

Sveučilište u Zagrebu
Geodetski fakultet

Iva Rajković

Prostorno-vremenska analiza stanja vegetacije
opožarenog područja na otoku Braču

Zagreb, 2018.

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 mentora izv. prof. dr. sc. Mladena Zrinjskog i doc. dr. sc. Matea Gašparovića te je predan na natječaj za dodjelu Nagrade dekana Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 2017./2018.

Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CBI	Composite Burn Index
DOS 1	Dark Object Subtraction 1
ETM	Enhanced Thematic Mapper
GIS	Geographic Information System
Landsat	Land Satellite
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near Infrared
OLI	Operational Land Imager
SAGA	System for Automated Geoscientific Analysis
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin
SHP	Shapefile
SLC	Scan Line Corrector
SMA	Spectral Mixture Analysis
TIFF	Tagged Image File Format
TIRS	Thermal Infrared Sensor
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Uvod u problematiku	1
1.2. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	2
2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	4
3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	5
3.1. Daljinska istraživanja.....	5
3.2. Izvor i prikupljanje podataka	5
3.3. Područje istraživanja.....	9
3.4. Korišteni softveri	10
3.5. Predobrada satelitskih snimaka – atmosferska korekcija	11
3.6. Klasifikacija i metode klasifikacije	12
3.7. Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI)	15
4. REZULTATI I ANALIZA.....	16
4.1. Klasifikacija i NDVI 2011.....	16
4.1.1. Prije požara (lipanj 2011.).....	16
4.1.2. Nakon požara (kolovoz 2011.).....	19
4.2. Klasifikacija i NDVI 2013.....	22
4.3. Klasifikacija i NDVI 2014.....	25
4.4. Klasifikacija i NDVI 2015.....	28
4.5. Klasifikacija i NDVI 2016.....	31
4.6. Klasifikacija i NDVI 2017.....	34
4.7. Analiza.....	37
5. RASPRAVA.....	42
6. ZAKLJUČAK	44
7. ZAHVALA.....	46

8. POPIS LITERATURE	47
9. SAŽETAK.....	54
10. SUMMARY	55
11. ŽIVOTOPIS	56

1. UVOD

1.1. Uvod u problematiku

Prema Hrvatskoj enciklopediji šumski požar je pojava nekontrolirane vatre i njezino širenje šumama. Nastaje ako je gorivi materijal (drvo, nisko raslinje) suh, ako ima dovoljno kisika u zraku (više od 14%), a početna je temperatura približno od 260 °C do 300 °C (opušak cigarete ima temperaturu približno od 650 °C, a nedovoljno ohlađena odbačena šibica približno od 800 °C). Štete od šumskoga požara ovise o starosti šume, vrstama drveća, odnosno vegetacije te o vrsti požara i njegovoj jačini. Niski ili prizemni požar zahvaća samo mrtvi materijal na tlu i nisko raslinje; redovito se brzo širi i dostiže temperaturu do 900 °C. Vršni ili visoki požar (požar krošanja) razvija se većinom iz niskog požara jaka intenziteta, prestiže liniju niskog požara, i spušta se na tlo te se dalje širi kao niski požar i ponovno se prebacuje u krošnje. Podzemni požar javlja se redovito na tresetištima, širi se vrlo sporo, ali je vrlo štetan jer oštećuje korijenje biljaka. U Hrvatskoj je od 1992. do 2006. prosječno bilo 300 šumskih požara godišnje, od najmanje 109 (1995.) do najviše 706 (2000.). Ukupna prosječno opožarena površina godišnje je iznosila 15 446 ha (URL 1).

Analizom požara u Republici Hrvatskoj u zadnjih 30 godina uočena su dva požarna maksimuma. Prvi požarni maksimum je u ožujku i travnju gdje veći broj požara izbija u kontinentalnom dijelu i u vezi je s početkom poljoprivrednih radova. Drugi je požarni maksimum u srpnju i kolovozu i vezan je isključivo za priobalje i otoke (guste i neodržavane šume crnogorice koje u pravilu egzistiraju s nagibom većim od 30%, daleko od pristupnih putova i raspoložive vode za gašenje, opterećenje prostora dodatnim brojem ljudi-turista i dr.). Najugroženija područja su četiri dalmatinske županije, od kojih se posebno ističu Šibensko-kninska i Splitsko-dalmatinska, gdje orografski čimbenici kao što su nadmorska visina, izloženost sunčevim zrakama ili vjetrovima, nagib i oblici terena višestruko povećavaju vjerojatnost izbijanja požara. Godine 2011. zabilježeno je 297 požara (URL 2).

Šumski požari predstavljaju sve veću opasnost posljednjih godina, ponajviše uzrokovanih povećanjem temperature na globalnoj razini. Broj požara u svijetu je u stalnom porastu. Područje ovog istraživanja su posljedice požara i praćenje obnove vegetacije opožarenog područja. Požari uništavaju ponajviše vegetaciju, ali nanose i materijalnu štetu ili ugrožavaju ljudske živote. Praćenje obnove vegetacije nakon požara važno je za razvoj učinkovitog sustava gospodarenja šumama, određivanje razine utjecaja na ekosustav i strategija za obnovu

opožarenog područja. S obzirom na broj satelita koji kruže oko Zemlje i prikupljaju snimke svakodnevno, materijal za analizu vrlo je dostupan. Analizom tih snimki kroz određeno vremensko razdoblje moguće je utvrditi kako se, kojom brzinom i u kojoj mjeri obnavlja vegetacija opožarenog područja.

1.2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Ova tema do sada nije bila istraživana, ali šumski požari i njihov utjecaj na vegetaciju su tema brojnih istraživanja. Zbog povećane učestalosti požara po cijelom svijetu nužno je istraživati njihove utjecaje i posljedice po vegetaciju kako bi se u budućnosti mogli bolje pripremiti, obraniti i sanirati štete požara.

Jovanović i Župan (2017) u svojem radu obrađuju požare koji su zahvatili okolicu Splita u srpnju 2017. godine na osnovi satelitskih snimki misije *Sentinel-2* programa Copernicus. Za analizu je korišten normalizirani indeks opožarene vegetacije te su izrađeni kartografski prikazi područja zahvaćenog požarom.

Viana-Soto i dr. (2017) su istražili procjenu oporavka vegetacije nakon požara u Mediteranskom podneblju Španjolske za razdoblje od pet godina. Pratili su jačinu požara pomoću *Composite Burn Indexa* (CBI) te dinamiku regeneracije vegetacije pomoću vegetacijskog indeksa normalizirane razlike (NDVI – engl. *Normalized Difference Vegetation Index*). Pokazali su da je veza između regeneracije vegetacije i jačine požara konzistentna. Kratkotrajna regeneracija je usporena kada je jačina povećana.

Solans Vila i Barbosa (2010) pratili su regeneraciju vegetacije nakon požara u Italiji 1998. godine pomoću snimki *Landsat*. Uspoređivali su različite metode analize poput standardnog NDVI-a i analize spektralnog miješanja (SMA – engl. *Spectral Mixture Analysis*). Zaključili su da analiza NDVI-a daje najpouzdanije rezultate te da su satelitske snimke brzo i efektivno rješenje pri određivanju područja koje treba obraditi kako bi se ubrzao postupak regeneracije vegetacije.

Veraverbeke i dr. (2012) u radu procjenjuju obnovu vegetacije tri godine nakon požara na Peleponesu u Grčkoj. Analizirali su pomoću 13 blisko-infracrvenih vegetacijskih indeksa. Došli su do zaključka da je NDVI najbolje rješenje.

Sever i dr. (2012) pratili su obnovu vegetacije nakon požara 2006. u Australiji pomoću satelitskih snimki *Landsat-5* i NDVI-a. Pokazali su da su takve analize jeftine, uklanjaju potrebu za ponavljajućim terenskim radom te da su odlične za nepristupačna područja.

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je metodama daljinskih istraživanja pomoću analize satelitskih snimki *Landsat* u vremenskom razdoblju od lipnja 2011. do kolovoza 2017. godine utvrditi stanje i obnovu vegetacije nakon požara na otoku Braču u srpnju 2011. godine.

Postepenim praćenjem i analizom snimki za svaku godinu, birajući po jedan datum u ljetnim mjesecima za svaku godinu te klasifikacijom područja i mjerenjem NDVI-a moguće je prikazati u kojem obimu se obnavlja opožarena vegetacija.

Analizirat će se promjene na zapadnom dijelu otoka Brača koji je bio opožaren. Unutar opožarenog područja definirane su tri mikrolokacije temeljem kojih će se pratiti oporavak određenog tipa vegetacije. Analize oporavka vegetacije provest će se temeljem praćenja promjena zemljišnog pokrova i vegetacijskog indeksa.

Referentne podatke predstavlja satelitska snimka *Landsat* od 22. 6. 2011. godine, koja je snimljena mjesec dana prije požara. Ti podaci predstavljaju ciljano stanje do kojeg bi se vegetacija trebala obnoviti.

Svrha istraživanja je utvrditi provedenim analizama iz godine u godinu kakve se promjene događaju na zemljišnom pokrovu, i obnavlja li se vegetacija ili ne.

Do sada ne postoji rad koji se bavi ovom tematikom te bi ovaj rad trebao dati nove podatke koji se mogu koristiti za gospodarenje tim opožarenim područjem, ako je to potrebno.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

3.1. Daljinska istraživanja

Daljinska istraživanja (engl. *Remote Sensing*, njem. *Fernerkundung*, franc. *teledetection*, tal. *telerilevamento*) danas predstavljaju nezaobilaznu metodu korištenu u raznim znanstvenim područjima, a čiji dobiveni rezultati, zahvaljujući razvoju računalnih tehnologija, nalaze široku primjenu u različitim disciplinama. Riječ je o metodi prikupljanja i interpretaciji informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira s objektom. Uključuje sve aktivnosti od snimanja, obrade (procesiranja), analiziranja, interpretacije, do dobivanja informacija iz podataka prikupljenih tim istraživanjem (Frančula i dr., 1994).

Cilj daljinskih istraživanja je brzo i ekonomično dobivanje preciznih informacija o relativno velikim područjima. Sustavnim ponavljanjem snimanja moguće je pratiti i registrirati dnevne, sezonske i godišnje promjene neke pojave. Objekti daljinskih istraživanja su svi elementi Zemljine površine i atmosfere u vidnom polju senzora (Oluić, 2001).

Gotovo da nema poznate metode, znanstvene discipline ili područja koja je imala tako intenzivan i brz razvoj kao daljinska istraživanja. Sa suvremenom tehnologijom rada i visoko usavršenom opremom i programskom podrškom, ona je za relativno kratko vrijeme postala općeprihvaćeno znanstveno područje i nezamjenjivo sredstvo u svim sferama života. Daljinska istraživanja su uz aerofotogrametriju nezamjenjiva metoda masovnog prikupljanja podataka u prostoru (Regodić, 2008).

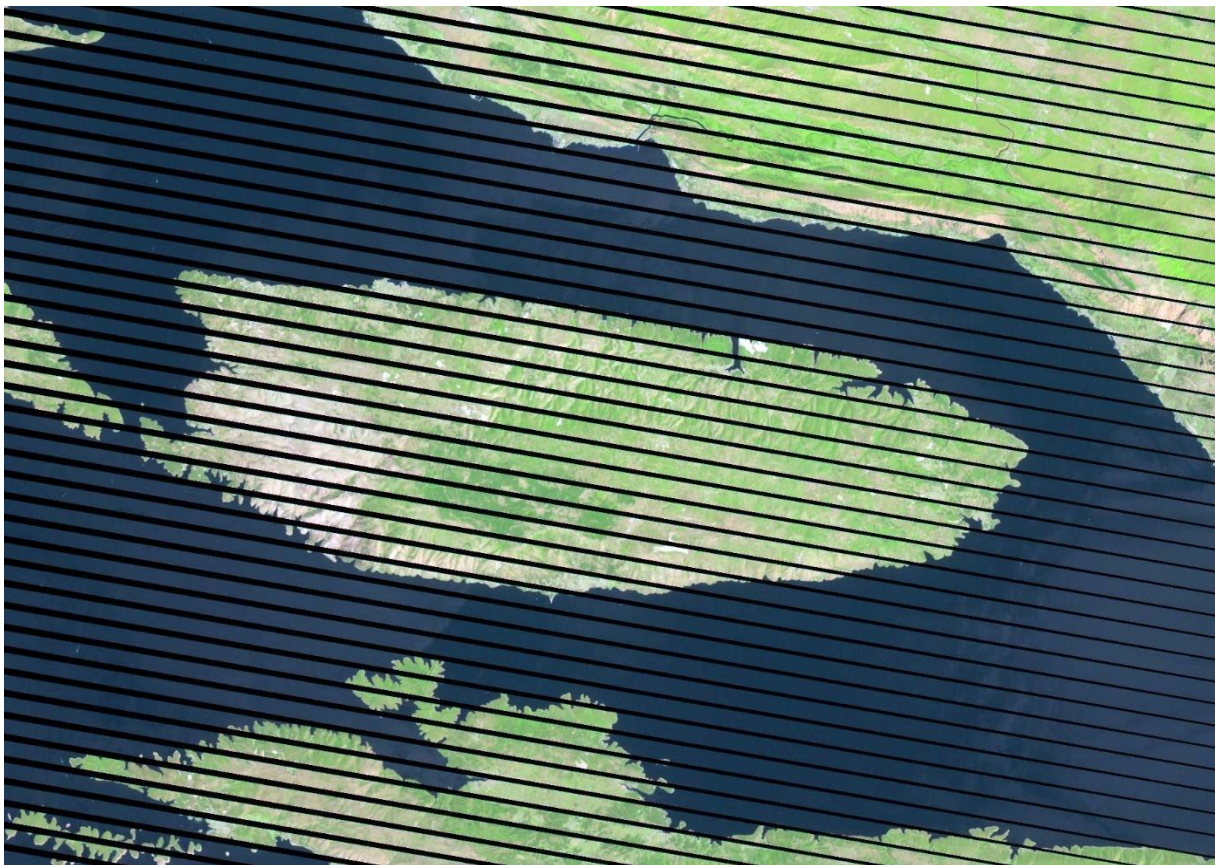
Nagli razvoj tehnologija snimanja Zemlje iz svemira omogućio je dobivanje velikog broja različitih podataka: mnogo više nego što mogu biti analizirani i praktično korišteni. Već 1972. godine, kada je lansiran satelit *Landsat-1*, mnogi stručnjaci predviđali su da će podaci koji će se dobiti pomoću tog satelita značajno pripomoći pronalaženju i racionalnom korištenju prirodnih resursa, pogotovo kada se podaci budu obrađivali računalnom tehnikom (Oluić, 2001).

3.2. Izvor i prikupljanje podataka

Izvor podataka za ovaj rad je misija *Landsat*. Misija *Landsat* najdulja je misija skupljanja snimki Zemlje iz svemira. Započela je 23. 7. 1972. godine, a najnoviji satelit (*Landsat-8*) lansiran je 2013. Tijekom svih godina, instrumenti su prikupili milijune satelitskih snimaka.

Snimke su jedinstveni alat u različitim istraživanjima i konkretnim primjenama u područjima poput agrikulture, kartografije, geologije, šumarstva, prostornog planiranja, nadzora, edukacije i dr. Dostupne su svima i besplatne su za preuzimanje preko servisa „*EarthExplorer*“, koji je pod upravom Agencije za geologiju Sjedinjenih Američkih Država (USGS – engl. *United States Geological Survey*, URL 3).

Kvaliteta i mogućnosti rastu sa svakom novom misijom *Landsat*. Za potrebe ovog rada koristit će se snimke misije *Landsat-5*, koja je skupljala podatke od 1984. do 2013., te *Landsat-8*, koja je lansirana 2013. Za 2012. godinu ne postoje snimke misije *Landsat-5*, ali postoje *Landsat-7*. No, zbog sustava za kompenzaciju snimanih linija (SLC – engl. *Scan Line Corrector*) nisu pogodne za korištenje za područje otoka Brača te neće biti preuzete. Naime, 2003. godine na ETM+ (engl. *Enhanced Thematic Mapper Plus*) instrumentu na satelitu *Landsat-7* došlo je do kvara na sustavu za kompenzaciju snimanih linija. Za posljedicu, dio snimke je iskoristiv dok su preko ostalih dijelova linije bez korisnih podataka o Zemljinoj površini (slika 1).



Slika 1. Područje otoka Brača na snimci *Landsat-7*.

Prilikom preuzimanja snimki, potrebno je voditi računa da snimke pokrivaju cijelo područje istraživanja. To osiguravamo preciznim označavanjem cijeloga željenog područja istraživanja prilikom pretraživanja satelitskih snimaka na servisu *EarthExplorer*. Snimke moraju sadržavati sve izvorne kanale te se preuzimaju snimke koje su *Level 1 Data Product*. Pri biranju snimki, važno je voditi računa o godišnjem dobu i da sve snimke budu u istom razdoblju. Za potrebe ovog rada, uzimale su se snimke ljetnih mjeseci – lipanj (za referentne podatke) i kolovoz. Preuzete snimke su u formatu GeoTIFF, georeferencirane u koordinatnom sustavu WGS 84 UTM 33N. U tablici 1 prikazane su osnovne informacije o preuzetim snimkama.

