

UDK 528.8:528.74:528.93:911.375.1(497.5 Split)  
Izvorni znanstveni članak / Original scientific paper

# Analiza urbanizacije grada Splita

Mateo GAŠPAROVIĆ, Mladen ZRINJSKI, Marina GUDELJ – Zagreb<sup>1</sup>

*SAŽETAK.* Cilj je ovog istraživanja analiza urbanizacije grada Splita. Istraživanje je provedeno na podacima pet satelitskih snimaka misija Landsat područja grada Splita u vremenskom razdoblju od trideset godina. Na snimkama je provedena nenadzirana klasifikacija po metodi K-means temeljem koje su satelitske snimke klasificirane u 4 klase: vegetacija, more, neplodno zemljište i izgrađeno zemljište. Nastavno su provedene interpretacija i analiza promjena zemljišnog pokrova. Za obradu satelitskih snimaka, klasifikaciju i naknadne analize korišteni su programi otvorenoga koda SAGA-GIS i QGIS. Socioekonomska zbivanja paralelno su proučena i priložena sa statističkim podacima te su prikazana u obliku grafova. Kronološki gledano, uočljiv je stalni trend pada postotka zastupljenosti vegetacijskog i neplodnog zemljišta, a povećanje postotka izgrađenog zemljišta. Najveće promjene zemljišnog pokrova uočene su između dva seta satelitskih snimaka koji obuhvaćaju početnu i završnu godinu istraživanja, 1987. i 2016. godinu. Godine 1987. zemljišni je pokrov grada Splita obuhvaćao 55,44% vegetacijskog pokrova, 24,71% neplodnog zemljišta i 18,62% izgrađenog zemljišta, dok je 2016. godine zemljišni pokrov grada Splita činilo 48,44% vegetacijskog pokrova, 22,35% neplodnog zemljišta i 28,16% izgrađenog zemljišta. Jasno je uočljivo da su razlike pokrova zemljišta velike, osobito izgrađenog zemljišta, gdje iznose 9,55% površine grada Splita, odnosno ukupno 6,83 km<sup>2</sup>. U tridesetogodišnjem razdoblju površina izgrađenog zemljišta povećala se za 51,28%.

*Ključne riječi:* daljinska istraživanja, detekcija promjena zemljišnog pokrova, nenadzirana klasifikacija, Landsat, Split.

## 1. Uvod

Urbanizacija je jedan od najrasprostranjenijih antropogenih uzroka gubitka obradivog zemljišta (López i dr. 2001), uništavanja staništa (Alphan 2003) i pada prirodnog vegetacijskog pokrova (Dewan i Yamaguchi 2009). Mnogi se znanstveni radovi bave detekcijom, analizom i interpretacijom promjena zemljišnog pokrova

<sup>1</sup> dr. sc. Mateo Gašparović, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: mgasparovic@geof.hr,

izv. prof. dr. sc. Mladen Zrinjski, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: mzrinjski@geof.hr,

Marina Gudelj, mag. ing. geod. et geoinf., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: mgudelj1@geof.hr.

uzrokovanih procesom urbanizacije te nastoje stvoriti standardizirane parametre kojima bi se ocijenio stupanj urbaniziranosti.

Pomoću tehnika daljinskih istraživanja mogu se dobiti geoprostorni podaci koji opisuju promjene zemljišnog pokrova i promjene korištenja zemljišta nekog područja u određenom vremenskom razdoblju. Iako se te promjene mogu pratiti tradicionalnim tehnikama i mjerenjima, satelitsko daljinsko istraživanje donosi širi spektar informacija, uz prednost uštede vremena i smanjenja troškova (Yang 2002, Alberti i dr. 2004, Goetz i dr. 2004). Zanimljivo istraživanje vezano uz ispitivanje točnosti klasifikacije zemljišnog pokrova na satelitskim snimkama provedeno je u radu Gašparović i Jogun (2018).

U današnjem svijetu neprestanih promjena, važnost točnih i pravodobnih informacija o naravi i opsegu zemljišnih resursa i promjena tijekom vremena se stalno povećava. Te promjene su jako bitne znanstvenicima, planerima, upraviteljima resursa i kreatorima politike (Cetin 2009). U brzorastućim gradskim područjima razvijaju se metode kartiranja i praćenja promjena zemljišnog pokrova pomoću Landsatovih senzora (Yuan i dr. 2005). Cijela arhiva Landsata dostupna je znanstvenoj javnosti te je pravo bogatstvo informacija za prepoznavanje i praćenje promjena u okolišu (Chander i dr. 2009, Bastawesy 2015).

