

# ANALIZA URBANIZACIJE GRADA ZAGREBA

doc. dr. sc. Mateo Gašparović<sup>1</sup>, izv. prof. dr. sc. Mladen Zrinjski<sup>2</sup>, Antonija Veselski, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.<sup>3</sup>

1 Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, [mgasparovic@geof.hr](mailto:mgasparovic@geof.hr)

2 Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, [mzrinjski@geof.hr](mailto:mzrinjski@geof.hr)

3 Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, [aveselski@geof.hr](mailto:aveselski@geof.hr)

## SAŽETAK

Jedan od problema današnjice je iseljavanje stanovništva iz ruralnih dijelova u urbane. Gradovi postaju prenaseljeni, a posljedično tome i preizgrađeni. Zbog velike potrebe za novim stambenim i poslovnim objektima u zadnjih nekoliko desetaka godina, zelene zone poput parkova nerijetko postaju izgrađene. U gradovima se sve manje mjesta ostavlja prirodi. Urbana vegetacija ima veliki utjecaj na kvalitetu života u gradovima. Tema ovog istraživanja je detekcija i praćenje promjena zemljišnog pokrova u urbanom okolišu poput promjena urbane vegetacije, izgrađenog zemljišta i dr. Prostorno-vremenska analiza urbanizacije provedena je na području grada Zagreba kroz vremensko razdoblje od 30 godina. Prostorni podaci potrebni za analizu prikupljeni su satelitskim misijama Landsat. Multispektralne satelitske snimke prostorne rezolucije 30 m x 30 m korištene su za klasifikaciju zemljišnog pokrova u 4 klase (izgrađeno zemljište, vegetacija, zemlja i voda). Klasifikacija svih satelitskih snimaka provedena je na bazi metode nadzirane klasifikacije, *Random Forest* i velikog broja trening uzoraka. Svojom točnošću i brzinom provedbe klasifikacije, *Random Forest* pokazala se optimalnom metodom u ovom istraživanju. Temeljem izrađenih klasifikacija detektirane su promjene zemljišnog pokrova s posebnim naglaskom na izrađeno zemljište i urbanu vegetaciju. Cilj ovog istraživanja je ukazati na moguće problematične zone u urbanizaciji grada Zagreba te dati smjernice za lokacije na kojima bi se trebalo poticati razvoj urbane vegetacije. Ova tema važna je za širu stručnu i znanstvenu zajednicu iz razloga jer je količina i pravilan raspored urbane vegetacije jedan od važnih čimbenika kvalitete života u gradovima.

**KLJUČNE RIJEČI: daljinska istraživanja, detekcija promjena zemljišnog pokrova, Landsat, nadzirana klasifikacija, Zagreb**

## 1. UVOD

Pojam urbanizacije podrazumijeva razvoj gradova izražen porastom gradskog stanovništva, promjenu zemljišnog pokrova kao odraz interakcije ljudi s okolišem i izmjenu socioekonomske i demografske strukture gradova. Modeli promjena urbanog zemljišta važni su u zemljama u razvoju, kod kojih postoji značajan razvoj gradskih i urbanih područja. Procjenjuje se da će do 2050. godine više od tri milijarde ljudi živjeti u urbanim područjima. Stoga urbanisti i prostorni planeri zahtijevaju pouzdane modele promjena zemljišta, koji se mogu upotrijebiti za simulaciju različitih scenarija kod razvoja gradova (Kamusoko, 2015).

Istraživanja promjena zemljišnog pokrova zahtijevaju suradnju i interakciju raznih znanstvenih područja (prirodne znanosti, geoinformatika i dr.), potaknuta razvojem daljinskih istraživanja i računalne tehnologije povezanih putem geografskih informacijskih sustava (GIS-a).

Jedna od prvih istraživanja u kojima se ispitivao potencijal satelitskih snimaka u svrhu za praćenja promjena zemljišnog pokrova u urbanim područjima su objavljena u radovima Alberti i dr. (2004), Goetz i dr. (2004) i Yang (2002). Zaključci prethodno navedenih istraživanja jasno su ukazivala kako daljinska istraživanja temeljena na satelitskim snimkama imaju veliki potencijal za pružanje točnih i pravodobnih geoprostornih informacija. Od ostalih istraživanja, problematike koju možemo usporediti s temom ovog istraživanja, istaknut ćemo istraživanje Lyons i dr. (2012), koje prati promjene u zemljišnom pokrovu na području Queenslanda u Australiji u razdoblju od 1972. do 2010. godine na temelju objektno-orijentirane analize snimki. Slično istraživanje provedeno je i na području Malezije (Tan i dr., 2010).