Tablica 1. Informacije o korištenim satelitskim snimkama.

Datum	Satelit	Rezolucija	ID
22. 6. 2011.	<i>Landsat-5</i>	30 m	LT05_L1TP_189030_20110622_20161009_01_T1
25. 8. 2011.	<i>Landsat-5</i>	30 m	LT05_L1TP_189030_20110825_20161006_01_T1
14. 8. 2013.	<i>Landsat-8</i>	30 m	LC08_L1TP_189030_20130814_20170503_01_T1
10. 8. 2014.	<i>Landsat-8</i>	30 m	LC08_L1TP_188030_20140810_20170420_01_T1
4. 8. 2015.	<i>Landsat-8</i>	30 m	LC08_L1TP_189030_20150804_20170406_01_T1
15. 8. 2016.	<i>Landsat-8</i>	30 m	LC08_L1TP_188030_20160815_20170322_01_T1
2. 8. 2017.	<i>Landsat-8</i>	30 m	LC08_L1TP_188030_20170802_20170812_01_T1

Landsat-5 sastoji se od 6 spektralnih kanala prostorne rezolucije 30 m (kanali 1–5,7) i termalni kanal (6) rezolucije 120 m. Specifikacije kanala satelita *Landsat-5* prikazane su u tablici 2. Od 1984. satelit *Landsat-5* prikupio je više od 700 000 snimki i proveo opažanja klimatskih promjena, agrikulturu, razvoj i urbanizaciju gradova, evoluciju ekosustava i sve veću potrebu za prirodnim resursima (URL 4).

Tablica 2. Kanali satelita *Landsat-5*.

Kanal	Valna duljina [μm]	Primjena
Kanal 1 – plavi	0,45–0,52	Batimetrijsko kartiranje, razlikovanje tla od vegetacije, razlikovanje listopadne od crnogorične vegetacije
Kanal 2 – zeleni	0,52–0,60	Mjerenje vrha refleksije vegetacije
Kanal 3 – crveni	0,63–0,69	Odvajanje vegetacije od ostalog pokrova
Kanal 4 – blisko IC	0,76–0,90	Naglašavanje sadržaja biomasa i obala
Kanal 5 – kratkovalno IC 1	1,55–1,75	Prolazi kroz tanke oblake, mjerenje vlage u tlu i vegetaciji
Kanal 6 – termalni	10,40–2,50	Termalno kartiranje i procjena vlažnosti tla
Kanal 7 – kratkovalno IC 2	2,08–2,35	Određivanje minerala i vrste stijena

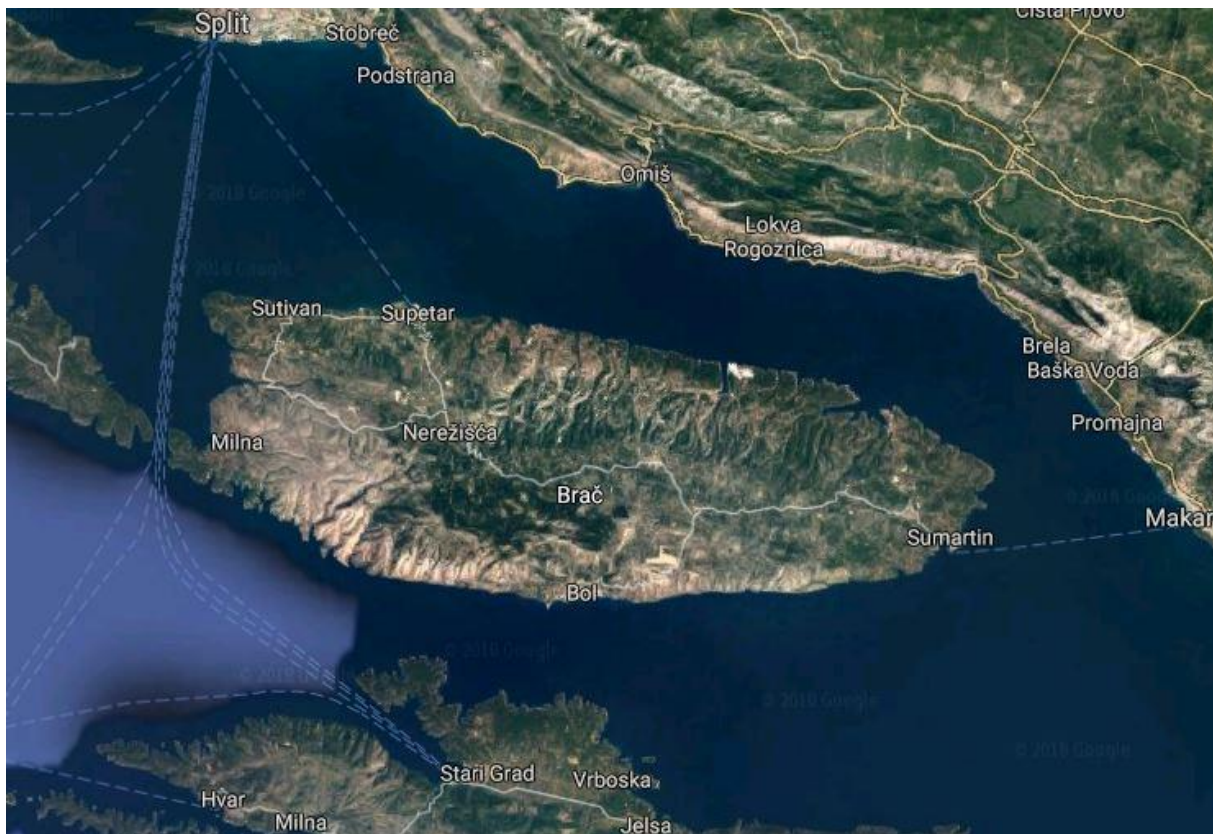
Landsat-8 u funkciji je od 2013. godine. Satelit ima dva senzora za prikupljanje podataka. Prvi senzor je OLI koji ima 9 spektralnih kanala [vidljivi, bliski infracrveni (NIR, engl. *Near-Infrared*), kratkovalni infracrveni dio spektra] i drugi, termalni infracrveni senzor (TIRS, engl. *Thermal Infrared Sensor*), koji ima dva spektralna kanala koji obuhvaćaju dugovalni infracrveni dio spektra. Prostorna rezolucija kanala je 30 m, osim za pankromatski kanal (kanal 7) koji ima rezoluciju 15 m te dugovalni infracrveni kanali s rezolucijom 100 m (URL 5). Specifikacije kanala satelita *Landsat-8* prikazane su u tablici 3.

Tablica 3. Kanali satelita *Landsat-8*.

Kanal	Valna duljina [μm]	Primjena
Kanal 1 – obalni	0,43–0,45	Proučavanje magle i obala
Kanal 2 – plavi	0,45–0,51	Batimetrijsko kartiranje, razlikovanje tla od vegetacije, razlikovanje listopadne od crnogorične vegetacije
Kanal 3 – zeleni	0,53–0,59	Mjerenje vrha refleksije vegetacije
Kanal 4 – crveni	0,63–0,67	Odvajanje vegetacije od ostalog pokrova
Kanal 5 – blisko IC	0,85–0,88	Naglašavanje sadržaja biomasa i obala
Kanal 6 – kratkovalno IC 1	1,57–1,65	Prolazi kroz tanke oblake, mjerenje vlage u tlu i vegetaciji
Kanal 7 – kratkovalno IC 2	2,11–2,29	Određivanje minerala i vrste stijena
Kanal 8 – pankromatski	0,50–0,68	Rezolucija 15 m, oštija slika
Kanal 9 – cirrus	1,36–1,38	Detekcija oblaka
Kanal 10 – TIRS 1	10,60–11,19	Rezolucija 100 m, termalno kartiranje i procjena vlažnosti tla
Kanal 11 – TIRS 2	11,50–12,51	Rezolucija 100 m, termalno kartiranje i procjena vlažnosti tla

3.3. Područje istraživanja

Prostorno-vremenska analiza obuhvaća područje otoka Brača (slika 2). Brač se nalazi u Splitsko–dalmatinskoj županiji. Geografski je smješten na $43,19^\circ$ sjeverne geografske širine i $16,38^\circ$ istočne geografske dužine. To je najveći srednjodalmatinski otok, a treći po veličini na Jadranu. Od kopna je odvojen Bračkim kanalom, prema zapadu se nalazi otok Šolta, a južno je od otoka Hvara odijeljen Hvarskim kanalom. Brač je dug oko 40 km, a širok prosječno 12 km. Ukupne je površine 395 km^2 (URL 6).



Slika 2. Geografski položaj otoka Brača (URL 7).

Uže područje istraživanja čini zapadni dio otoka koji je bio zahvaćen požarom koji je buknuo 14. srpnja 2011. i trajao do 17. srpnja 2011. godine. Požar je obuhvatio područje oko 4000 ha guste šume, trave i niskog raslinja. Otok Brač pripada mediteranskom podneblju sa svim svojim odlikama i karakterizira ga čak 134 dana potpuno vedrog neba godišnje. Klimatski su karakteristične blage i kišovite zime, suha i vruća ljeta, ali i izrazite razlike predjela uz more i onih iznad 500 m visine. To je najsunčanije jadransko područje s preko 2700 sunčanih sati u godini (URL 8).

3.4. Korišteni softveri

Za obradu snimki i analizu korišteni su softveri QGIS (verzija 3.0.1), SAGA GIS (verzija 6.3.0) te za obradu statističkih podataka Microsoft Excel 2016.

QGIS je geografsko informacijski sustav otvorenog koda s jednostavnim korisničkim sučeljem (engl. *user friendly*). To je službeni projekt OSGeo. Kompatibilan je sa svim operativnim sustavima – Linux, Unix, Mac OSX, Windows i Android. Podržava brojne vektorske, rasterske i formate baza podataka (URL 9).

Za analizu snimki bilo je potrebno učitati dodatak Semi-automatic Classification Plugin (SCP). To je dodatak otvorenog koda koji pomaže pri klasifikaciji (nadziranoj i nenadziranoj) satelitskih snimki. Također omogućava preuzimanje besplatnih snimki (*Landsat, Sentinel-2, Sentinel-3, ASTER, MODIS*), predobradu snimki, naknadnu obradu klasifikacija i rasterski kalkulator (URL 10).

Nakon uzimanja uzoraka i predobrade snimki, postupak klasifikacije satelitskih snimki nastavlja se u programu SAGA GIS. SAGA je geoinformacijski (GIS, engl. *Geographic Information System*) softver otvorenog koda. Dizajniran je za jednostavniju i efektivniju implementaciju prostornih algoritama i geoznanstvenih metoda. Podržava operacijske sustave Windows i Linux (URL 11).

U ovom istraživanju SAGA GIS je korišten za provođenje klasifikacije. Korištena metoda za klasifikaciju bila je metoda nadzirane klasifikacije *Random Forrest Classification* (RFC).

Microsoft Excel je program za tablično računanje, proizvod kompanije Microsoft, sastavni je dio programskog paketa Microsoft Office. Microsoft Excel uglavnom služi za rješavanje problema matematičkog tipa pomoću tablica i polja koje je moguće povezivati različitim formulama. Može poslužiti i za izradu jednostavnijih baza podataka. Na temelju unesenih podataka, lako se iz tablica može stvarati grafikone (URL 12). Excel je korišten za obradu statističkih podataka i grafički prikaz istih.

3.5. Predobrada satelitskih snimaka – atmosferska korekcija

Atmosferska pogreška uvjetovana je raspršivanjem svjetlosti od sitnih čestica i molekula koje sadrži atmosfera. Raspršivanje je obrnuto proporcionalno s četvrtom potencijom valne duljine zrake. To znači, da se zrake manjih valnih duljina (plava svjetlost) više raspršuju od zraka većih valnih duljina (infracrvene zrake), pa to dovodi do sumaglice (engl. *haze*) na slici. Da bi se ta pojava otklonila, potrebno je poznavati podatke koji su je prouzročili. Zato se kanali u plavom području spektra (0,4 μm) uglavnom ne koriste (Oluić, 2001).

Atmosferska korekcija snimki provedena je pomoću SCP dodatka. *Dark Object Subtraction 1* (DOS1) je metoda za provedbu atmosferske korekcije satelitskih snimki koja pretpostavlja da su neki pikseli unutar snimke u potpunoj sjeni i da je njihova radijacija primljena na satelitu zbog raspršivanja. Ova se pretpostavka kombinira s činjenicom da je na Zemlji jako malo objekata apsolutno crno pa su pretpostavljena odstupanja od 1% bolja od 0%. Vrijedno je istaknuti da je točnost tehnika temeljenih na snimkama manja od fizičkih korekcija, ali su vrlo korisne kada nema atmosferskih mjerenja jer mogu poboljšati procjenu refleksije površine (Chavez, 1996).

3.6. Klasifikacija i metode klasifikacije

Klasifikacija satelitskih snimaka koristi se za postizanje (ekstrahiranje) tematskih informacija iz satelitskih snimaka na poluautomatski ili automatski način. Postoje različiti postupci koji se koriste u procesu klasifikacije. Osnovna podjela klasifikacije je na nadzirano i nenadzirano.

Nenadzirana ili nekontrolirana klasifikacija izvodi se isključivo na bazi spektralnog grupiranja računanjem, uzimajući u obzir pouzdane istovrsne mjere, bez subjektivnog utjecaja interpretatora. Taj tip klasifikacije provodi se, uglavnom, u područjima bez prethodnog poznavanja terena (Oluić, 2001).

Pri provođenju nadzirane klasifikacije potreban je znatno veći utjecaj interpretatora, kao i prethodno poznavanje istraživanog područja (terensko iskustvo, podaci iz drugih izvora i sl.). Na početku tog postupka potrebno je utvrditi uzorke i definirati broj klasa. Potom, interpretator treba odabrati reprezentativne uzorke (piksele) za svaku klasu. Podaci o spektralnoj refleksiji odabranih uzoraka čine reprezentativne podatke za određenu klasu. Skup tih uzoraka poslužit će kasnije za računanje klasifikacija za cijelu sliku (Oluić, 2001).

Osim praćenja vegetacije, klasifikacija je široke primjene u svim područjima, npr. u analizi urbanizacije (Gašparović i dr., 2017) ili u praćenju temperature tla (Duplančić Leder i dr., 2011).

U ovome radu korištena je metoda nadzirane klasifikacije *Random Forrest Classification* (RFC), a područje istraživanja podijeljeno je u pet klasa (tablica 4).

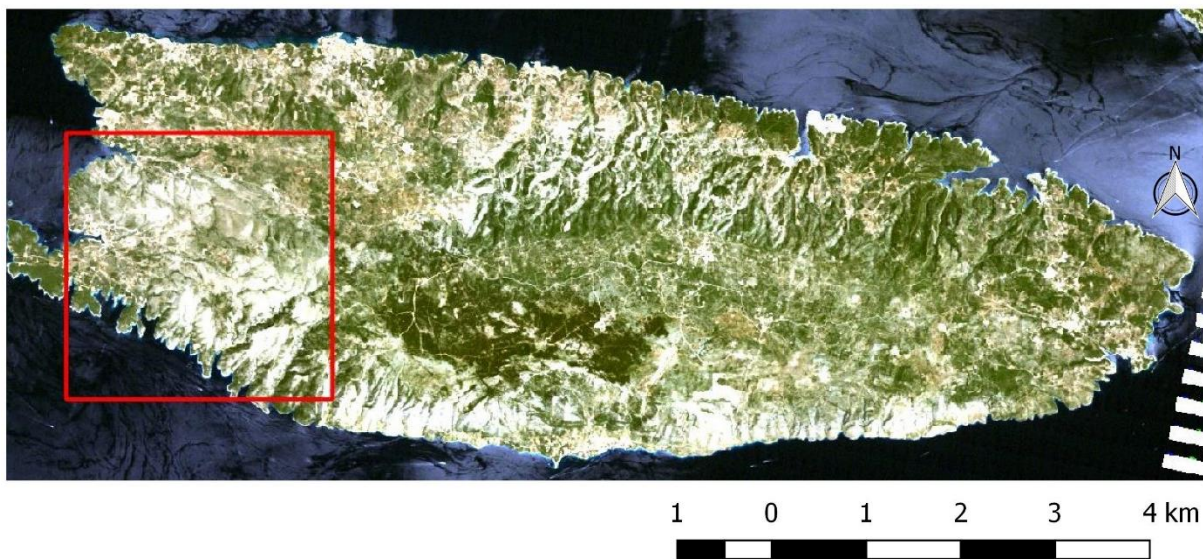
Tablica 4. Klase pokrova zemljišta za provedbu nadzirane klasifikacije.

