

Sveučilište u Zagrebu

Geodetski fakultet

Marina Gudelj

Analiza urbanizacije grada Splita

Zagreb, 2017.

Ovaj rad izrađen je na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za primijenjenu geodeziju, Katedra za instrumentalnu tehniku i Zavod za kartografiju i fotogrametriju, Katedra za fotogrametriju i daljinska istraživanja, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Mladena Zrinjskog i dr. sc. Matea Gašparovića te je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 2016./2017.

Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

API	Application Programming Interface
DOS 1	Dark Object Subtraction
DN	Digital number
ETM	Enhanced Thematic Mapper
GIS	Geographic Information System
LANDSAT	Land Satellite
NIR	Near Infrared
OSGeo	Open Source Geospatial Foundation
QGIS	Quantum GIS
OLI	Operational Land Imager
SAGA	System for Automated Geoscientific Analyses
SCP	Semi-Automatic Classification
SWIR	Shortwave Infrared
TIR	Thermal Infrared
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
UN	United Nations
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USGS	United States Geological Survey

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	2
2. Opći i specifični ciljevi rada.....	6
3. Metodologija istraživanja	8
3.1. Daljinska istraživanja	8
3.2. Izvor podataka	9
3.4. Klasifikacija.....	16
4. Rezultati	20
4.1. Stupanj urbaniziranosti grada Splita.....	20
4.1.1. Stanje 1987. godine.....	20
4.1.2. Stanje 1992. godine.....	21
4.1.3. Stanje 2001. godine.....	22
4.1.4. Stanje 2011. godine.....	23
4.1.5. Stanje 2016. godine.....	24
4.2. Detektirane promjene zemljišnog pokrova.....	25
4.2.2. Promjene zemljišnog pokrova 1992. – 2001.....	27
4.2.3. Promjene zemljišnog pokrova 2001. – 2011.....	28
4.2.4. Promjene zemljišnog pokrova 2011. – 2016.....	30
4.2.5. Promjene zemljišnog pokrova 1987. – 2001.....	31
4.2.6. Promjene zemljišnog pokrova 2001. – 2016.....	32
4.2.7. Promjene zemljišnog pokrova 1987. – 2016.....	33
4.3. Integracija socio-ekonomskih pokazatelja s detektiranim promjenama zemljišnog pokrova	37
5. Rasprava	39
6. Zaključak.....	41
Zahvala	42
Popis literature.....	43
Sažetak	49
Summary	50
Životopis.....	51

1. Uvod

Urbanizacija, kojoj ime dolazi od latinske riječi *urbus* (grad), je naziv kojim se označava prirodni ili mehanički prirast stanovništva u gradskim područjima i širenje gradskih područja, odnosno transformacija pretežno seoskih karakteristika nekog područja u gradsko. Proces urbanizacije je započet sa samim počecima civilizacije i stvaranja gradova, ali se intenzivirao tek nakon industrijske revolucije, odnosno korištenja novih tehnologija u poljoprivredi koje su smanjile potrebu za ljudskom radnom snagom te nakon ekspanzije uslužnog sektora u ekonomiji. Urbanizacija sa sobom dovodi cijeli niz problema, pogotovo kada se iskazuje kao nagla koncentracija velikog broja stanovnika na relativno malom prostoru. Zbog toga je potrebna primjena posebnih mjera i postupaka u svrhu izgradnje i organizacije gradskih naselja. Veliki gradovi zahtijevaju posebno organiziran vodovod, kanalizaciju, opskrbu hranom i drugim namirnicama, elektroenergetsku i telekomunikacijsku mrežu. Pored toga se posebna pažnja mora posvetiti kvaliteti života u gradu, uključujući borbu protiv zagađenja, kriminala i raznih oblika društvene patologije (URL 1).

Teško je izmjeriti količinu urbanizacije nekog područja, pogotovo zato jer se urbanizacija odvija na više različitih, no uzajamno uzročno-posljedičnih područja. U ovom radu naglasak neće biti na praćenje procesa urbanizacije kroz postignuća na ekonomskom polju, poboljšanju životnih standarda, već će se pratiti urbanizacija kroz promjene koje ostavljaju trajni trag na Zemljinoj površini. Širenje gradskih područja na prigradska se ostvaruje prenamjenom načina korištenja zemljišta, što u većini slučajeva znači da se mijenja način korištenja neplodnih ili poljoprivrednih površina, rjeđe i šumskih površina, u građevne. „Betonizacijom“, odnosno izgradnjom novih zgrada, tvorničkih postrojenja i prometne infrastrukture sve je manje područja s prirodnim pokrovom, bilo travnatim, šumskim ili nekom uzgajanom kulturom. Satelitske snimke daju stanje Zemljine površine u određenom trenutku, na određenom mjestu pomoću vrijednosti piksela. Praćenjem i manipulacijom tih snimki kroz neki vremenski period možemo dobiti vizualizaciju procesa promjene pokrova zemljišta, odnosno možemo pratiti proces razvoja i širenja gradova, proces urbanizacije.

1.1. Pregled dosadašnjih istraživanja

Mnogi znanstveni radovi se bave analizom promjene zemljišnog pokrova pokušavajući detektirati, analizirati i interpretirati globalni trend širenja urbanih područja.

Pomoću tehnika daljinskih istraživanja mogu se dobiti geoprostorni podaci koji opisuju promjene zemljišnog pokrova i promjene korištenja zemljišta nekog područja u određeno vrijeme. Iako se te promjene mogu pratiti tradicionalnim tehnikama i mjerenjima, satelitsko daljinsko istraživanje donosi širi spektar informacija, uz prednost uštede vremena i smanjenja troškova (Alberti i dr., 2004; Goetz i dr., 2004; Yang, 2002).

U današnjem svijetu konstantnih promjena, važnost točnih i pravovremenih informacija o naravi i opsegu zemljišnih resursa i promjena tokom vremena se povećava. Te promjene su jako bitne znanstvenicima, planerima, upraviteljima resursa i kreatorima politike (Cetin, 2009). Osobito u brzorastućim gradskim područjima, gdje se razvijaju metode kartiranja i praćenja promjena zemljišnog pokrova pomoću Landsatovih senzora (Yuan i dr, 2005).

Cijela arhiva Landsata sada je dostupna znanstvenoj javnosti koja predstavlja bogatstvo informacija za prepoznavanje i praćenje promjena u čovjekovom i fizičkom okruženju (Chander i dr., 2009; El Bastawesy, 2014).

Digitalne tehnike daljinskih istraživanja više vremenskih satelitskih snimki pomažu u razumijevanju krajobrazne dinamike. Koji ilustriraju prostorno-vremensku dinamiku korištenja zemljišta (Rawat i dr, 2015).

Alsharif i Pradhan (2014.) u svom radu za praćenje širenja urbaniziranih područja koriste regresijske modele te opisuju odnos između urbanog širenja i ostalih čimbenika. Ti čimbenici obuhvaćaju socio-ekonomska područja poput udaljenosti do ekonomskih centara, do poslovnih četvrti, do najbližeg urbaniziranog područja, do obrazovnih ustanova i cesta. Za urbanizirana područja se još analiziraju: opseg, nagib, ograničena područja te gustoća stanovništva. Nakon što su ti čimbenici izdvojeni računaju se regresijski modeli i analiziraju promjene.

Znanstvenici još uvijek proučavaju stupanj urbaniziranosti prema različitim kriterijima. Pokušavajući standardizirati optimalan skup parametara unutar kojeg bi se proučavala urbanizacija. Huang i dr. (2015) su razvili skup parametara koji je sadržavao i okvir razvijen od Ujedinjenih naroda. Ti parametri su obuhvaćali ekološki otisak, zeleni gradski indeks, indikator napretka, indeks zaštite okoliša te indeks ljudskog razvoja. Međutim, većina

parametara zahtjeva mnoštvo podataka koji ne mogu pružiti eksplicitni obrazac urbanih promjena u okolišu.

Taubenböck i dr. (2014) u svom istraživanju nastoje analizirati prostornu evoluciju jednog urbanog područja u mega regiju u vremenskom okviru od 35 godina. Klasificiranjem satelitskih podataka izvode definicije mega regije te prilažu skup prostornih obilježja koja su karakteristična za evoluciju mega regije. Osim toga, razvili su i primjenjuju višekratnik prostornog mjerenja na tri razine; mega regije, prostore između gradova i same gradove.

Lopez i dr. (2017) poluautomatskom klasifikacijom stvaraju bazu podataka, koja podatke dijeli na urbana i neurbana područja. Baza podataka sadrži i alternativni prikaz pojava urbanizacije koncentrirajući se na ilegalna rješenja u zaštićenim zonama. Skup podataka za alternativni prikaz su prikupili građani (volonteri) podnoseći pritužbe za ilegalno korištenje zemljišta, uništavanje zelenih površina, smeće, buku i životinje.

Vresk (1985) u radu *Oblici urbanizacije i prostorna pokretljivost stanovništva središnje Hrvatske* urbanizaciju je definirao kao proces, koji je uzročno povezan s mogućnostima zapošljavanja i socijalnim prestrukturiranjem poljoprivrednog stanovništva. U svojim radovima *Prometne osovine i osovine urbanizacije Središnje Hrvatske*, *Suburbanizacija Zagreba (1993)*, *Neka obilježja urbanizacije SR Hrvatske 1981. godine (1983)*, *Gradska regija Zagreba (1978)*, *Neka obilježja urbanizacije istočne Hrvatske (1988)*, *Satelitizacija splitske aglomeracije (1998)*, *Urbanizacija Dalmacije u uvjetima litoralizacije (1985)*, urbanizaciju geovizualizira na kartografskim prikazima praćenjem socio-ekonomskih trendova, poput broja stanovnika, dnevnih migracija, mogućnošću zapošljavanja i broja radnih mjesta. U radu *Dalmacija u uvjetima litoralizacije (1985)* zaključuje da je Splitska regija najbrže rastuća i da je Dalmacija makroregija s najvišim stupnjem urbanizacije i deagrarizacije. Udio gradskog stanovništva iznosio je 1981. godine 55,4 %, dok je udio poljoprivrednog stanovništva bio 7%. Nedostatak agrarnih površina i drugih prirodnih izvora u krškoj sredini te razvoj nepoljoprivrednih djelatnosti, prvenstveno na obali, pospješili su deagrarizaciju i urbanizaciju.

Friganović (1992) u radu *Promjene u dinamici stanovništva Hrvatske 1981-1991. kao funkcija urbanizacije* izvodi zaključke na osnovu broja stanovnika i njihovim oscilacijama. Stupanj urbanizacije vizualizira na kartama i prikazuje ih grafovima i tablicama.

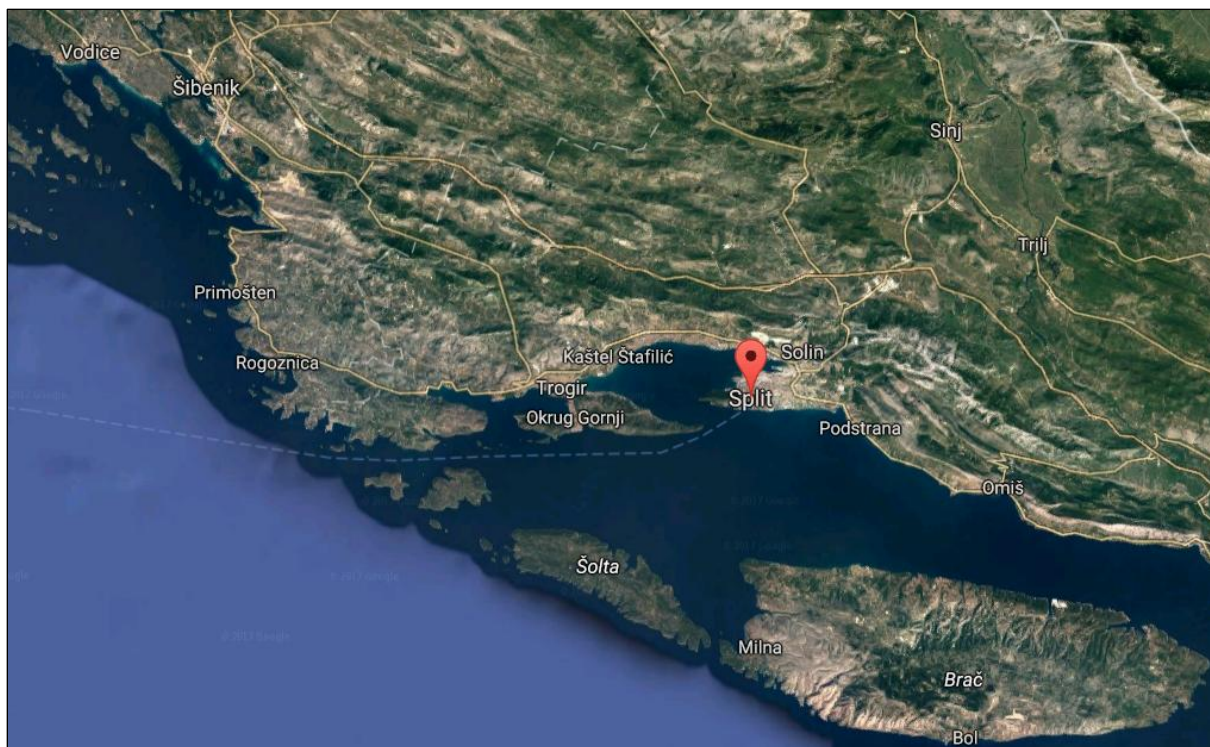
Leder i dr. (2016) u radu *Određivanje površinske temperature tla područja Splita metodom daljinske detekcije* bavi se određivanjem temperature tla na osnovu Landsat snimaka koji su klasificirani metodom nenadzirane klasifikacije.

Horvat (2014) se bavio proučavanjem promjena u načinu upotrebe i pokrovu zemljišta u sjevernoj Hrvatskoj upotrebom Landsat satelitskih snimki. Iako je Horvat kao jednu od klasa prilikom klasifikacije dobio izgrađeno područje, nije ga posebno izdvojio i objašnjavao kroz pojave koje su rezultirale promjenama.

Cvitanović (2014) promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta opisuje kao odraz interakcije društva i okoliša, koje su posebno su izražene prilikom promjene ekonomskog i društvenog sustava na nekom prostoru. Smatra da posljedice promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta danas više utječu na kvalitetu života i ljudsko zdravlje od klimatskih promjena.

1.2. Područje istraživanja

U ovom radu će se istraživati i analizirati promjene na području grada Splita (slika 1). Split je smješten na Jadranskoj obali, u srednjoj Dalmaciji, na Splitskom (Marjanskom) poluotoku, točnije na 43,5° istočne zemljopisne dužine i 16,5° sjeverne zemljopisne širine. Premda s tri strane okružen morem, Split je obilježen i okolnim planinama: Mosorom na sjeveroistoku, Kozjakom na sjeverozapadu te brdom Marjan. Marjan je jedan od najvažnijih gradskih simbola, a nalazi se na zapadnom dijelu poluotoka, u blizini stare gradske jezgre. Split okružuju otoci Brač, Hvar, Šolta i Čiovo (URL 3).



Slika 1. Geografski položaj grada Splita (URL 2)

Split je godinama postajao glavno industrijsko i poslovno središte srednje Dalmacije. Gospodarsko jačanje grada Splita je zahtijevalo veći broj radnika i većina tih radnika se tragajući za kvalitetnijim uvjetima života trajno preselila.

Split ima sredozemnu klimu, koju karakteriziraju suha i vruća ljeta te prohladne, ali umjerene i vlažne zime. Prosječna temperatura zraka najtoplijeg mjeseca viša je od 22 °C, a najhladnijeg viša od 4 °C (URL 3).

Obzirom da grad Split karakteriziraju dobar geografski položaj i povoljna klima, on se počeo razvijati još za vrijeme antičkog Rima. Već 17 stoljeća traje priča o Splitu, još otkako je rimski car Dioklecijan odlučio baš na tom poluotoku blizu velikog rimskog grada Salone izgraditi palaču u kojoj bi u miru proveo posljednje godine svoga života. U tih 1700 godina palača je polako postala grad, koji danas mami bogatom tradicijom, veličanstvenom poviješću, ljepotom prirodne i kulturne baštine.

Dioklecijanova palača i cijela povijesna jezgra Splita na spisku su svjetske baštine UNESCO-a još od 1979. godine (URL 4). Sve ovo dovelo je do rasta turizma, koji posljednjih godina bilježi rekordne brojke. Razvojem turizma svake godine se pokušava osigurati što više novih smještajnih kapaciteta koji itekako utječu na vizuru grada.

2. Opći i specifični ciljevi rada

Urbanizacija je proces koji je započeo u prošlom stoljeću, a traje još i danas. UN predviđa da će do 2025. godine 5,5 milijardi stanovnika živjeti u gradovima te implicira činjenicu da neki od gradova još nisu ni sagrađeni. Urbanizacija najviše zahvaća zemlje u razvitku, odnosno zemlje Afričkog i Azijskog kontinenta. Zemlje Europe su postigle već dovoljan stupanj urbaniziranosti, ali ta pojava u manjoj mjeri zahvaća Republiku Hrvatsku, odnosno grad Split. Grad Split je drugi grad po veličini u Republici Hrvatskoj i glavno sjedište Splitsko-dalmatinske županije.