Slično kao i kod istraživanja u svijetu i hrvatski znanstvenici provodili su razne analize zemljišta. U početku, analize su se provodile bez prostornog pristupa. Neki od prvih značajnijih istraživanja su radovi (Crkvenčić, 1958; Rogić, 1959)

koji su se pretežito bazirali na promjenama u poljoprivredi. Testiranjem utjecaja fuzije odnosno izoštavanja satelitskih snimaka na točnost klasifikacije zemljišta provedeno je u istraživanju Gašparović i Jogun (2018). Primjenu metoda daljinskih istraživanja možemo pronaći u doktorskom radu „Objektno orijentirana klasifikacija zemljišnog pokrova pomoću multispektralnih satelitskih snimaka – primjer grada Zagreba“ (Valožić, 2015) u kojem je struktura grada Zagreba dovedena u vezu s tipovima urbaniziranih i ruralnih naselja. U interesantnom istraživanju, Gašparović i dr. (2017) bavili su se analize urbanizacije na području grada Splita. Kada se govori o problemu urbanizacije, veliku važnost i pažnja danas se posvećuje detekciji i praćenju urbane vegetacije (Gašparović i dr., 2018).

Cilj ovog istraživanja je analiza urbanizacije grada Zagreba u razdoblju od 1985. do 2015. godine. Teritorij grada Zagreba iznimno je važan za Republiku Hrvatsku zbog svog geografskog i socioekonomskog statusa. Zbog velike koncentracije stanovništva i ubrzanog procesa urbanizacije zahtjeva detaljnije analize promjene zemljišnog pokrova i analize promjena unutar gradske strukture. Cijelo istraživanje temelji se na multispektralnim satelitskim snimkama misija Landsat. Princip obrade i analize satelitskih snimki primjenjiv je za bilo koje područje te daje konkretne rezultate iskoristive u srodnim istraživanjima.

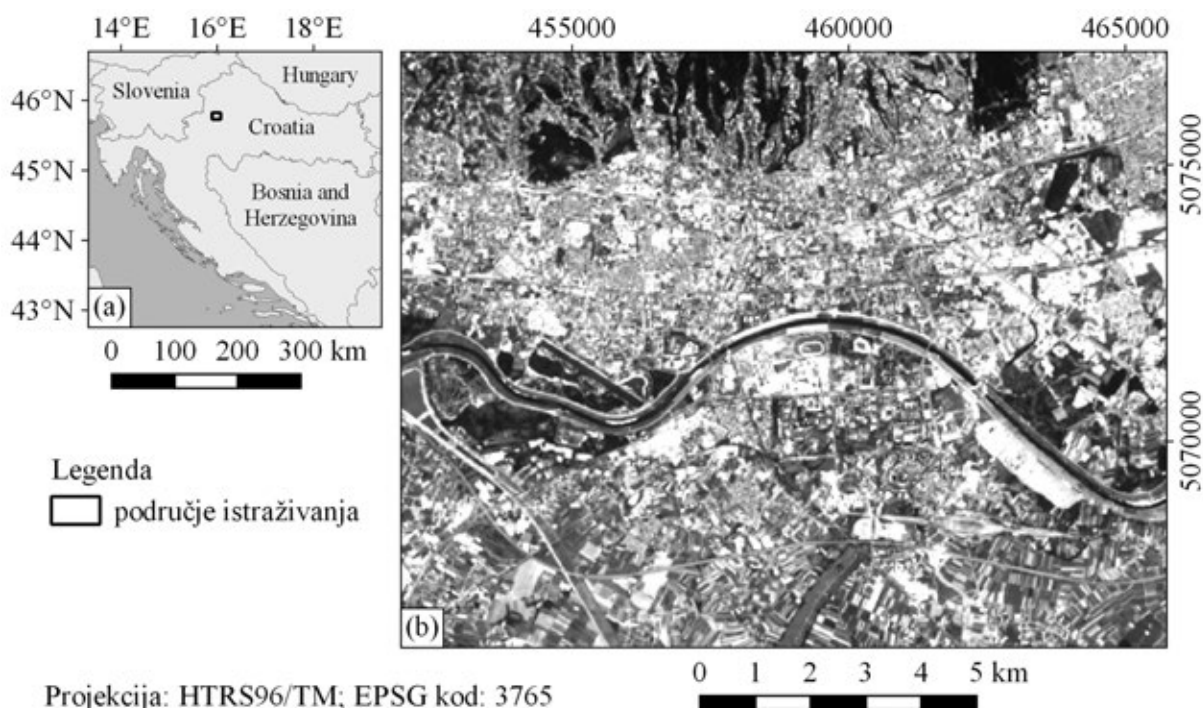
## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I PODACI