Broj klase/oznaka	Ime klase
1	vodena površina
2	stijena/zemlja
3	izgrađeno područje
4	niska vegetacija
5	visoka vegetacija

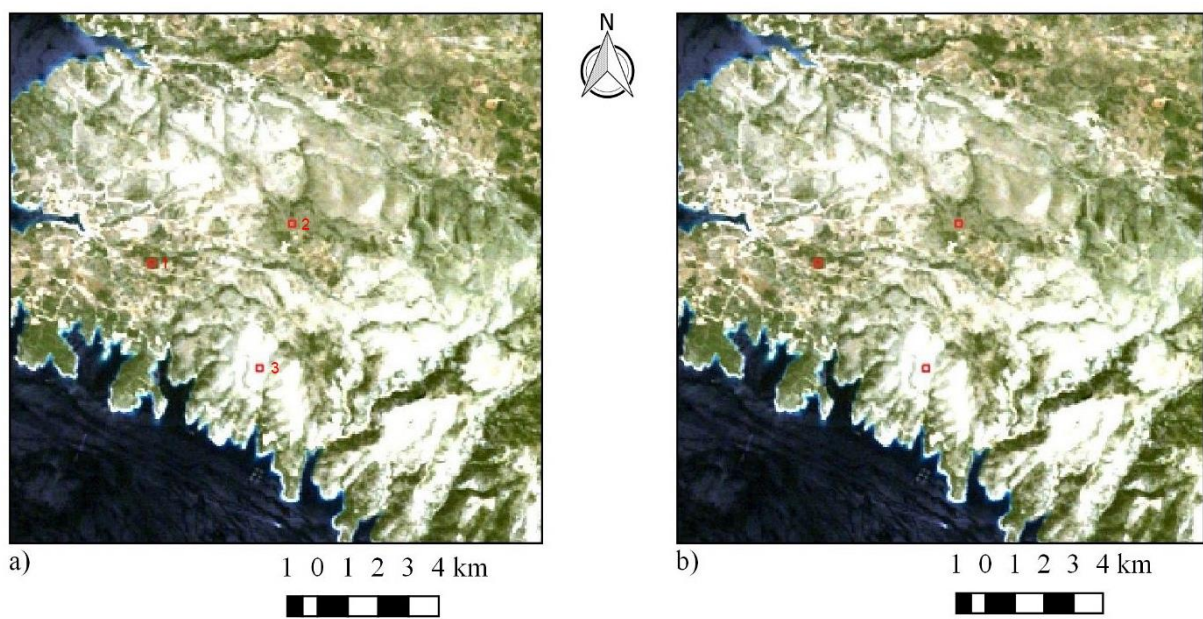
Unutar svake od tih klasa odabrano je po desetak uzorka koji su bili reprezentativni za tu klasu. Postupak uzimanja uzoraka je obavljen u QGIS-u. Nakon što su odabrani uzorci i spremljeni u vektorskom obliku (.SHP file), u SAGA GIS učitavaju se satelitske snimke i uzorci. U programu SAGA GIS provedena je nadzirana klasifikacija temeljena na metodi *Random Forrest Classification*.

Pojam *Random Forrest Classification* u uporabu je stavio Breiman (2001). To je algoritam za provedbu nadzirane klasifikacije. Iz njegova imena vidi se da na neki način metoda stvara šumu i čini da bude slučajna. Postoji izravan odnos između broja stabala u šumi i dobivenih rezultata: što je veći broj stabala, rezultat je točniji. Prednost te metode je ta što se može koristiti za klasifikaciju i regresijsku analizu. Random Forrest je algoritam koji je primijenjen u brojnim istraživanjima i radovima (Liaw i Wiener, 2002, Gislason i dr., 2006, Bosch i dr., 2007).

Zbog preciznijeg praćenja oporavka vegetacije analiza se provodi na zapadnom dijelu otoka Brača koji čini uže područje istraživanja (slika 3) te tri mikrolokacije (slika 4) koje predstavljaju pojedinu vrstu zemljišnog pokrova – visoka vegetacija, niska vegetacija i stijena. Mikrolokacije su formirane u obliku kvadrata jednakih površina. Kvadrati pokrivaju površinu približno 1,1 ha, a uže područje istraživanja pokriva 7990 ha. Podaci o odabranim područjima navedeni su u tablici 5.



Slika 3. Otok Brač s označenim užim područjem istraživanja (crveni kvadrat).



Slika 4. Uže područje istraživanja a) na dan 22. 6. 2011. – prije požara, b) na dan 25. 8. 2011. – nakon požara s označenim mikrolokacijama (crveni kvadrati).

Tablica 5. Podaci o užem području istraživanja i mikrolokacijama za istraživanje.

Područje	Vrsta	Površina [ha]
Uže područje istraživanja	voda, zemlja/stijena, izgrađeno, niska i visoka vegetacija	7990,0
Mikrolokacija 1	visoka vegetacija	1,1
Mikrolokacija 2	niska vegetacija	1,1
Mikrolokacija 3	stijena	1,1

3.7. Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI)

Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI, engl. *Normalized Difference Vegetation index*) predstavlja metodu procjene neto primarne proizvodnje različitih tipova biomase (Lenney i dr., 1996), praćenje fenoloških obrazaca Zemljina vegetacijskog pokrova, procjenu dužine vegetacijskog razdoblja i sušnih razdoblja (Huete i dr., 1994).

NDVI određuje vegetaciju mjerenjem razlike između bliskog IC kojeg vegetacija strogo reflektira i crvenog spektra kojeg vegetacija apsorbira. NDVI uvijek varira između -1 i $+1$. Na primjer, ako su negativne vrijednosti velika je vjerojatnost da se radi o vodi, a ako su vrijednosti bliske $+1$ to je indikator za guste zelene listove – jaču vegetaciju.

NDVI se računa pomoću blisko-infracrvenog (NIR) i crvenog (Red) kanala izrazom (1):

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

Zdrava vegetacija reflektira više blisko-infracrvenog i zelenog svjetla u usporedbi s ostalim valnim duljinama, ali apsorbira više crvenog i plavog. NDVI je standardizirani način mjerenja zdravlja vegetacije. Kada su vrijednosti visoke, vegetacija je zdrava, i obrnuto.

Vrijednosti NDVI-a će se koristiti za analizu i praćenje vegetacije za uže područje istraživanja i mikrolokacije. U nastavku vrijednosti NDVI-a bit će prikazane kroz statističke podatke i grafičke prikaze za sve godine istraživanja.

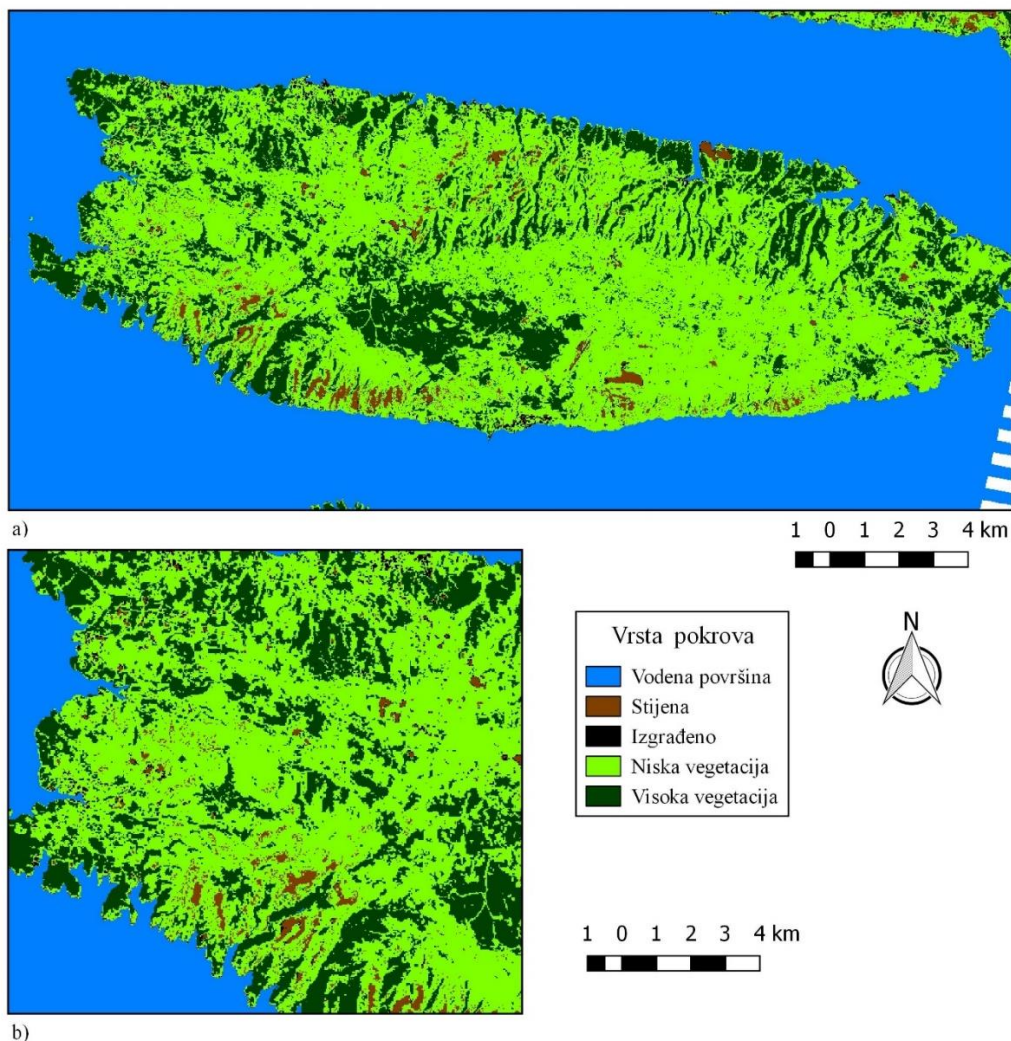
4. REZULTATI I ANALIZA

Rezultati ovog istraživanja prikazani su tematskim kartama cijelog područja otoka Brača s izdvojenim dijelom užeg područja istraživanja. Statistički podaci navedeni su u tablicama.

4.1. Klasifikacija i NDVI 2011.

4.1.1. Prije požara (lipanj 2011.)

Rezultati klasifikacije satelitske snimke *Landsat-5* za 22. 6. 2011. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 5a, a za uže područje istraživanja na slici 5b.

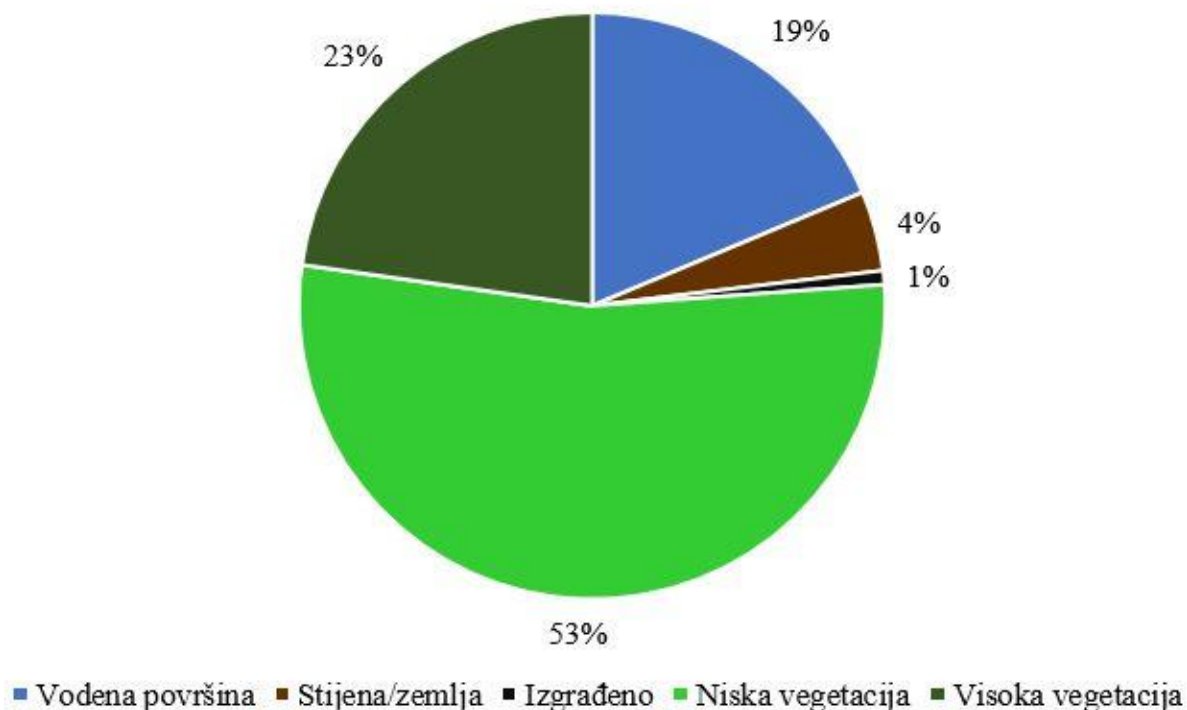


Slika 5. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za lipanj 2011. godine.

Površine pojedine vrste zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama navedene su u tablici 6, a grafički prikaz udjela pojedine klase unutar užeg područja istraživanja dan je na slici 6. U sljedećim poglavljima bit će korištene oznake: uže područje istraživanja (UPI), mikrolokacija 1 (ML1), mikrolokacija 2 (ML2) i mikrolokacija 3 (ML3).

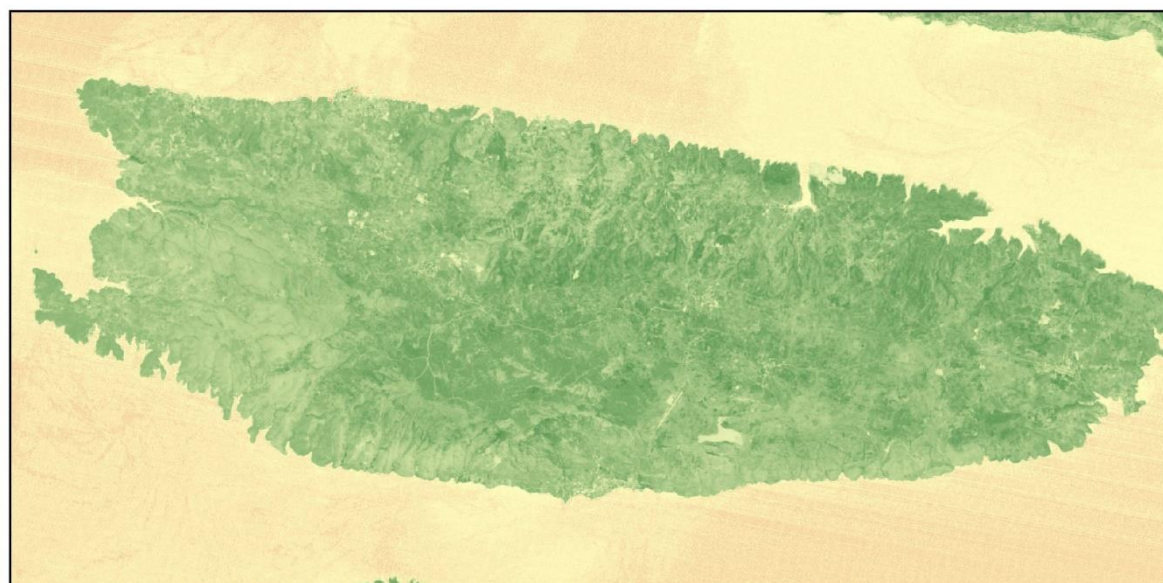
Tablica 6. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 22.6.2011.

Klasa	UPI [ha]	ML1 [ha]	ML2 [ha]	ML3 [ha]
1	1492,9	0,0	0,0	0,0
2	351,2	0,0	0,0	1,1
3	61,4	0,0	0,0	0,0
4	4266,6	0,0	1,1	0,0
5	1819,2	1,1	0,0	0,0



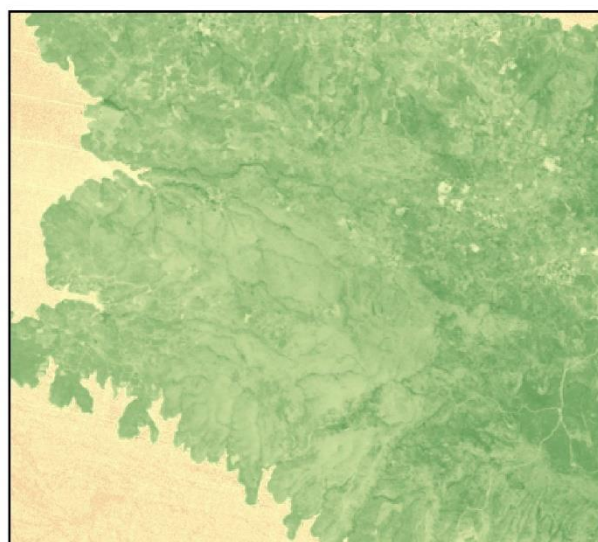
Slika 6. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za lipanj 2011. godine.