Pregledavanjem dosadašnje literature pronađena su istraživanja koja proučavaju urbanizaciju grada Splita objašnjavajući fenomene koji su doveli do te pojave, poput broja stanovništva, migracija, broja radnih mjesta. Nisu pronađena nikakva istraživanja koja bi povezala promjene zemljišnog pokrova sa socio-ekonomskim promjenama i našla uzročno posljedične veze za grad Split. Stoga je jedno ovakvo istraživanje neophodno.

Cilj ovog rada je odrediti dinamiku i količinu promjene zemljišnog pokrova grada Splita koristeći satelitske snimke u što je moguće većem vremenskom intervalu. Nenadziranom klasifikacijom će se odrediti vrste zemljišnog pokrova za određenu godinu. Usporedbom vrijednosti klasificiranih satelitskih snimki mogu se vidjeti promjene koje su nastale prenamjenom određene vrste zemljišta. Na taj način možemo pratiti kako se i u kojim smjerovima razvijao i širio grad.

Ovaj rad bi trebao pokazati da se značajno promijenila vizura grada zadnjih trideset godina. U ukupnoj površini grada Splita zastupljenost određenih vrsta zemljišnog pokrova se drastično promijenila. Očekuje se da će se zastupljenost izgrađenog područja povećati, dok će se s druge strane zastupljenost vegetacijskog pokrova i neplodnog zemljišta smanjiti.

Povećanje zastupljenosti urbanog zemljišta nekog područja mora biti uzrokovano nekim fenomenima. Gospodarsko jačanje otvara brojna nova radna mjesta koja su uzrok migracija stanovništva, bilo dnevnih ili stalnih. Grad Split je postao gospodarski centar srednje Dalmacije s vlastitom industrijom. Također grad ima i sveučilište koje nudi različite studentske programe zbog kojih se mladi ljudi privremeno sele, pogotovo oni iz obližnjih krajeva te većinom nakon završenih studija pronalaze posao u gradu i ostaju trajno naseljeni. Povijesna baština i povoljna Mediteranska klima sa 2700 sunčanih sati godišnje čine grad prepoznatljivim turističkim odredištem diljem svijeta.

Na posljetku, grad postaje stalno utočište svih onih koji tragaju za boljim uvjetima života. Stoga će se priložiti i podaci o broju stanovnika, stanju gospodarstva i drugih društvenih pojava koji će se moći povezati s dinamikom razvoja grada, odnosno promjenama koje se manifestiraju na zemljištu.

Rezultati ovog rada će dati jedan potpuno novi pogled na ovaj problem. Ovaj rad bi prvi trebao dati konačne brojke stanja zastupljenosti određene vrste zemljišnog pokrova u odnosu na ukupnu površinu za pojedinu godinu. Također, u radu će se provesti i analize koje uključuju vizualizaciju dinamike promjena, uspoređujući različite vremenske periode, kroz matrice konfuzije, histograme i slike. Osim toga, priložit će se i grafovi koji integriraju dinamiku promjena određene vrste zemljišnog pokrova zajedno sa socio-ekonomskim fenomenima.

3. Metodologija istraživanja

3.1. Daljinska istraživanja

Daljinska istraživanja su znanost i umjetnost dobivanja informacija o objektima, površinama ili pojavama kroz analize podataka prikupljene instrumentima, koji nisu u izravnom kontaktu s objektima, površinama ili pojavama koje su opažane (Lillesand i dr., 2014). Prvi specijalisti koji su se bavili daljinskim istraživanjem bili su astronomi koji su promatrali objekte oko Zemlje poput Isaca Newtona i Galilea. Povijest daljinskih istraživanja je relativno kratka u odnosu na ljudsku povijest. Glavna prekretnica u razvoju daljinskih istraživanja je otkriće fotografije u 19. stoljeću. Fotografija je ključna komponenta za preslikavanje Zemljine površine te praćenje pojava i fenomena na njoj (Bajić, 1999).

Cilj daljinskih istraživanja je brzo i ekonomično dobivanje podataka i informacija zadovoljavajuće preciznosti, prvenstveno relativno velikih područja. Naime, ovom tehnikom moguće je po želji veliki dio Zemljine površine slikovito topografski prikazati i ispitivati, a sustavnim, ponavljanim snimanjima moguće je pratiti i registrirati dnevne, sezonske i godišnje promjene. To se posebno zapaža na snimcima dobivenim s pomoću umjetnih Zemljinih satelita sukcesivnim, ponovljenim letom satelita iznad istog područja (Oluić, 2001).

Daljinsko istraživanje je postupak koji se temelji na interakciji zračenja upadnog elektromagnetskog vala (svjetla) na promatrani objekt. Pri tome se obično može razdvojiti na sedam sastavnih dijelova (Oštir, 2006):

1. Izvor elektromagnetskog zračenja
2. Putovanje kroz atmosferu
3. Interakcija s površinom
4. Zapisivanje valova senzorom
5. Prijenos, prijem i obrada
6. Interpretacija i analiza
7. Korištenje.

3.2. Izvor podataka

Glavni izvor podataka za potrebe ovog rada su satelitske snimke *Landsat* misija. *Landsat* sustav je postao toliko popularan i uspješan zbog kvalitetne tehničke izvedbe koja nam omogućava opažanje površine Zemlje s dobrom prostornom razlučivosti. Širinom pojasa snimanja i periodičnim vremenskim ponavljanjem dobiva se zadovoljavajuća prekrivenost površine. Četrdesetogodišnje kontinuirano prikupljanje podataka dalo je arhivu neprocjenjive vrijednosti koja nam omogućava praćenje i usporedbu raznih pojava, kao npr. promjenu upotrebe zemljišta, deforestizaciju, biološke raznolikosti, klimatske promjene, itd.

Mogućnosti *Landsatovih* programa rasle su sa svakom novom misijom.

Obzirom da se ovaj rad bavi analizom promjena koje se odvijaju u određenom vremenskom intervalu, preuzete su snimke s različitih satelita. Satelitske snimke se nalaze na internet stranici Earth Explorer, koja je pod nadležnosti Agencije za geologiju Sjedinjenih Američkih država (USGS, URL 5).

Postupak preuzimanja satelitskih snimki se sastoji od toga da prvo na interaktivnoj karti svijeta odaberemo mjesto i vremenski period za koji su potrebne satelitske snimke. Za pojedinu godinu se preuzimaju snimke iz ljetnih mjeseci, kada vegetacija dosegne svoj maksimum. Potom se odabere satelit i prikažu se rezultati. Prije samog preuzimanja snimki potrebno je provjeriti jesu li, i u kojoj količini, snimke prekrivene oblacima. Kod preuzimanja je potrebno izabrati opcija Level 1 Data Product jer ta opcija garantira dostupnost svih kanala.

Za 1987., 1992. i 2011. godinu preuzete su snimke *Landsat 5* satelita. U ovaj satelit je ugrađen multispektralni skener za snimanje (tablica 1) i senzor nazvan tematski kartograf (Thematic Mapper – TM, tablica 2). Moć razlučivanja ovog satelita iznosi 30 m (za termalni kanal 120 m), a snimanje se obavlja u 7 spektralnih kanala u oba smjera okomito na pravac kretanja letjelice (Oluić, 2001).

Tablica 1. Kanali multispektralnog skenera Landsat 5 satelita (URL 6)

Spektralni kanali	Valna duljina (μm)	Primjena
Kanal 1 – zeleni	0,5 – 0,6	Sedimentarna voda, opisiva područja plitke vode
Kanal 2 – crveni	0,6 – 0,7	Kulturna obilježja
Kanal 3 – NIR	0,7 – 0,8	Vegetacijska granica između kopna i vode, zemljišna raznolikost
Kanal 4 – NIR	0,8 – 1,1	Najbolje prodiranje atmosferske magle, ističe vegetaciju, granice između kopna i vode, zemljišna raznolikost

Tablica 2. Kanali tematskog kartografa Landsat 5 satelita (URL 6)

Kanali	Valne duljina (μm)	Primjena
Kanal 1 – plavi	0,45 – 0,52	Mjerenje dubine vode i kartiranje, razlikovanje tla od vegetacije, te listopadnog i crnogoričnog raslinja
Kanal 2 – zeleni	0,52 – 0,60	Mjeri vrh refleksije, praćenje napretka vegetacije
Kanal 3 – crveni	0,63 – 0,69	Odvajanje vegetacije i ostalih područja
Kanal 4 – blisko IC	0,77 – 0,90	Određivanje sadržaja biomase i obala
Kanal 5 – SWIR	1,55 – 1,75	Mjerenje vlage u tlu i vegetaciji, prodire kroz tanke oblake
Kanal 6 – Termalni IC	10,40 – 12,50	Termičko kartiranje i procjenjivanje vlažnosti tla
Kanal 7 – SWIR	2,09 – 2,35	Određivanje minerala i vrste stijena

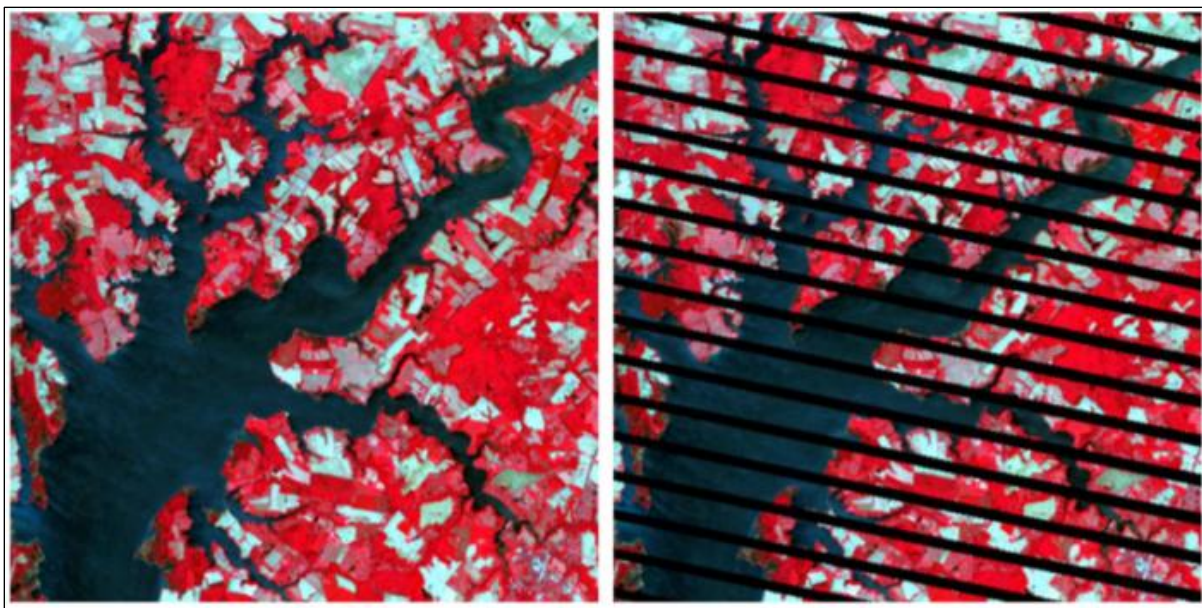
Za godinu 2001. preuzete su snimke *Landsat 7* satelita. *Landsat 7* ima poboljšanu verziju Thematic Mapper senzora, nazvanu Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+, tablica 3). Pankromatski kanal *Landsat 7* satelita ima 15 metarsku prostornu rezoluciju, a infracrveni kanal ima 60 metarsku rezoluciju (URL 6).

Tablica 3. Kanali ETM+ senzora Landsat 7 satelita (URL 7)

Kanali	Valne duljina (μm)	Primjena
Kanal 1 – plavi	0,45 – 0,52	Mjerenje dubine vode i kartiranje, razlikovanje tla od vegetacije, te listopadnog i crnogoričnog raslinja
Kanal 2 – zeleni	0,52 – 0,60	Mjeri vrh refleksije, praćenje napretka vegetacije
Kanal 3 – crveni	0,63 – 0,69	Odvajanje vegetacije i ostalih područja
Kanal 4 – NIR	0,77 – 0,90	Određivanje sadržaja biomase i obala
Kanal 5 – SWIR	1,55 – 1,75	Mjerenje vlage u tlu i vegetaciji, prodire kroz tanke oblake
Kanal 6 – termalni	10,40 – 12,50	Termičko kartiranje i procjenjivanje vlažnosti tla
Kanal 7 – SWIR	2,09 – 2,35	Određivanje minerala i vrste stijena
Kanal 8 – pankromatski	0,52 – 0,90	15 metarska rezolucija, oštrije konture slike

Za 2011. godinu su postojale i satelitske snimke *Landsat 7* satelita, no one nisu preuzete zbog SLC korekcije (engl. Scan Line Correction). Naime, ETM+ senzor spada u poprečne skenere gdje njihanje zrcala snimanja zajedno s gibanjem platforme stvara linije koje nisu usporedne jedna s drugom, stoga se koristi popravljivač linija skeniranja (SLC). Zrcala se gibaju okomito na os snimanja, sinkronizirano s gibanjem platforme i tako kompenziraju mjerenje vidnog polja na površini. Ovakvim načinom snimanja dobiju se usporedne linije.

U svibnju 2003. godine senzor ETM+ na *Landsat 7* satelitu je doživio kvar na sustavu za kompenzaciju snimanih linija. Radi nedjelovanja korekcije snimljene linije se poklapaju na sredini i imaju velike praznine na rubovima slike. Nedostajuće podatke nije moguće nadomjestiti, no promjenom algoritama obrade može se zadržati 80% piksela. Analize su pokazale da je moguće primjenom interpolacijskih metoda popuniti nedostajuće dijelove (slika 2), a da se pritom dobiju geometrijski i radiometrijski dobre slike. Treba napomenuti da se interpolacijom ne mogu nadomjestiti prave vrijednosti, stoga je primjena ovakvih slika ograničena (Oštir i Mulahusić, 2016).



Slika 2. Prikaz interpolacije (Zhu i dr., 2012)

Iz priloženih tablica uočljivo je da je najveća razlika između *Landsat 5* i *Landsat 7* satelita u tom osmom pankromatskom kanalu ETM+ senzora. Pankromatski kanal ima rezoluciju od 15 metara. Za potrebe ove analize se koriste snimke razlučivosti 30 metara, stoga je sasvim svejedno hoće li se koristiti snimke *Landsat 5* ili *Landsat 7* satelita za pojedinu godinu.

Za 2016. godinu su preuzete snimke *Landsat 8* satelita. Satelit obilježavaju dva senzora za prikupljanje podataka Operational Land Imager (OLI) i Thermal Infrared Sensor (TIRS) (tablica 4). Ova dva senzora pružaju prekrivenost kopna s prostornom rezolucijom od 30 metara za vidljivi, blisko infracrveni, kratkovalni infracrveni kanal, 100 metarskom za termalni i 15 metarskom za pankromatski kanal (URL 8). Glavne razlike između novih TIRS i prethodnih TM/ ETM senzora (osim razlika koje se odnose na dizajn senzora) je prisutnost dva TIR pojasa u atmosferskom prozoru između 10 i 12 μm , što predstavlja napredak u odnosu na jedan toplinski pojas prikazan u TM i ETM sensorima (Jiménez-Muñoz i dr., 2014).

Tablica 4. TIRS i OLI senzori Landsat 8 satelita (URL 6)

Kanali	Valne duljina (μm)	Primjena
Kanal 1	0,43 – 0,45	Proučavanje magle i obala
Kanal 2 – plavi	0,45 – 0,51	Mjerenje dubine vode i kartiranje, razlikovanje tla od vegetacije, te listopadnog i crnogoričnog raslinja
Kanal 3 – zeleni	0,53 – 0,59	Mjeri vrh refleksije, praćenje napretka vegetacije
Kanal 4 – crveni	0,64 – 0,67	Odvajanje vegetacije i ostalih područja
Kanal 5 – NIR	0,85 – 0,88	Određivanje sadržaja biomase i obala
Kanal 6 – SWIR	1,57 – 1,65	Mjerenje vlage u tlu i vegetaciji, prodire kroz tanke oblake
Kanal 7 – SWIR	2,11 – 2,29	Mjerenje vlage u tlu i vegetaciji, prodire kroz tanke oblake
Kanal 8 – pankromatski	0,50 – 0,68	15 m rezolucija, oštrije konture slike
Kanal 9	1,36 – 1,38	Detektiranje oblaka
Kanal 10 – TIRS	10,60 – 11,19	100 m rezolucija, termalno kartiranje i procjena vlažnosti tla
Kanal 11 – TIRS	11,50 – 12,51	100 m rezolucija, poboljšano termalno kartiranje i procjena vlažnosti tla

Da bi se ova prostorno-vremenska analiza izvršila za određeno područje potrebno je znati administrativne granice tog područja. Administrativne granice Republike Hrvatske preuzete su s internet stranice Global Administrative Areas u .shp formatu, gdje se u atributnoj tablici nalaze i podjele na manje jedinice lokalne samouprave poput županija i gradova te je posebno izdvojen grad Split sa svojom granicom (URL 9).