Područje interesa i prostor istraživanja ovog rada je grad Zagreb. Grad Zagreb ujedno je glavni i najveći grad Republike Hrvatske s površinom od 641,355 km<sup>2</sup> (Slika 1). Prema aktualnom popisu stanovništva iz 2011. godine,

grad broji 790 017 stanovnika. Danas Zagreb predstavlja upravno, gospodarsko, kulturno i znanstveno središte Hrvatske te zbog svoje važnosti čini samostalnu teritorijalnu i samoupravnu jedinicu koja ima status županije. Geografski gledano Zagreb se nalazi na 15° 59' istočne zemljopisne dužine i 45° 49' sjeverne zemljopisne širine. Nalazi se u kontinentalnoj središnjoj Hrvatskoj i smjestio se podno južnih obronaka Medvednice, a prostrana ravnica i rijeka Sava glavne su karakteristike južnog dijela grada. Povoljan geografski položaj između Panonske nizine, ruba Alpa i Dinarida svrstao je grad Zagreb u jedno od najvažnijih prometnih čvorišta između Srednje i Jugoistočne Europe i naravno Jadranskog mora.

### 2.1 Podaci istraživanja

Za potrebe istraživanja korištene su satelitske snimke misija Landsat 5 i Landsat 8 OLI. Snimke obuhvaćaju teritorij grada Zagreba u vremenskom razdoblju od 1985. do 2015. godine. Stranica Earth Explorer, koja je u nadležnosti Agencije za geologiju Sjedinjenih Američkih Država, korištena je kao izvor za preuzimanje snimki (URL 1). Satelite Landsat 5 misija karakteriziraju ugrađen multispektralni skener za snimanje i senzor Thematic Mapper – TM. Landsatov TM senzor ima mogućnost prikupljanja podataka kroz 7 spektralnih kanala (Tablica 1) za razliku od ugrađenoga multispektralnog skenera koji funkcionira kroz 4 kanala. Kanali 1–5 i 7 imaju prostornu rezoluciju od 30 m x 30 m, dok jedini termalni kanal (kanal 6) karakterizira prostorna rezolucija od 120 m x 120 m. Važno je za napomenuti kako Landsat 5 misija danas više nije operativna, te za period nakon 2013. godine snimke nam pruža Landsat 8 misija.



Slika 1: Područje istraživanja (podloga: Landsat 8 na dan 19.7.2015.)

Tablica 1: Prikaz valnih duljina kanala satelita Landsat 5 (Gašparović i dr., 2017)

Kanal	Rezolucija	Valna duljina ( $\mu\text{m}$ )	Naziv
1	30 m	0,45 – 0,52	Plavi
2	30 m	0,52 – 0,60	Zeleni
3	30 m	0,63 – 0,69	Crveni
4	30 m	0,78 – 0,90	Bliski infracrveni
5	30 m	1,55 – 1,75	Kratkovalni infracrveni
6	60 m	10,4 – 12,50	Termalni infracrveni
7	30 m	2,09 – 2,35	Kratkovalni infracrveni

Tablica 2: Prikaz preuzetih Landsat snimaka korištenih u istraživanju

Datum	Satelit	ID snimke
24.8.1985.	Landsat 5	LT05_L1TP_190028_19850824_20171212_01_T1
13.8.1995.	Landsat 5	LT05_L1TP_189028_19950813_20180213_01_T1
21.6.2005.	Landsat 5	LT05_L1TP_189028_20050621_20161125_01_T1
19.7.2015.	Landsat 8	LC08_L1TP_189028_20150719_20170407_01_T1