Rezultati analize NDVI-a za 22. 6. 2011. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 7a, a za uže područje istraživanja na slici 7b. U tablici 7 navedene su statističke vrijednosti (srednja vrijednost, standardno odstupanje, minimum, maksimum) NDVI-a po pojedinim lokacijama.

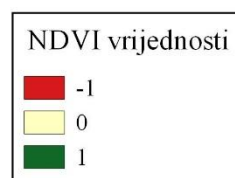


a)

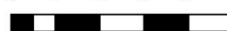
1 0 1 2 3 4 km



b)



1 0 1 2 3 4 km



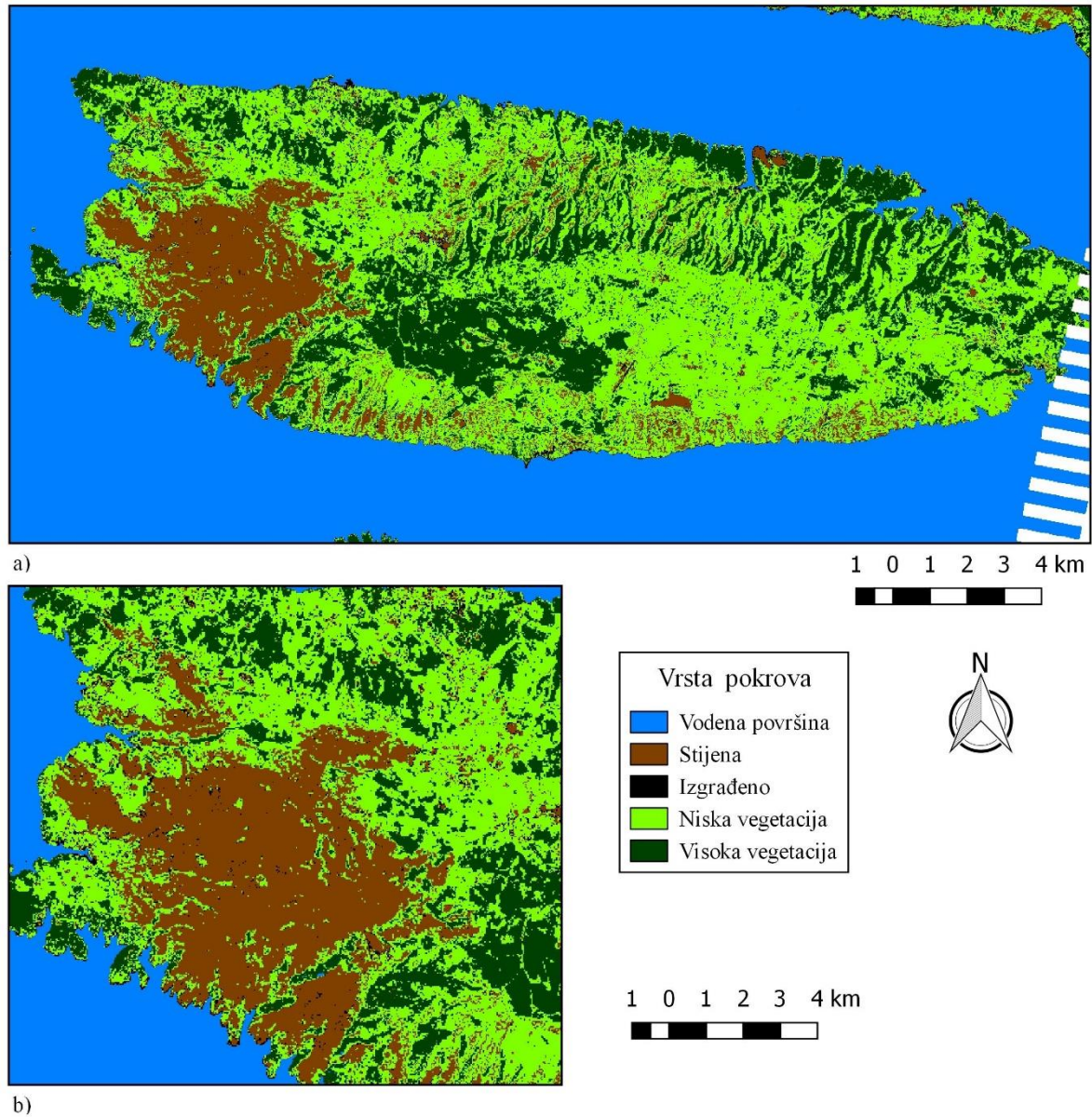
Slika 7. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za lipanj 2011. godine.

Tablica 7. NDVI vrijednosti za lipanj 2011.

Područje	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Minimum	Maksimum
ML1	0,432	0,016	0,409	0,459
ML2	0,374	0,012	0,350	0,393
ML3	0,245	0,010	0,230	0,259
UPI	0,274	0,179	-0,423	0,685

4.1.2. Nakon požara (kolovoz 2011.)

Rezultati klasifikacije satelitske snimke *Landsat-5* za 25. 8. 2011. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 8a, a za uže područje istraživanja na slici 8b.

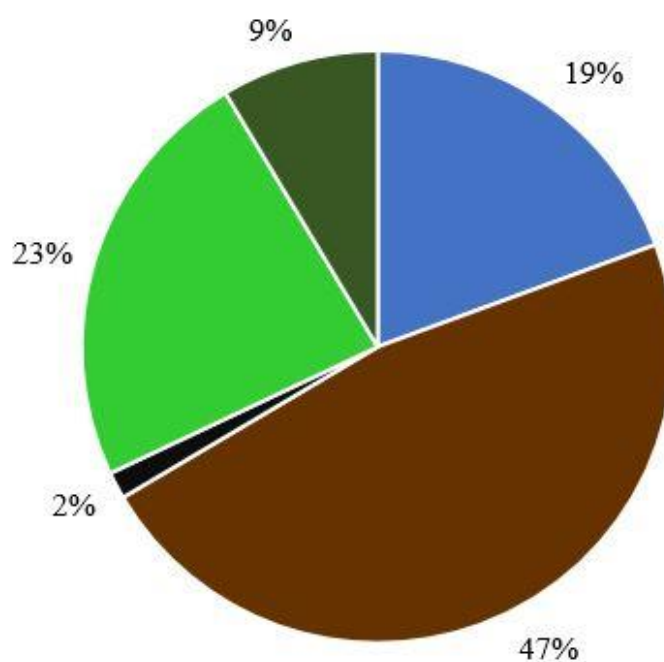


Slika 8. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2011. godine.

Površine pojedine vrste zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama navedene su u tablici 8, a grafički prikaz udjela pojedine klase unutar užeg područja istraživanja dan je na slici 9.

Tablica 8. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 25.8.2011.

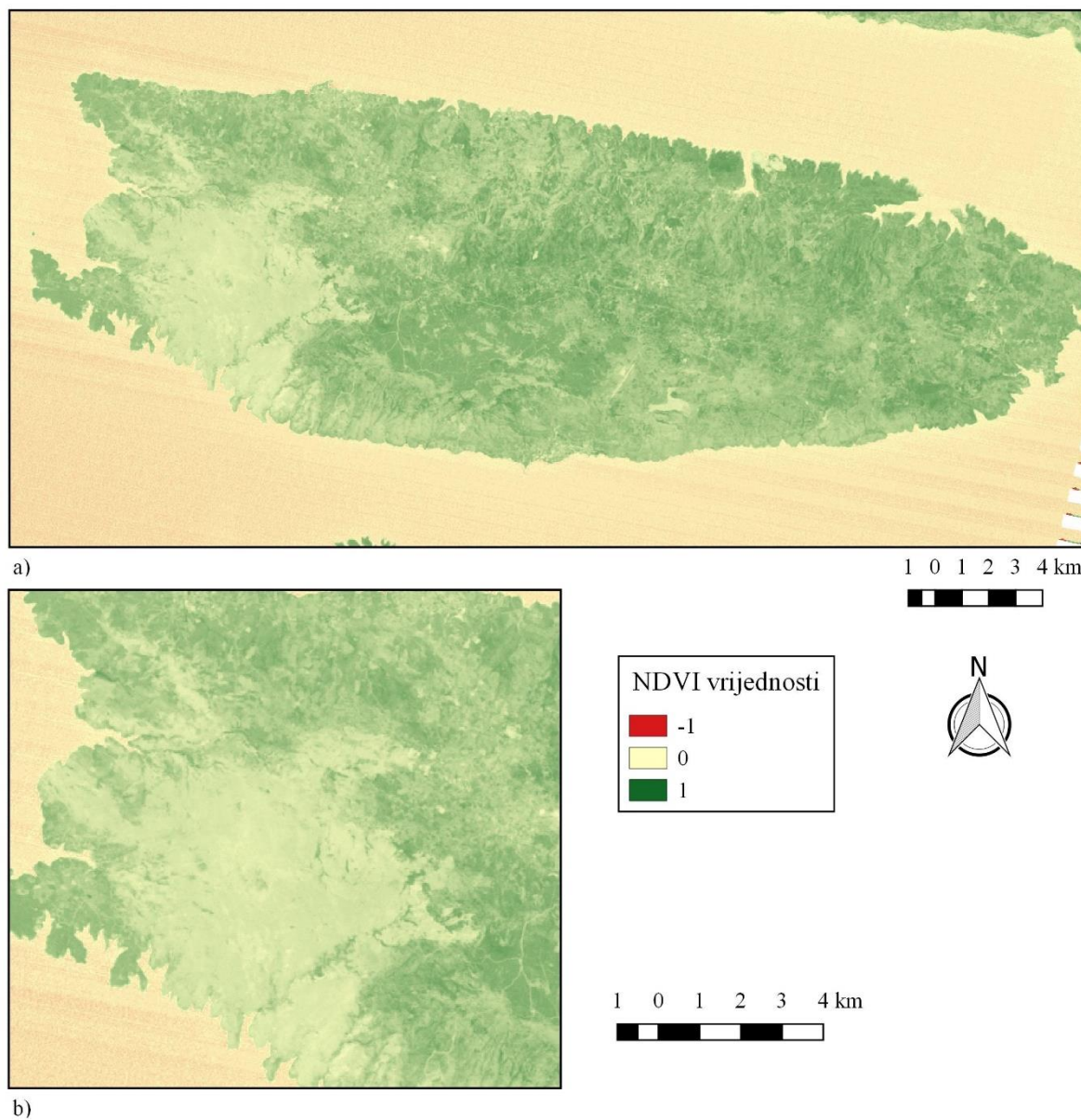
Klasa	UPI [ha]	ML1 [ha]	ML2 [ha]	ML3 [ha]
1	1459,8	0,0	0,0	0,0
2	3787,9	0,1	1,1	1,1
3	168,1	0,0	0,0	0,0
4	1883,4	1,0	0,0	0,0
5	691,8	0,0	0,0	0,0



■ Vodena površina ■ Stijena/zemlja ■ Izgrađeno ■ Niska vegetacija ■ Visoka vegetacija

Slika 9. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za kolovoz 2011. godine.

Rezultati analize NDVI-a za 25. 8. 2011. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 10a, a za uže područje istraživanja na slici 10b. U tablici 9 navedene su statističke vrijednosti (srednja vrijednost, standardno odstupanje, minimum, maksimum) NDVI-a po pojedinim lokacijama.



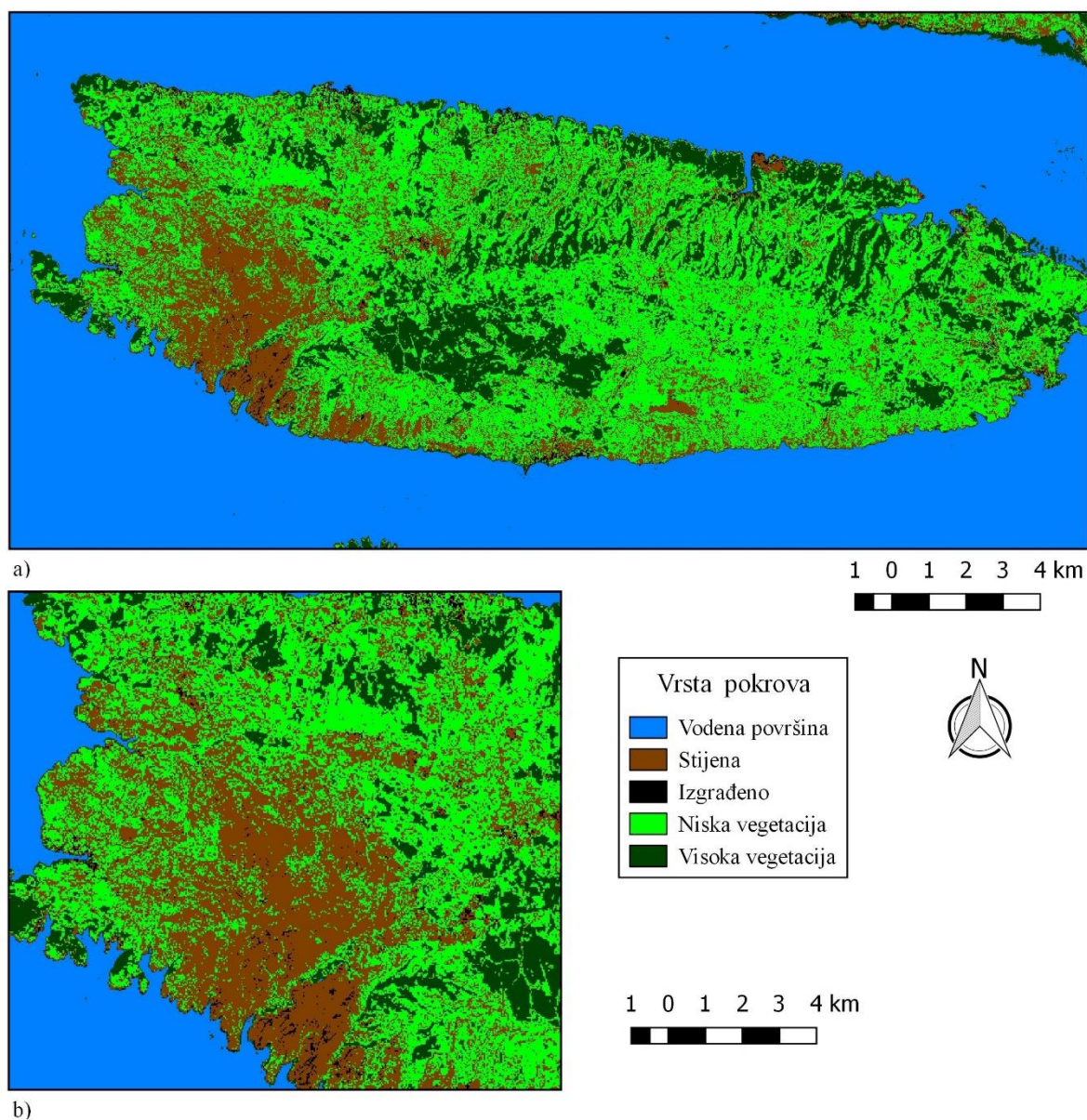
Slika 10. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2011. godine.

Tablica 9. NDVI vrijednosti za kolovoz 2011.

Područje	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Minimum	Maksimum
ML1	0,107	0,018	0,068	0,139
ML2	0,125	0,012	0,104	0,144
ML3	0,172	0,009	0,159	0,193
UPI	0,159	0,148	-0,258	0,567

4.2. Klasifikacija i NDVI 2013.

Rezultati klasifikacije satelitske snimke *Landsat-5* za 14. 8. 2013. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 11a, a za uže područje istraživanja na slici 11b.

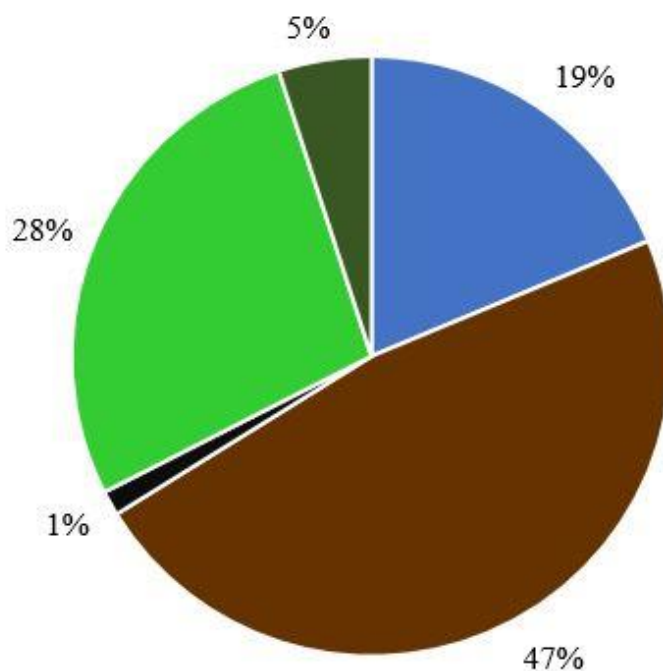


Slika 11. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2013. godine.