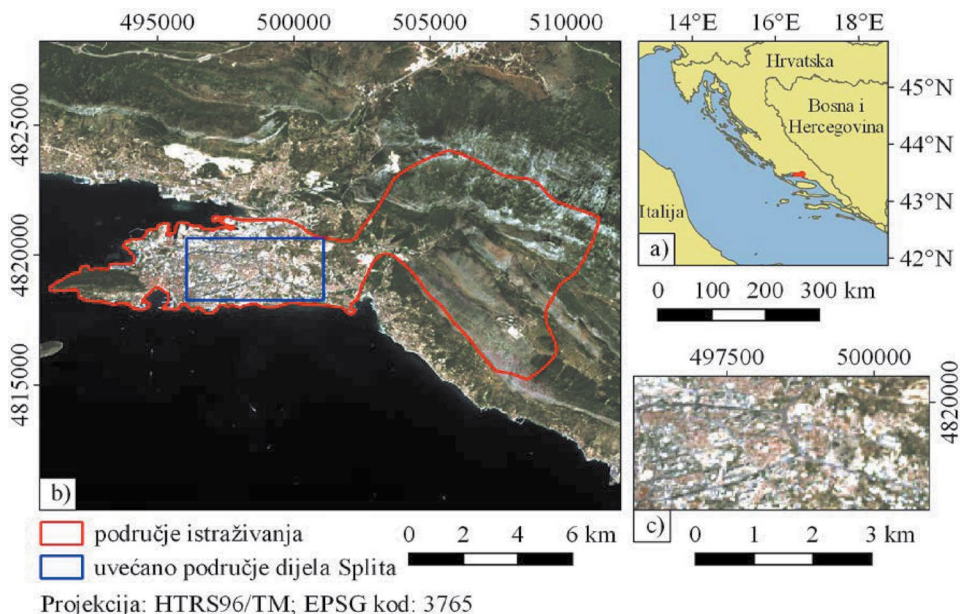
Pojam, odnosno problem, urbanizacije mora se proučavati multidisciplinarno kako bi se mogle objasniti i povezati sve uzročno-posljedične veze. Znanstvenici Alsharif i Pradhan (2014) te Huang i dr. (2015) pojam urbanizacije proučavaju faktorima i indeksima koje mogu eksplicitno opisati. Ti faktori obuhvaćaju konfiguracijske i geografske karakteristike određene lokacije, kao i socijalne parametre koje lokaciju čine primamljivom za život. Vresk (1985) i Friganović (1992) proučavali su urbanizaciju na području Hrvatske. Analizirali su i objasnili urbanizaciju neke lokacije socioekonomskim parametrima, poput broja stanovništva, migracija, mogućnosti zaposlenja, koje su statistički geovizualizirali na kartama u obliku različitih dijagrama i grafova.

Taubenböck i dr. (2014) te Zhou i dr. (2016) istražuju urbanizaciju trajnim promjenama koje su vidljive na Zemljinoj površini. Naime, oni se služe klasifikacijom satelitskih snimaka kako bi mogli pratiti smjerove širenja gradova i megaregija u određenom vremenskom intervalu. Horvat (2014) i Cvitanović (2014) proučavali su promjene zemljišnog pokrova na teritoriju Republike Hrvatske pomoću tehnika daljinskih istraživanja. Iako su kao jednu od klasa dobili i izgrađeno područje, nisu se bazirali samo na njemu. Za područje grada Splita nije pronađeno nijedno istraživanje koje urbanizaciju objašnjava trajnim promjenama zemljišnog pokrova.

Cilj je ovog istraživanja analiza urbanizacije grada Splita u razdoblju od 1987. do 2016. godine. Cijelo istraživanje temelji se na besplatno dostupnim satelitskim snimkama misija Landsat. Treba naglasiti kako su u ovom radu razvijene metode obrade i analize satelitskih snimaka temeljene na programima otvorenoga koda. Metode i analize razvijene i prezentirane u ovom radu mogu se primjenjivati u sličnim istraživanjima bez obzira na područje istraživanja ili tip i vrstu satelitskih snimaka.

## 2. Područje istraživanja i korišteni podaci

U ovom se radu istražuju i analiziraju promjene na području grada Splita, površine 71,55 km<sup>2</sup> (slika 1). Split je smješten na jadranskoj obali, u srednjoj Dalmaciji, na Splitskom (Marjanskom) poluotoku, točnije na 43,5° sjeverne zemljopisne širine i 16,5° istočne zemljopisne dužine. Premda s triju strana okružen morem, Split je obilježen i okolnim planinama: Mosorom na sjeveroistoku, Kozjakom na sjeverozapadu te brdom Marjan. Split graniči s općinama Podstrana, Klis, Dugi Rat i Dugopolje te gradovima Omišom i Solinom. Okružuju ga otoci Brač, Hvar, Šolta i Čiovo, kojima je ujedno i veza s kopnom. Grad Split je gospodarsko i administrativno središte Splitsko-dalmatinske županije, koji je prema posljednjem popisu stanovništva iz 2011. godine imao ukupno 178 102 stanovnika. Karakterizira ga mediteranska klima sa suhim i vrućim ljetima te blagim i vlažnim zimama, s prosječnom temperaturom od 18 °C. Na području grada Splita prevladava krški i vapnenački reljef.



Slika 1. a) Lokacija područja istraživanja, b) područje istraživanja, c) uvećano područje dijela grada Splita.

Za potrebe istraživanja preuzete su satelitske snimke misija Landsat područja grada Splita s internetske stranice EarthExplorer (URL 1), koja je u nadležnosti Agencije za geologiju Sjedinjenih Američkih Država. Kako je cilj ovog rada prostorno-vremenska analiza, snimke su preuzete tako da imaju što veći vremenski interval, koji je obuhvaćen snimkama sa satelita Landsat 4, Landsat 5, Landsat 7 i Landsat 8.

U satelite Landsat 4 i Landsat 5 ugrađen je multispektralni skener za snimanje i senzor Thematic Mapper – TM. Prostorna rezolucija tih satelita iznosi 30 m x 30 m

za multispektralne kanale, a 120 m x 120 m za termalni kanal. Snimanje se obavlja u 7 spektralnih kanala (tablica 1): plavi, zeleni, crveni, blisko infracrveni (Near Infrared – NIR), kratkovalni infracrveni (Short-Wavelength Infrared – SWIR), termalni infracrveni i kratkovalni infracrveni (Oluić 2001).

