

Primljeno / Received: 15.2.2018.
Prihvaćeno / Accepted: 15.10.2018.

UDK 630* 582 (001)
Stručni rad / Professional article

UPOTREBA DOSTUPNIH LANDSAT SATELITSKIH SNIMAKA ZA PROCJENE STANJA ŠUMA U BOSNI I HERCEGOVINI

FOREST DETECTION USING AVAILABLE LANDSAT SATELLITE IMAGERY IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Dženana Hajdarević

SAŽETAK

U Bosni i Hercegovini je uočljiva devastacija šumskih bogatstava na različite načine. Geodeti zaposleni u Šumsko-privrednim društvima i Upravama za šumarstvo različitih razina vlasti svjedoci su ovog teškog problema. Metode i tehnike daljinskog istraživanja, kao nove discipline u geodeziji, omogućavaju automatsko procesiranje podataka - dobivanje pouzdanih (prostorno i vremenski) informacija koje predstavljaju temelje za efikasno i učinkovito gospodarenje šumama. Postupak rada podrazumijeva je klasifikaciju i interpretaciju satelitskih snimaka. Korišteni su satelitski snimci iz dva perioda (1987. i 2013. godina). Navedeni snimci su obrađene u softverima ArcGIS 10.2. i eCognition Developer, a rezultati su prikazani u kartografskom obliku. Analiziranjem rezultata – obrađenih satelitskih snimaka (visoke točnosti u ovoj klasi snimaka), zaključeno je da je moguće analizirati stanje šuma.

Ključne riječi: *daljinsko istraživanje, šume, satelitski snimci.*

ABSTRACT

It is apparent devastation of forest resources in Bosnia and Herzegovina in different ways. Surveyors employed in forest management societies and Forestry administrations of different levels of government witnesses this difficult problem. Methods and techniques of remote sensing, as a new discipline in the surveying, enable automatic data processing - getting reliable (space and time) of information that is the basis for efficient and effective forest management. The proceedings of the implied classification and interpretation of satellite images were used satellite images from two periods (1987 and 2013). These images are processed in software ArcGIS 10.2. and eCognition Developer, the results are displayed in map form. By analyzing the results - processed satellite images (high accuracy in this class of images), it was concluded that it is possible to analyze the shape of the forests.

Keywords: *remote sensing, forests, satellite images*

1 UVOD

Daljinsko istraživanje se definiše kao nauka i tehnologija pomoću koje se vrši identifikacija i analiza objekata i njihovih karakteristika bez direktnog kontakta sa istim. Daljinsko istraživanje se najčešće bavi proučavanjem Zemljine površine, ali ova metoda se koristi i za promatranje drugih tijela Mjesec, Mars, Venera i drugih planeta. Avioni, sateliti i svemirske sonde su uobičajene platforme za opažanja u daljinskim istraživanjima. Daljinska istraživanja se zasnivaju na korištenju spektra elektromagnetskih valova, koji prenose informacije od objekta do senzora, koji prima i bilježi elektromagnetske valove.

Rezultat bilježenja zračenja pristiglog sa udaljenih objekata naziva se snimak, a postupak bilježenja je snimanje. Na taj način nastaju aerosnimci, odnosno snimci iz aviona, i satelitski snimci iz umjetnih Zemljinih satelita.

Vrijeme razvoja tehnologije, ne samo u njenoj komercijalnoj primjeni nego i u istraživačkoj i naučnoj primjeni, ukazuje na činjenicu da je daljinsko istraživanje još jedno područje nauke u kojem su geodeti prepoznali mogućnost unaprijeđenja geodetskih poslova. Razvoj tehnologije nudi mnogobrojne mogućnosti koje su na početku prošlog stoljeća bile nezamislive (Mulahusić i dr., 2015). Najviše istraženo područje daljinskih istraživanja je korištenje slikevnih podataka koji se koriste za klasifikaciju zelenih površina na planeti Zemlji i za praćenje promjena nastalih u zadnjih 40 godina. Satelitski snimci, naravno obrađeni postupcima daljinskih istraživanja, koriste se u razne svrhe. Pobiljšavanje uslova življenja, ekološka osviještenost, neke su od svrha korištenja obrađenih satelitskih snimaka u razvijenim državama svijeta. Pored već pobjrojanih namjena, u Bosni i Hercegovini kartografi su oduvijek poseban naglasak stavljali na šume i šumska zemljišta (Tuno, Mulahusić i Topoljak, 2018), pa se obrađeni satelitski snimci mogu uspješno iskoristiti i za postupke analiziranja sječe i krčenja šuma, za promjenu katastarske kulture u katastarskom operatu (što ima za posljedicu promjenu katastarskog prihoda) kao i za analizu rekultivacije određenih površina. Naravno, analiza se vrši od strane šumarskih stručnjaka nakon uspješne obrade raspoloživih satelitskih snimaka, od strane geodetskih stručnjaka.

U radu se za procjenu stanja šuma naglasak stavlja na korištenje besplatnih satelitskih snimaka Landsat sistema. Godine 1985. podaci Landsat sistema postali su komercijalizirani čime je omogućeno njihovo korištenje za različite civilne i istraživačke aplikacije.

Satelitski snimci istog područja iz različitih vremenskih perioda omogućavaju kreiranje arhive, što pruža mogućnost uvida u hronologiju događanja i promjena na polju širenja ili smanjivanja šumskih područja. Na taj način satelitski snimci imaju vrijednost dokumenata koji svjedoče o svim promjenama u šumskim područjima, a prvenstveno o sječama šuma i krčenju šuma. Ova dešavanja su direktno vezi sa uzurpacijom zemljišta. Pod uzurpacijom zemljišta treba shvatati, ne samo usurpiranje obradivog zemljišta nego i usurpiranje zemljišta pod šumama, šikarama ili nekom drugom kulturom (Topoljak i Mulahusić, 2011) nakon čega vrlo često slijedi „pretvorba“ u poljoprivredno zemljište.

Daljinska istraživanja pružaju ogromne mogućnosti i pomoći pri analiziranju, kako pozitivnih tako i negativnih pojava u prostoru. Satelitski snimci kao izvor informacija imaju sve veće značenje i primjenu u Hrvatskoj (Beno i Balenović, 2011). U Bosni i Hercegovini je primjena daljinskog istraživanja u velikom zamahu. Treba naglasiti da u dosta država Evrope, ali i svijeta, daljinska istraživanja predstavljaju važnu oblast u mnogim disciplinama, a posebno je korisno i efikasno primjenjivati daljinska istraživanja u strukama kao što su geodezija i šumarstvo.

Primjena daljinskog istraživanja u šumarstvu je problematika analizirana od strane više autora i u raznim poljima šumarstva, što su naglasili istraživači u svojim radovima Seletković i dr. (2008), Beno i Balenović (2011). Rješavanje bilo kakvog problema zahtijeva postojanje i posjedovanje podataka/informacija, čije prikupljanje je prilično mukotrpan posao.