Površine pojedine vrste zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama navedene su u tablici 10, a grafički prikaz udjela pojedine klase unutar užeg područja istraživanja dan je na slici 12.

Tablica 10. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 14.8.2013.

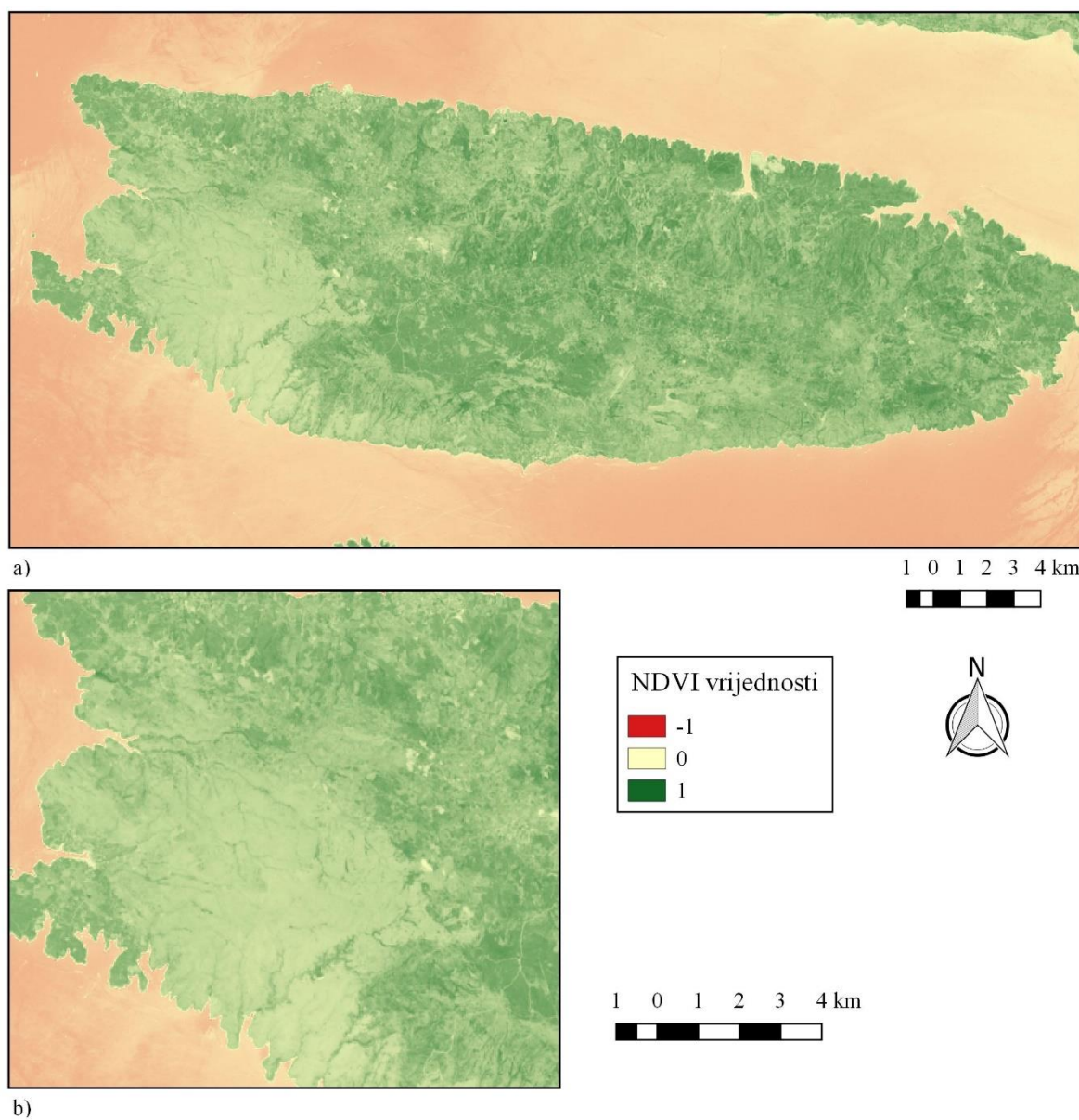
Klasa	UPI [ha]	ML1 [ha]	ML2 [ha]	ML3 [ha]
1	1414,9	0,0	0,0	0,0
2	3840,1	0,4	0,8	1,1
3	107,9	0,0	0,0	0,0
4	2222,7	0,7	0,3	0,0
5	405,5	0,0	0,0	0,0



■ Vodena površina ■ Stijena/zemlja ■ Izgrađeno ■ Niska vegetacija ■ Visoka vegetacija

Slika 12. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2013. godinu.

Rezultati analize NDVI-a za 14. 8. 2013. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 13a, a za uže područje istraživanja na slici 13b. U tablici 11 navedene su statističke vrijednosti (srednja vrijednost, standardno odstupanje, minimum, maksimum) NDVI-a po pojedinim lokacijama.



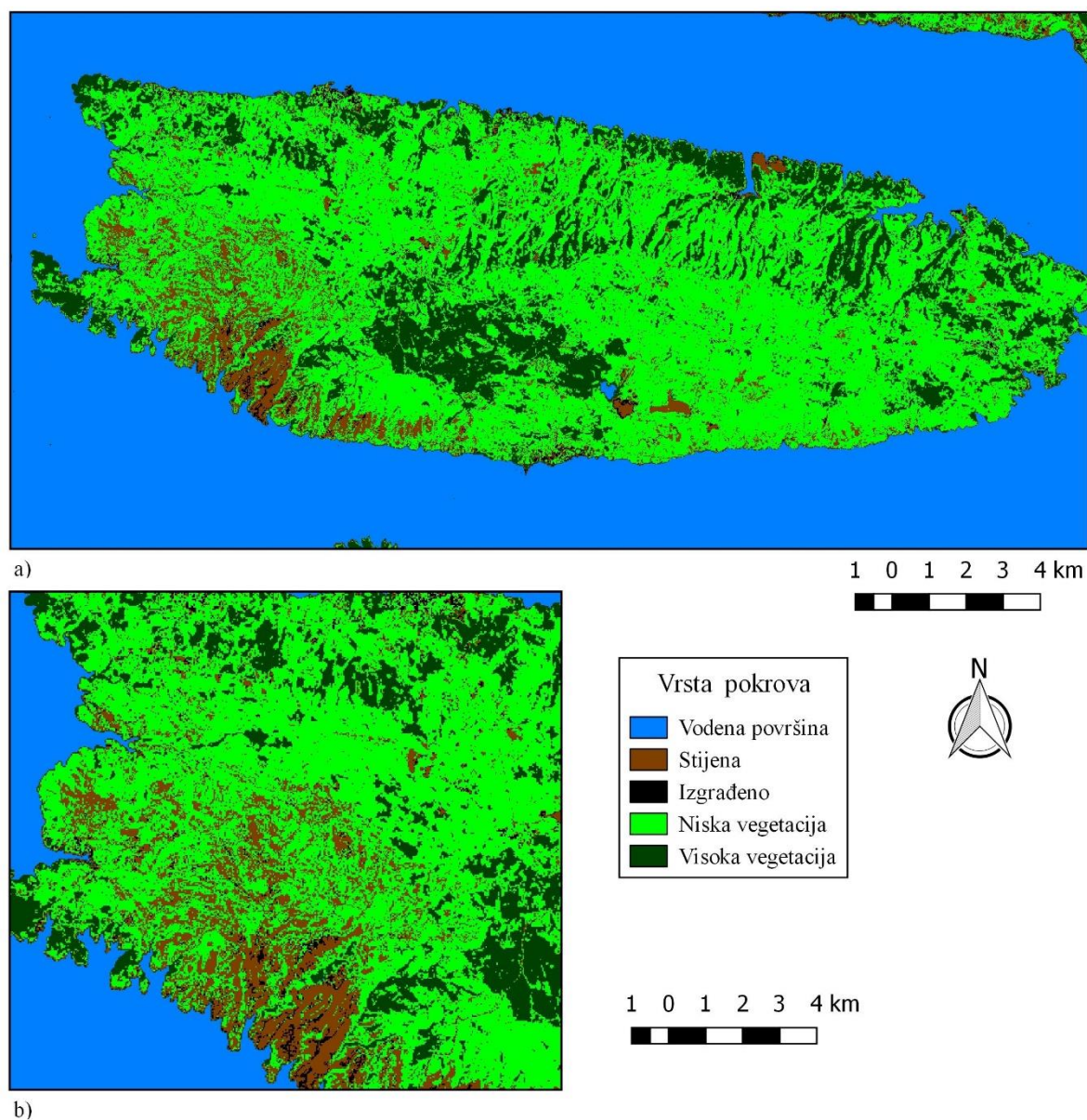
Slika 13. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2013. godine.

Tablica 11. NDVI vrijednosti za kolovoz 2013.

Područje	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Minimum	Maksimum
ML1	0,285	0,016	0,259	0,319
ML2	0,262	0,027	0,222	0,317
ML3	0,241	0,005	0,232	0,252
UPI	0,208	0,214	-0,401	0,637

4.3. Klasifikacija i NDVI 2014.

Rezultati klasifikacije satelitske snimke *Landsat-5* za 10. 8. 2014. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 14a, a za uže područje istraživanja na slici 14b.

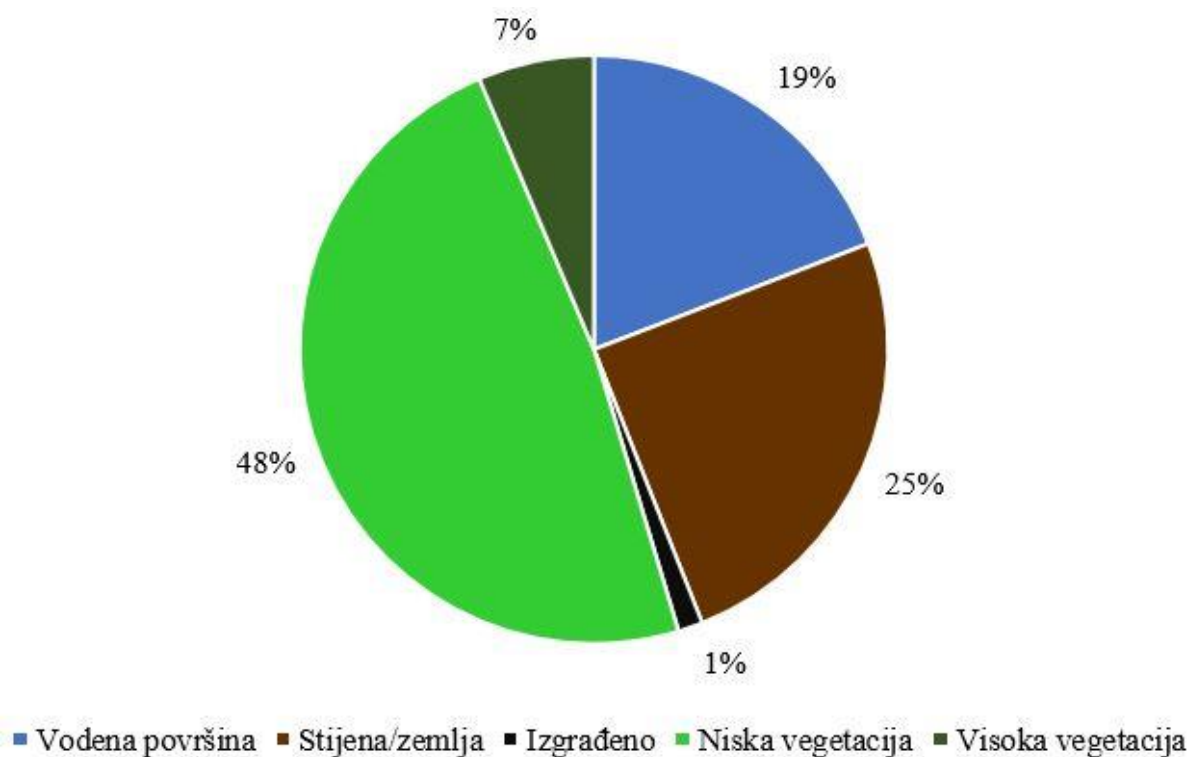


Slika 14. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2014. godine.

Površine pojedine vrste zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama navedene su u tablici 12, a grafički prikaz udjela pojedine klase unutar užeg područja istraživanja dan je na slici 15.

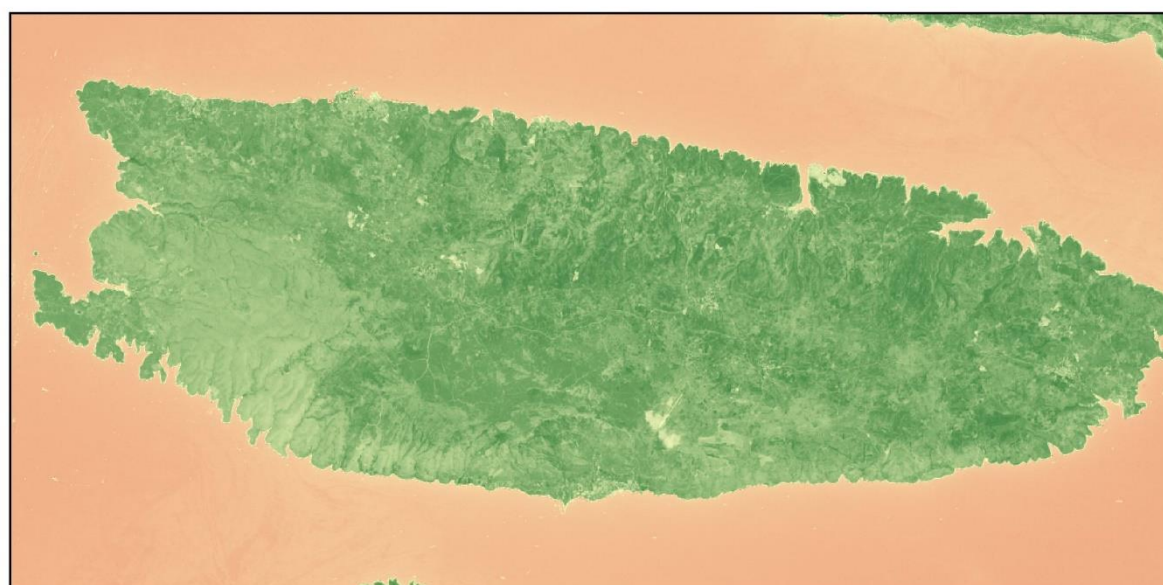
Tablica 12. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 10.8.2014.

Klasa	UPI [ha]	ML1 [ha]	ML2 [ha]	ML3 [ha]
1	1429,9	0,0	0,0	0,0
2	1985,6	0,1	0,3	1,1
3	208,5	0,0	0,0	0,0
4	3857,6	1,0	0,8	0,0
5	509,6	0,0	0,0	0,0



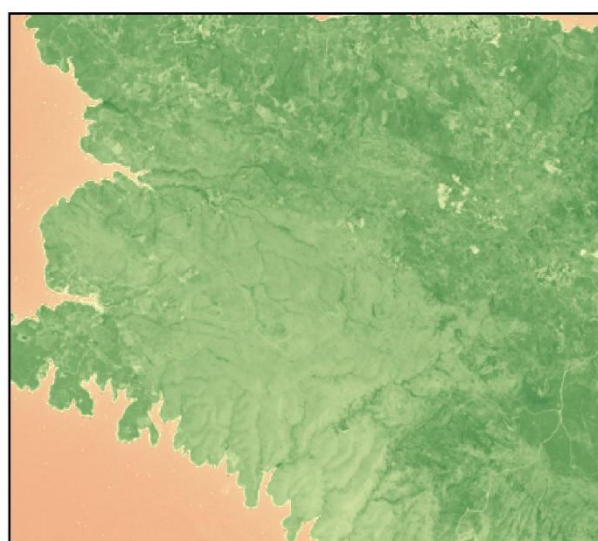
Slika 15. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2014. godinu.

Rezultati analize NDVI-a za 10. 8. 2014. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 16a, a za uže područje istraživanja na slici 16b. U tablici 13 navedene su statističke vrijednosti (srednja vrijednost, standardno odstupanje, minimum, maksimum) NDVI-a po pojedinim lokacijama.