Landsat 8 satelit ima vremensku rezoluciju od 16 dana, a podaci prikupljeni sensorima satelita dostupni su besplatno. Satelit karakteriziraju dva senzora za prikupljanje podataka, Operational Land Imager (OLI) i Thermal Infrared Sensor (TIRS). Spektralni kanali OLI senzora omogućuju poboljšanje u odnosu na senzore prethodnih misija. U odnosu na satelit Landsat 5 misije, satelit Landsat 8 misije sadrži dva dodatna kanala. Obalni plavi vidljivi kanal (kanal 1), posebno dizajniran za vodene resurse i istraživanje obalnih zona, te novi kratkovalni infracrveni kanal (kanal 9) za detekciju oblaka (URL 2). Ta dva senzora pružaju prekrivenost kopna s prostornom rezolucijom od 30 m x 30 m za vidljivi, blisko infracrveni, kratkovalni infracrveni kanal, 100 m x 100 m za termalni i 15 m x 15 m za pankromatski kanal. Glavna razlika između novih OLI/TIRS i prethodnih TM/ETM+ senzora je prisutnost dvaju TIR pojasa u atmosferskom prozoru između valnih duljina 10  $\mu\text{m}$  i 12  $\mu\text{m}$ . Kod preuzimanja snimki trebalo je zadovoljiti dva uvjeta. Prvi da prekrivenost oblacima bude ispod 5% (optimalno 0%) i drugi da su snimke snimljene u ljetnim mjesecima kada je vegetacija najizraženija (Tablica 2, Gašparović i dr., 2017).

### 3. PRIKUPLJANJE I OBRADA SATELITSKIH SNIMAKA

Obrada satelitskih snimaka provedena je u softverima otvorenoga koda. Korišteni su QGIS (verzija 2.18.16) i SAGAGIS (6.2.0). Preuzete satelitske snimke transformirane su iz WGS84, UTM 33N u HTRS96/TM referentni koordinatni sustav. Prvi korak kod obrade snimaka podrazumijeva predobradu koja uključuje provedbu atmosferske korekcije satelitskih snimaka po metodi Dark Object Subtraction (DOS 1) (Chavez, 1988). Proces predobrade

satelitskih snimki obavljen je u QGIS-u temeljem Semi-Automatic Classification (5.3.11) dodatka. Poznato je kako atmosferski učinci mijenjaju stvarne vrijednosti refleksije, no spektralne razlike u satelitskim snimkama upućuju na razlike u refleksijskim karakteristikama tla i vegetacije, čime se omogućuje razlikovanje vegetacije i objekata na snimkama. Nakon predobrade izrađeni su „false-color“ i „true-color“ kompoziti satelitskih snimki temeljem kojih su se prikupljali trening uzorci za potrebe provedbe klasifikacije. Trening uzorci su važna stavka u procesu provedbe nadzirane klasifikacije. Jedino pravilnim odabirom trening uzoraka možemo doći do kvalitetnih rezultata finalne klasifikacije. U našem slučaju, zemljišni pokrov klasificiran je unutar 4 klase: voda, izgrađeno zemljište, vegetacija i zemlja. Za svaku pojedinu klasu prikupljeno je između 20–25 uzoraka. Uzorci su prikupljeni ravnomjerno unutar snimke te podjednake površine na način da vjerno predstavljaju klasu kojoj pripadaju. Proces nadzirane klasifikacije proveden je u programu otvorenog koda SAGAGIS. Satelitske snimke satelita Landsat klasificirane su pomoću nadzirane klasifikacije metodom *Random Forest*.

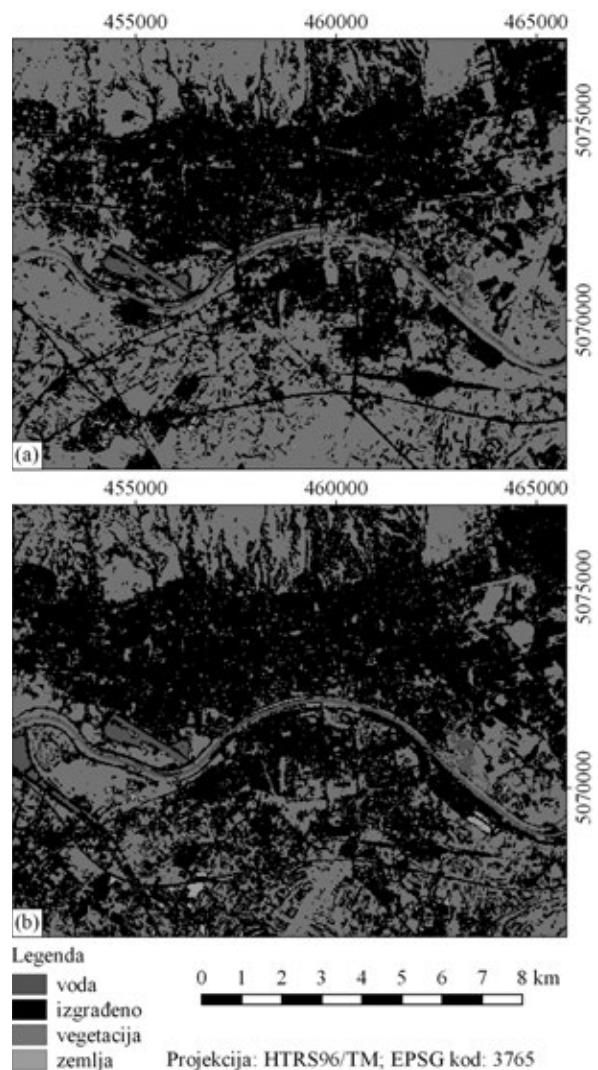
#### 3.1 Metoda nadzirane klasifikacije *Random Forest*