3.3. Korišteni softveri

Za obradu i manipulaciju satelitskih snimki korišteni su softveri SAGA (verzija 4.0.1) i QGIS (verzija 2.14.10).

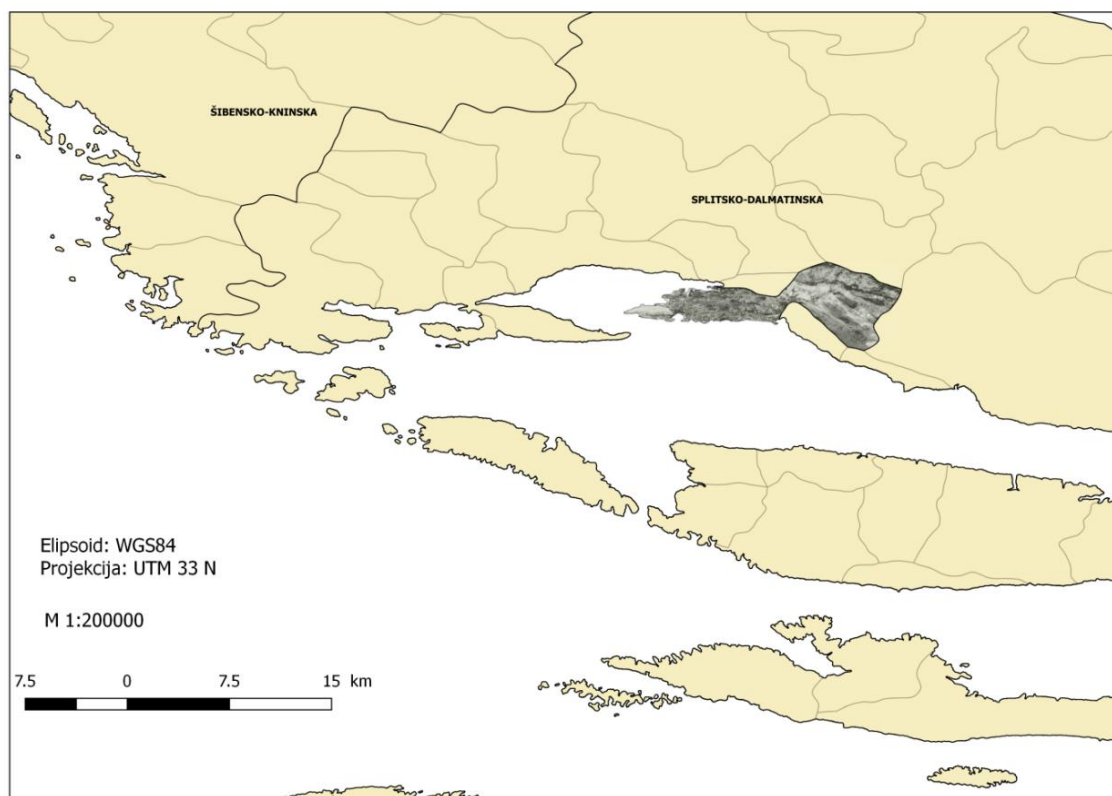
QGIS je geografsko informacijski sustav otvorenog koda. Sučelje mu je tako napravljeno da bude jednostavno za korisničku upotrebu (engl. user friendly). QGIS je službeni projekt organizacije Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Može se koristiti na Linux, Unix,

Mac OSX, Windows i Android platformama, a podržava brojne vektorske i rasterske formate i funkcionalnosti, kao i baze podataka (URL 10).

QGIS pruža uobičajene GIS funkcionalnosti od kojih neke dolaze kao dio programa, a ostale se nadograde pomoću dodataka. QGIS ima šest osnovnih kategorija (URL 11):

1. Pregledavanje podataka
2. Istraživanje podataka i izrada karta
3. Kreiranje, uređivanje, upravljanje i izvoz podataka
4. Analiza podataka
5. Internetsko objavljivanje karata
6. Proširivanje QGIS funkcija pomoću dodataka.

Za manipulaciju i obradu satelitskih snimki u softveru QGIS potrebno je učitati dodatak Semi-Automatic Classification (SCP). SCP je poluautomatski besplatni dodatak koji omogućuje nadziranu i nenadziranu klasifikaciju scene. Također, SCP pruža nekoliko alata za vizualizaciju prikaza, naknadnu obradu klasifikacija i izračun rastera (URL 12). Preuzete i učitane satelitske snimke (WGS84, UTM 33 N referentni sustav) se u okviru predprocesiranja poboljšavaju, a njihove se vrijednosti pretvaraju iz digitalnog broja u fizičku mjeru refleksije vrha atmosfere. U procesu predprocesiranja, obavlja se i atmosferska korekcija satelitskih snimaka po metodi Dark Object Subtraction (DOS 1, URL 13). Ta metoda pretpostavlja da postoji barem nekoliko piksela unutar slike koji bi trebali biti crni i takva crna refleksija je nazvana kao tamni objekt koji je čista voda i sjena čija je vrijednost digitalnog broja (DN) nula ili blizu nule (Chavez, 1988). Nakon toga se multispektralni kanali izrežu na administrativno područje grada Splita (slika 3).



Slika 2. Prikaz „True color“ kompozita 5, 3 i 2 kanala grada Splita

Kada je izvršena predobrada snimki, prelazi se u softver SAGA gdje se vrši klasifikacija, analiza i interpretacija. SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) je GIS softver dizajniran za jednostavnu i učinkovitu provedbu prostornih algoritama, koji nudi sveobuhvatan, rastući niz geoznanstvenih metoda. SAGA je softver otvorenog koda koji se može koristiti na Windows i Linux operacijskim sustavima. Pruža pristupačno korisničko sučelje i velik broj opcija za analizu i vizualizaciju prostornih podataka. Struktura softvera je modularna. Osnova sustava je Application Programming Interface (API), koji pruža modele podataka, osnovne definicije programiranja znanstvenih modula te brojne korisne klase i funkcije. Grafičko korisničko sučelje omogućuje korisniku upravljanje i vizualizaciju podataka, kao i izvršavanje analiza i manipulacija pomoću modula (URL 14).

Obrada i analiza statističkih podataka za potrebe ovog rada napravljena je u softveru Microsoft Excel (2010). Microsoft Excel je program za proračunske tablice koji je razvijen od strane Microsofta te je dio sastavnog programskog paketa Microsoft Office. Microsoft Excel uglavnom služi kao alat za rješavanje problema matematičkog tipa pomoću tablica i polja koje je moguće povezivati različitim formulama i vizualizirati različitim oblicima grafova. Može se koristiti i za izradu jednostavnijih baza podataka (URL 15).

3.4. Klasifikacija

Klasifikacija multispektralnih snimki koristi se za dobivanje tematskih informacija iz satelitskih snimaka na poluautomatski način. Postoje različiti postupci koji se koriste u procesu klasifikacije, a neki od njih zasnivaju se na teoriji vjerojatnosti.

Mjerenje vrijednosti refleksije na snimcima ovise o karakteristikama Zemljine površine, odnosno postoji uzajamni odnos između vegetacijskog pokrova i mjerenih vrijednosti refleksije. Da bi se dobile informacije o slikovnim podacima taj se uzajamni odnos treba pronaći. Pronalazak tog odnosa se naziva klasifikacija (Oluić, 2001).

Klasifikaciju dijelimo na nadzirane i nenadzirane.

Za potrebe izvođenja nadzirane klasifikacije interpretator scene mora sam odabrati reprezentativne uzorke pojedinih klasa. Kako bi klasifikacija bila što točnija, poželjno je da interpretator dovoljno proučio raznolikost scene za klasifikaciju, kako bi mogao sa sigurnošću izdvojiti određene reprezentativne uzorke. Jako je bitno da je interpretator upoznat s tretiranim područjem jer njegov subjektivni doživljaj scene rezultira objektivnom klasifikacijom. Klasifikator vrši razvrstavanje piksela u klase na osnovu njihovih statističkih vrijednosti.

Kod nenadzirane klasifikacije piksele rasporedimo u razrede obzirom na njihovo „prirodno“ združivanje u spektralnom prostoru. Za razliku od nadzirane klasifikacije, u prvom koraku nam nisu potrebna znanja o površini scene koju želimo klasificirati.

Postupak nenadzirane klasifikacije dijeli se na:

- grupiranje (združivanje u razrede) i
- prepoznavanje razreda.

Grupiranje ili klasterska analiza je postupak združivanja višedimenzionalnih podataka u skupine ili grupe (Bajić, 1999).

Satelitske snimke *Landsat* satelita su klasificirane u softveru SAGA pomoću nenadzirane klasifikacije, metodom *K-means* (*Hill-Climbing*) na 25 klasa (slika 4 i slika 5).

K-means je algoritam iterativnog razvrstavanja u klaster. Prvi korak je definiranje proizvoljnog početnog vektora klasa potencijalnih obilježja na sceni.

Nakon toga se svaki piksel pridružuje najbližoj klasi.

Ciljna (objektna) funkcija ove metode je zbroj kvadrata udaljenosti piksela x prema srednjaku $C(x)$ razmatrane klase:

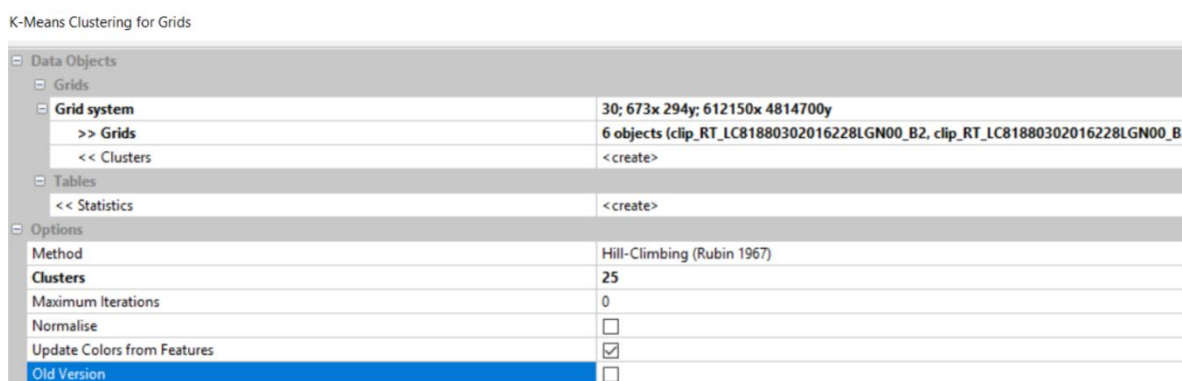
$$SS_{\text{distances}} = \sum [x - C(x)]^2 \quad (1)$$

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

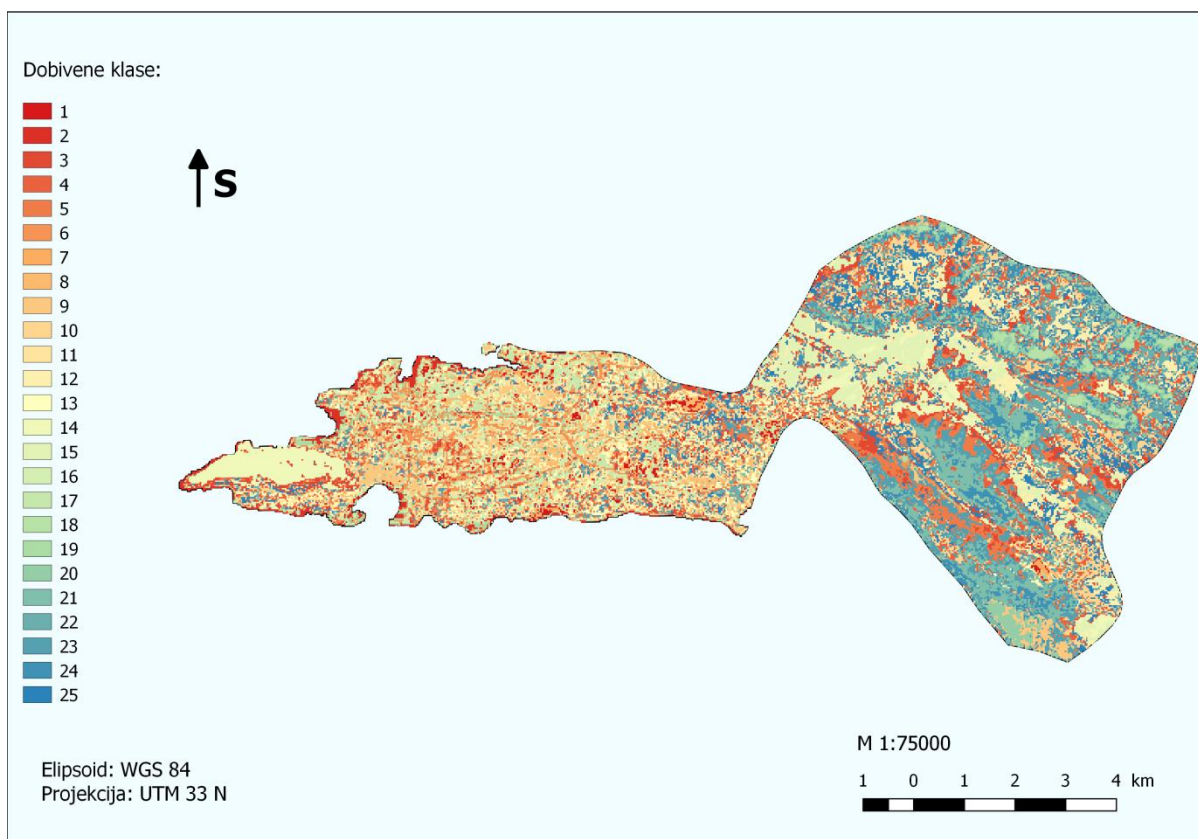
$$MSE = \sum [x - C(x)]^2 / (N - c) b = SS_{\text{distances}} / (N - c) b, \quad (2)$$

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

K-means metoda analizira ulazne rastere kako bi se odredile lokacije početnih centara klasa. U svakom koraku iteracije pikseli se pridružuju najbližoj klasi nakon čega se računaju novi centri klasa. Novi centar klase je točka koja minimizira zbroj kvadrata udaljenosti između piksela u klasi i centra klase. U svakoj iteraciji se centar klase pomiče, zbog toga se mijenja pridruživanje piksela nekoj klasi. Proces se zaustavlja sve dok pomaci centara klasa ne postanu manji od specificiranog praga ili ako je dosegnut maksimalan broj iteracija (Bajić, 1999). *Hill Climbing* algoritam za histogram ulazne slike generira broj klasa i inicijalnih centara potrebnih za klasificiranje. Ova metoda nadilazi nedostatak slučajne inicijalizacije u tradicionalnom klasificiranju te ubrzava rad računala, smanjujući broj iteracija (Chandana i dr., 2014).



Slika 3. Postupak klasifikacije u softveru SAGA



Slika 4. Prikaz dobivenih klasa za 2016. godinu

Nakon provedene klasifikacije dobivene klase su se spajale formirajući 4 osnovne klase (slika 6): *vegetacija*, *neplodno*, *more* i *izgrađeno*.

	vegetacija
	neplodno
	more
	izgrađeno

Slika 5. Formirane klase

Prostorno-vremenska analiza ovog rada se ne bazira na klasi *vegetacija*, stoga nisu posebno izdvojene vrste vegetacijskog pokrova zemljišta. Klasa *vegetacija* predstavlja skup zimzelenih i crnogoričnih šuma, trave, makije i niskog raslinja.

Reprezentativne uzorke za 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. Ova klasa se uvodi zato jer su *Landsat* snimke rasterske datoteke

rezolucije 30 m i kada se režu pomoću granice grada Splita, koja je vektorska datoteka moguće je da u rubnim područjima ostanu vrijednosti piksela koje prikazuju more. Vrijednost te klase je izbačena kod statističkih računanja zastupljenosti zemljišnog pokrova.

Prometnice, zgrade, kuće, industrijska postrojenja i drugi umjetni objekti su zastupljeni u klasi *izgrađeno*.