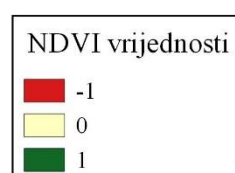


a)

1 0 1 2 3 4 km



b)



1 0 1 2 3 4 km



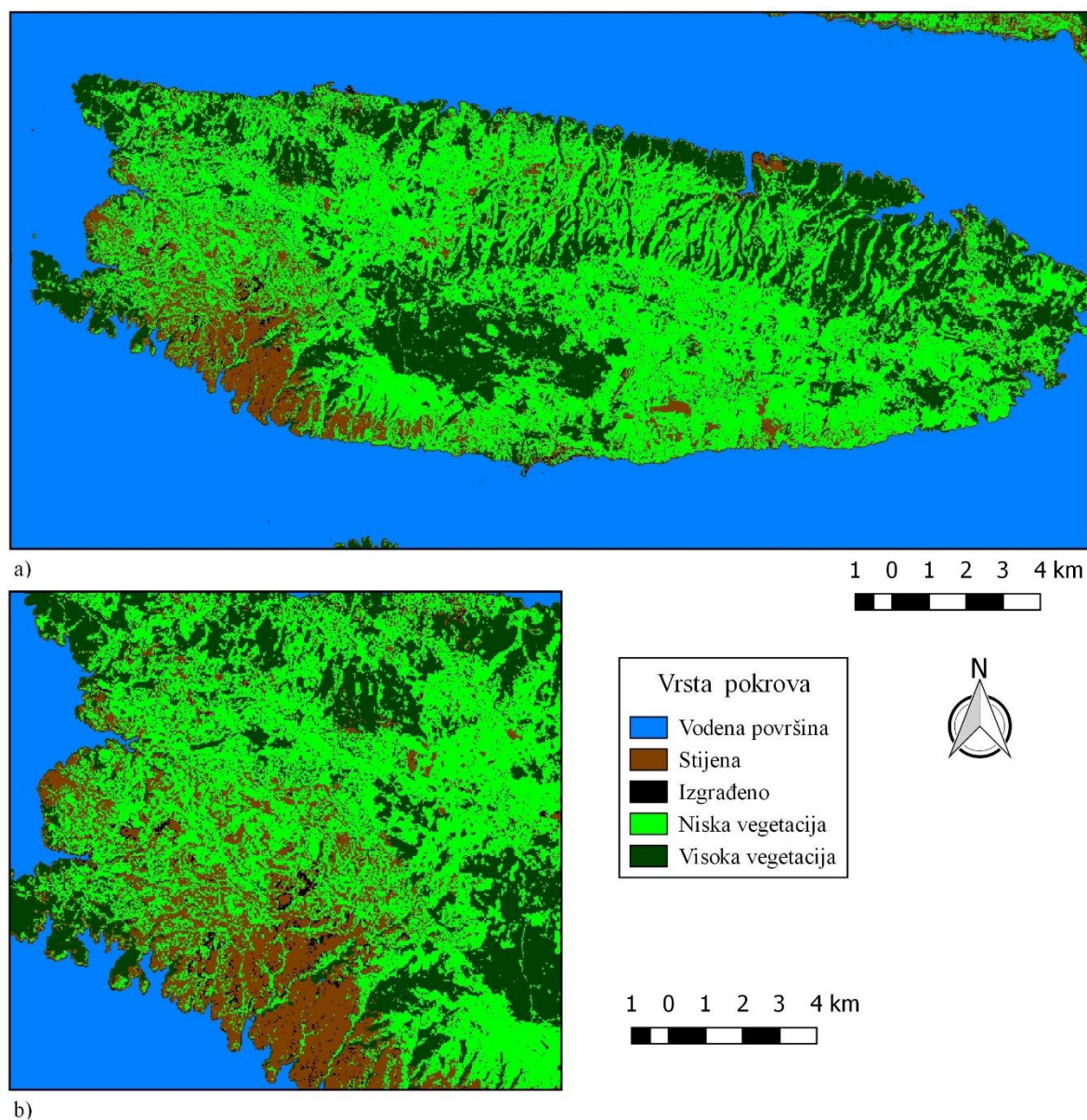
Slika 16. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2014. godine.

Tablica 13. NDVI vrijednosti za kolovoz 2014.

Područje	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Minimum	Maksimum
ML1	0,413	0,018	0,384	0,441
ML2	0,393	0,042	0,323	0,466
ML3	0,325	0,008	0,314	0,345
UPI	0,298	0,275	-0,575	0,751

4.4. Klasifikacija i NDVI 2015.

Rezultati klasifikacije satelitske snimke *Landsat-5* za 4. 8. 2015. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 17a, a za uže područje istraživanja na slici 17b.

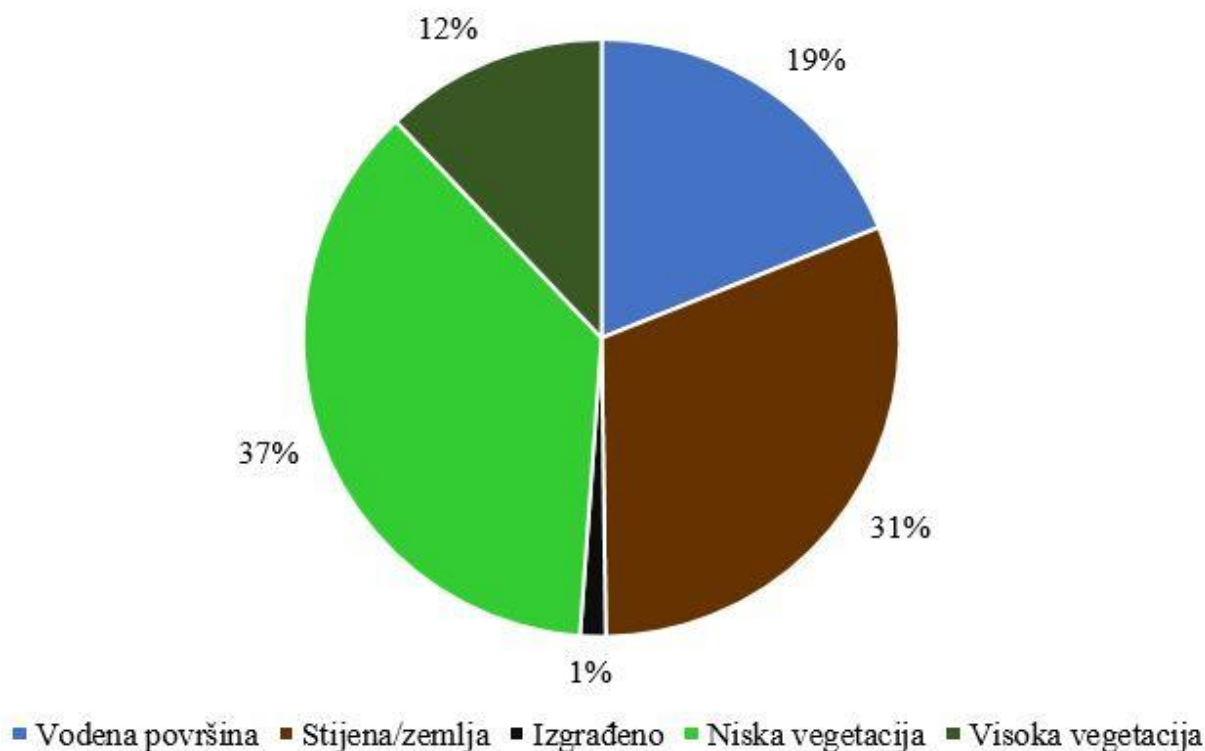


Slika 17. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2015. godine.

Površine pojedine vrste zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama navedene su u tablici 14, a grafički prikaz udjela pojedine klase unutar užeg područja istraživanja dan je na slici 18.

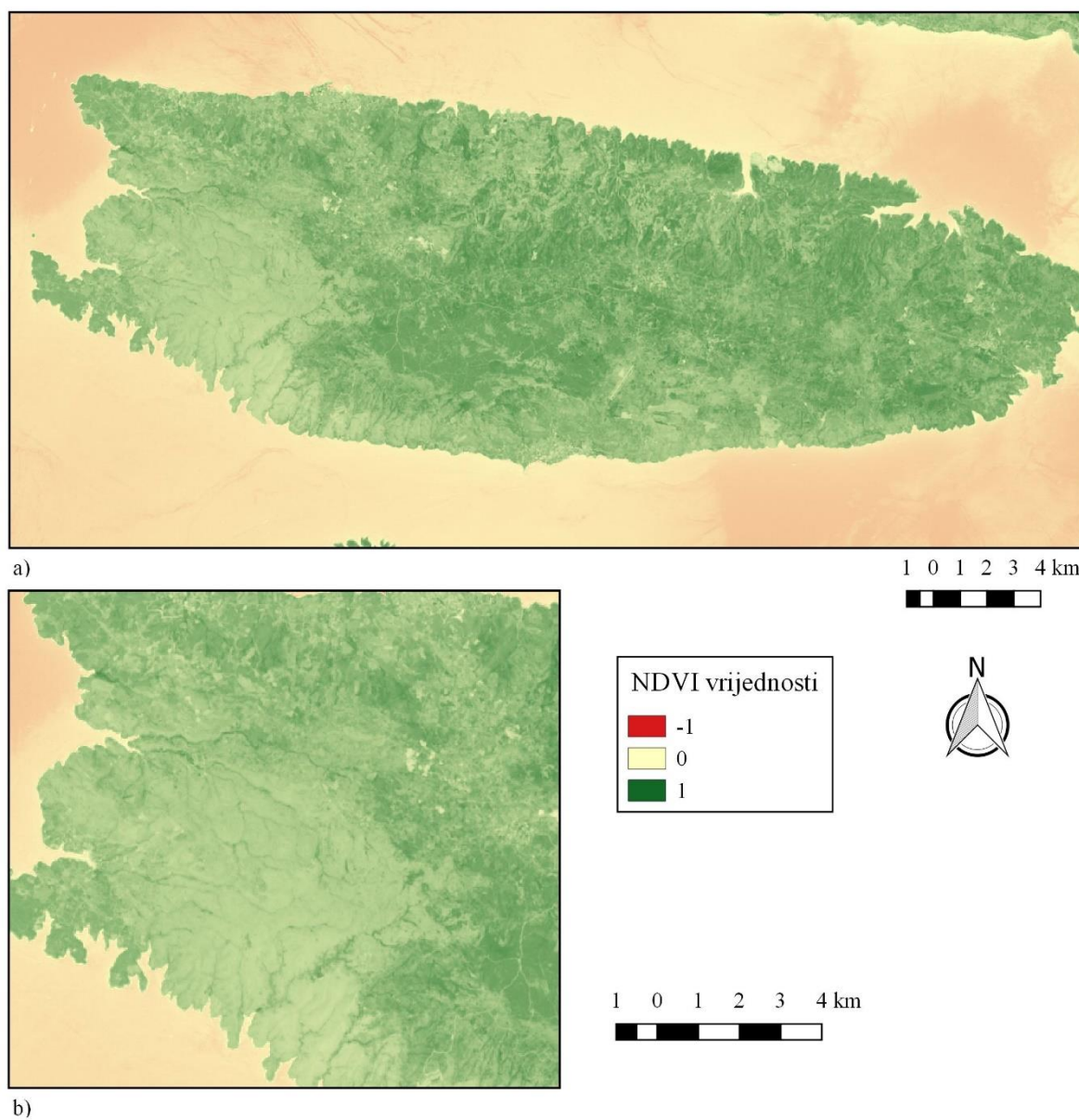
Tablica 14. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 4.8.2015.

Klasa	UPI [ha]	ML1 [ha]	ML2 [ha]	ML3 [ha]
1	1425,5	0,0	0,0	0,0
2	2477,0	0,0	0,3	1,1
3	161,1	0,0	0,0	0,0
4	2954,5	1,1	0,8	0,0
5	973,1	0,0	0,0	0,0



Slika 18. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2015. godinu.

Rezultati analize NDVI-a za 4. 8. 2015. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 19a, a za uže područje istraživanja na slici 19b. U tablici 15 navedene su statističke vrijednosti (srednja vrijednost, standardno odstupanje, minimum, maksimum) NDVI-a po pojedinim lokacijama.



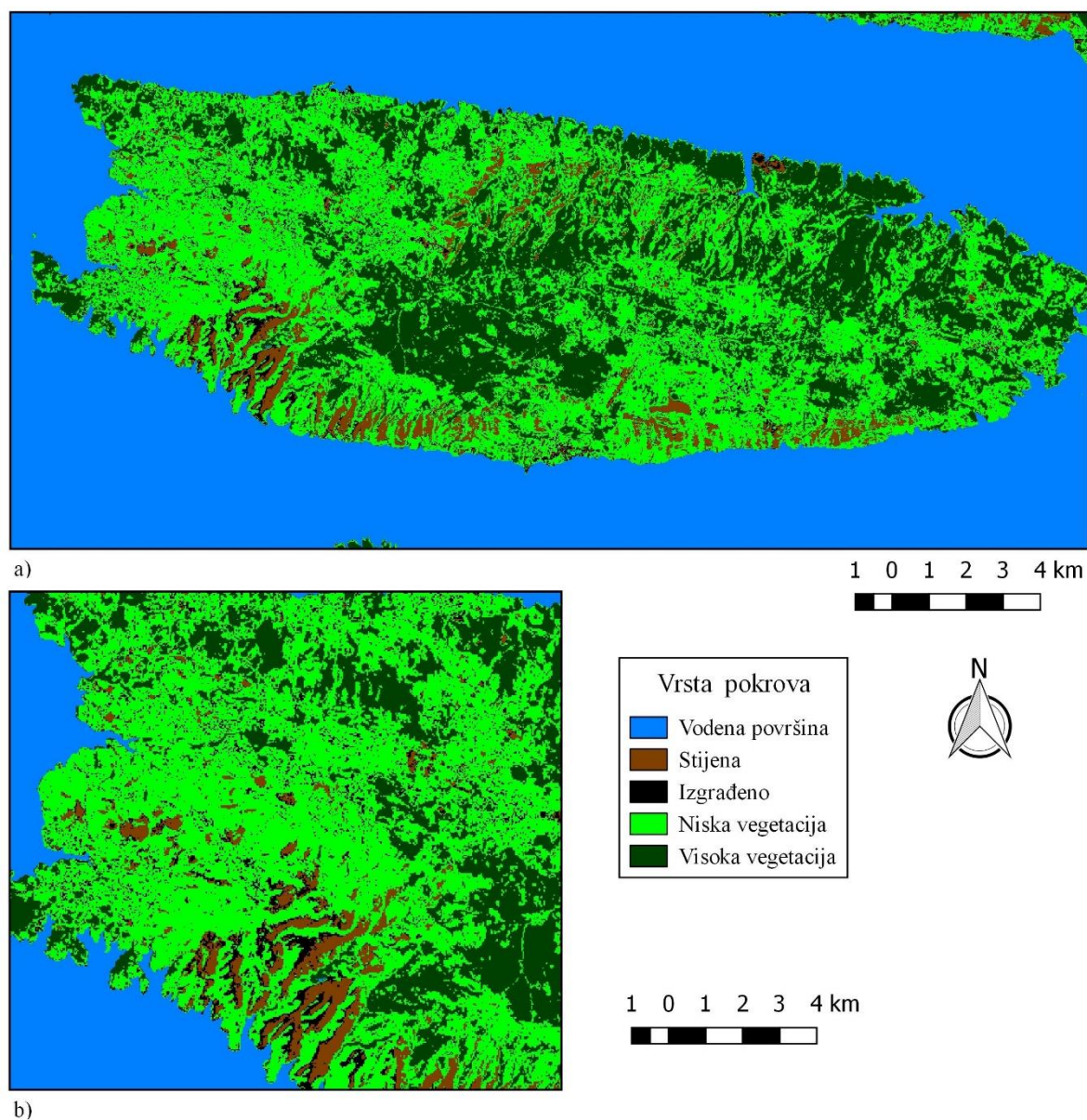
Slika 19. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2015. godine.

Tablica 15. NDVI vrijednosti za kolovoz 2015.

Područje	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Minimum	Maksimum
ML1	0,317	0,027	0,283	0,367
ML2	0,334	0,040	0,276	0,412
ML3	0,276	0,008	0,260	0,290
UPI	0,263	0,189	-0,213	0,675

4.5. Klasifikacija i NDVI 2016.

Rezultati klasifikacije satelitske snimke *Landsat-5* za 15. 8. 2016. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 20a, a za uže područje istraživanja na slici 20b.