Strojno učenje (engl. *machine learning*) predstavlja podskup područja umjetne inteligencije gdje se matematičkim modelima stvaraju automatizirana rješenja čija je svrha koristeći funkciju dobre optimirati stvarni model prema nekom kriteriju. Jedna od osnovnih podjela dijeli strojno učenje na modele nenadziranog i nadziranog strojnog učenja (URL 3). Upravo u modele nadziranog strojnog učenja spada i *Random Forest* (RF) metoda klasifikacije. *Random Forest* metoda detaljno je izložena u radu Breiman (2001).

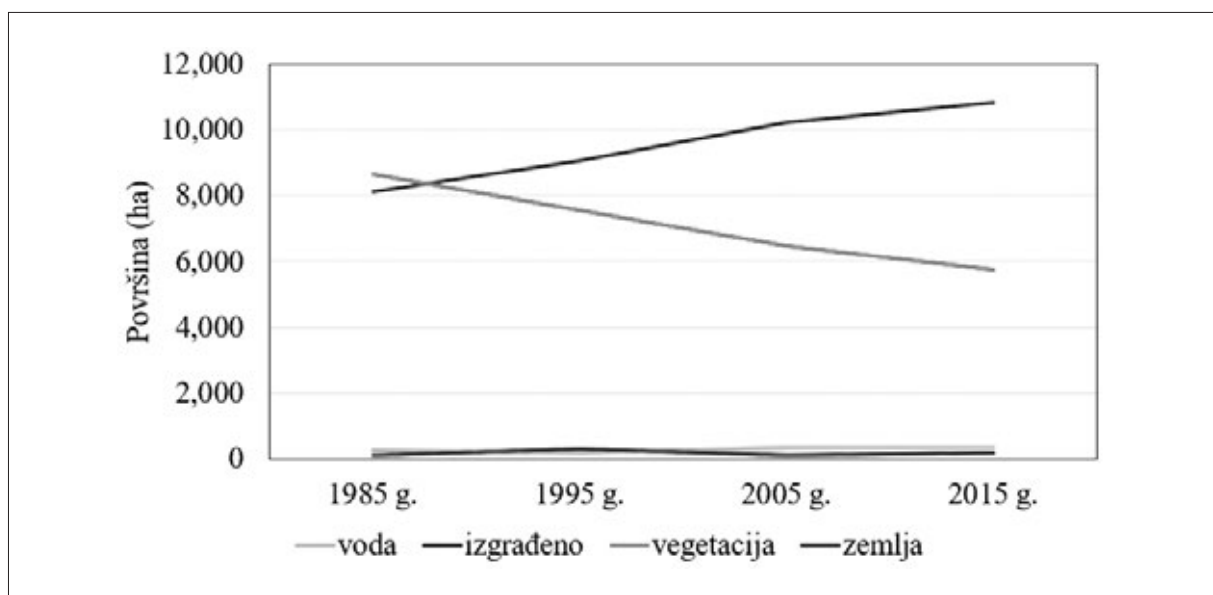
Prednosti *Random Forest* metode u odnosu na druge metode su mnogobrojne (Kamusoko, 2015): 1. mogućnost obrade veliku bazu podataka (npr. tisuće ulaznih numeričkih i kategorijskih varijabli); 2. potrebno manje vrijeme obrade podataka u usporedbi s drugim metodama strojnog učenja (npr. SVM); 3. modeli su oslobođeni normalnih pretpostavki distribucije; 4. robusnost u rješavanju problema buke; 5. modeli kvantificiraju svaku ulaznu varijablu u mjeru važnosti. Ulazne varijable, odnosno trening uzorci nadzirane klasifikacije, moraju zadovoljiti određene uvijete (Belgiu, 2016): 1. podaci na kojima se provodi klasifikacija moraju biti statistički neovisni; 2. trening uzorci moraju biti ravnomjerno raspoređeni unutar klasa; 3. moraju reprezentativno predstavljati klasu kojoj pripadaju; 4. uzorak mora biti dovoljno velik kako bi zadovoljio sve veći broj različitih dimenzija podataka. Postoje brojna (Gislason i dr., 2006) istraživanja vezana za kvalitetu točnosti *Random Forest* metode i usporedbu s ostalim modelima strojnog učenja, posebice usporedbe s SVM metodom. Zaključak je da RF metoda postiže bolje rezultate klasifikacije kada se koriste višedimenzionalni podaci kao što su hiperspektralni podaci; RF također zahtijeva određivanje različitih parametara, te je brži kod obrade podataka od SVM klasifikatora ili drugih metoda klasifikacije kao što je AdaBoost (Freund i Schapire, 1999).