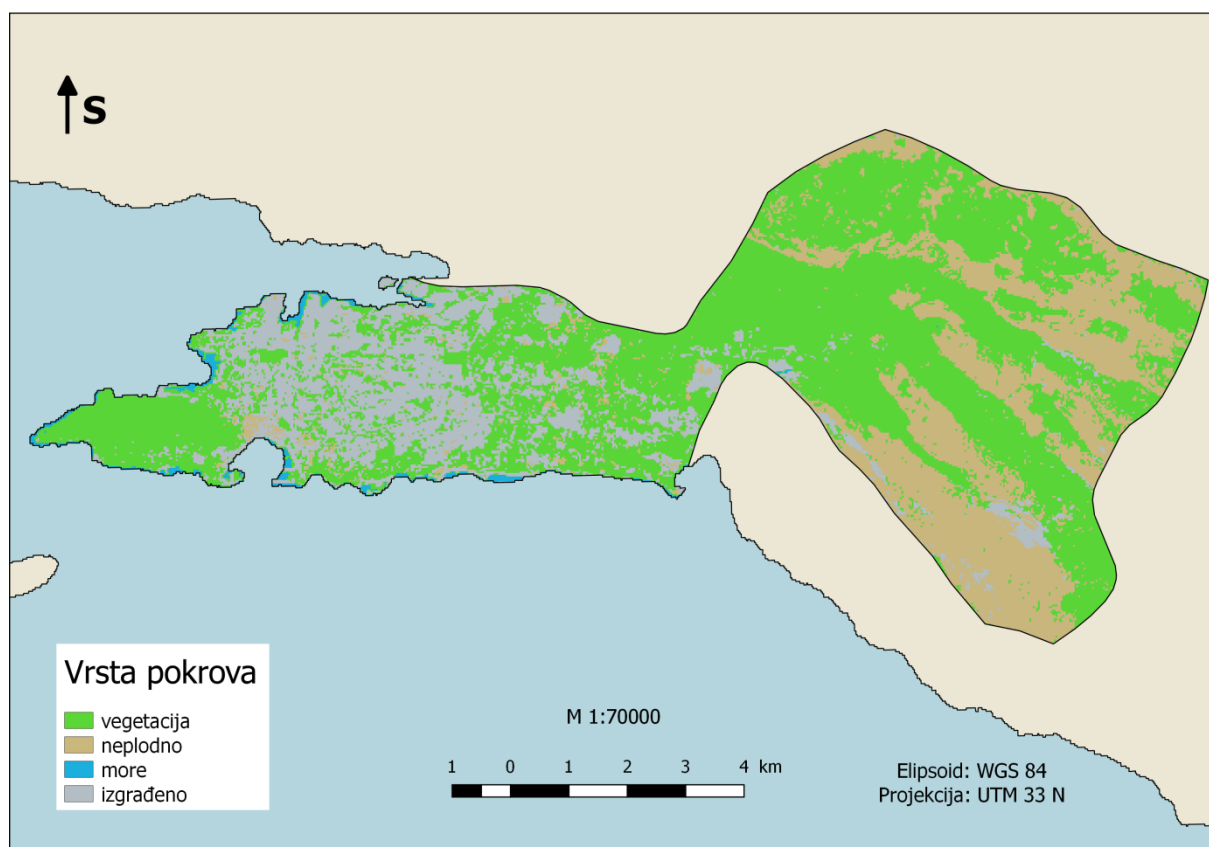
4. Rezultati

U poglavlju 4.1. prikazani su rezultati dobiveni u ovom istraživanju. Dakle, prije svega riječ je o rezultatima klasifikacije zemljišta po godinama za koje je provedeno istraživanje (1987., 1992., 2001., 2011. i 2016.). U poglavlju 4.2. prikazani su rezultati analize u detekciji promjena. Naime, radi se o međusobnim uspoređivanjem klasificiranih snimki različitih vremenskih razdoblja te analizi i interpretaciji promjena. U poglavlju 4.3. prikazana je integracija socio-ekonomskih pokazatelja s detektiranim promjenama zemljišnog pokrova.

4.1. Stupanj urbaniziranosti grada Splita

4.1.1. Stanje 1987. godine

Rezultat klasifikacije *Landsat 5* satelitske snimke za 1987. godinu (slika 7).



Slika 6. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 1987. godine

Prema rezultatima klasifikacije vidljivo je da je najzastupljenija vrsta zemljišnog pokrova *vegetacija*, potom *neplodno* tlo, a najmanje je zastupljeno *izgrađeno* zemljište. Količina

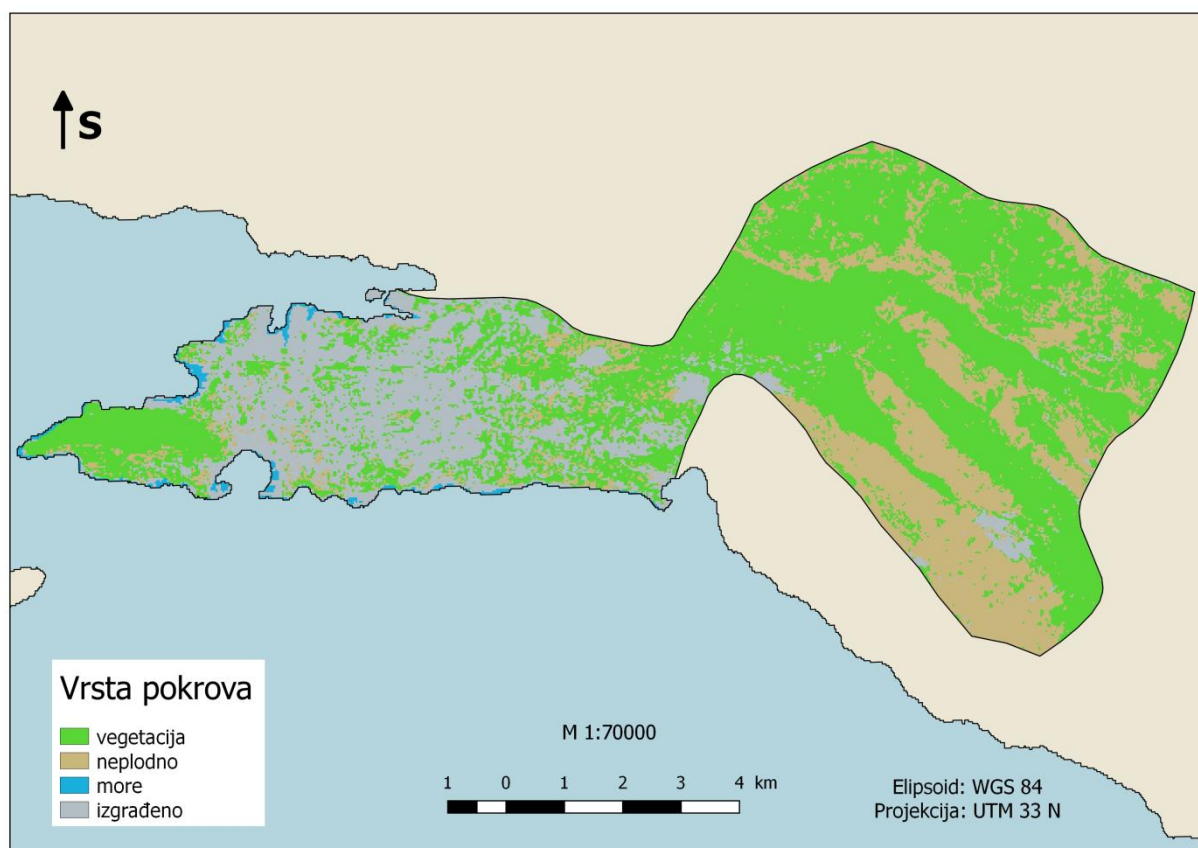
površine pojedinog zemljišnog pokrova i njegov udio obzirom na ukupnu površinu grada Splita prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 1987. godinu

Vrsta zemljišnog pokrova	Površina [km ²]	Udio [%]
Vegetacija	39,67	56,14
Neplodno	17,68	25,01
Izgrađeno	13,32	18,85

4.1.2. Stanje 1992. godine

Rezultat klasifikacije *Landsat 5* satelitske snimke za 1992. godinu (slika 8).



Slika 7. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 1992. godine

Prema rezultatima klasifikacije vidljivo je da je kao i 1987. godine isti poredak zastupljenosti pojedinih zemljišnih pokrova. Najzastupljenija vrsta zemljišnog pokrova je *vegetacija*, potom *neplodno* tlo, a najmanje je zastupljeno *izgrađeno* zemljište. Količina površine pojedinog

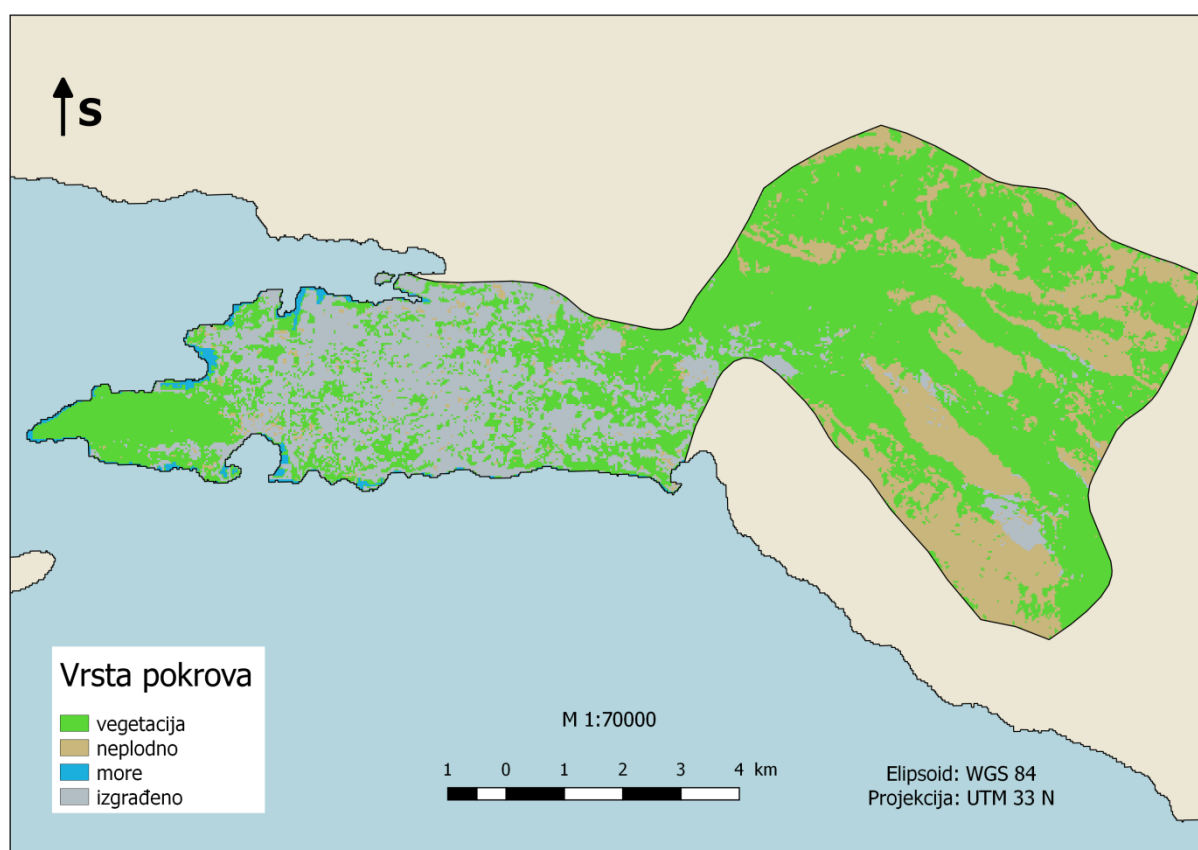
zemljišnog pokrova i njegov udio obzirom na ukupnu površinu grada Splita za 1992. godinu prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 1992. godinu

Vrsta zemljišnog pokrova	Površina [km ²]	Udio [%]
Vegetacija	38,19	54,00
Neplodno	17,27	24,43
Izgrađeno	15,25	21,57

4.1.3. Stanje 2001. godine

Rezultat klasifikacije *Landsat 7* satelitske snimke za 2001. godinu (slika 9).



Slika 8. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 2001. godine

Prema rezultatima klasifikacije došlo je do promjena u zastupljenosti pojedinih vrsta zemljišnog pokrova obzirom na 1992. godinu, odnosno na 1987. godinu, premda to možda nije odmah vidljivo. Najzastupljenija vrsta zemljišnog pokrova i dalje je *vegetacija*.

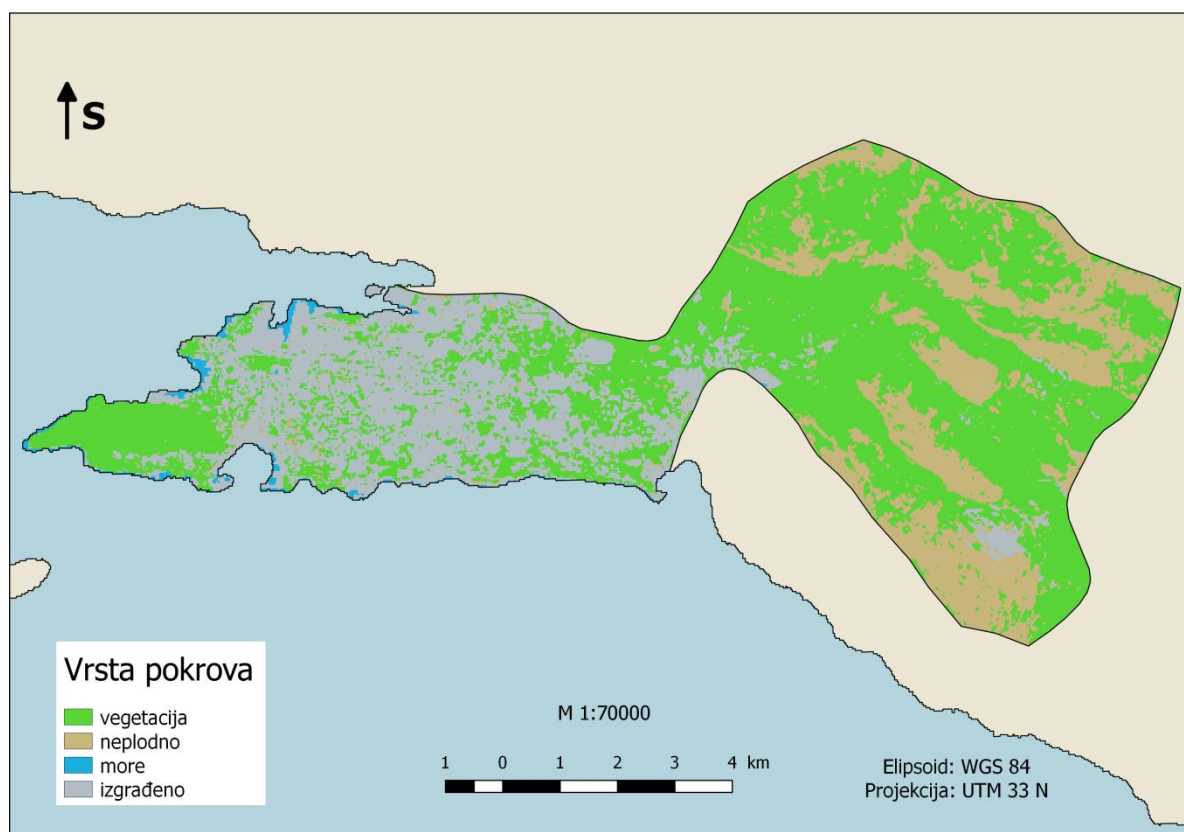
Zastupljenost *izgrađenog* zemljišta se povećala u odnosu na *neplodno* zemljište. Količina površine pojedinog zemljišnog pokrova i njegov udio s obzirom na ukupnu površinu grada Splita za 1992. godinu prikazani su u tablici 7.

Tablica 7. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 2001. godinu

Vrsta zemljišnog pokrova	Površina [km ²]	Udio [%]
Vegetacija	39,28	55,55
Neplodno	14,91	21,09
Izgrađeno	16,52	23,36

4.1.4. Stanje 2011. godine

Rezultat klasifikacije *Landsat* 5 satelitske snimke za 2011. godinu (slika 10).