Tablica 1. *Valne duljine kanala satelita Landsat 5 (URL 2).*

Kanal	Valne duljine (µm)	Opis
Kanal 1	0,45 – 0,52	Plavi
Kanal 2	0,52 – 0,60	Zeleni
Kanal 3	0,63 – 0,69	Crveni
Kanal 4	0,77 – 0,90	Blisko infracrveni
Kanal 5	1,55 – 1,75	Kratkovalni infracrveni
Kanal 6	10,40 – 12,50	Termalni infracrveni
Kanal 7	2,09 – 2,35	Kratkovalni infracrveni

Satelit Landsat 7 ima poboljšanu verziju senzora Thematic Mapper, nazvanu Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Taj satelit ima 8 spektralnih kanala, koji su svi isti kao u satelita Landsat 5 i još osmi pankromatski kanal. Prostorna rezolucija multispektralnih kanala je 30 m x 30 m, termalnoga kanala 60 m x 60 m te pankromatskoga kanala 15 m x 15 m (Roy i dr. 2016).

Satelit Landsat 8 obilježavaju dva senzora za prikupljanje podataka Operational Land Imager (OLI) i Thermal Infrared Sensor (TIRS). 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 (URL 2). Glavne su razlike između novih OLI/TIRS i prethodnih TM/ETM+ senzora (osim razlika koje se odnose na dizajn senzora) prisutnost dvaju TIR pojasa u atmosferskom prozoru između valnih duljina 10 µm i 12 µm, što je napredak u odnosu na jedan toplinski pojas prikazan u TM i ETM+ sensorima (Jiménez-Muñoz i dr. 2014).

Snimke Landsat 5, Landsat 7 i Landsat 8 obuhvaćaju istu površinu, 185 km x 185 km. Ti sateliti imaju istu vremensku rezoluciju od 16 dana.

U obradi su korišteni samo oni kanali satelita Landsat koji imaju prostornu rezoluciju 30 m x 30 m (slika 2).

Preuzete snimke obuhvaćaju tridesetogodišnje vremensko razdoblje te su preuzete s različitih satelita Landsat (tablica 2). Pri preuzimanju snimaka trebalo je obratiti pozornost jesu li prekrivene oblacima i jesu li snimljene u ljetnim mjesecima kad je vegetacija na svom maksimumu.

Landsat 4	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8
kanal 1 (plavi) kanal 2 (zeleni) kanal 3 (crveni) kanal 4 (NIR) kanal 5 (SWIR) kanal 7 (SWIR)	kanal 1 (plavi) kanal 2 (zeleni) kanal 3 (crveni) kanal 4 (NIR) kanal 5 (SWIR) kanal 7 (SWIR)	kanal 1 (plavi) kanal 2 (zeleni) kanal 3 (crveni) kanal 4 (NIR) kanal 5 (SWIR) kanal 7 (SWIR)	kanal 2 (plavi) kanal 3 (zeleni) kanal 4 (crveni) kanal 5 (NIR) kanal 6 (SWIR) kanal 7 (SWIR)

Slika 2. Korišteni kanali satelita Landsat prostorne rezolucije 30 m x 30 m.

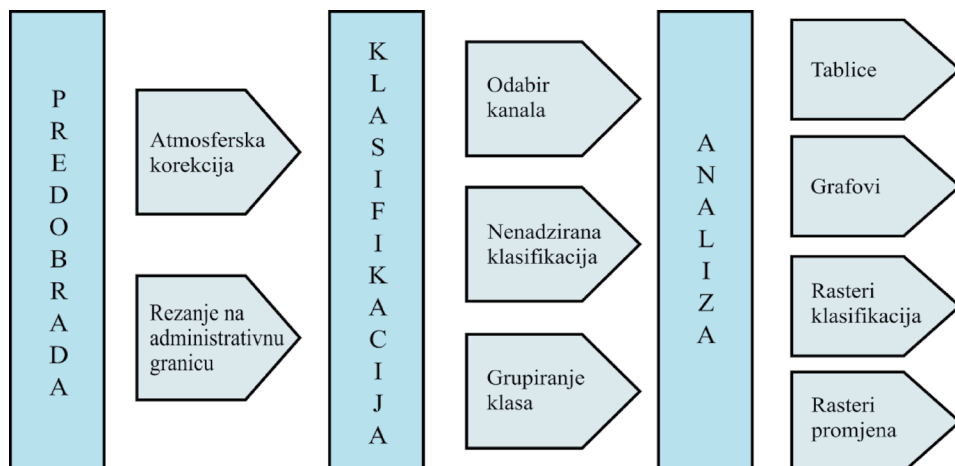
Tablica 2. Preuzete satelitske snimke misija Landsat.

Datum	Satelit	ID snimke
1. 9. 1987.	Landsat 5	LT05_L1TP_188030_19870901_20170211_01_T1
20. 7. 1992.	Landsat 4	LE07_L1TP_189030_20010805_20170204_01_T1
5. 8. 2001.	Landsat 7	LE07_L1TP_189030_20010805_20170204_01_T1
18. 8. 2011.	Landsat 5	LT05_L1TP_188030_20110818_20161007_01_T1
15. 8. 2016.	Landsat 8	LC08_L1TP_188030_20160815_20170322_01_T1

### 3. Obrada i klasifikacija satelitskih snimaka

Za obradu i manipulaciju satelitskih snimaka korišteni su softveri otvorenoga koda SAGA-GIS (verzija 4.0.1) i QGIS (verzija 2.14.10). Obrada multispektralnih snimaka u programu QGIS zahtijeva instalaciju dodatka Semi-Automatic Classification (SCP, verzija 5.3.8). Shematski prikaz tijeka istraživanja prikazan je na slici 3.