## 4. REZULTATI

U ovom poglavlju prikazani su rezultati istraživanja. Prvenstveno, izrađene su klasifikacije područja od interesa za sve godine istraživanja. Na slici 2 prikazan je rezultat klasifikacije, tj. pokriva zemljišta na dan 24.8.1985. (Slika 2a) i 19.7.2015. (Slika 2b). Iz slike 2 jasno se vidi velika promjena zemljišnog pokriva i to veliko povećanje izgrađenog zemljišta, na uštrp vegetacije.



Slika 2: Pokrov zemljišta za područje istraživanja za: a) 1985. i b) 2015. godinu



Slika 3: Statistički pokazatelji površine zemljišta po klasama za sve godine istraživanja

Kako bi mogli dati objektivne pokazatelje u vidu urbanizacije grada Zagreba potrebno je bilo za sve godine istraživanja odrediti površine pojedine klase zemljišnog pokrova. Na slici 3 prikazani su statistički pokazatelji promjene površine zemljišta po klasama za sve godine istraživanja. Iz slike 3 jasno se vidi kontinuirano povećanje izgrađenog zemljišta tj. urbanizacija. Povećanje izgrađenog zemljišta jasno se događa na uštrb smanjenja vegetacijskog pokrova.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu detaljno je analizirana urbanizacija grada Zagreba u razdoblju od 1985. do 2015. godine. U ovom istraživanju, satelitske snimke Landsat u prostornoj rezoluciji 30 m x 30 m pokazale su se odličnim izborom za klasifikaciju pokrova zemljišta i analizu urbanizacije. Iz istraživanja jasno se vidi kontinuirano povećanje izgrađenog zemljišta na uštrb smanjenja vegetacijskog pokrova. Za područje istraživanja obrađeno u ovom radu vidljivo je kako je još u razdoblju između 1985. i 1995. godine površina izgrađenog zemljišta nadmašila površinu pokrivenu vegetacijom. Takav trend nastavljen je sve do današnjih dana gotovo linearno. Takvo je saznanje s gledišta kvalitete života u gradu Zagrebu zabrinjavajuće i treba težiti urbanizaciji ruralnih područja izvan grada. Također, veliku važnost treba pridonijeti očuvanju urbane vegetacije poput parkova i ostalih zelenih površina. Važno je naglasiti kako metode i analize prikazane u ovom radu mogu biti primjenjive u sličnim istraživanjima bez obzira na područje istraživanja ili tip i vrstu satelitskih snimaka.

## LITERATURA

Alberti, Marina; Weeks, Robin; Coe, Stefan (2004): Urban land cover change analysis in Central Puget Sound, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 9, 10, 1043-1052.

Belgiu, Mariana (2016): Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31.

Breiman, Leo (2001): *Random Forests*, Kluwer Academic Publishers, 45, 1, 5-32.

Chavez, P. S. Jr. (1988): An Improved Dark Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data, *Remote Sensing of Environment*, 24, 3, 459-479.

Crkvenčić, Ivan, (1958): Prigorje planinskog niza Ivančice, *Acta Geographica Croatica*, 1, 1, 7-113.