Slika 9. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 2011. godine

U 2011. godini su se nastavili trendovi rasta zastupljenosti *izgrađenog* zemljišta, a pada zastupljenosti *vegetacijskog* i *neplodnog* zemljišta. *Vegetacija* je najzastupljenija vrsta

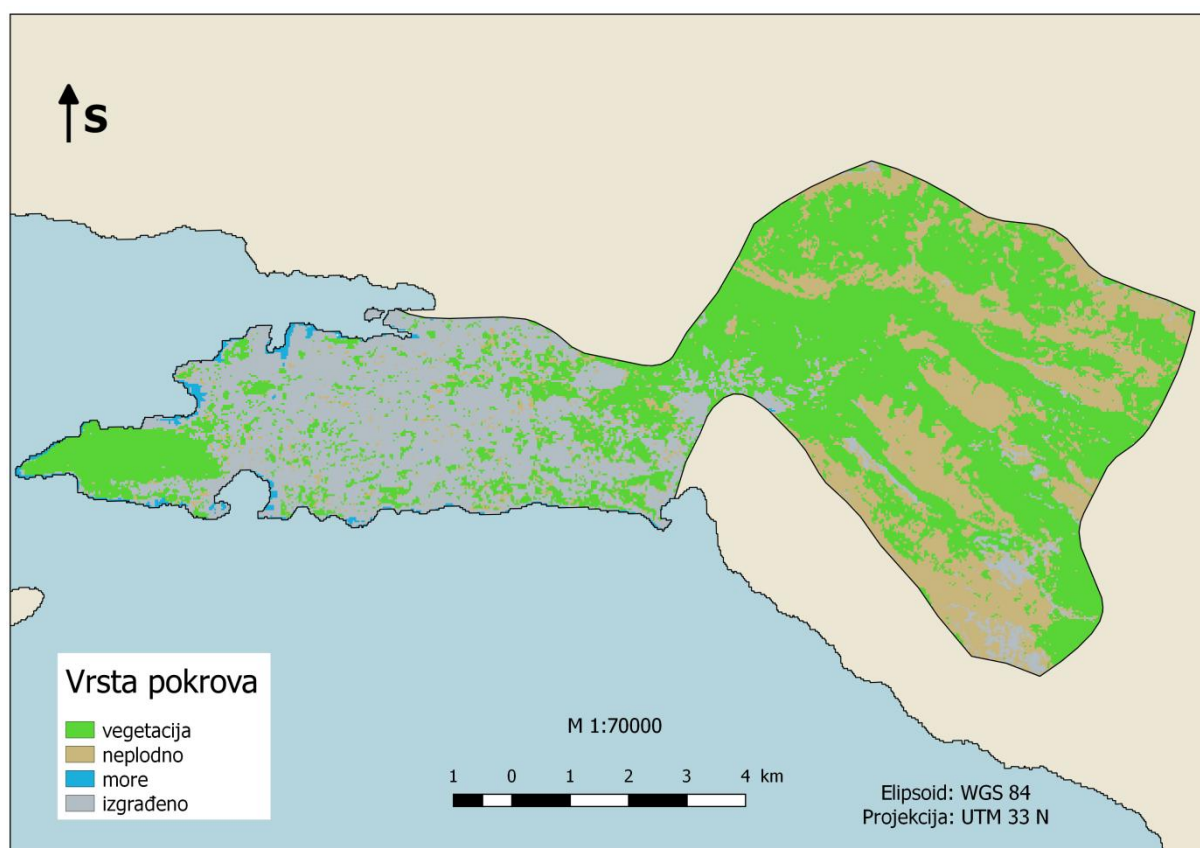
zemljišnog pokrova, zatim slijede *izgrađeno* i *neplodno* zemljište. Količina površine pojedinog zemljišnog pokrova i njegov udio obzirom na ukupnu površinu grada Splita za 2011. godinu prikazani su u tablici 8.

Tablica 8. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 2011. godinu

Vrsta zemljišnog pokrova	Površina [km ²]	Udio [%]
Vegetacija	38,75	54,78
Neplodno	14,57	20,59
Izgrađeno	17,42	24,63

4.1.5. Stanje 2016. godine

Rezultat klasifikacije *Landsat* 8 satelitske snimke za 2016. godinu (slika 11).



Slika 10. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 2016. godine

Godine 2016. nastavljaju se trendovi pada zastupljenosti *vegetacijskog* i *neplodnog* zemljišta, a rast zastupljenosti *izgrađenog* zemljišta. Premda se vremenom sve više smanjuje

zastupljenost *vegetacijskog* pokrova, ono je i dalje najzastupljenija vrsta zemljišnog pokrova. *Izgrađeno* zemljište je, u odnosu na ukupnu površinu grada Splita, zastupljenija vrsta zemljišnog pokrova nego *neplodno* zemljište. Količina površine pojedinog zemljišnog pokrova i njegov udio obzirom na ukupnu površinu grada Splita za 2016. godinu prikazani su u tablici 9.

Tablica 9. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 2016. godinu

Vrsta zemljišnog pokrova	Površina [km ²]	Udio [%]
Vegetacija	34,66	48,96
Neplodno	15,99	22,59
Izgrađeno	20,15	28,46

4.2. Detektirane promjene zemljišnog pokrova

Promjene zastupljenosti određenog zemljišnog pokrova u različitim vremenskim razdobljima dane su pomoću matrice konfuzije i histograma promjena.

Matrica konfuzije prikazuje referentne i testne podatke. Referentni podatci su prikazani u stupcima matrice, to su točni podatci poznati a priori. Redci sadrže testne podatke dobivene daljinskim istraživanjima (klasifikacijom ili drugim metodama interpretacije). Na presjeku stupca i retka iste klase nalaze se točni podatci, koji su dijagonalni elementi, te pokazuju koliko je točnih uzoraka pojedine klase. Nadalje ukupna točnost testnih podataka se definira kao omjer zbroja dijagonalnih podataka i ukupnog broja. Osim procjene ukupne točnosti, matrica konfuzije omogućava analizu točnosti testnih podataka po klasama i utvrđivanje grešaka gubljenja (engl. omission error) i grešaka dodavanja (engl. commission error). Greška gubljenja nastaje kada se dio uzoraka razmatrane klase alocira u druge klase. Greška dodavanja nastaje kada se dio uzoraka drugih klasa alocira u razmatranu klasu (Bajić, 1999).

Točnost između referentnih i testnih podataka je dana pomoću kappa koeficijenta. Vrijednosti kappa koeficijenta mogu varirati, no vrijednosti između 0,41 i 0,6 predstavljaju umjerenu točnost u klasifikaciji, vrijednosti između 0,61 i 0,80 visoku točnost, a vrijednosti više od 0,8 vrlo visoku točnost klasifikacije (Viera i Garrett, 2005)

Histogram je klasični grafički prikaz relativnih učestalosti vrijednosti karakteristika (izmjerenih vrijednosti) jednog procesa, zbog razjašnjenja širine rasipanja i tržišta razdiobe (položaj, oblik). Tako se mogu lakše uočiti zakonitosti (URL 16).

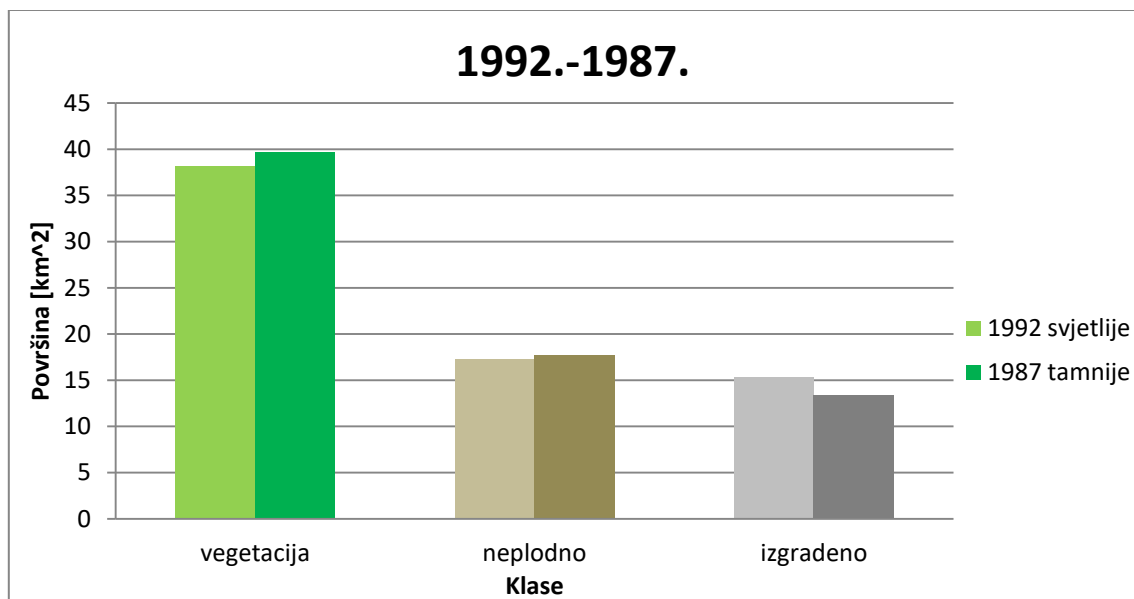
4.2.1 Promjene zemljišnog pokrova 1987. – 1992.

U ovom poglavlju prikazane su promjene zemljišnog pokrova u periodu od 1987. do 1992. godine.

Tablica 10. Matrica konfuzije 1987. i 1992. godine

1987.	1992.					
	klasa	vegetacija	neplodno	more	izgrađeno	ukupno
	vegetacija	33458	5056	6	1652	40172
	neplodno	4508	13716	0	888	19112
	more	80	0	806	3	889
	izgrađeno	3691	826	122	11931	16570
	ukupno	41737	19598	934	14474	76743
kappa 0,83						
ukupna točnost 89,74%						

U matrici konfuzije (tablica 10) referentne podatke predstavlja klasificirana snimka za 1987. godinu, a testne podatke klasificirana snimka za 1992. godinu. Pomoću matrice konfuzije mogu se uočiti promjene koje su se desile na zemljištu u vremenskom razdoblju od pet godina. U tom vremenskom razdoblju udio *vegetacijskog* pokrova obzirom na ukupnu površinu grada Splita se smanjio za 2,12%, odnosno za 1,5 km². Smanjenje obzirom na ukupni udio bilježi i *neplodno* zemljište koje je palo za 0,58%, odnosno za 0,41 km². Zastupljenost *izgrađenog* područja se povećala za 2,71%, odnosno možemo reći da se je grad proširio za 1,91 km². Promjene su grafički prikazane u histogramu (slika 12).



Slika 11. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 1987. – 1992.

4.2.2. Promjene zemljišnog pokrova 1992. – 2001.

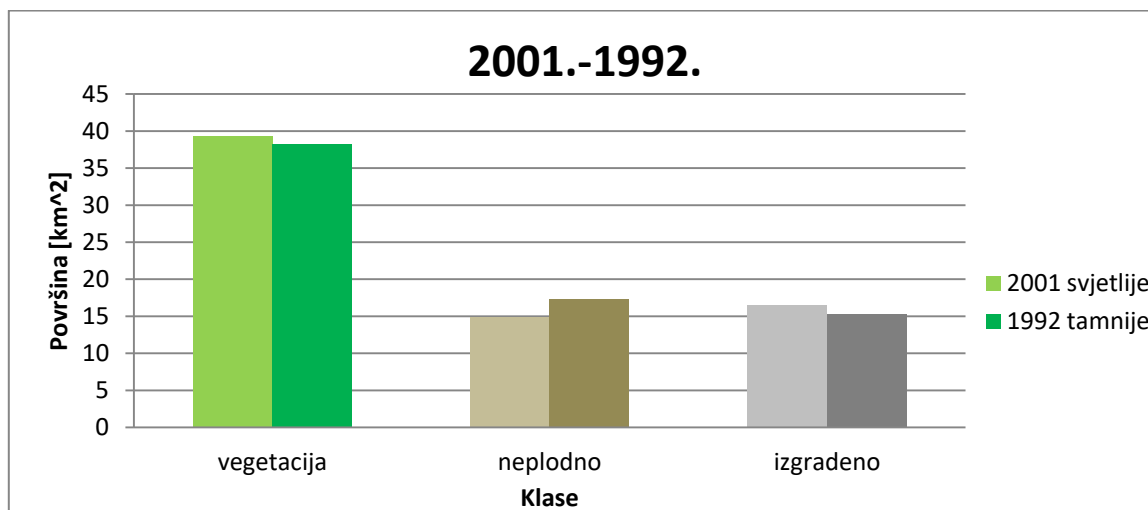
U ovom poglavlju prikazane su promjene zemljišnog pokrova u periodu od 1992. do 2001. godine.

Tablica 11. Matrica konfuzije 1992. i 2001. godine

1992.	2001.					
	klasa	vegetacija	neplodno	more	izgrađeno	ukupno
	vegetacija	32974	6831	65	2577	42447
	neplodno	4497	11356	0	672	16525
	more	4	0	775	119	898
	izgrađeno	3769	940	51	12915	17675
	ukupno	41244	19127	891	16283	77545
kappa 0,81						
ukupna točnost 88,16%						

Iz matrice konfuzije (tablica 11) uočava se da su najveće promjene zemljišta na klasi *neplodno* zemljište. U vremenskom razdoblju od devet godina većina *neplođnog* zemljišta je zarasla i na njemu je izrasta nekakav oblik *vegetacije* ili se to područje pretvorilo u *građevinsko* zemljište na kojem su izgrađeni umjetni objekti. Sve te pojave su rezultirale

smanjenjem *neplodnog* zemljišta za 3,33%, odnosno 2,35 km² u odnosu na ukupnu površinu grada Splita. Nadalje, dio *vegetacijskog* pokrova se pretvorio u *neplodno* zemljište, a drugi dio se iskoristio za zemljište na kojem su se izgradili novi objekti. Zastupljenost *vegetacijskog* zemljišta se u devet godina smanjilo za 1,54%, odnosno za 1,09 km². Smanjenje zastupljenosti *vegetacijskog* i *neplodnog* zemljišta rezultirale su povećanjem zastupljenosti *izgrađenog* zemljišta. Može se reći da se grada proširio za 1,79%, tj. za 1,26 km². Promjene su grafički prikazane u histogramu (slika 13).



Slika 12. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 1992. – 2001.

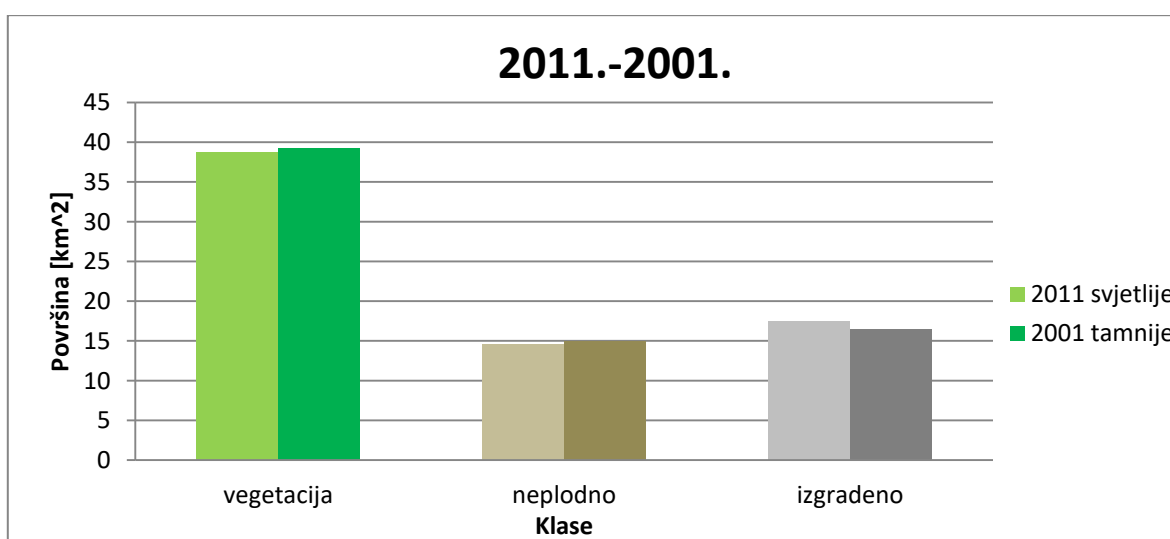
4.2.3. Promjene zemljišnog pokrova 2001. – 2011.

U ovom poglavlju prikazane su promjene zemljišnog pokrova u periodu od 2001. do 2011. godine. Matrica konfuzije (tablica 12) prikazuje promjene koje su se desile u desetogodišnjem vremenskom razdoblju

Tablica 12. Matrica konfuzije 2001. i 2011. godine

2001.	2011.					
	klasa	vegetacija	neplodno	more	izgrađeno	ukupno
	vegetacija	35321	2177	55	3493	41046
	neplodno	2320	13489	4	733	16546
	more	2	0	802	93	897
	izgrađeno	2834	491	3	14021	17349
	ukupno	40477	16157	864	18340	75838
kappa 0,87						
ukupna točnost 92,34%						

Matrica konfuzije ukazuje da se u ovom periodu najviše promijenio udio zastupljenosti *izgrađenog* zemljišta, koji je porastao za 0,89 km² u odnosu na ukupnu površinu grada Splita, tj. za 1,26%. Kao i u prethodnom razmatranom vremenskom intervalu, i ovdje je zastupljenost *vegetacijskog* i *neplodnog* zemljišta u padu. Zastupljenost tla koje prekriva *vegetacija* se smanjilo za 0,76%, odnosno 0,54 km². Većina tla kojeg je prekrivala *vegetacija* postalo je *građevinsko* zemljište. Način uporabe *neplodnog* zemljišta se promijenio, većina *neplodnog* zemljišta je zarasla *vegetacijom*, a ostatak je pretvoren u *građevinsko* zemljište. Ukupna promjena smanjenja zastupljenosti *neplodnog* zemljišta u odnosu na ukupnu površinu grada Splita iznosi 0,35 km², odnosno 0,5%. Promjene su grafički prikazane u histogramu (slika 14).