2 OSNOVE DALJINSKOG ISTRAŽIVANJA

Daljinska istraživanja danas su nezaobilazna metoda u mnogim naučnim područjima, a dobiveni rezultati, zahvaljujući razvoju računarske tehnologije, nalaze široku primjenu u različitim disciplinama. Riječ je o metodi prikupljanja i interpretaciji informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira sa objektom. Prve fotografije iz zraka pojatile su se sredinom XIX stoljeća (snimak Bostona iz balona sa toplim zrakom sa visine cca 400 m, 1860. godine), nakon čega počinje masovna primjena ovih fotografija. Prije 1960. godine foto kamera je bila najčešće upotrebljavani sistem daljinskog istraživanja iako su infracrveni i radarski sistemi razvijani i upotrebljavani za vrijeme Drugog svjetskog rata (Oštir i Mulahusić, 2014). Satelit kao element daljinskog istraživanja sastoji se od senzora postavljenih na platformi koji prikupljaju podatke o Zemlji. Postoji širok raspon tehnika daljinskog istraživanja za kartiranje Zemljine površine. Praktično sve ove tehnike koriste senzore koji bilježe zračenje. Vidljivo zračenje je samo mali dio vrlo velikog raspona elektromagnetskih valova (Ikica i Kušan, 1996). Tačna vrijednost valnih dužina zavisi od određenih instrumenata na satelitima (Astaloš, 2012). Sva pitanja primjene daljinskih istraživanja leže na razumijevanju elektromagnetskog zračenja i njegovog djelovanja sa Zemljinom površinom, atmosferom i instrumentima. Međutim, senzori za daljinska istraživanja nisu ograničeni samo na vidljivo područje. Sklonost objekta da reflektuje ili apsorbuje različite talasne dužine sunčevog zračenja je predstavljena njegovom spektralnom karakteristikom. Posmatrana svojstva na satelitskoj slici imaju općenito, izrazite spektralne karakteristike, a multispektralni podaci mogu biti klasifikovani za određivanje raznih spektralnih klasa. Upotreboom softvera za analizu slika svi pikseli s istim spektralnim karakteristikama se svrstavaju u istu klasu. Svi pikseli s jednakim spektralnim karakteristikama najčešće odgovaraju istom tipu korištenja zemljišta, oblaka ili vode (Ikica i Kušan, 1996). Slika koja je proizvedena razvrstavanjem piksela i bojanjem rezultirajućih klasa po nekom kodu, naziva se tematska karta. U tematskoj karti, različite klase piksela su identifikovane i grupisane zajedno. Specifične situacije zahtijevaju provjeru na terenu (engl. *Ground Truthing*). Provjera i mjerena na terenu omogućavaju povezivanje daljinskih podataka sa stvarnim podacima prirodnog okoliša. Znači, potrebno je terenski analizirati područje kako bi se potvrdili zaključci temeljeni na daljinskom istraživanju. Tako provjereni podaci mogu se upotrijebiti u različitim

lokalnim uslovima za ocjenjivanje, interpretaciju i analizu podataka dobijenih daljinskim istraživanjem (Ikica i Kušan, 1996).

Svaka fotointerpretacija, pa i ona na osnovu satelitskih snimaka, ne iscrpljuje se samim posmatranjem snimaka. Uspješna primjena metoda daljinskih istraživanja temelji se na stručnom znanju fotointerpretatora, na iskustvu u radu sa snimcima, te na intenzivnom naučnom i stručnom radu. To posebno vrijedi za primjenu satelitske tehnologije, gdje je uz razvoj tehnike snimanja i obrade snimaka, potrebno uložiti znatne napore za pronalaženje odgovarajućih metoda dobivanja željenih informacija (Kalafadžić i Kušan, 1993).

Mnogi elektronski senzori daljinskog istraživanja prikupljaju podatke skeniranjem terena, koristeći senzore sa uskim vidnim poljem i stvaraju dvodimenzionalnu sliku površine.

Pravovremeno i tačno otkrivanje promjena predstavlja osnovu za bolje razumijevanje odnosa između ljudskih i prirodnih fenomena, kao i osnovu za bolje upravljanje i korištenje svih raspoloživih resursa (Malahusić i Tuno, 2011).

3 ANALIZA I INTERPRETACIJA SATELITSKIH SNIMAKA

Satelitski snimci mogu se dobiti/kupiti u digitalnom i/ili analognom obliku. Različite kombinacije kanala omogućavaju da se na snimku prepoznaju detalji koji su od interesa za područje koje se posmatra. Kombinacije koje su pri izradi kolor kompozita u svrhu izrade rada bile najkorisnije su:

- 3, 2, 1 (RGB) – kombinacija kanala koja omogućava prikaz snimaka u prirodnim bojama, te na taj način je moguće razlikovati vodene i kopnene površine, tlo koje je prekriveno vegetacijom ili nije prekriveno i sl.,
- 4, 3, 2 – kombinacija koja prikazuje snimak najsličniji ICK aerosnimcima i omogućavaju npr. prikaz vegetacije u nijansama crvene, urbana područja cijan plava, a poljoprivredna zemljišta variraju od tamno do svjetlo smeđe boje. Ovo je vrlo popularna kombinacija kanala kada se radi o praćenju vegetacije i
- 7, 4, 2 – kombinacija korisna za studije vezane za geologiju, poljoprivredu i močvare.

Da bi se uspješno primijenila odabrana kombinacija kanala, snimci moraju biti obrađeni. U istraživanju za pisanje članka je vršena digitalna obrada snimaka. Osnovne faze u digitalnoj obradi snimaka su (Perković, 2010):

- pre-procesiranje,
- procesiranje i
- post-procesiranje.

Satelitski podaci pređu dug put od trenutka snimanja do korisnika i pri tome doživljavaju različite promjene. U fazi pre-procesiranja potrebno je popraviti podatke prije interpretacije snimaka. Prevodenje podataka u odgovarajući format korisnika i korekcija snimaka zbog mogućih grešaka (radiometrijske i geometrijske), su glavni postupci u fazi pre-procesiranja (Perković, 2010).

U fazi procesiranja snimaka provode se različite tehnike obrade sa ciljem poboljšanja interpretacijske vrijednosti snimka (lakše i pouzdanije izdvajanje podataka na snimku). Najčešći postupci su (Perković, 2010):

- transformacija snimaka (kodiranje, poboljšanje i obnavljanje snimka, interpretacija),
- povećanje kontrasta,
- filtriranje digitalnih snimaka,
- transformacija osnovnih komponenti snimaka,
- obrada spektralnih kanala i
- klasifikacija snimaka.

Na kraju procesiranja se izdvojeni podaci eksportuju u prikladnom formatu, kako bi se dobijene informacije o snimanom području mogle uspješno koristiti. Vrlo često se koristi GIS za dalje proučavanje i pohranjivanje podataka. U GIS-u je omogućena integralna analiza različitih tipova podataka u geografskom kontekstu.