Preuzete satelitske snimke transformirane su iz WGS84, UTM 33N u HTRS96/TM referentni koordinatni sustav. Učitane se snimke u okviru predobrade korigiraju, a njihove se vrijednosti pretvaraju iz digitalnog broja u fizičku mjeru refleksije vrha atmosfere. U procesu predobrade obavlja se atmosferska korekcija prema radu Rocchini i dr. (2007) satelitskih snimaka po metodi Dark Object Subtraction (DOS 1) (Chavez 1988). Takva relativna korekcija uključuje oduzimanje konstantnoga digitalnog broja (DN) s cijele snimke. Teorijska pretpostavka te korekcije temelji se na činjenici da bi satelitski senzori trebali snimiti DN vrijednosti različite od nule, tamnih objekata s 0% refleksijom, zbog atmosferskog raspršenja. Takva DN vrijednost se onda oduzima od svakoga kanala. Iako atmosferski učinci mijenjaju stvarne vrijednosti refleksije, spektralne razlike u satelitskim snimkama upućuju na razlike u refleksijskim karakteristikama tla i vegetacije (Tuomisto i



Slika 3. Shematski prikaz metodologije istraživanja.

dr. 2003), čime se osigurava detekcija ekološke raznolikosti. U predobradi su satelitske snimke izrezane na administrativnu granicu grada Splita koja je preuzeta u formatu shape (.shp) s internetske stranice Global Administrative Areas (URL 3).

Kada je obavljena predobrada snimaka, prelazi se u softver SAGA-GIS, gdje se obavlja klasifikacija, analiza i interpretacija. Satelitske snimke satelita Landsat klasificirane su pomoću nenadzirane klasifikacije (Wu i dr. 2009, Tames-Noriega i dr. 2015) metodom *K-means* (Hill-Climbing algoritam).

Metoda *K-means* analizira ulazne rastere kako bi se odredile lokacije početnih središta klasa. U svakom koraku iteracije pikseli se pridružuju najbližoj klasi, nakon čega se računaju nova središta klasa. Novo središta klase je točka koja minimizira zbroj kvadrata udaljenosti između piksela u klasi i središta klase. U svakoj se iteraciji središte klase pomiče, zbog toga se mijenja pridruživanje piksela nekoj klasi. Proces se zaustavlja kad pomaci središta klasa postanu manji od specificiranog praga ili ako je dosegnut maksimalan broj iteracija. Ciljna (objektna) funkcija ( $SS_{\text{distances}}$ ) te metode je zbroj kvadrata udaljenosti piksela  $x$  prema srednjaku  $C(x)$  razmatrane klase (Lasaponara i Masini 2012):

$$SS_{\text{distances}} = \sum [x - C(x)]^2 . \quad (1)$$

Minimiziranje  $SS_{\text{distances}}$  ekvivalentno je minimiziranju srednje kvadratne pogreške (*MSE*), koja mjeri varijabilitet unutar klase (Lasaponara i Masini 2012):

$$MSE = \frac{\sum [x - C(x)]^2}{(N - c) \cdot b} = \frac{SS_{\text{distances}}}{(N - c) \cdot b} , \quad (2)$$

gdje je  $N$  broj piksela,  $c$  je broj klasa,  $b$  je broj spektralnih kanala. Broj klasa za metodu *K-means* je konstantan i *a priori* zadan.

Hill-Climbing algoritam za histogram ulazne slike generira broj klasa i inicijalnih središta potrebnih za klasificiranje. Ta metoda nadilazi nedostatak slučajne inicijalizacije u tradicionalnom klasificiranju te ubrzava rad računala, smanjujući broj iteracija (Chandana i dr. 2014).

Iterativnim postupkom došlo se do optimalnog broja od 25 klasa kao *a priori* vrijednosti za provedbu nenadzirane klasifikacije za cijelo područje istraživanja. Naime, prilikom provedbe nenadzirane klasifikacije u 20 klasa i manje scena je klasificirana tako da u postupku grupiranja klasa, klase nije bilo moguće spojiti tako da kvalitetno definiraju finalne klase. Kod nenadzirane klasifikacije scene u 30 i više klasa, klase su bile suviše rascjepkane i stvaralo se nepotrebno opterećenje na proces grupiranja klasa.

Nakon provedene nenadzirane klasifikacije dobivene su se klase grupirale temeljem interpretatorovog poznavanja i usporedbe scene koja se klasificira s dobivenim klasama te vrijednosti piksela u klasama za svaki kanal, formirajući 4 osnovne klase: vegetacija, neplodno zemljište, more i izgrađeno zemljište. Klasa vegetacija skup je zimzelenih i crnogoričnih šuma, trave, makije, niskog raslinja i poljoprivrednog zemljišta. Klasu neplodno zemljište čine stjenovito tlo i drugi krški oblici te tlo koje se ne obrađuje, a na njemu se nije pojavila nikakva vegetacija. Klasa more nije predmet istraživanja ovog rada, no morala je biti uvedena kako bi se ispravno klasificirala scena. Vrijednost te klase izbačena je pri statističkim računanjima zastupljenosti zemljišnog pokrova. Prometnice, zgrade, kuće, industrijska postrojenja i drugi umjetni objekti zastupljeni su u klasi izgrađeno zemljište.