Slika 13. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 2001. – 2011.

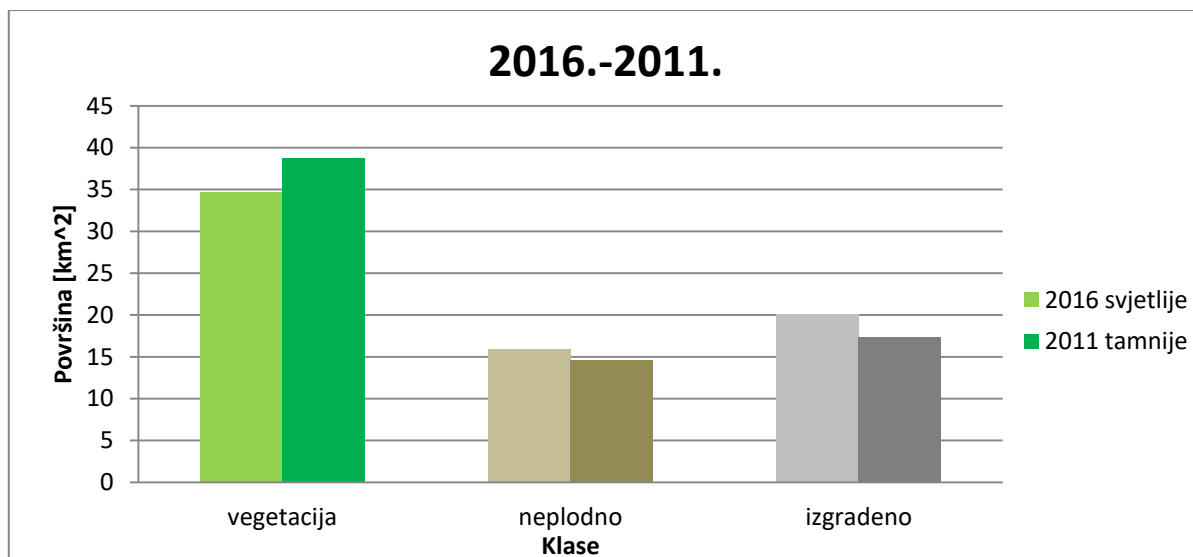
4.2.4. Promjene zemljišnog pokrova 2011. – 2016.

U ovom poglavlju prikazane su promjene zemljišnog pokrova u periodu od 2011. do 2016. godine.

Tablica 13. Matrica konfuzije 2011. i 2016. godine

2011.	2016.					
	klasa	vegetacija	neplodno	more	izgrađeno	ukupno
	vegetacija	32967	3319	0	3541	39827
	neplodno	1417	13607	2	1073	16099
	more	5	0	761	97	863
	izgrađeno	969	741	32	16092	17834
	ukupno	35358	17667	795	20803	74623
kappa 0,88						
ukupna točnost 92,86%						

Matrica konfuzije (tablica 13) nam ukazuje da se u ovom vremenskom razdoblju najviše promijenila zastupljenost tla prekrivenog *vegetacijom*. Većina tla prekrivenog *vegetacijom* se pretvorilo u *građevinsko* zemljište ili je postalo *neplodno* zemljište, što rezultira smanjenjem zastupljenosti od 5,82%, odnosno 4,12 km² u odnosu na ukupnu površinu grada Splita. Zastupljenost *neplođnog*, kao i *izgrađenog* zemljišta se povećala. Postotak povećanja zastupljenosti *neplođnog* zemljišta je 1,99%, odnosno 1,41 km². *Izgrađeno* zemljište se proširilo za dodatnih 2,7 km², odnosno za 3,82%. Promjene su grafički prikazane u histogramu (slika 15).



Slika 14. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 2011. – 2016.

4.2.5. Promjene zemljišnog pokrova 1987. – 2001.

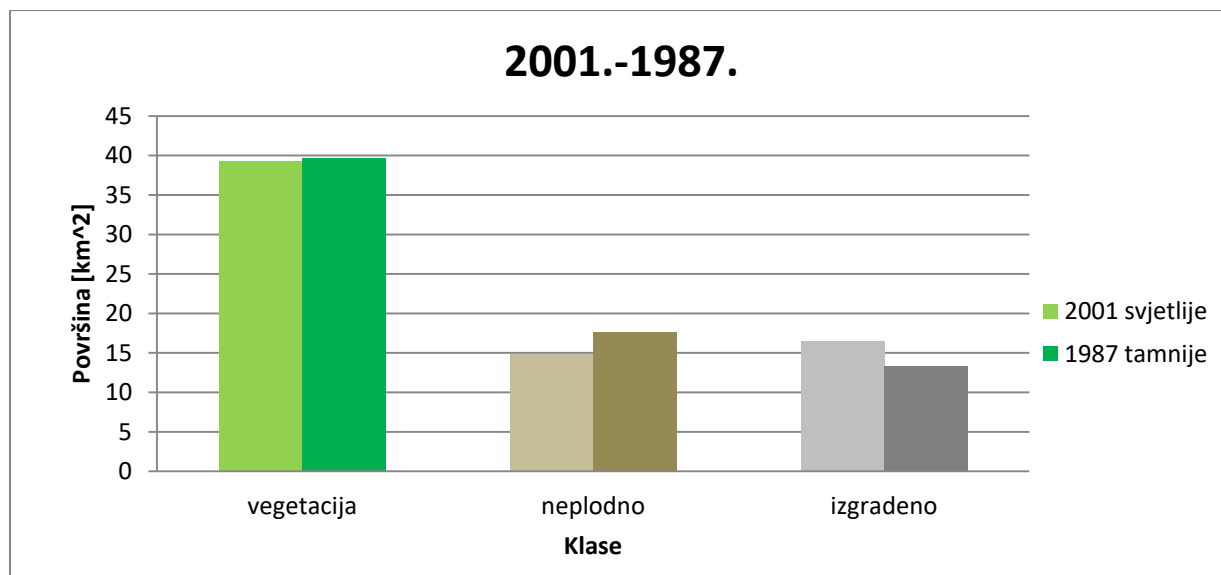
Kako bi se dobila što bolja prostorno-vremenska analiza podataka, osim analize promjena uzastopnih vremenskih razdoblja, obavila se i analiza između početka, sredine i kraja vremenskog intervala istraživanja.

Tablica 14. Matrica konfuzije 1987. i 2001. godine

1987.	2001.					
	klasa	vegetacija	neplodno	more	izgrađeno	ukupno
	vegetacija	34723	4598	63	2066	41450
	neplodno	1661	14114	0	774	16549
	more	116	0	779	3	898
	izgrađeno	5350	902	94	11729	18075
	ukupno	41850	19614	936	14572	76972
kappa 0,84						
ukupna točnost 90,35%						

Matrica konfuzije (tablica 14) jasno pokazuje na promjene koje su i uzrok ovog istraživanja, a to je povećanje zastupljenosti *izgrađenog* područja. U razdoblju od četrnaest godina *izgrađeni* dio grada se povećao za 3,18 km² u odnosu na ukupnu površinu grada, odnosno za 4,50%. S

druge strane smanjio se udio zastupljenosti *vegetacijskog* i *neplodnog* zemljišta. Udio zastupljenosti vegetacijskog zemljišta je pao za 0,58%, odnosno za 0,41 km². *Neplodno* zemljište se prenamijenilo u *građevinsko* zemljište ili ga je prekrila *vegetacija* pa se njegova zastupljenost smanjila za 3,9%, tj. za 2,77 km². Promjene su grafički prikazane u histogramu (slika 16).



Slika 15. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 1987. – 2001.

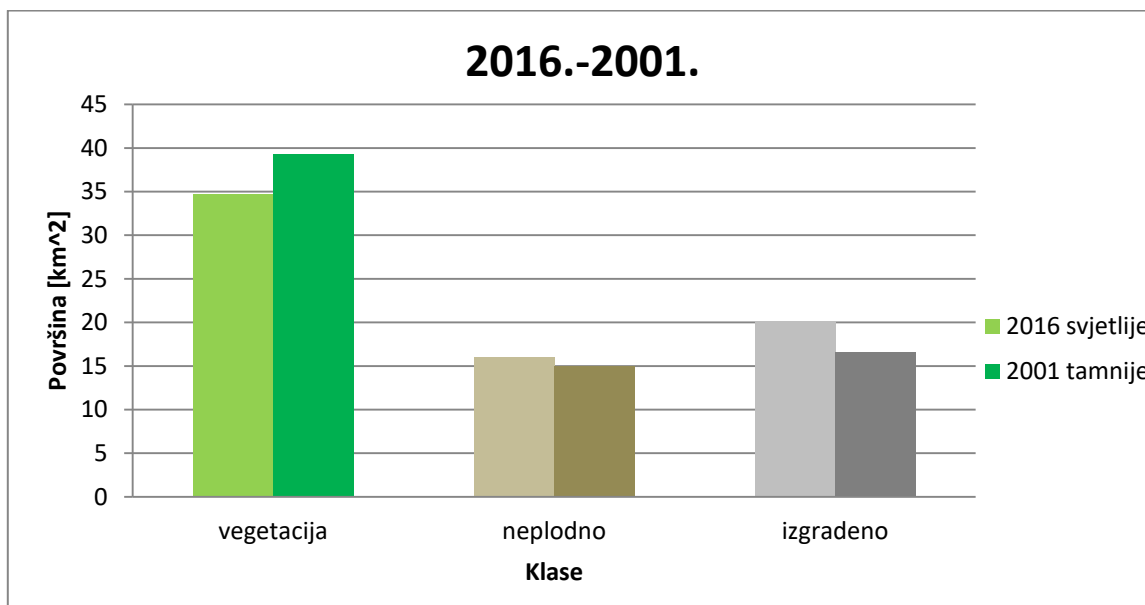
4.2.6. Promjene zemljišnog pokrova 2001. – 2016.

U ovom poglavlju prikazane su promjene zemljišnog pokrova u periodu od 2001. do 2016. godine.

Tablica 15. Matrica konfuzije 2001. i 2016. godine

2001.	2016.					
	klasa	vegetacija	neplodno	more	izgrađeno	ukupno
	vegetacija	33672	1848	2	1584	37106
	neplodno	3453	13316	0	962	17731
	more	34	4	754	5	797
	izgrađeno	4995	1374	142	15293	21804
	ukupno	42154	16542	898	17844	77438
kappa 0,86						
ukupna točnost 91,39%						

U ovom vremenskom razdoblju od petnaest godina desile su se velike promjene načina korištenja zemljišta (tablica 15). Dio *vegetacijskog* zemljišta je prenamijenjen u *građevinsko*, a dio je postao *neplodan*. Ove promjene su rezultirale smanjenjem udjela zastupljenosti *vegetacijskog* tla za 6,59%, odnosno 4,66 km². Zastupljenost udjela *neplodnog* zemljišta se povećala za 1,49%, što iznosi 1,05 km². Također se zastupljenost *izgrađenog* zemljišta povećala za 5,09%, odnosno 3,60 km². Promjene su grafički prikazane u histogramu (slika 17).



Slika 16. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 2001. – 2016.

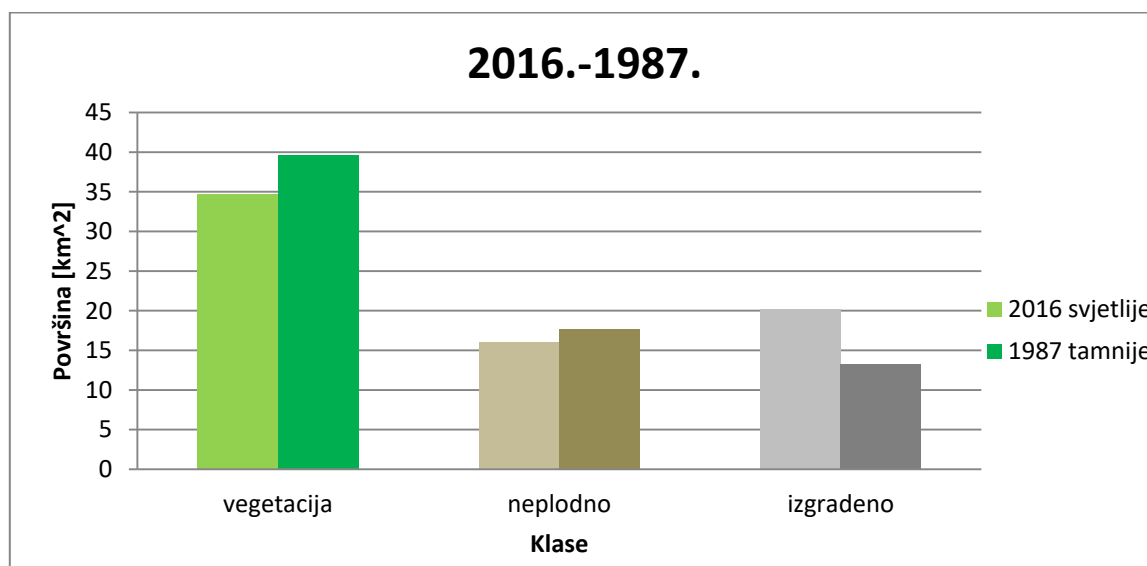
4.2.7. Promjene zemljišnog pokrova 1987. – 2016.

U ovom poglavlju prikazane su promjene zemljišnog pokrova u periodu od 1987. do 2016. godine. Matrica konfuzije (tablica 16) prikazuje promjene koje su se desile u tridesetogodišnjem vremenskom razdoblju.

Tablica 16. Matrica konfuzije 1987. i 2016. godine

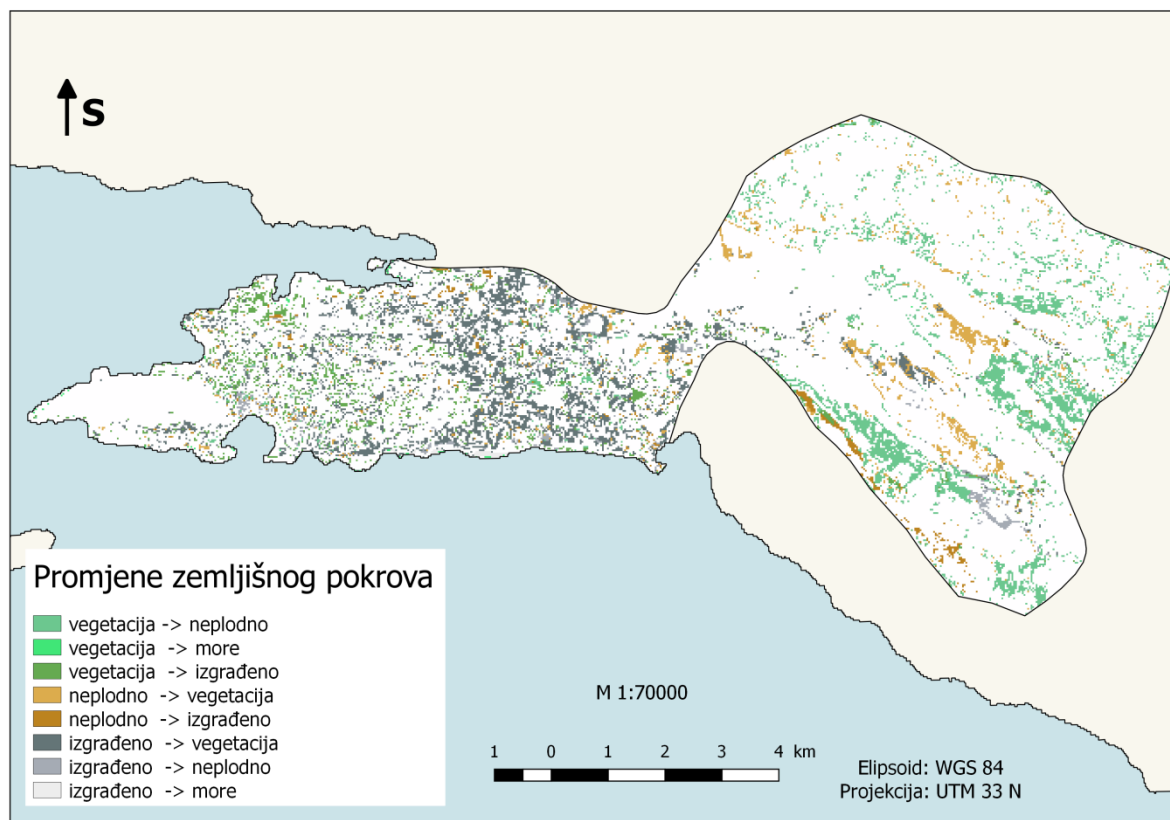
1987.	2016.					
	klasa	vegetacija	neplodno	more	izgrađeno	ukupno
	vegetacija	30840	4321	17	1301	36479
	neplodno	3271	13509	10	917	17707
	more	75	1	714	7	797
	izgrađeno	7671	1761	195	12251	21878
	ukupno	41857	19592	936	14476	76861
kappa 0,81						
ukupna točnost 87,76%						

U vremenskom razdoblju od trideset godina dosta se promijenila struktura zemljišta. Najveća promjena se desila kod *izgrađenog* zemljišta kojem se površina povećala za 9,60%, što iznosi 6,79 km² obzirom na ukupnu površinu grada Splita. Dio *vegetacijskog* zemljišta je postao *neplodan*, a drugi dio je pretvoren u *građevinsko* zemljište, što dovodi do smanjena udjela zastupljenosti od 7,17%, odnosno 5,07 km². *Neplodno* zemljište je prekrila vegetacija ili je prenamijenilo u *građevinsko* zemljište, što dovodi do smanjena zastupljenosti *neplodnog* zemljišta od 2,42%, odnosno 1,71 km². Promjene su grafički prikazane u histogramu (slika 18).