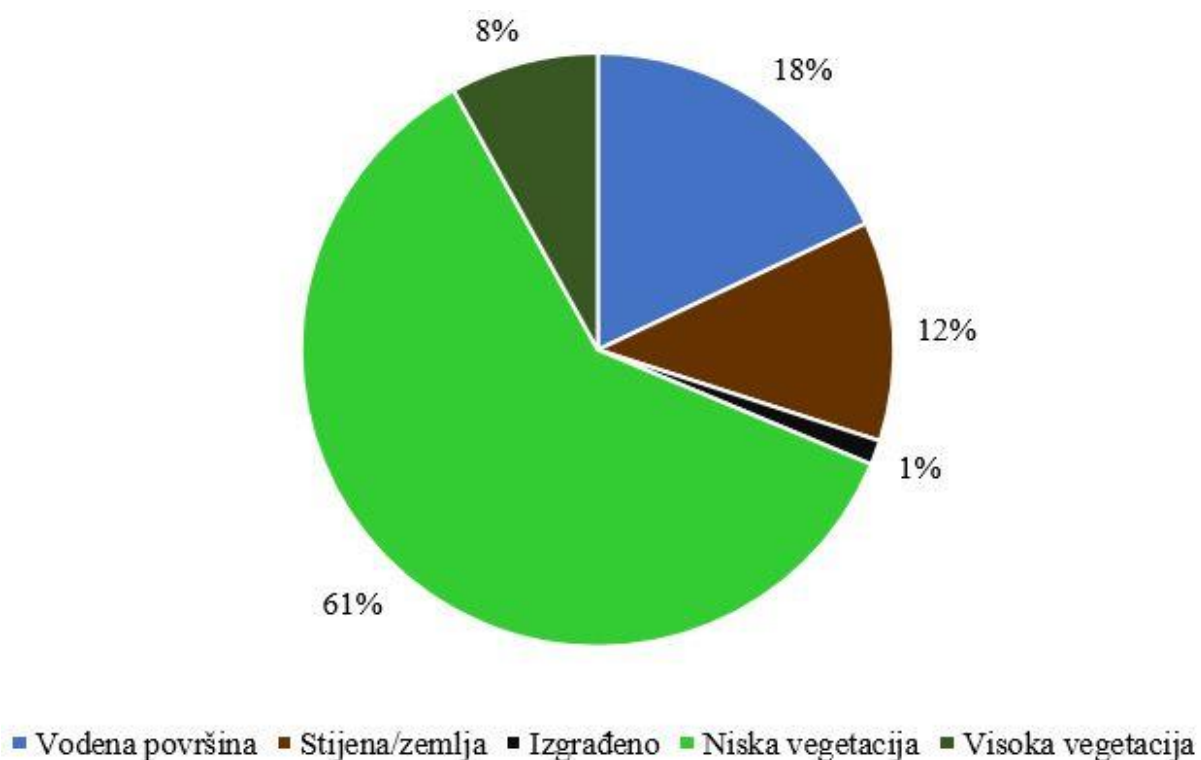


Slika 20. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2016. godine.

Površine pojedine vrste zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama navedene su u tablici 16, a grafički prikaz udjela pojedine klase unutar užeg područja istraživanja dan je na slici 21.

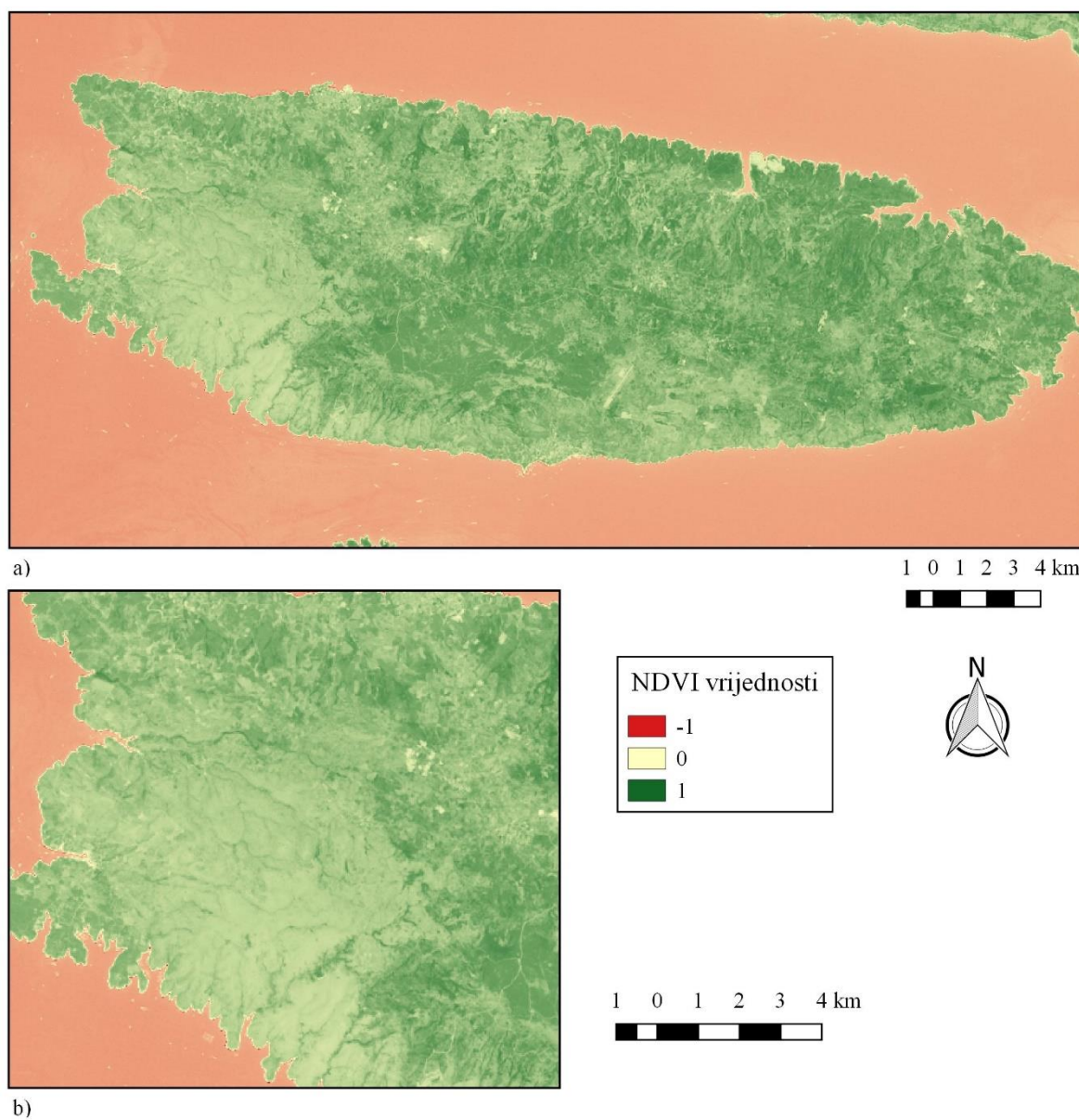
Tablica 16. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 15.8.2016.

Klasa	UPI [ha]	ML1 [ha]	ML2 [ha]	ML3 [ha]
1	1462,9	0,0	0,0	0,0
2	806,1	0,0	0,3	1,1
3	221,3	0,0	0,0	0,0
4	4888,9	1,1	0,8	0,0
5	601,9	0,0	0,0	0,0



Slika 21. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2016. godinu.

Rezultati analize NDVI-a za 15. 8. 2016. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 22a, a za uže područje istraživanja na slici 22b. U tablici 17 navedene su statističke vrijednosti (srednja vrijednost, standardno odstupanje, minimum, maksimum) NDVI-a po pojedinim lokacijama.



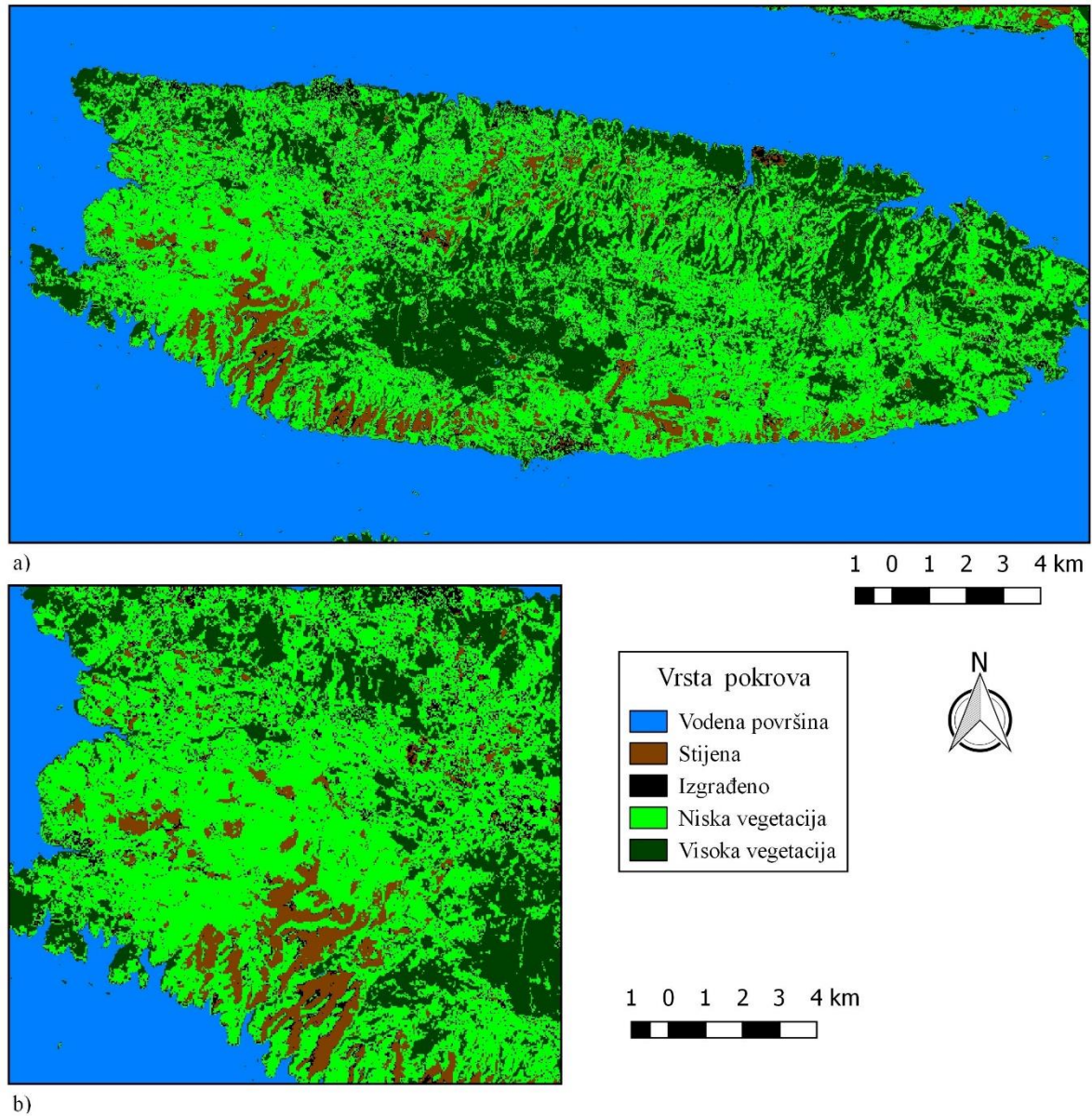
Slika 22. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2016. godine.

Tablica 17. NDVI vrijednosti za kolovoz 2016.

Područje	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Minimum	Maksimum
ML1	0,311	0,026	0,273	0,349
ML2	0,344	0,045	0,279	0,427
ML3	0,258	0,010	0,237	0,270
UPI	0,213	0,295	-1,000	0,727

4.6. Klasifikacija i NDVI 2017.

Rezultati klasifikacije satelitske snimke *Landsat-5* za 2. 8. 2017. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 23a, a za uže područje istraživanja na slici 23b.

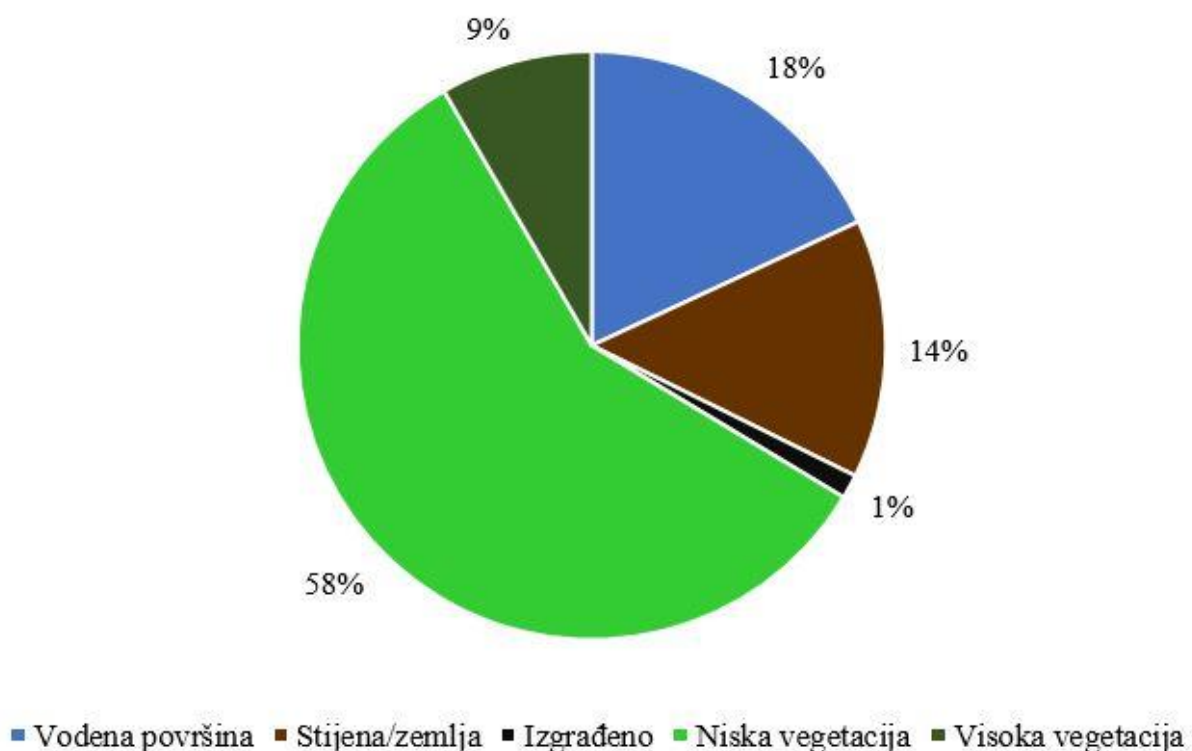


Slika 23. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2017. godine.

Površine pojedine vrste zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama navedene su u tablici 18, a grafički prikaz udjela pojedine klase unutar užeg područja istraživanja dan je na slici 24.

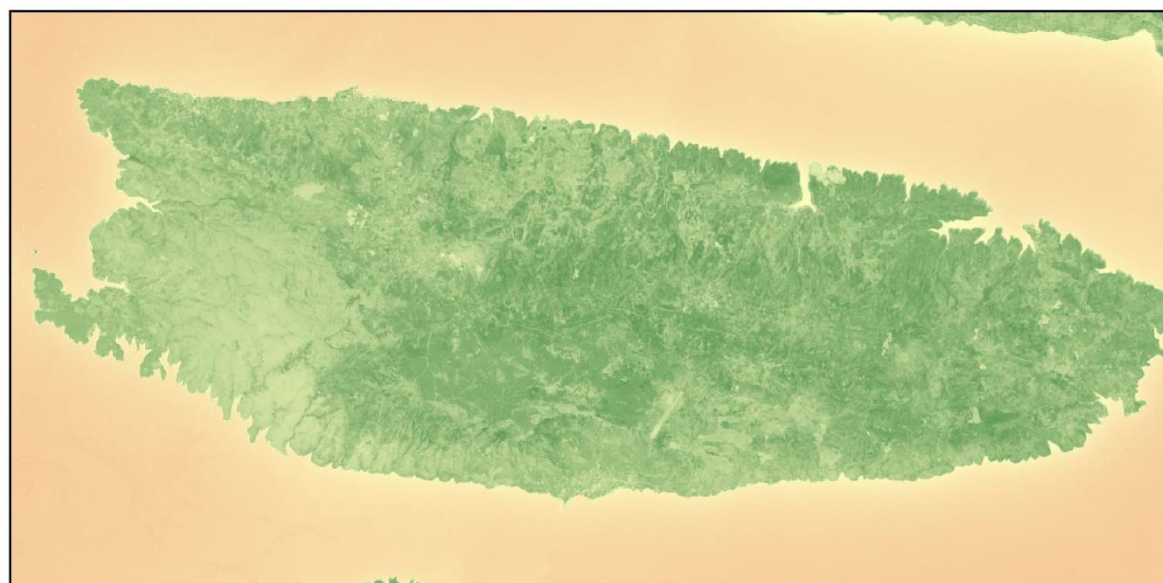
Tablica 18. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 2.8.2017.