Izlazni podaci digitalnog procesiranja snimaka u daljinskim istraživanjima mogu biti ulazni podaci za daljnja istraživanja i obradu u GIS-u. Sve aktivnosti obrade podataka koje se provode u ovoj završnoj fazi mogu se jednim imenom nazvati post-procesiranje (Perković, 2010).

4 OBRADA PODATAKA

Polazna osnova za rad na računarskoj obradi snimka je digitalni satelitski snimak (Malahusić i dr., 2017). Pri obradi podataka korištena su dva satelitska snimka, jedan iz 1987. godine, a drugi iz 2013. godine. Prostorni podaci oba snimka su u WGS 84 koordinatnom sistemu.

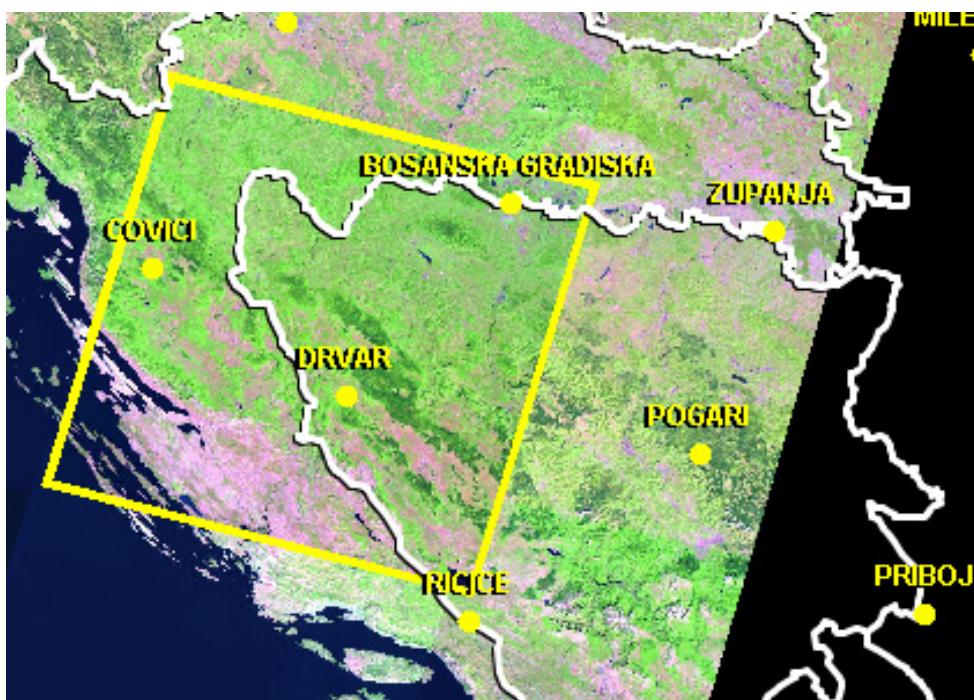
4.1 Vegetacioni indeks

Zdravo, odnosno živo rastinje jako odbija svjetlost u bliskom infracrvenom dijelu elektromagnetskog spektra, dok crvenu svjetlost jako apsorbuje. Druge površine, na primjer voda i golo tlo, imaju skoro jednaku refleksiju u oba spektralna područja. Odnos blizu infracrvenog i crvenog pojasa naziva se vegetacioni indeks. Sa višesloženim odnosom ili indeksom, koji sadrži razlike kanala, omogućeno je da se vegetacija i drugi tipični predmeti na površini još jače podudare. Jedan od najbolje korištenih indeksa za posmatranje vegetacije je normirani diferencijalni vegetacioni indeks NDVI (engl. *normalized difference vegetation index*) (Ošir i Malahusić, 2014). Indeks NDVI zauzima vrijednost između -1 i +1, s tim da veća vrijednost znači bolji intenzitet vegetacije.

4.2 Satelitski snimak iz 1987. godine

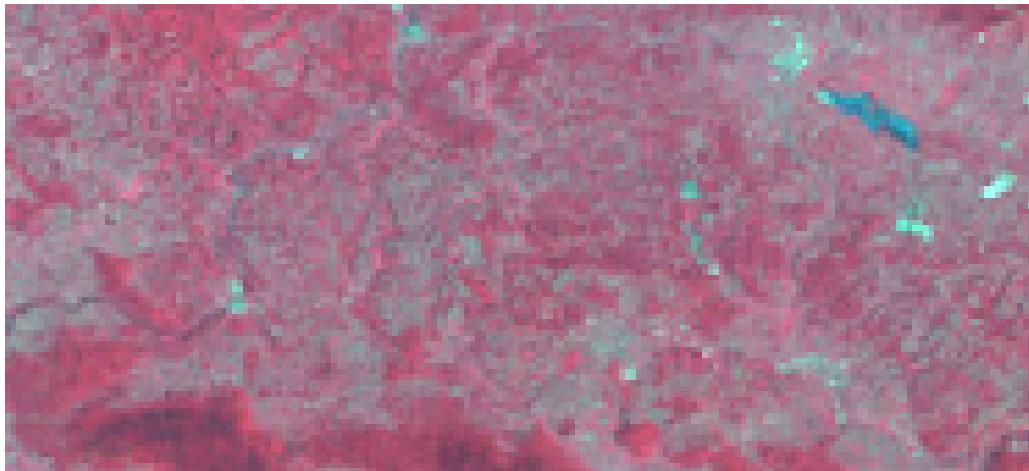
Satelitski snimak iz 1987. godine (Slika 1) ima 0% pokrivenosti oblacima i ukupnu ocjenu kvaliteta 9. Već je naglašeno da su prostorni podaci snimka u koordinatnom sistemu WGS 84. Snimljen je senzorom Thematic Mapper, koji obuhvata sedam spektralnih kanala i to (Landsat sistem, 2014):

- kanal 1 obuhvata vidljivi dio elektromagnetskog spektra valne dužine između 0,45 – 0,52 μm sa rezolucijom 30 m,
- kanal 2 također obuhvata vidljivi dio elektromagnetskog spektra čije su valne dužine između 0,52 – 0,60 μm sa rezolucijom 30 m,
- kanal 3 je isti kao kanali 1 i 2 samo sa vrijednostima valne dužine 0,63 – 0,69 μm i rezolucijom od 30m,
- kanal 4 obuhvata blizu infracrveni dio elektromagnetskog spektra sa vrijednostima valne dužine 0,76 – 0,90 μm i rezolucijom od 30 m,
- kanal 5 obuhvata blizu infracrveni dio elektromagnetskog spektra sa vrijednostima valne dužine 1,55 – 1,75 μm i rezolucijom od 30 m,
- kanal 6 obuhvata termalni dio elektromagnetskog spektra čije su vrijednosti valnih dužina između 10,40 – 12,50 μm i rezolucijom od 120 m,
- kanal 7 obuhvata srednje infracrveni dio elektromagnetskog spektra sa vrijednostima valne dužine 2,08 – 2,35 μm i rezolucijom od 30 m.