Freund, Yoav; Schapire, Robert E. (1999): A Short Introduction to Boosting, *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, 14, 5, 771-780.

Gašparović, Mateo; Jogun, Tomislav (2018): The effect of fusing Sentinel-2 bands on land-cover classification, *International Journal of Remote Sensing*, 39, 3, 822-841.

Gašparović, Mateo; Zrinjski, Mladen; Gudelj, Marina (2017): Analiza urbanizacije grada Splita, *Geodetski list*, 71 (94), 3, 189-202.

Gašparović, Mateo; Dobrinić, Dino; Medak, Damir (2018): Urban vegetation detection based on the land-cover classification of PlanetScope, RapidEye and Worldview-2 Satellite Imagery, *International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017*, 18, 2.3, 249-256.

Gislason, Pall Oskar; Benediktsson, Jon Atli; Sveinsson, Johannes R. (2006): Random Forests for land cover classification, *Pattern Recognition Letters*, 27, 4, 294-300.

Goetz, S. J.; Varlyguin, D.; Smith, A. J.; Wright, R. K.; Prince, S. D.; Mazzacato, M. E.; et al. (2004): Application of multitemporal Landsat data to map and monitor land cover and land use change in the Chesapeake Bay watershed, *proceedings of the second international workshop on the analysis of multi-temporal remote sensing images, Singapore* World Scientific Publishing Co., 223-232.

Kamusoko, Courage (2015): Simulating Urban Growth Using a Random Forest-Cellular Automata (RF-CA) Model, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4, 2, 447-470.

Lyons, Mitchell B.; Phinn, Stuart R.; Roelfsema, Chris M. (2012): Long term land cover and seagrass mapping using Landsat and object-based image analysis from 1972 to 2010 in the coastal environment of South East Queensland, Australia, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 34-46.

Rogić, Veljko, (1959): Velebitska primorska padina, *Acta Geographica Croatica*, 2, 1, 8-119.

Tan, Kok Choo; Lim, Hwee San; MatJafri, Mohd Zubir; Abdullah, Khiruddin (2010): Landsat data to evaluate urban expansion and determine land use/land cover changes in Penang Island, Malaysia, *Environmental Earth Sciences*, 60, 7, 1509-1521.

Valožić, Luka (2015): Objektno orijentirana klasifikacija zemljišnog pokrova pomoću multispektralnih satelitskih snimaka – primjer Grada Zagreba, *Hrvatski geografski glasnik*, 76, 2, 27-38.

Yang, Xiaojun (2002): Satellite monitoring of urban spatial growth in the Atlanta metropolitan area, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, 7, 725-734.

URL 1: Landsat 4-5, <https://lta.cr.usgs.gov/TM>, 25.6.2018.

URL 2: Landsat, [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/landsat/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/main/index.html), 26.6.2018.

URL 3: [https://bib.irb.hr/datoteka/826949.Diplomski\\_Rad\\_Valentino\\_Perovi.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/826949.Diplomski_Rad_Valentino_Perovi.pdf), 26.6.2018.

---

# ANALYSIS OF URBANIZATION OF ZAGREB

## ABSTRACT

One of the biggest issues in the last few decades is the emigration of the population from rural to urban areas. Cities become overbought and consequently overbuilt. Due to the great need for new residential and business facilities in the last few decades, green areas such as parks are often built. Urban vegetation has a major impact on the quality of life in cities. The topic of this research is the detection and monitoring of changes in the land cover in the urban environment such as changes in urban vegetation, built land etc. Spatial and temporal analysis of urbanization has been conducted in the city of Zagreb over a period of 30 years. Spatial data required for analysis were collected by the Landsat satellite missions. Multispectral spatial resolution 30 m x 30 m satellite images were used to classify the land cover in 4 classes (built ground, vegetation, earth and water). Classification of all satellite images was done based on the method of supervised classification, Random Forest and a large number of training samples. With its accuracy and speed of implementation of the classification, Random Forest proved to be the optimal method in this research. Based on the compiled classifications, the changes in the land cover have been detected, with particular emphasis on land and urban vegetation. This study aims to point out the possible problematic zones in the urbanization of the city of Zagreb and to provide guidelines for locations where the development of urban vegetation should be encouraged. This topic is important for a wider professional and scientific community because the quantity and proper layout of urban vegetation is one of the important factors of quality of life in cities.

**KEYWORDS:** **land-cover change detection, Landsat, remote sensing, supervised classification, Zagreb**