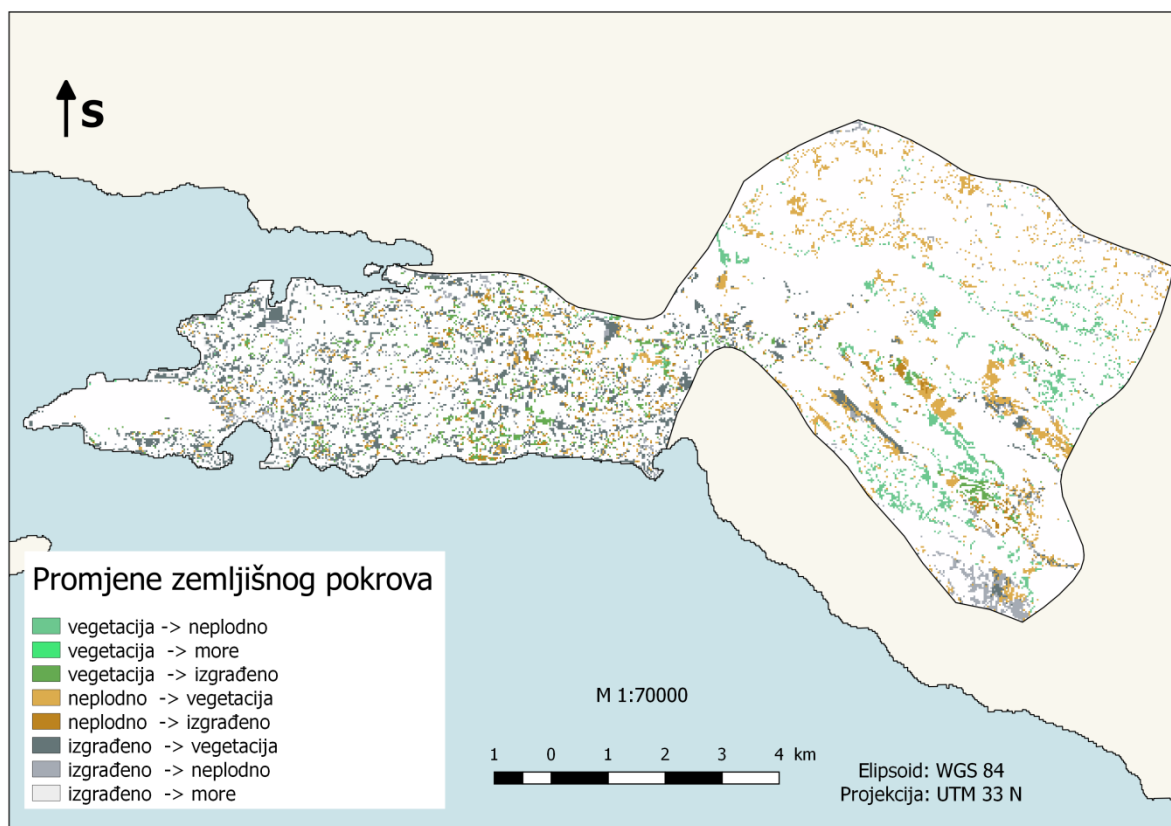


Slika 17. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 1987. – 2001.

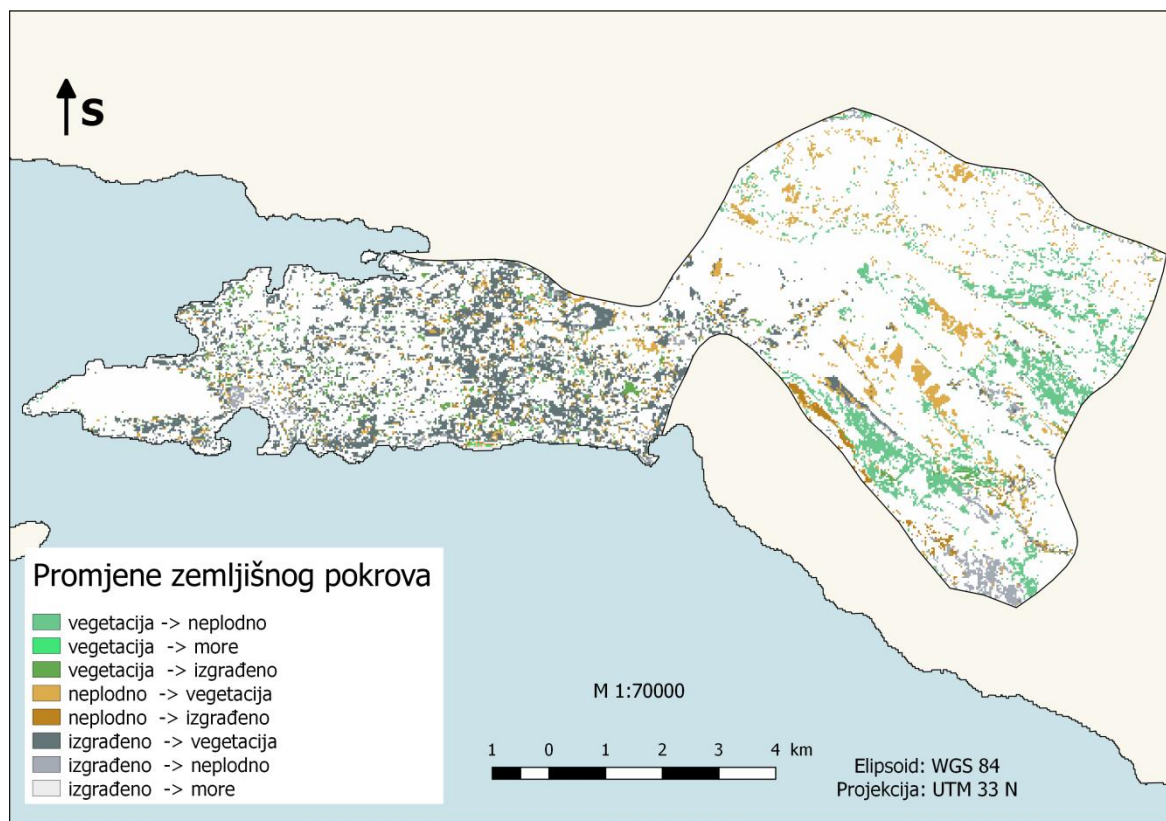
Kako bismo ispitali gdje su se promjene na zemljištu točno dogodile, odnosno u kojim smjerovima i na kojim područjima se je dešavala urbanizacija grada Splita izrađeni su i grafički prikazi promjena zemljišnog pokrova (slika 19, slika 20 i slika 21). Ti grafički prikazi su napravljeni analizirajući razlike zemljišnog pokrova u proizvoljnom vremenskom razdoblju te na njima vidimo kako se mijenjao udio pojedinih klasa zemljišta.



Slika 18. Prikaz promjena zemljišnog pokrova od 1987. do 2001. godine



Slika 19. Prikaz promjena zemljišnog pokrova od 2001. do 2016. godine



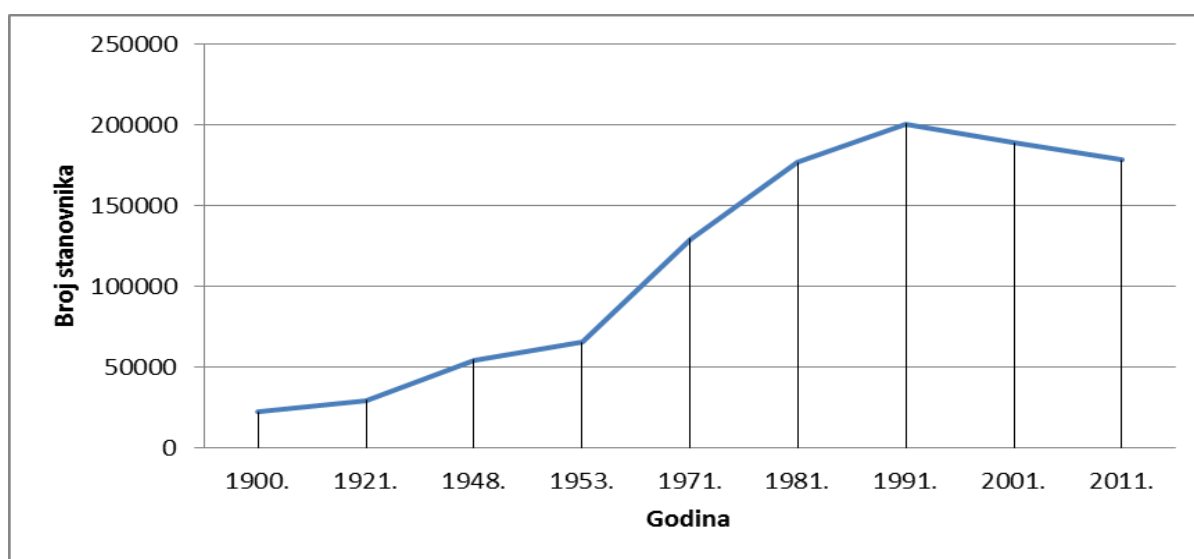
Slika 20. Prikaz promjena zemljišnog pokrova od 1987. do 2016. godine

4.3. Integracija socio-ekonomskih pokazatelja s detektiranim promjenama zemljišnog pokrova

Migracije (dnevne ili stalne) stanovništva su uzrokovane socio-ekonomskim pokazateljima koji neko mjesto čine poželjnim. Pretražujući socio-ekonomske pokazatelje pronađeni su statistički podaci *broja stanovnika* i *turističkih dolazaka* (tablica 18). *Broj stanovnika* se prati od 1900. godine, a zadnji popis stanovništva je bio 2011. godine (slika 22). U tablici 17 vidimo kako se broj stanovnika mijenjao tokom godina.

Tablica 17. Broj stanovnika grada Splita (URL 17)

Godina	1900.	1921.	1948.	1953.	1971.	1981.	1991.	2001.	2011.
Broj stanovnika	21925	29155	54187	64874	129203	176303	200459	188694	178102

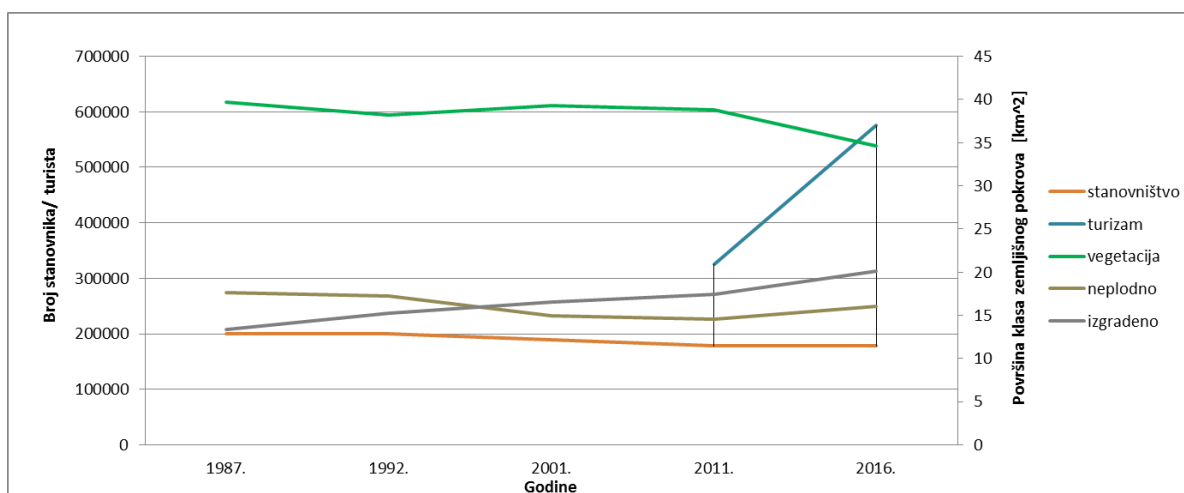


Slika 21. Trend promjene broja stanovnika tijekom godina

Tablica 18. Broj dolazaka i ostvarenih noćenja u razdoblju od 2013. do 2016. (URL 18)

		Dolasci	Noćenja
2013.	Strani turisti	282139	820604
	Domaći turisti	43161	93451
	Ukupno	325300	914055
2014.	Strani turisti	352252	1007997
	Domaći turisti	41802	103382
	Ukupno	394054	1111379
2015.	Strani turisti	408734	1215631
	Domaći turisti	48049	121904
	Ukupno	456783	1337535
2016.	Strani turisti	516458	1631457
	Domaći turisti	58557	131652
	Ukupno	575049	1763174

Svi statistički pokazatelji su integrirani s podacima o zastupljenosti pojedine vrste zemljišta u određenom vremenskom razdoblju (slika 23).



Slika 22. Integracija socio-ekonomskih pokazatelja s dinamikom promjene zemljišnog pokrova

5. Rasprava

Urbanizacija je pojam koji se javlja na globalnoj razini. Znanstvenici nisu još pronašli način kako kroz standardizirane kriterije ocijeniti stupanj urbaniziranosti nekog mjesta. Proučavaju se eksperimentalni modeli i pokušava doći do najboljeg rješenja. Stoga, se urbanizacija nekog mjesta analizira na osnovu parametara koji su karakteristični za to područje.

Pretražujući literaturu pronađeni su radovi koji su se bavili problemom urbanizacije grada Splita. Urbanizacija je kartografski prikazana kroz socio-ekonomske parametre koji Split čine poželjnim mjestom za život.

Obradom satelitskih snimki određenog mjesta dobiju se podaci o zemljišnom pokrovu tog dana kada je snimka nastala. Prostorno-vremenska analiza se realizira uspoređivanjem detektiranih vrsta zemljišnog pokrova temeljem satelitskih snimki.

Dinamika promjena zemljišnog pokrova ovisi o dinamici promjena socio-ekonomskih pokazatelja. Pokazalo se da prirast stanovništva rezultira širenjem urbanih područja.

Gledajući kronološki udio izgrađenog zemljišta se najviše promijenio, u razdoblju od 2011. godine do 2016. godine, kada se povećao za 3,82%, točnije 2,70 km². U tom vremenskom periodu grad Split je postao prepoznatljiv kao turističko odredište koje udovoljava zahtjevima svih generacija. Osim klasičnog kupališnog turizma, Split nudi autentičan antički štih starog dijela grada te mnoštvo sadržaja za mlade i one željne avanturizma. Split je od tranzitnog grada, kroz koji bi turisti prošli na putu prema jugu Hrvatske ili otocima, postao odredišni grad. Nagli razvoj turizma je pokrenulo gospodarstvo, otvorilo mnoga radna mjesta te rezultirao osiguravanjem novih smještajnih kapaciteta i razvojem mnogih popratnih sadržaja.

U vremenskom razdoblju između 2011. i 2016. godine bilježi se i najveći pad udjela vegetacijskog pokrova od 5,82%, odnosno 4,12 km² vegetacijskog područja je prenamijenjeno u građevinsko zemljište ili u neplodno zemljište.

Najveći pad zastupljenosti neplodnog zemljišta se dogodio u vremenskom razdoblju od 1999. do 2001. godine, kada je zastupljenost neplodnog zemljišta pala za 3,33%, odnosno prenamijenilo se 2,35 km² neplodnog zemljišta.

Može se zaključiti da se konstantno povećava udio izgrađenog zemljišta, širenjem na vegetacijska i neplodna zemljišta, koja konstantno bilježe pad zastupljenosti u odnosu na ukupnu površinu grada Splita.

U vremenskom intervalu između 1992. i 2001. godine bilježi se porast udjela vegetacijskog zemljišta. Ova „anomalija“ je možda uzrokovana činjenicom da je to bilo ratno razdoblje. Iako grad Split nije bio teritorij na kojem su bile bojišnice, posljedice cjelokupne situacije u državi su se odrazile. U tom vremenskom razdoblju se bilježi i pad broja stanovnika.

Podijelivši vremensko razdoblje istraživanja na dva dijela, odnosno na razdoblje između 1987. i 2001. godine i razdoblje između 2001. i 2016. godine, vidljivo je da je intenzitet i dinamika promjena bila veća u dugom vremenskom intervalu. Iako, razdoblje od 2001. – 2016. godine bilježi konstantan pad stanovništva, stanje gospodarstva opravdava intenzitet promjena. Ovo razdoblje je bilo i razdoblje najvećih gospodarskih kriza u kojima su mnogi izgubili radna mjesta, no očito je da se i u tim kriznim vremenima grad Split širio.