Slika 1. Korišteni satelitski snimak (isječak) (Satelit Landsat, 2014).

Pri obradi ovog satelitskog snimka korištena je kombinacija kanala 4, 3, 2 koja omoguće prikaz vegetacije u nijansama crvene boje (Slika 2). Ova kombinacija je vrlo efikasna kada se radi o analiziranju vegetacije, te je stoga i korištena pri istraživanju vezanom za šumska područja.



Slika 2. Korištena kombinacija kanala 4, 3, 2 pri obradi satelitskog snimka.

4.3 Satelitski snimak iz 2013. godine

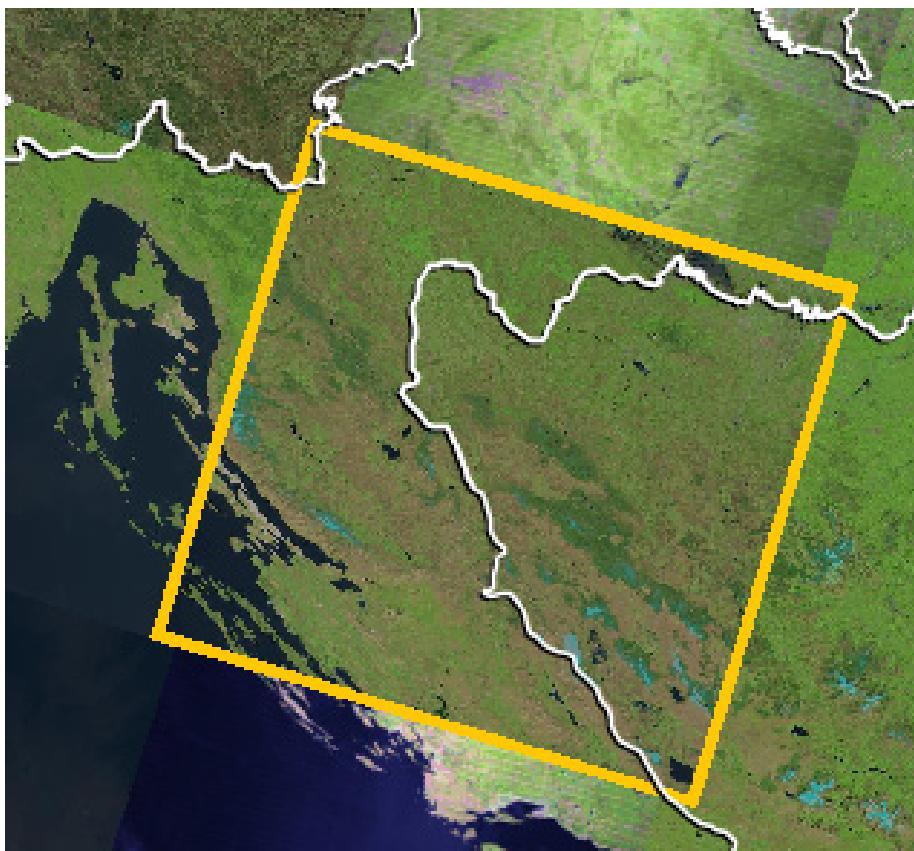
Satelitski snimak iz aprila 2013. godine (Slika 3) snimljen je senzorom OLI i TIRS koji se nalaze na satelitu Landsat 8. Detalji na ovom snimku kao i na snimku iz 1987. godine su u WGS 84 koordinatnom sistemu. Na snimku nema ni jedan postotak naoblake te mu je ukupni kvalitet 9.

Snimak satelita Landsat 8 sadrži 11 spektralnih kanala, gdje je sedam od devet kanala senzora OLI konzistentno sa kanalima senzora TM i ETM + (Landsat sistem, 2014). Kada je u pitanju Landsat 8, pri obradi je korištena 5, 4, 3 kombinacija kanala, što je konzistentno 4, 3, 2 kombinaciji Landsat 5 satelita.

Podaci o spektralnim kanalima snimljeni senzorom OLI su slijedeći (Landsat sistem, 2014):

- kanal 1 obuhvata duboko plavo obalno i aerosolno područje sa vrijednostima valne dužine $0.43 - 0.45 \mu\text{m}$ i rezolucijom od 30 m,
- kanal 2 obuhvata vidljivi dio elektromagnetskog spektra čije su vrijednosti valne dužine $0.45 - 0.52 \mu\text{m}$ i rezolucijom od 30 m,
- kanala 3 obuhvata vidljivi dio spektra sa valnim dužinama $0.52 - 0.60 \mu\text{m}$ i rezolucijom od 30 m,
- kanal 4 je također kao kanali 2 i 3 ali sa valnim dužinama $0.63 - 0.68 \mu\text{m}$ i rezolucijom od 30 m,

- kanal 5 obuhvata blizu infracrveni dio elektromagnetskog spektra sa vrijednostima valne dužine $0.84 - 0.88 \mu\text{m}$ i rezolucijom od 30 m,
- kanal 6 obuhvata kratke valne vrijednosti infracrvenog dijela spektra sa vrijednostima valne dužine $1.56 - 1.66 \mu\text{m}$ i 30 m rezolucijom,
- kanal 7 je isti kao i kanal 6 samo sa vrijednostima valne dužine $2.10 - 2.30 \mu\text{m}$,
- kanal 8 je panhromatski kanal koji obuhvata dio elektromagnetskog spektra sa vrijednostima valne dužine $0.50 - 0.68 \mu\text{m}$ i rezolucijom od 15 m,
- kanal 9 koji se još naziva i cirus kanal, koristi se za praćenje naoblake, obuhvata vrijednosti valnih dužina $1.36 - 1.39 \mu\text{m}$ sa rezolucijom od 30 m.

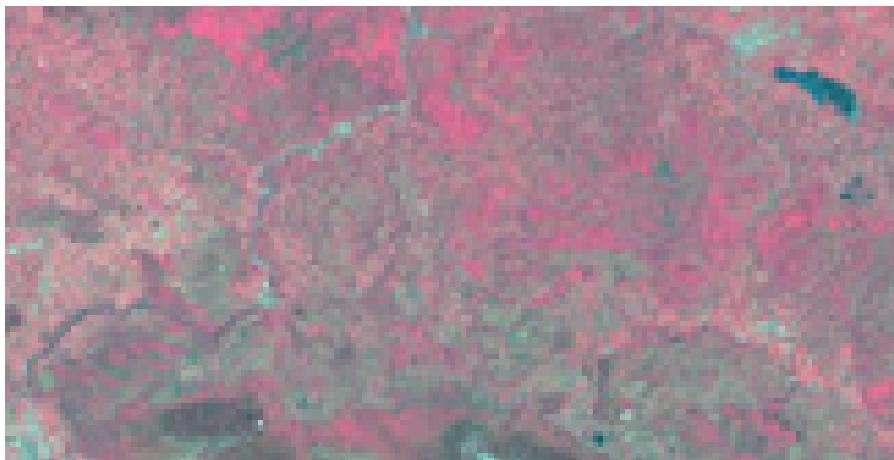


Slika 3. Korišteni snimak (isječak) (Landsat, 2014).