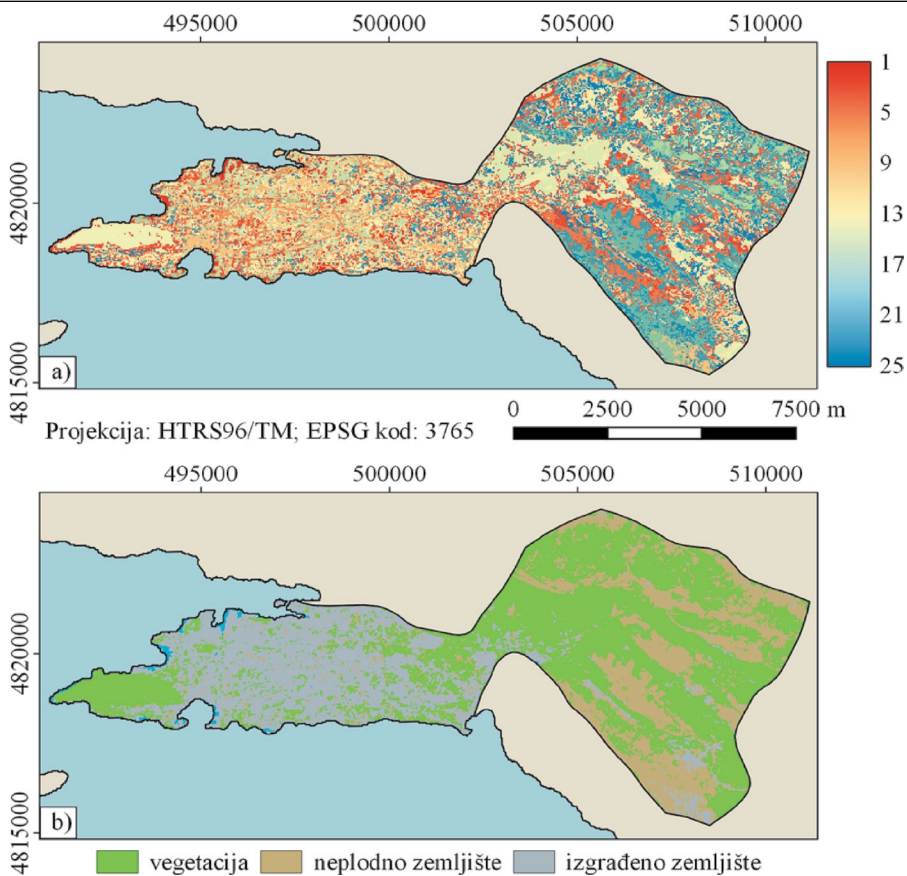
Vizualizacija smjerova i dinamike širenja nekog zemljišnog pokrova u određenom vremenskom razdoblju napravljena je pomoću rastera razlika. Takva matrica koristi se rasterima konačnih klasifikacija, gdje se za referentne podatke uzima raster koji je na početku proizvoljnog vremenskog intervala, a za testne podatke se uzima raster koji označava kraj tog vremenskog intervala.

#### 4. Rezultati i provedene analize

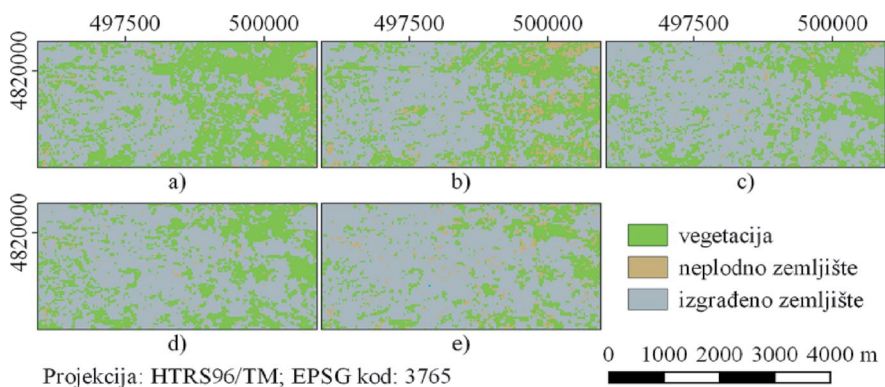
U ovom poglavlju prikazani su svi relevantni podaci za analizu urbanizacije grada Splita. Proces grupiranja klasa, tj. dobivanja finalne klasifikacije pokrova zemljišta iz klasa dobivenih metodom *K-means* (slika 4a) prikazan je na primjeru 2016. godine (slika 4b).

Kako je objašnjeno, za potrebe ovog istraživanja izrađene su klasifikacije za područje grada Splita za godinu: 1987., 1992., 2001., 2011. i 2016. Radi jasnije vidljivih razlika klasifikacije su za svaku godinu prikazane na uvećanom dijelu grada Splita (slika 5).

Radi analize urbanizacije grada Splita izrađeni su statistički pokazatelji u obliku površine zemljišta pod određenom vrstom zemljišta (tablica 3). Radi jasnijeg prikaza trendova promjena u okolišu i urbanizacije grada Splita statistički su pokazatelji prikazani i na slici 6, gdje su dodani i podaci o broju stanovnika za godine kada je popis stanovnika napravljen (1981., 1992., 2001. i 2011.). Podaci za godine kada je popis stanovnika ne postoji linearno su interpolirani.



Slika 4. a) Nenadzirana klasifikacija po metodi K-means, b) finalna klasifikacija područja grada Splita za 2016. godinu.