Ukupno gledano u vremenskom razdoblju od trideset godina, točnije od 1987. do 2016. godine grad Split je doživio poprilično dinamičnu promjenu krajolika. Područje izgrađenog dijela grada se povećalo za 6,79 km², dok se s druge strane područje pod vegetacijskim pokrovom i neplodno zemljište smanjilo za 5,07 km², odnosno 1,71 km² obzirom na ukupnu površinu grada.

Da je istraživanje rađeno na snimkama razlučivosti manje od 30 m, vjerojatno bi se dobile točnije i pouzdanije brojke. Osim toga, u tom slučaju bi se mogle pratiti i promjene unutar same klase izgrađeno kroz podklase kuće, zgrade, industrijska postrojenja, prometnice, itd.

Još jedna mana istraživanja je nedovoljan broj statističkih podataka koji opisuju razne socio-ekonomske fenomene kojima bi se bolje opisala i razumjela pozadina promjena poput broja zaposlenih stanovnika tokom godina, podaci o prosječnim mjesečnim primanjima i troškovima, podaci o noćenjima i broju turista za povijesne godine.

Glavni doprinos ovog rada je taj što se rad zasniva na metodama istraživanja koje su lako primjenjive na druge krajeve, i čiji su podaci besplatno dostupni širokim masama.

6. Zaključak

Problematika širenja gradova je sveprisutni globalni trend koji će tek doživjeti svoj vrhunac pri urbanizaciji slabo razvijenih krajeva Afrike i Azije.

Pomoću tehnika daljinskih istraživanja provodi se prostorno-vremenska analiza, u kojoj su detektirane, analizirane i interpretirane promjene zemljišnog pokrova. Na različitim setovima satelitskih snimaka *Landsat* misije je provedena nenadzirana klasifikacija, po *K-means* metodi, koja je zemljište grada Splita razdvojila na vegetacijsko, neplodno i izgrađeno.

Rezultati istraživanja su geovizualizirani pomoću kartografskog prikaza klasificiranih scena pojedinih satelitskih snimaka i tablica koje prikazuju količinu, kao i udio površine pojedine vrste zemljišnog pokrova.

Uspoređujući klasificirane snimke pratila se dinamika promjene načina korištenja zemljišta i zemljišnog pokrova. Dinamika promjena je prikazana pomoću histograma promjena, matrica konfuzije te kartografskim prikazom promjena.

Cilj ovog rada je ostvaren kad su se dobile konkretne brojke procesa urbanizacije, gledano kroz smjerove širenje grada i zastupljenost izgrađenog područja.

U tridesetogodišnjem razdoblju u gradu Splitu je nestalo 5,07 km² vegetacijskog zemljišta, prenamijenjen je 1,71 km² neplodnog zemljišta, dok se izgrađeni dio grada povećao za 6,79 km² u odnosu na ukupnu površinu grada Splita. Fascinantno je podatak da se na kraju ovog vremenskog razdoblja, udio izgrađenog zemljišta povećao za 50,96% u odnosu prema stanju zemljišta na početku vremenskog razdoblja.

Kako bi se dobila šira slika procesa urbanizacije uzeli su se u obzir i fenomeni koji su uzrokovali migracije okolnog stanovništva i zadržavanje lokalnog stanovništva na području grada. Socio-ekonomski pokazatelji su integrirani s detektiranim promjenama zemljišnog pokrova.

Obzirom na sveprisutnost i aktualnost ove teme, ovo istraživanje može biti polazna točka nekim novim analizama i istraživanjima, koji će imati pristup još širem spektru statističkih podataka socio-ekonomskih pokazatelja te na taj način nadograditi postojeću predodžbu procesa urbanizacije.

Zahvala

Zahvaljujem se mentorima izv. prof. dr. sc. Mladenu Zrinjskom i dr. sc. Mateu Gašparoviću na uloženom trudu i susretljivosti. Također im se zahvaljujem na stručnim savjetima, utrošenom vremenu i velikoj pomoći pri izradi rada.

Popis literature

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.

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.

Bajić, M. (1999): Daljinska istraživanja, bilješke, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Bastawesy, M. E. (2014): Hydrological scenarios of the Renaissance Dam in Ethiopia and its hydro-environmental impact on the Nile downstream, *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(7).

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, 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.

Friganović, M. A. (1992): Promjene u dinamici stanovništva Hrvatske 1981-1991. kao funkcija urbanizacije, *Hrvatski geografski glasnik*, 54(1), 63-73.

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 Baywatershed, In P. C. Smits, & L. Bruzzone (Eds.),

Proceedings of the second international workshop on the analysis of multi-temporal remote sensing images (pp. 223-232), Singapore' World Scientific Publishing Co.

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, Landsc. Ecol, 30, 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.

Leder, T. D., Leder, N., Hećimović, Ž. (2011): Određivanje površinske temperature tla područja Splita metodom daljinske detekcije, Građevinar, 11, 895-905.

Lillesand, T., Kiefer, R. W., Chipman, J. (2014): Remote sensing and image interpretation, John Wiley & Sons.

Lopez, J. M. R., Heider, K., Scheffran, J. (2017): Human and remote sensing data to investigate the frontiers of urbanization in the south of Mexico City, Data in Brief, 11, 5-11.

Oluić, M. (2001): Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.

Oštir, K. (2006): Daljinsko zaznavanje, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, Slovenija.

Oštir, K., Mulahusić, A. (2014): Daljinska istraživanja, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, Bosna i Hercegovina.

Rawat, J. S., Kumar, M. (2015): Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(1), 77-84.

Taubenböck, H., Wiesner, M., Felbier, 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.

Viera, A. J., Garrett, J. M. (2005): Understanding Interobserver Agreement: The Kappa Statistic, Fam. Med., 37(5), 360-363.

- Vresk, M. (1978): Gradska regija Zagreba, Hrvatski geografski glasnik, 40(1), 59-87.
- Vresk, M. (1983): Neka obilježja urbanizacije SR Hrvatske 1981. godine, Acta Geographica Croatica, 17(1), 39-53.
- Vresk, M. (1985): Oblici urbanizacije i prostorna pokretljivost stanovništva središnje Hrvatske, Hrvatski geografski glasnik, 47(1), 47-70.
- Vresk, M. (1985): Urbanizacija Dalmacije u uvjetima litoralizacije, Acta Geographica Croatica, 20(1), 31-40.
- Vresk, M. (1988): Neka obilježja urbanizacije istočne Hrvatske, Hrvatski geografski glasnik, 50(1), 33-43.
- Vresk, M. (1993): Prometne osovine i osovine urbanizacije Središnje Hrvatske, Hrvatski geografski glasnik, 55(1), 81-87.
- Vresk, M. (1997): Suburbanizacija Zagreba, Hrvatski geografski glasnik, 59(1), 49-70.
- Vresk, M. (1998): Satelitizacija splitske aglomeracije, Hrvatski geografski glasnik, 60(1), 31-47.
- 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.
- Zhu, X., Liu, D., Chen, J. (2012): A new geostatistical approach for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images, Remote sensing of Environment, 124, 49-60.

Mrežne adrese

- URL 1: Urbanizacija, <https://sh.wikipedia.org/wiki/Urbanizacija>, (17.4.2017.).
- URL 2: Split, <https://www.google.hr/maps?source=tldsi&hl=hr>, (10.4.2017.).
- URL 3: Položaj grada Splita, <http://www.visitsplit.com/hr/1232/polozaj>, (15.4.2017.).
- URL 4: Grad Split, <http://www.visitsplit.com/hr/1416/grad-split>, (15.4.2017.).
- URL 5: Earth Explorer, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, (10.3.2017.).
- URL 6: Kanali Landsat satelita, <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>, (21.3.2017.).
- URL 7: Landsat 7, <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7/>, (7.4.2017.).
- URL 8: Landsat 8, <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-data-continuity-mission/>, (7.4.2017.).
- URL 9: Administrativne granice Republike Hrvatske, <http://www.gadm.org/download>, (10.4.2017.).
- URL 10: QGIS - The Leading Open Source Desktop GIS, <http://www.qgis.org/en/site/about/index.html>, (12.4.2017.).
- URL 11: Features, http://docs.qgis.org/2.14/en/docs/user_manual/preamble/features.html, (12.4.2017.).
- URL 12: Semi-Automatic Classification Plugin for QGIS, <https://fromgistors.blogspot.com/p/semi-automatic-classification-plugin.html>, (12.4.2017.).
- URL 13: Land Cover Classification of Cropland: a Tutorial Using the Semi-Automatic Classification Plugin for QGIS, <http://www.directionsmag.com/entry/land-cover-classification-of-cropland-a-tutorial-using-the-semi-automa/376137>, (12.4.2017.).
- URL 14: Software, <http://www.saga-gis.org/en/index.html>, (14. 4.2017.).
- URL 15: Excel, <https://products.office.com/hr-hr/excel>, (17.4.2017.).
- URL 16: Histogram, <http://www.definiraj.com/1369/histogram/>, (1.4.2017.).
- URL 17: Popis stanovništva, kućanstava i stanova, <http://www.dzs.hr/>, (3.4.2017.).
- URL 18: Dolasci i noćenja na području TZG Splita, <http://www.visitsplit.com/hr/1868/2015-godina>, (3.4.2017.).

Popis slika

Slika 1. Geografski položaj grada Splita (URL 2)	5
Slika 2. Prikaz „True color“ kompozita 5, 3 i 2 kanala grada Splita.....	15
Slika 3. Postupak klasifikacije u softveru SAGA	17
Slika 4. Prikaz dobivenih klasa za 2016. godinu.....	18
Slika 5. Formirane klase.....	18
Slika 6. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 1987. godine	20
Slika 7. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 1992. godine	21
Slika 8. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 2001. godine	22
Slika 9. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 2011. godine	23
Slika 10. Stupanj urbaniziranosti grada Splita 2016. godine	24
Slika 11. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 1987. – 1992.....	27
Slika 12. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 1992. – 2001.....	28
Slika 13. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 2001. – 2011.....	29
Slika 14. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 2011. – 2016.....	31
Slika 15. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 1987. – 2001.....	32
Slika 16. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 2001. – 2016.....	33
Slika 17. Histogram zastupljenosti pojedine vrste zemljišnog pokrova 1987. – 2001.....	34
Slika 18. Prikaz promjena zemljišnog pokrova od 1987. do 2001. godine.....	35
Slika 19. Prikaz promjena zemljišnog pokrova od 2001. do 2016. godine.....	36
Slika 20. Prikaz promjena zemljišnog pokrova od 1987. do 2016. godine.....	36
Slika 21. Trend promjene broja stanovnika tijekom godina	37
Slika 22. Integracija socio-ekonomskih pokazatelja s dinamikom promjene zemljišnog pokrova.....	38

Popis tablica

Tablica 1. Kanali multispektralnog skenera Landsat 5 satelita (URL 6)	10
Tablica 2. Kanali tematskog kartografa Landsat 5 satelita (URL 6).....	10
Tablica 3. Kanali ETM+ senzora Landsat 7 satelita (URL 7).....	11
Tablica 4. TIRS i OLI senzori Landsat 8 satelita (URL 6)	13
Tablica 5. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 1987. godinu	21
Tablica 6. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 1992. godinu	22
Tablica 7. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 2001. godinu	23
Tablica 8. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 2011. godinu	24
Tablica 9. Prikaz zastupljenosti pojedine vrste zemljišta za 2016. godinu	25
Tablica 10. Matrica konfuzije 1987. i 1992. godine	26
Tablica 11. Matrica konfuzije 1992. i 2001. godine	27
Tablica 12. Matrica konfuzije 2001. i 2011. godine	29
Tablica 13. Matrica konfuzije 2011. i 2016. godine	30
Tablica 14. Matrica konfuzije 1987. i 2001. godine	31
Tablica 15. Matrica konfuzije 2001. i 2016. godine	32
Tablica 16. Matrica konfuzije 1987. i 2016. godine	34
Tablica 17. Broj stanovnika grada Splita (URL 17).....	37
Tablica 18. Broj dolazaka i ostvarenih noćenja u razdoblju od 2013. do 2016. (URL 18).....	38

Analiza urbanizacije grada Splita

Marina Gudelj

Sažetak

Tema ovog istraživanja je analiza urbanizacije grada Splita. Istraživanje je provedeno na podacima koji su rezultat daljinskih istraživanja. Analizirano je pet setova satelitskih snimaka misije Landsat, koji prekrivaju područje grada Splita u vremenskom razdoblju od trideset godina. Na snimkama je provedena nenadzirana klasifikacija po metodi K-means temeljem koje su satelitske scene klasificirane u 4 klase: vegetacija, more, neplodno i izgrađeno zemljište. Nastavno su se provele interpretacija i analiza promjena zemljišnog pokrova. Za obradu satelitskih snimaka, klasifikaciju i naknadne analize korišteni su programi otvorenog koda SAGA GIS i QGIS. Iako, matrice konfuzije između pojedinih setova Landsat satelitskih snimaka pokazuju na visoku podudarnost između klasa (najmanji kappa koeficijent je 0,79, dok je najmanja ukupna točnost 86%), ujedno su ukazale i na promjene koje su rezultat socio-ekonomskih zbivanja. Socio-ekonomska zbivanja su paralelno proučena i priložena sa statističkim podacima u programu Microsoft Excel te su prikazani u obliku raznih grafova i tablica. Kronološki gledano uočljiv je stalni trend pada postotka zastupljenosti vegetacijskog i neplodnog zemljišta, a povećanje postotka izgrađenog zemljišta. Najveće promjene zemljišnog pokrova su uočene između dva seta satelitskih snimaka koji obuhvaćaju početnu i završnu godinu istraživanja, 1987. i 2016. godinu. Godine 1987. zemljišni pokrov grada Splita je obuhvaćao 56,14% vegetacijskog pokrova, 25,01% neplodnog i 18,85% izgrađenog zemljišta, dok je 2016. godine zemljišni pokrov grada Splita činilo 48,96% vegetacijskog pokrova, 22,59% neplodnog i 28,46% izgrađenog zemljišta. Jasno je uočljivo da su razlike pokrova zemljišta velike, osobito izgrađenog zemljišta, gdje iznose 9% površine grada Splita, odnosno ukupno 6,79 km². U tridesetogodišnjem razdoblju količina izgrađenog zemljišta se povećala za 50,96% .

Ključne riječi: urbanizacija, detekcija promjena zemljišnog pokrova, nenadzirana klasifikacija, grad Split, Landsat.

The Analysis of Urbanization of Split

Marina Gudelj

Summary

The subject of this research is the analysis of urbanization of the town Split. The research is based on the results of remote sensing. Five sets of Landsat imagery, which cover the area of Split over the period of thirty years. Unsupervised classification by method K-means was carried out on the imagery, arranging the scene in 4 classes: vegetation, the sea, the infertile and the built-up area. Further analysis was done by interpreting and analyzing land-cover changes. SAGA GIS and QGIS programs were used for satellite image processing, classification and subsequent analysis. Even though the confusion matrices between certain sets of Landsat imagery indicate high compatibility of classes (the lowest kappa coefficient was 0.79, while the minimum overall accuracy was 86%), they also point out the changes which resulted from socio-economic events. Socio-economic events were examined in parallel and, as well as the statistical data, added to the Microsoft Excel software and shown in charts and tables. Chronologically, there is an obvious constant trend in the decrease in the percentage of vegetative and infertile cover, and the increase in the percentage of the built-up area. The greatest changes were detected between two sets of the satellite imagery which cover the first and the final year of the research, 1987 and 2016. In 1987 the land cover of Split included 56.14% of the vegetative cover, 25.01% of the infertile cover and 18.85% of the built-up area. In 2016 the land cover of Split was made up of 48.96% of the vegetative cover, 22.59% of the infertile cover and 28.46% of the built-up area. It is clear that there are big differences, especially in the built-up area, totaling 9% or 6.78 km². In the thirty-year period, the amount of built-up area was increased by 50.96%.

Key words: urbanization, land-cover change detection, unsupervised classification, Split, Landsat.

Životopis

Marina Gudelj rođena je 7. kolovoza 1993. godine u Splitu. Godine 2008. upisuje Prirodoslovno-matematičku gimnaziju u Splitu, koju završava 2012. godine. Preddiplomski studij Geodezije i geoinformatike na Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu upisuje 2012. godine. Preddiplomski studij uspješno završava 2015. godine stjecanjem akademskog naziva sveučilišna prvostupnica (baccalaurea) inženjerka geodezije i geoinformatike. Godine 2015. upisuje diplomski studij Geodezije i geoinformatike, usmjerenje Geoinformatika na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Dobitnica je Dekanove nagrade za ostvaren uspjeh na studiranju na Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu za akademsku godinu 2013./2014. Tijekom trajanja studija obavljala je različite studentske poslove preko student servisa. Trenutno radi preko student servisa u jednoj geodetskoj tvrtki.