Pored ovog senzora postoji još senzor TIRS koji otkriva infracrveno zračenje i bilježi dva spektralna kanala (Landsat sistem, 2014):

- kanal 10 satelita Landsat 8 obuhvata duge talasne vrijednosti infracrvenog dijela spektra gdje su vrijednosti valne dužine $10.30 - 11.30 \mu\text{m}$ rezolucija od 100 m,
- kanal 11 je isti kao i prethodni kanal samo sa vrijednostima valnih dužina $11.50 - 12.50 \mu\text{m}$ i rezolucijom isto od 100 m.

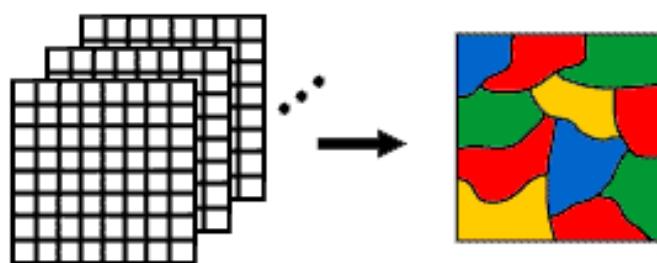
Pri obradi ovog snimka, snimka satelita Landsat 8, korištena je kombinacija kanala 5, 4, 3 (Slika 4), što je konzistentno kombinaciji kanala 4, 3, 2 pri obradi snimka snimljenog korištenjem Landsat 5 satelita.



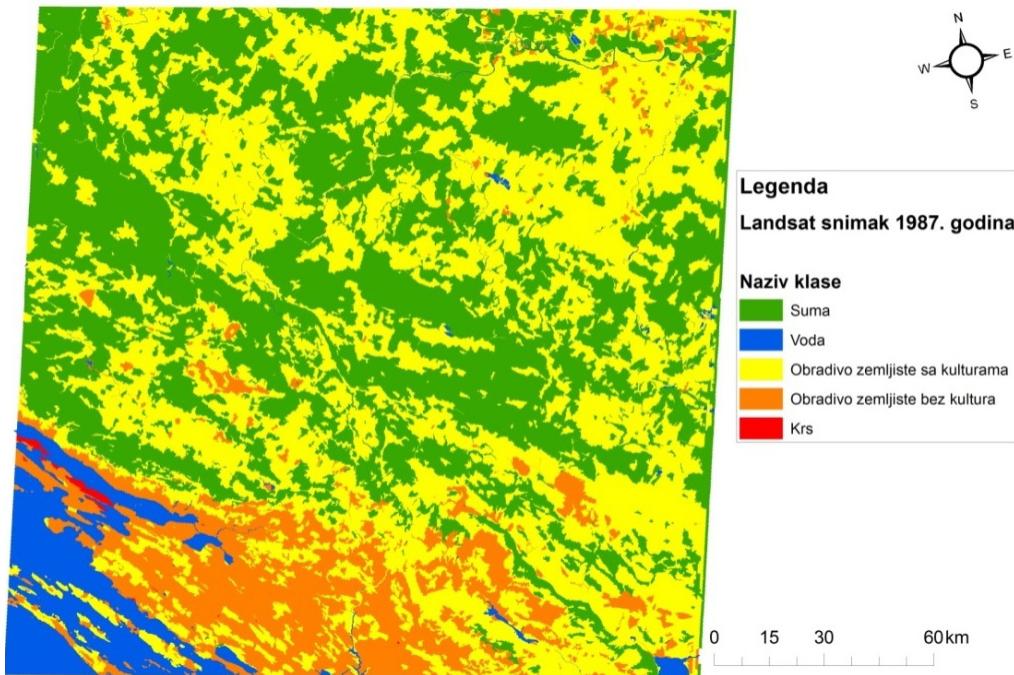
Slika 4. Korištena kombinacija kanala 5, 4, 3 pri obradi satelitskog snimka.

4.4 Klasifikacija satelitskih snimaka

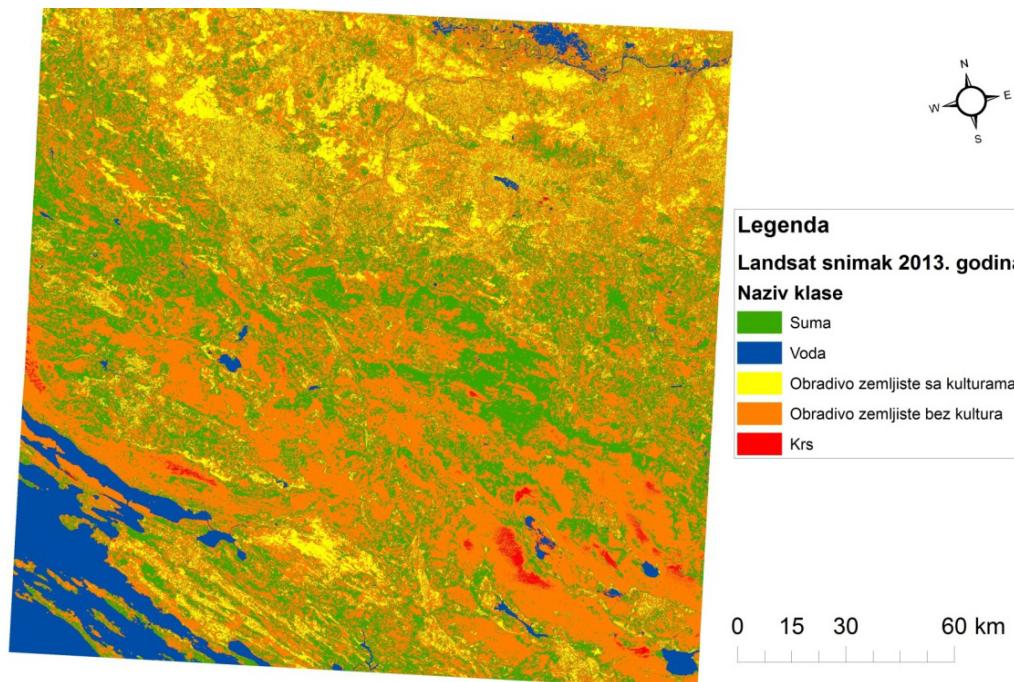
Klasifikacija satelitskih snimaka je jedan od najvažnijih postupaka kod obrade snimaka u oblasti daljinskih istraživanja, jer se s klasifikacijom snimaka iz rasterskog snimka dobija „sloj“ koji se kasnije koristi u analizi GIS sistemima, odnosno pri izradi karata različitih namjena. Glavna namjena klasifikacije satelitskih snimaka je prepoznavanje predmeta na Zemljinoj površini. Tu se ustvari radi o procesu pridruživanja piksela odgovarajućim klasama, gdje te klase (kategorije) na karti ili slici formiraju regione (Slika 5). Nakon klasifikacije svaki dio na slici predstavljen je određenom bojom ili simbolom (Slike 6 i 7). U konačnici, klasifikacija satelitskog snimka omogućava spektralni potpis, koji predstavlja način refleksije elektromagnetskih valova u ovisnosti od valne dužine.