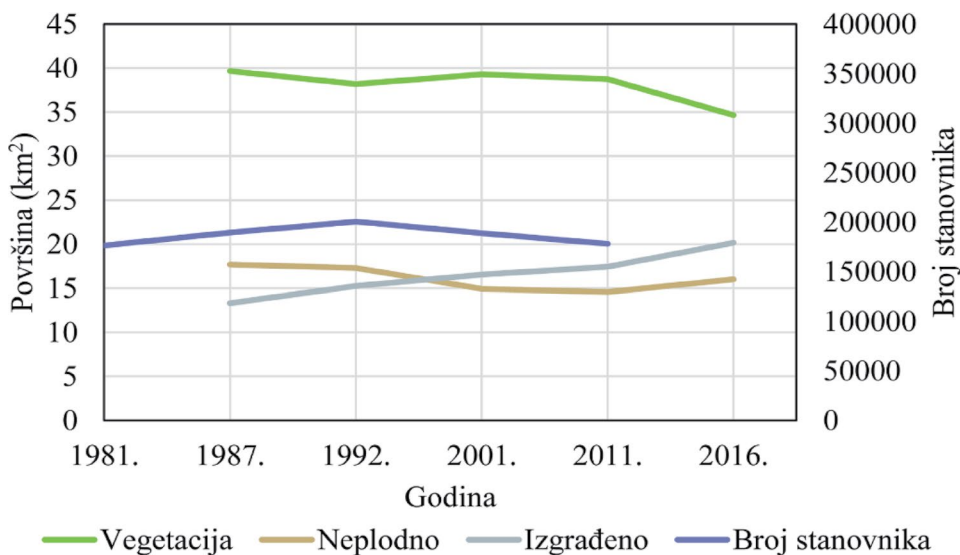


Slika 5. Klasifikacija dijela područja grada Splita za godinu: a) 1987., b) 1992., c) 2001., d) 2011., e) 2016.



Tablica 3. Statistički pokazatelji površine zemljišta po klasama za sve godine istraživanja.

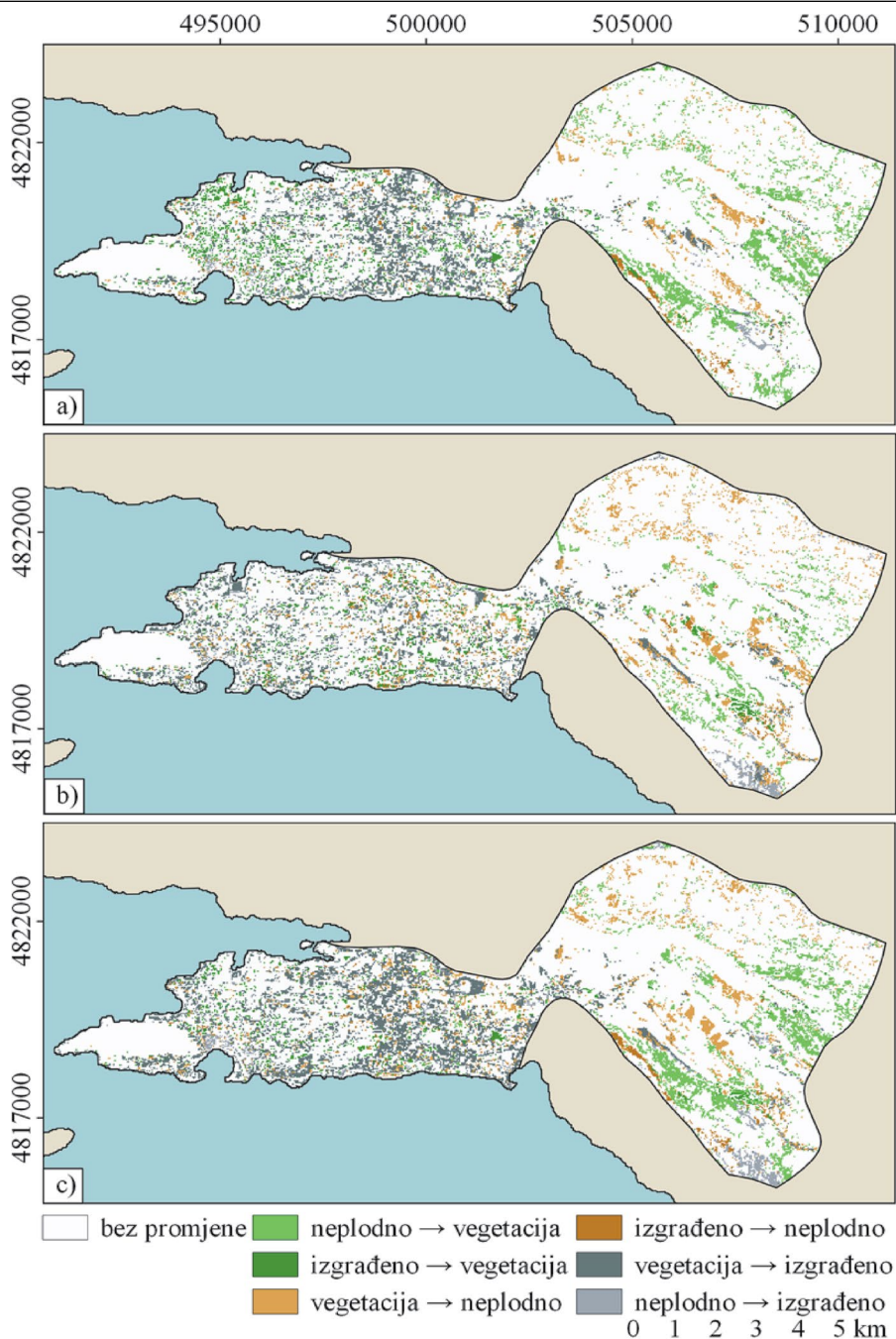
Vrsta zemljišnog pokrova	1987.	1992.	2001.	2011.	2016.
Vegetacija (km <sup>2</sup> )	39,67	38,19	39,28	38,75	34,66
Neplodno zemljište (km <sup>2</sup> )	17,68	17,27	14,91	14,57	15,99
Izgrađeno zemljište (km <sup>2</sup> )	13,32	15,25	16,52	17,42	20,15



Slika 6. Statistički pokazatelji površine zemljišta po klasama i popisa stanovništva za sve godine istraživanja.

