensed thermal infrared data. Energy Procedia 143, 519-525.