Slika 5. Numerička slika (lijevo) i klasifikovana slika (desno) (Natural Resources Canada, 2014).



Slika 6. Obradeni snimak – karta iz 1987. godine.



Slika 7. Obradeni snimak – karta iz 2013. godine.

Klasifikovana slika je definisana ispitivanjem numeričke slike, a nakon toga grupisanjem piksela koji imaju iste spektralne vrijednosti. Razvojem daljinskih istraživanja naučnici su razvili brojne metode klasifikacije. Odabir same metode zavisi od toga da analitičar odabere klasifikaciju koja najbolje odgovara snimku koji se analizira da bi se postigao željeni cilj. Svaka klasifikacija nije najbolja za sve situacije, kao što se karakteristike snimaka među sobom znatno razlikuju (Campbell, 2011).

Klasifikacija snimaka može biti:

- nenadzirana i
- nadzirana

Glavna razlika između njih je kako napraviti spektralni potpis. Kod nenadzirane klasifikacije potpis pravi program sa matematičkim grupisanjem, a kod nadzirane klasifikacije operater određuje manja područja, utvrđuje tip korištenja zemljišta računarskim putem i iz tog računa spektralni potpis.

Ovim se na snimku dobije mogućnost uočavanja različitosti, odnosno prepoznavanje interesantnih "predmeta" koji postoje na snimanom području, ali i na snimku. Prepoznavanjem interesantnih predmeta, moguća su različita istraživanja, ne samo pri analizi šuma i šumskog zemljišta nego pri analizi različitih objekata u prostoru uz donošenje odgovarajućih zaključaka.

4.4.1 Nenadzirana klasifikacija

Obrada snimaka je podrazumijevala vršenje klasifikacije snimaka. Kao metoda klasifikacije snimaka odabrana je i primjenjena i metoda nenadzirane klasifikacije. Kod nenadzirane klasifikacije ne treba znati ništa o površini, jer se klasifikacija obavlja automatski, upotrebom informacija digitalnog snimka. Imajući u vidu da su vrijednosti jednakog načina korištenja zemljišta blizu u spektralnom prostoru i da su vrijednosti različitog načina korištenja zemljišta udaljeni, kod nenadzirane klasifikacije uvijek dolazi do određenih preklapanja razreda i zato je njihovo razdvajanje jako teško (Oštir i Mulahusić, 2014).

Postupak nenadzirane klasifikacije dijeli se na (Oštir i Mulahusić, 2014):

- grupisanje u razrede i
- prepoznavanje razreda.

Grupisanje ili klasterska analiza je postupak udruživanja višedimenzionalnih podataka u klastere ili grupe. Pri tome se koriste različiti matematički algoritmi.

U istraživanju u ovom članku je korišten algoritam ISODATA (engl. *iterative self-organizing data analysis technique*), koji se nalazi u većini programa za obradu snimaka. ISODATA djeluje dinamično, što znači da spaja centre sličnih razreda, briše manje grupe, a velike dijeli na više dijelova.

4.4.2 Nadzirana klasifikacija

Nadzirana klasifikacija se temelji na statistici „uzoraka za treniranje“ koji predstavljaju različite objekte koji su subjektivno izabrani od strane korisnika na osnovu njihovog znanja i iskustva. Ovakav tip klasifikacije sastoji se od faze učenja i faze ocjenjivanja. Na ovakav način operator „uči“ računarski program, šta je, na primjer, voda, šta je šuma i kasnije svoje znanje prenosi na cijeli snimak.

Prvi i najvažniji korak kod nadzirane klasifikacije je izbor uzorka, gdje se vrijednosti pridružuju poznatim pikselima. Za svaki od razreda je potrebno izabrati homogen i dovoljno veliki uzorak. To se najčešće određuje poznavanjem terena ili usporedbom različitih topografskih i tematskih karata.

Kvaliteta klasifikacije zavisi od upotrijebljenog algoritma od kojih su najvažniji (Kanfir, 2009):

- metoda najmanjeg rastojanja,
- paralelpipedna metoda i
- metoda najveće vjerovatnoće.

Metoda najmanjeg rastojanja omogućava raspoređivanje piksela u razrede od kojeg je prosječno najmanje udaljen. Ova metoda je računski veoma brza i efikasna.

Paralelpipedna metoda uzima u obzir prosjek sivih vrijednosti i njihovu raspršenost. Takvo klasifikacijsko područje određuje najmanju i najveću vrijednost refleksije svakom razredu za svaki kanal posebno. Kada piksel ne pada ni u jedan razred, dobija oznaku „nekvalificiran“. Ova metoda je nešto sporija od prethodne.

Metoda najveće vjerovatnoće uzima u obzir kako prosjek razreda, tako i varijance i korelacije među njima. Pri tome se vodi računa da su pikseli u sprektralnom prostoru raspoređeni normalno. Ovakav način klasifikacije je tačniji nego prethodne dvije metode, ali je računski dosta zahtjevniji (Oštir i Malahusić, 2014).

Prednost ove klasifikacije je u direktnoj umiješanosti operatora u proces stvaranja i uređivanja uzorka. Nedostatak ove klasifikacije je dugotrajan i skup proces snimanja reprezentativnih područja.

5 OCJENA TAČNOSTI KLASIFIKACIJE SNIMAKA

Kada je klasifikacija snimka završena, potrebno je izvršiti ocjenu tačnosti uspješno završene klasifikacije. Kvaliteta klasificiranih geoprostornih objekata uobičajeno se određuje unutar softvera za klasifikaciju satelitskih snimaka, koji imaju ugrađene algoritme za procjenu tačnosti (Tuno, Mulahusić, Topoljak i Elezović, 2017). Ocjena tačnosti klasifikacije podrazumijeva da se na cijelom snimku rasporedi veći broj testnih tačaka, tj. piksela, za koje je poznata vrsta zemljišta. Tačnost klasifikacije računa se na osnovu piksela.

Jedan od najkorištenijih prikaza tačnosti klasifikacije je matrica grešaka. To je ustvari tabela koja upoređuje rezultate klasifikacije sa referentnim podatkom. To je kvadratna matrica, gdje svaka kolona predstavlja klase referentnih podataka, a redovi predstavljaju klasifikovane rezultate. Kada tačnost klasifikacije prelazi 90%, dobijen je jako dobar rezultat, a preko 80% je zadovoljavajući (Oštir i Mulahusić, 2014).