Kako bi se jasnije vidjele promjene u zemljišnom pokrovu s posebnim naglaskom na lokacije promjena izrađeni su rasteri promjena zemljišnog pokrova, i to za promjene u razdoblju: a) od 1987. do 2001., b) od 2001. do 2016. i c) od 1987. do 2016.

Iz slike 7 jasno se vidi urbanizacija grada Splita, tj. velika količina tamnosivih i svijetlosivih lokacija koje označavaju promjene zemljišta pod vegetacijom te promjene neplodnog zemljišta u izgrađeno zemljište.



Slika 7. Promjene zemljišnog pokrova u razdoblju: a) 1987.–2001., b) 2001.–2016., c) 1987.–2016.

## 5. Zaključak

U ovom radu detaljno je analizirana urbanizacija grada Splita u razdoblju od 1987. do 2016. godine. Istražene su mogućnosti korištenja besplatno dostupnih satelitskih snimaka misija Landsat u prostornoj rezoluciji 30 m x 30 m. Takve snimke pokazale su se odličnim izborom za klasifikaciju pokrova zemljišta i analizu urbanizacije.

Godine 1987. zemljišni pokrov grada Splita obuhvaćao je 55,44% vegetacijskog pokrova, 24,71% neplodnog zemljišta i 18,62% izgrađenog zemljišta, dok je 2016. godine zemljišni pokrov činilo 48,44% vegetacijskog pokrova, 22,35% neplodnog zemljišta i 28,16% izgrađenog zemljišta. U tridesetogodišnjem razdoblju nestalo je 5,01 km<sup>2</sup> vegetacijskog zemljišta, prenamijenjeno je 1,69 km<sup>2</sup> neplodnog zemljišta, dok se izgrađeni dio grada povećao za 6,83 km<sup>2</sup> što je povećanje od 9,55% u odnosu na ukupnu površinu grada Splita. Zanimljiv je podatak da se na kraju toga vremenskog razdoblja (2016.) udio izgrađenog zemljišta povećao za 51,28% u odnosu na površinu izgrađenog zemljišta na početku analiziranog razdoblja (1987.). Prostorna komponenta urbanizacije prikazana je rasterima razlika u pokrovu zemljišta iz kojih se jasno vidi kako je urbanizacija najintenzivnija u već gusto naseljenim područjima. Takvo je saznanje s gledišta kvalitete života u gradu Splitu zabrinjavajuće i treba težiti urbanizaciji ruralnih područja.

Kako bi se dobila šira slika procesa urbanizacije uzeti su u obzir i fenomeni koji su uzrokovali migracije okolnog stanovništva i zadržavanje lokalnog stanovništva na području grada. Socioekonomski pokazatelji u obliku broja stanovnika integrirani su s detektiranim promjenama zemljišnog pokrova. Iz podataka na slici 6 vidljiv je pad broja stanovnika u razdoblju od 1991. do 2001. godine, koji je najvećim dijelom uzrokovan Domovinskim ratom u Republici Hrvatskoj. Pad broja stanovnika u tom razdoblju jasno korelira s usporavanjem urbanizacije grada Splita.

S obzirom na sveprisutnost i aktualnost ove teme, ovo istraživanje može biti polazna točka nekim novim analizama i istraživanjima, koja će imati pristup još širem spektru statističkih podataka i socioekonomskih pokazatelja te na taj način nadograditi postojeću predodžbu procesa urbanizacije. Metode obrade i analize satelitskih snimaka razvijene i ispitane u ovom radu temeljene su na programima otvorenoga koda. Razvijene metode prezentirane u ovom radu glavni su znanstveni doprinos ovog istraživanja. Važno je naglasiti kako te metode i analize mogu biti primjenjive u sličnim istraživanjima bez obzira na područje istraživanja ili tip i vrstu satelitskih snimaka.

## Literatura

- Alberti, M., Weeks, R., Coe, S. (2004): Urban land cover change analysis in Central Puget Sound, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(9), 1043–1052.
- Alphan, H. (2003): Land-use change and urbanization of Adana, Turkey, *Land degradation and development*, 14(6), 575–586.
- Alsharif, A. A., Pradhan, B. (2014): Urban sprawl analysis of Tripoli Metropolitan city (Libya) using remote sensing data and multivariate logistic regression model, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 42(1), 149–163.
- Bastawesy, M. E. (2015): Hydrological scenarios of the Renaissance Dam in Ethiopia and its hydro-environmental impact on the Nile downstream, *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(7), 1–11.
- Cetin, M. (2009): A satellite based assessment of the impact of urban expansion around a lagoon, *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(4), 579–590.
- Chandana, B., Srinivas, K., Kumar, R. K. (2014): Clustering algorithm combined with hill climbing for classification of remote sensing image, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 4(6), 923.
- Chander, G., Markham, B. L., Helder, D. L. (2009): Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote sensing of environment*, 113(5), 893–903.
- 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.
- Cvitanović, M. (2014): Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1991. do 2011., *Hrvatski geografski glasnik*, 76(1), 41–59.
- Dewan, A. M., Yamaguchi, Y. (2009): Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization, *Applied Geography*, 29(3), 390–401.
- Fričanović, M. A. (1992): Promjene u dinamici stanovništva Hrvatske 1981–1991. kao funkcija urbanizacije, *Hrvatski geografski glasnik*, 54(1), 63–73.
- Gašparović, M., Jogun, T. (2018): The effect of fusing Sentinel-2 bands on land-cover classification, *International Journal of Remote Sensing*, 39(3), 822–841.
- Goetz, S. J., Varlyguin, D., Smith, A. J., Wright, R. K., Prince, S. D., Mazzacato, M. E., Tringe, J., Jantz, C., Melchior, B. (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*, Smits, P. C., Bruzzone, L. (eds.), World Scientific Publishing Co., Singapore, 223–232.
- Horvat, Z. (2014): Upotreba satelitskih snimaka Landsat za utvrđivanje promjena u načinu upotrebe i pokrovu zemljišta u Međimurskoj županiji u Hrvatskoj, *Hrvatski geografski glasnik*, 75(2), 5–28.
- Huang, L., Wu, J., Yan, L. (2015): Defining and measuring urban sustainability: a review of indicators, *Landscape Ecology*, 30(7), 1175–1193.
- Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., Cristóbal, J. (2014): Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840–1843.