Pomoću matrice grešaka lako se dobiju i ostali parametri kojima se ocjenjuje tačnost klasifikacije, kao što su koeficijent Kappa i ukupna tačnost.

5.1 Koeficijent Kappa

Koeficijent Kappa (κ) predstavlja jedan od načina za ocjenu klasifikacije, odnosno predstavlja mjeru između korištene i slučajne klasifikacije. Kreće se u razmaku od 0 do 1, gdje vrijednost 1 znači da je korištena klasifikacija bez greške, a vrijednost 0 znači da se korištenom klasifikacijom nije došlo do boljih rezultata koji bi se ostvarili slučajnom klasifikacijom (Tabela 1).

Tabela 1.

Vrijednost Kappa koeficijenta i njegovo tumačenje prema Landisu i Kochu (Mulahusić, 2010).

Vrijednost Kappa koeficijenta	Tumačenje
Ispod 0.00	Loše
0.00 – 0.20	Malo
0.21 – 0.40	Dobro
0.41 – 0.60	Umjерено
0.61 – 0.80	Znatno
0.81 – 1.00	Gotovo savršeno

Koeficijent Kappa se računa slijedećim izrazom (Kanjir, 2006):

$$\kappa = \frac{N \sum_{n=1}^r x_{nn} - \sum_{n=1}^r (x_{n+} * x_{+n})}{N^2 - \sum_{n=1}^r (x_{n+} * x_{+n})} \quad (1)$$

Oznake u izrazu 1 su:

- r - broj redova u matrici grešaka,
 N - ukupan broj piksela u matrici,
 x_{nn} - zbir dijagonale matrice grešaka,
 x_{n+} - zbir n -tog reda i
 x_{+n} - zbir n -te kolone.

5.2 Ukupna tačnost

Ukupna tačnost predstavlja omjer zbiru ispravno klasifikovanih tačaka i ukupnog broja referentnih tačaka. Ispravno klasifikovane tačke prikazuju se u dijagonali matrice grešaka, a ukupan broj referentnih tačaka je zbir svih piksela na snimku.

5.3 Tačnost dobivenih rezultata

Obrada snimaka je vršena u softverskoj aplikaciji Erdas Imagine 9.2. Tačnost dobivenih rezultata, odnosno izvršene klasifikacije snimaka, nakon određenih postavki dobije se u okviru pomenute softverske aplikacije (Topić, 2014). Nakon toga je potrebno izvršiti interpretaciju i analizu dobivenih vrijednosti kako bi se donijela odluka o nastavku istraživanja odnosno o mogućnosti korištenja dobivenih podataka u svrhu analize šuma i šumskog zemljišta.

Tabela 2.
Tačnost nenađazirane klasifikacije snimka iz 1987. godine.

Naziv klase	Ukupan broj referentnih uzoraka po klasama	Ukupan broj klasifikovanih uzoraka po klasama dobiven nakon klasifikacije	Ukupan broj tačno odabranih uzoraka po klasama	Tačnost koju je postigao program (%)	Tačnost koju je postigao korisnik
Voda	12	9	9	75.00	100.00
Šuma	50	47	46	92	97.87
Poljoprivredno zemljište sa kulturama	30	33	29	96.66	87.88
Poljoprivredno zemljište bez kultura	40	42	36	90	85.71
Krš	13	13	10	100	79.92
Ukupno	144	144	130		
Ukupna tačnost klasifikacije = 90.27%					
Ukupna Kappa statistika = 0.8959					

Tabela 3.
Tačnost nenadzirane klasifikacije snimka iz 2013. godine.

Naziv klase	Ukupan broj referentnih uzoraka po klasama	Ukupan broj klasifikovanih uzoraka po klasama dobiven nakon klasifikacije	Ukupan broj tačno odabranih uzoraka po klasama	Tačnost koju je postigao program (%)	Tačnost koju je postigao korisnik
Voda	8	9	8	100.00	89.89
Šuma	20	17	16	80.00	94.12
Poljoprivredno zemljište sa kulturama	43	53	40	93.02	75.47
Poljoprivredno zemljište bez kultura	52	41	40	76.02	97.56
Krš	5	8	5	100.00	62.50
Ukupno	128	128	109		
Ukupna tačnost klasifikacije = 85.16%					
Ukupna Kappa statistika = 0.8407					

Tabela 4.
Tačnost nadzirane klasifikacije snimka iz 1987. godine.

Naziv klase	Ukupan broj referentnih uzoraka po klasama	Ukupan broj klasifikovanih uzoraka po klasama dobiven nakon klasifikacije	Ukupan broj tačno odabranih uzoraka po klasama	Tačnost koju je postigao program (%)	Tačnost koju je postigao korisnik
Voda	8	10	8	100.00	80.00
Šuma	38	25	25	65.79	100.00
Poljoprivredno zemljište sa kulturama	29	29	28	96.55	96.55
Poljoprivredno zemljište bez kultura	59	69	58	98.31	84.06
Krš	2	3	2	100.00	66.67
Ukupno	136	136	121		
Ukupna tačnost klasifikacije = 88.97%					
Ukupna Kappa statistika = 0.8374					

Tabela 5.
Tačnost nadzirane klasifikacije snimka iz 2013. godine.

Naziv klase	Ukupan broj referentnih uzoraka po klasama	Ukupan broj klasifikovanih uzoraka po klasama dobiven nakon klasifikacije	Ukupan broj tačno odabranih uzoraka po klasama	Tačnost koju je postigao program (%)	Tačnost koju je postigao korisnik
Voda	2	1	1	50.00	100.00
Šuma	32	36	27	84.37	75.00
Poljoprivredno zemljište sa kulturama	8	6	6	75.00	100.00
Poljoprivredno zemljište bez kultura	27	22	18	66.67	81.82
Krš	67	71	63	94.03	88.73
Ukupno	136	136	115		
Ukupna tačnost klasifikacije = 84.56%					
Ukupna Kappa statistika = 0. 7616					

Na osnovu prikazanih rezultata u Tabelama 2, 3, 4 i 5 može se reći da su rezultati klasifikacija zadovoljavajući i da obrađeni snimci daju pouzdane podatke na osnovu kojih se mogu donijeti valjni zaključci.

6 ZAKLJUČAK

Osnovni cilj članka je bio istražiti mogućnost uspješnog korištenja i svakodnevne upotrebe dostupnih i besplatnih Landsat satelitskih snimaka za procjenu stanja šume. Zadatak istraživanja je bio utvrditi promjene na terenu tokom dužeg vremenskog perioda usporedbom obrađenih snimaka analiziranog područja (naravno, snimci, a samim tim i podaci snimaka imaju različitu vremensku dimenziju). Obrada je podrazumijevala klasifikaciju besplatnih Landsat snimaka, nakon čega su dobiveni potrebni podaci.

U vrijeme kada su cijene satelitskih snimaka sve manje a prostorna rezolucija sve bolje, nema potrebe za izbjegavanjem korištenja satelitskih snimaka i metoda daljinskog istraživanja, nego je čak preporučljivo korištenja istih. Korištenje metoda daljinskog istraživanja omogućava trajno praćenje stanja šuma, ali i općenito prirodnih bogatstava i samim time obnovu kvaliteta okoliša. U okviru članka su obrađeni satelitski snimci iz dvije različite epohe i utvrđene su promjene na terenu tokom dužeg vremenskog perioda sa posebnim naglaskom na šumska bogatstva.

Prije same obrade snimaka, kreirani su rasteri pomoću različitih kombinacija kanala samih snimaka. Tako kreirani rasteri korišteni su s ciljem da se utvrditi način korištenja zemljišta predmetnog terena.

Tokom obrade provedena je klasifikacija snimaka na dva načina (nadzirana i nenadzirana). Iako je namjena članka bila praćenje stanja šuma, rad je proširen na klasifikaciju drugih objekata i načina korištenja zemljišta. Prilikom klasifikacije snimaka objekti su razvrstani u pet klasa: voda, šuma, poljoprivredno zemljište sa kulturama, poljoprivredno zemljište bez kultura i krš.

Segmentacija kao ključni korak klasifikacije najviše zavisi od izbora parametara segmentacije. Zadovoljavajući rezultati segmentacije dobijeni su nakon nekoliko pokušaja kako bi se spriječila mogućnost prekomjerne i/ili premale segmentacije. Dobra segmentacija je ključ za dobru klasifikaciju.

Nakon klasifikacije provedena je ocjena tačnosti dobivenih rezultata. Konačni rezultati klasifikacije bili su zadovoljavajući, gdje prosječna tačnost iznosi oko 84,3% sa Kappa koeficijentom od 0,8339. Rezultirajuće snimke klasifikacije uspoređene su sa Google Earth snimkama predmetnog terena, te na osnovu i vizuelne analize rezultati klasifikacije mogu se smatrati zadovoljavajućim. Na osnovu provedenog istraživanja upotrebom Landsat satelitskih snimaka zaključuje se slijedeće:

- Landsat snimci su dostupni svakih 16 dana ali kvalitetni snimci sa manje od 20% naoblake dostupne su otprilike nekoliko puta godišnje.
- Šuma se veoma lako klasificira i moguće je nad površinama pod šumom vršiti različite analize, a ne samo utvrditi postojanje ili ne postojanje šuma.
- Za tačniju klasifikaciju preporučuje se udruživanje informacija sa terena sa klasificiranim snimcima.
- Landsat snimci daju najbolje rezultate za praćenje promjena na širem geografskom području i dužem vremenskom periodu.
- U analiziranom razdoblju (1987-2013), velike promjene – sječe su zabilježene u šumama i na šumskom zemljištu.
- Korištenjem satelitskih snimaka moguće je teren kontinuirano “pratiti” i izraditi arhivu promjena.

Obrađeni satelitski snimci prikazuju stanje terena – šuma 1987. godine i stanje terena – šuma 2013. godine, a pokazali su značajan stepen sječe šuma na analiziranom testnom području u Bosni i Hercegovini.

LITERATURA

- Astaloš, E. (2012). *Sistemi za detekciju, dojavu i upozorenje - satelitski snimci* (semestarski rad). Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu. Dostupno na: <https://www.scribd.com/document/138128294/Satelitski-Snimci>
- Beno M., Balenović I. (2011). Prošlost, sadašnjost i budućnost primjene metoda daljinskih istraživanja pri inventuri šuma u Hrvatskoj, *Šumarski list*, 135(13), 272-281.
- Campbell, J. B. (2002): *Introduction to Remote Sensing*. London: Taylor and Francis.
- Ikica, Z., Kušan, Z. (2014, 24. mart). Program GLOBE-priručnik za mjerjenja. Dostupno na: <https://www.public.carnet.hr/globe/prirucnik/daljinsko%20istrazivanje.PDF>
- Kalafadžić, Z., Kušan, V. (1993). Mogućnost pridobivanja informacija o šumama iz umjetnih zemljinih satelita. *Šumarski list*, 117(6-8), 293-307.
- Kanjir, U. (2009). *Objektna klasifikacija rabe tal iz podatkov daljinskega zaznavanja* (diplomski rad). Ljubljana, Fakultet za građevinarstvo i geodeziju Univerziteta u Ljubljani. Dostupno na: https://www.drugg.fgg.uni-lj.si/60/1/GEU_0808_Kanjir.pdf
- Landsat sistem. (2014, 14. april). Dostupno na: <http://landsat.usgs.gov/index.php>
- Mulahusić, A., Gajski, D., Tuno, N., Topoljak, J., Zec, E., Bojić, M. (2015). Primjena laserskog skeniranja pri analiziranju štete na vozilima nakon prometnih nesreća, *Geodetski list*, 69(2), 97-114.
- Mulahusić A., Tuno, N. (2011). Metode za otkrivanje promjena kod daljinskih istraživanja, *Geodetski glasnik*, 40, 3-13.
- Mulahusić, A., Topoljak, J., Tuno, N. (2017). *Geodezija za građevinske inžinjere*. Zenica: Politehnički fakultet, Univerzitet u Zenici.
- Natural Resources Canada (2014, 23. maj). Dostupno na: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9361>
- Oštir, K., Mulahusić, A. (2014). *Daljinsko istraživanje*. Ljubljana: Inštitut za antropološke i prostorske študije ZRC SAZU.
- Satelit Landsat. (2014, 30. mart). Dostupno na: <http://www.scribd.com/doc/203838334/Satelit-Landsat-docx>

Topić, Dž. (2014). *Upotreba dostupnih i besplatnih landsat satelitskih snimaka za procjene stanja šume* (završni rad). Sarajevo: Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu.

Topoljak J., Malausić A. (2011). Uzurpacija zemljišta, *Geodetski glasnik*, 41, 33-41.

Tuno, N., Malausić, A., Topoljak, J., Elezović, A. (2017), Ispitivanje položajne točnosti granica šumskih područja dobivenih objektno – orijentiranim klasifikacijom multispektralnih snimaka. *Šumarski list*, 141(1-2), 29-38.

Tuno, N., Malausić, A., Topoljak, J. (2018). Komparativna analiza različitih pristupa korigiranju geometrijskih distorzija stare šumarske karte. *Šumarski list*, 142(1-2), 287-295.

Autor:

Dženana Hajdarević, MA geod. - dipl. geod. inž.

Elektrodistribucija Zenica

Safvet-bega Bašagića 6, 72 000 Zenica

Bosna i Hercegovina

E-mail: dzenanatop@gmail.com