- Lasaponara, R., Masini, N. (2012): *Satellite remote sensing: A new tool for archaeology*, Springer Science & Business Media, Dordrecht.
- López, E., Bocco, G., Mendoza, M., Duhau, E. (2001): Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: a case in Morelia city, Mexico, *Landscape and urban planning*, 55(4), 271–285.
- Oluć, M. (2001): *Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira*, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.
- Rocchini, D., Ricotta, C., Chiarucci, A. (2007): Using satellite imagery to assess plant species richness: the role of multispectral systems, *Applied Vegetation Science*, 10(3), 325–331.
- Roy, D. P., Kovalskyy, V., Zhang, H. K., Vermote, E. F., Yan, L., Kumar, S. S., Egorov, A. (2016): Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity, *Remote Sensing of Environment*, 185, 57–70.
- Tames-Noriega, A., Rodríguez-Cuenca, B., Alonso, M. C. (2015): Automatic extraction of buildings and trees using fuzzy K-means classification on high-resolution satellite imagery and LiDAR data, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 26–31 July 2015, Milan, Italy, 593–596.
- Taubenböck, H., Wiesner, M., Felber, A., Marconcini, M., Esch, T., Dech, S. (2014): New dimensions of urban landscapes: The spatio-temporal evolution from a polynuclei area to a mega-region based on remote sensing data, *Applied Geography*, 47, 137–153.
- Tuomisto, H., Poulsen, A. D., Ruokolainen, K., Moran, R. C., Quintana, C., Celi, J., Cañas, G. (2003): Linking floristic patterns with soil heterogeneity and satellite imagery in Ecuadorian Amazonia, *Ecological Applications*, 13(2), 352–371.
- Vresk, M. (1985): Urbanizacija Dalmacije u uvjetima litoralizacije, *Acta Geographica Croatica*, 20(1), 31–40.
- Wu, G., Feng, X., Xiao, P., Wang, K., Zeng, Y. (2009): Simulation and Analysis on the Land-use Patterns of Nanjing City based on AutoLogistic Method, *2009 Joint on Urban Remote Sensing Event*, 20–22 May 2009, Shanghai, China, 1–6.
- Yang, X. (2002): Satellite monitoring of urban spatial growth in the Atlanta metropolitan area, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(7), 725–734.
- Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., Bauer, M. E. (2005): Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 98(2), 317–328.
- Zhou, D., Zhao, S., Zhang, L., Liu, S. (2016): Remotely sensed assessment of urbanization effects on vegetation phenology in China's 32 major cities, *Remote Sensing of Environment*, 176, 272–281.

## Mrežne adrese

URL 1: EarthExplorer, <https://earthexplorer.usgs.gov>, (25. 3. 2017.).

URL 2: NASA, <https://landsat.gsfc.nasa.gov>, (13. 5. 2017.).

URL 3: Global Administrative Areas, <http://www.gadm.org/country>, (11. 4. 2017.).

## Analysis of Urbanization of Split

*ABSTRACT. This research aims to analyse urbanization of Split. The research was conducted on the data of five Landsat mission satellite images, of Split area, over a period of thirty years. Unsupervised classification by the K-means method was conducted on the images. Accordingly, the satellite images were classified into four classes: vegetation, water, bare soil and built-up. The interpretation and analysis of the land cover change followed. Open source software's SAGA-GIS and QGIS were used for satellite image processing, classification and subsequent analysis. Socio-economic developments have been researched in parallel and attached to the statistical data and presented in graphs. Chronologically, a constant reduction trend of vegetation and bare soil areas, as well as the increase in built-up areas were noticed. The most significant land cover changes were observed between the two sets of satellite images that include the first and last year of the research, 1987 and 2016. In 1987, the land cover of the city of Split included 55.44% of vegetation cover, 24.71% of bare soil and 18.62% of the built-up. In 2016, the land cover of the city of Split represented 48.44% of the vegetation cover, 22.35% of bare soil and 28.16% of the built-up. It is clear, that the differences of land cover change are enormous, especially in built-up, which amounts 9.55% of the area of Split and total of 6.83 km<sup>2</sup>. In the thirty-year period, the built-up area in Split was increased by 51.28%.*

*Keywords: remote sensing, land-cover change detection, unsupervised classification, Landsat, Split.*

*Primljeno / Received: 2017-07-18*

*Prihvaćeno / Accepted: 2017-09-15*