Klasa	UPI [ha]	ML1 [ha]	ML2 [ha]	ML3 [ha]
1	1402,2	0,0	0,0	0,0
2	1102,2	0,0	0,2	1,1
3	202,5	0,0	0,0	0,0
4	4595,4	1,1	0,9	0,0
5	648,9	0,0	0,0	0,0



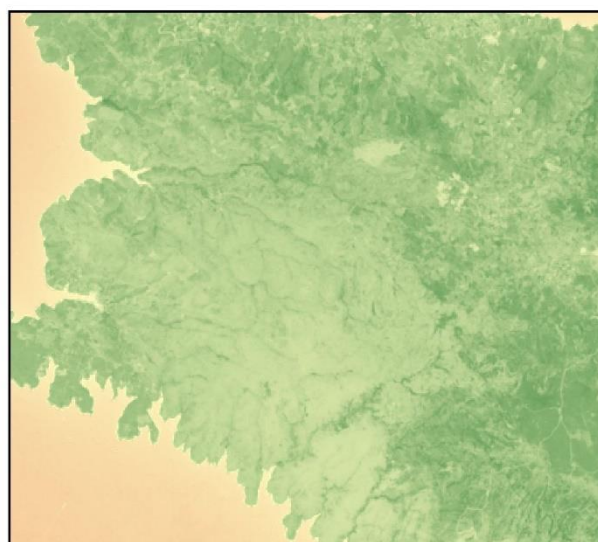
Slika 24. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2017. godinu.

Rezultati analize NDVI-a za 2. 8. 2017. za cijeli otok Brač prikazani su na slici 25a, a za uže područje istraživanja na slici 25b. U tablici 19 navedene su statističke vrijednosti (srednja vrijednost, standardno odstupanje, minimum, maksimum) NDVI-a po pojedinim lokacijama.

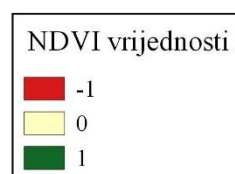


a)

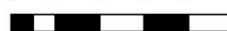
1 0 1 2 3 4 km



b)



1 0 1 2 3 4 km



Slika 25. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2017. godine.

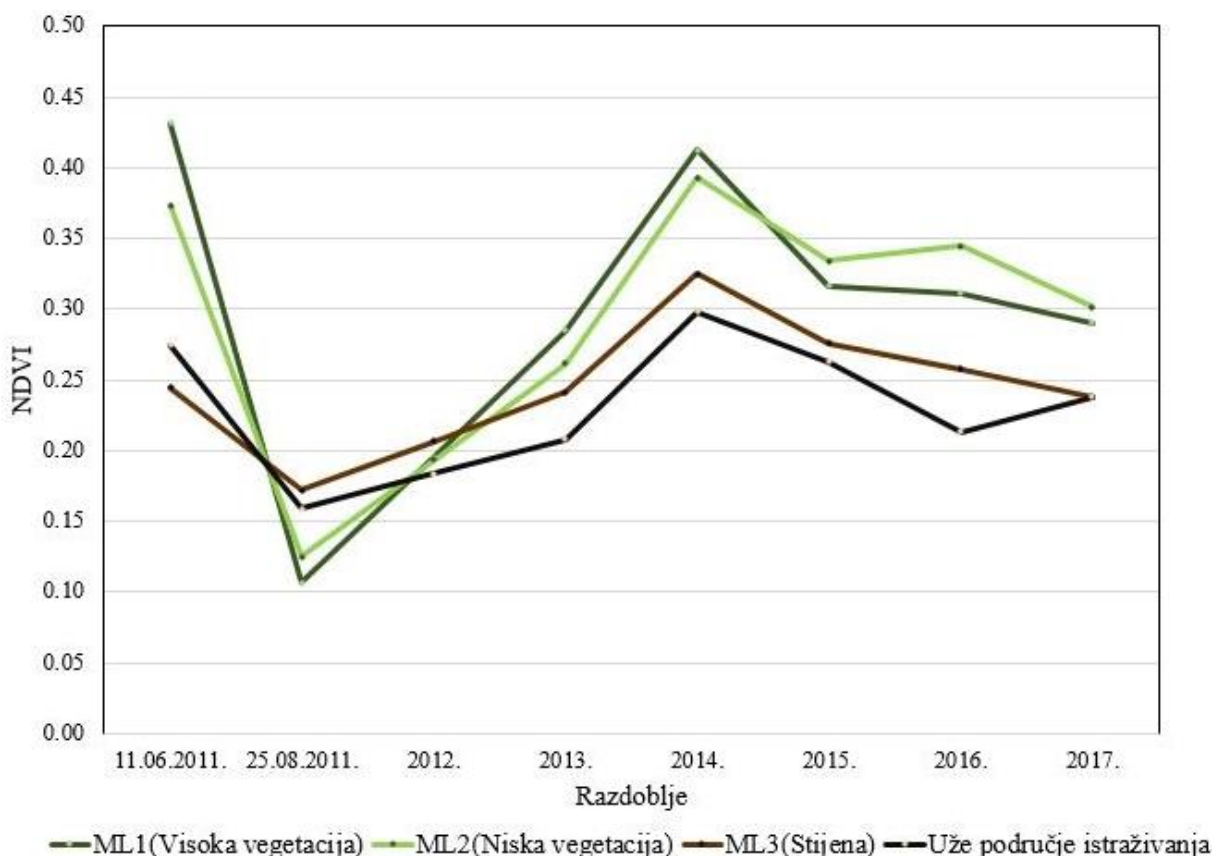
Tablica 19. NDVI vrijednosti za kolovoz 2017.

Područje	Srednja vrijednost	Standardno odstupanje	Minimum	Maksimum
ML1	0,291	0,025	0,258	0,332
ML2	0,301	0,028	0,253	0,348
ML3	0,238	0,007	0,225	0,249
UPI	0,238	0,007	0,220	0,249

4.7. Analiza

Cilj ovog istraživanja je prostorno-vremensko praćenje oporavka vegetacije opožarenog područja na otoku Braču u razdoblju od lipnja 2011. do kolovoza 2017. godine. Stoga, u ovom je istraživanju praćena niska vegetacija, visoka vegetacija i stijena, tj. gola zemlja koja ujedno predstavlja i opožareno područje. Vodena površina i izgrađeno područje uglavnom su nepromjenjivih vrijednosti. Praćenje je provedeno metodama nadzirane klasifikacije zemljišnog pokrova i praćenjem NDVI-a.

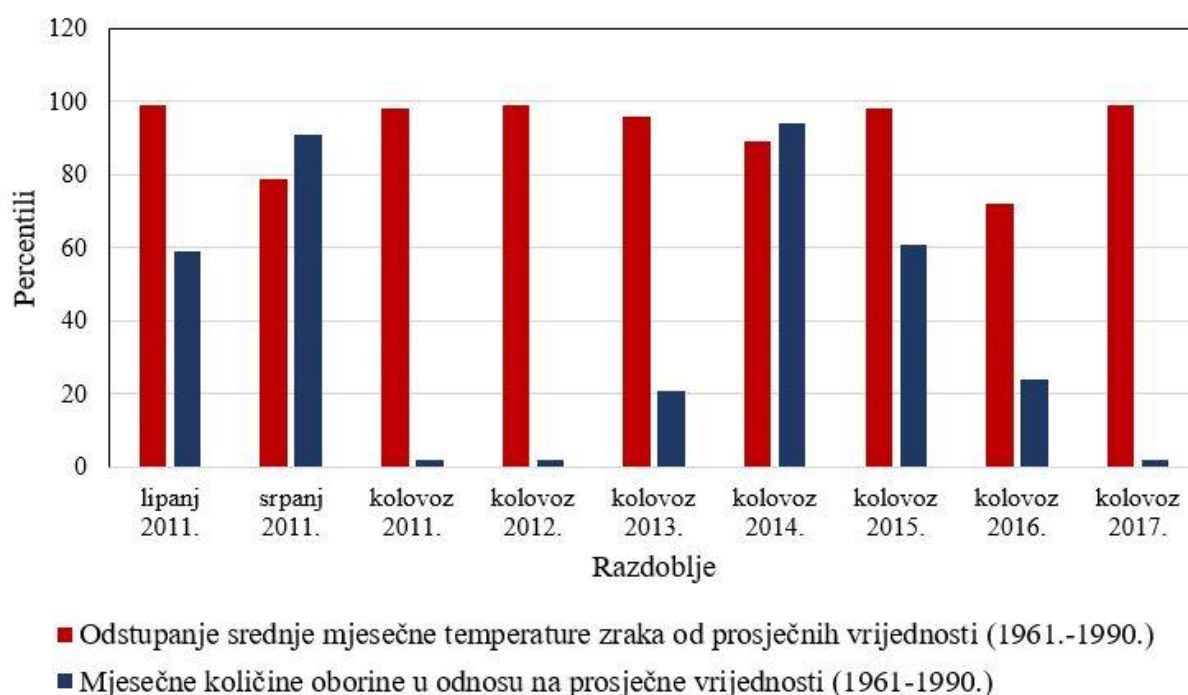
Na slici 26 grafički su prikazane vrijednosti NDVI-a za područja istraživanja. Požar je trajao tri dana, od 13. do 16. srpnja 2011. godine. Prema prikupljenim podacima sa satelitskih snimki izrazito je vidljiv pad u vegetacijskom indeksu mjesec dana prije i nakon požara. Vidljiv je polagani rast vrijednosti NDVI-a do skoka 2014. godine koji će biti objašnjen u nastavku. Vrijednost NDVI-a za 2012. godinu nije prikupljena sa satelitskih snimki zbog razloga objašnjenih u poglavlju 3.2., nego je računata kao prosječna vrijednost za 2011. i 2013. godinu.



Slika 26. NDVI vrijednosti za uže područje istraživanja i mikrolokacije.

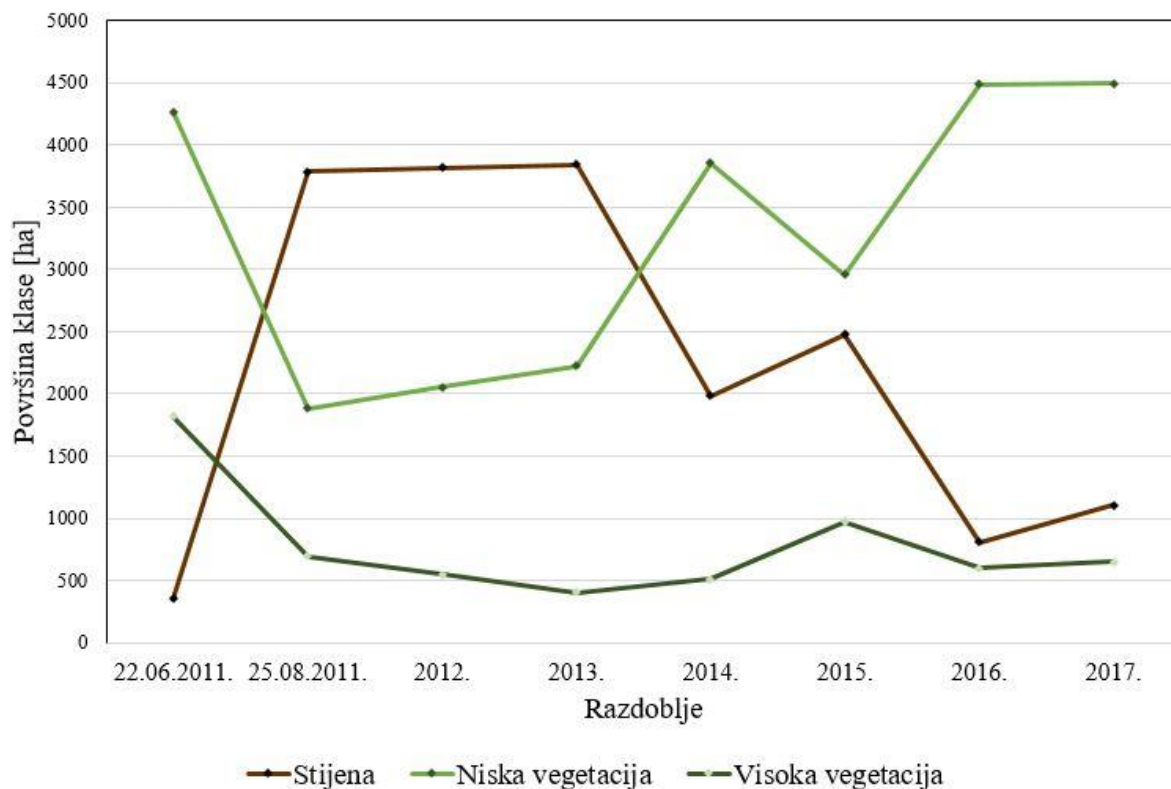
Tablica 20. Tumač percentila odstupanja srednje mjesečne temperature i količine oborina.

Oborine	Temperatura	Percentili
Ekstremno sušno	Ekstremno hladno	<2
Vrlo sušno	Vrlo hladno	2-9
Sušno	Hladno	9-25
Normalno	Normalno	25-75
Kišno	Toplo	75-91
Vrlo kišno	Vrlo toplo	91-98
Ekstremno kišno	Ekstremno toplo	>98



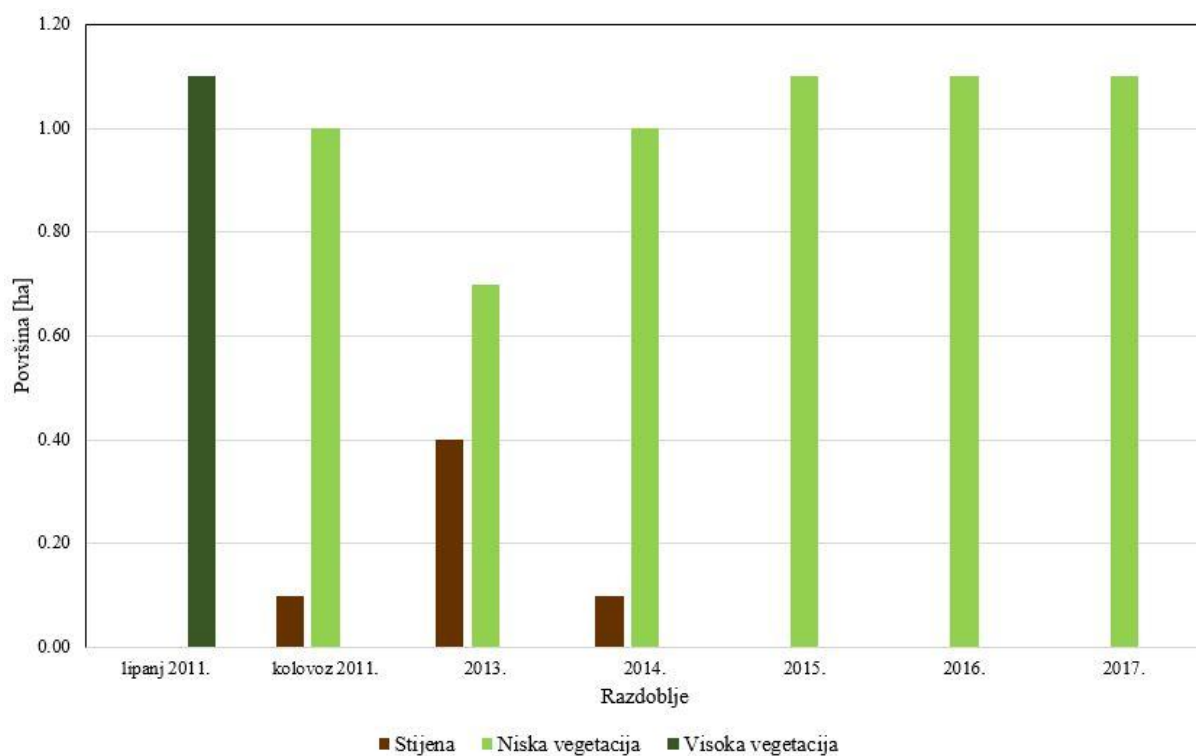
Slika 27. Vrijednosti temperatura i oborina kroz godine.

Podaci o temperaturama i padalinama preuzeti su iz biltena Državnoga hidrometeorološkog zavoda (DHMZ, 2011a, DHMZ, 2011b, DHMZ, 2011c, DHMZ, 2012, DHMZ, 2013, DHMZ, 2014, DHMZ, 2015, DHMZ, 2016, DHMZ, 2017). Iz slike 27 vidljivo je da su ljetni mjeseci posljednjih 8 godina ekstremno topli sa sušnim razdobljima. NDVI ovisi o raznim faktorima, ali najvažnija je vlažnost tla i temperatura zraka. Prikaz na slici 27 koincidira s vrijednostima NDVI-a na slici 26. Godina 2014. bila je normalnih temperaturnih vrijednosti i obilnih oborinama te je to utjecalo na skok NDVI-a te godine. Nakon toga bilježi se pad jer su naredne godine opet bile ekstremno tople s ekstremno sušnim razdobljem kao u primjeru 2017. godine.



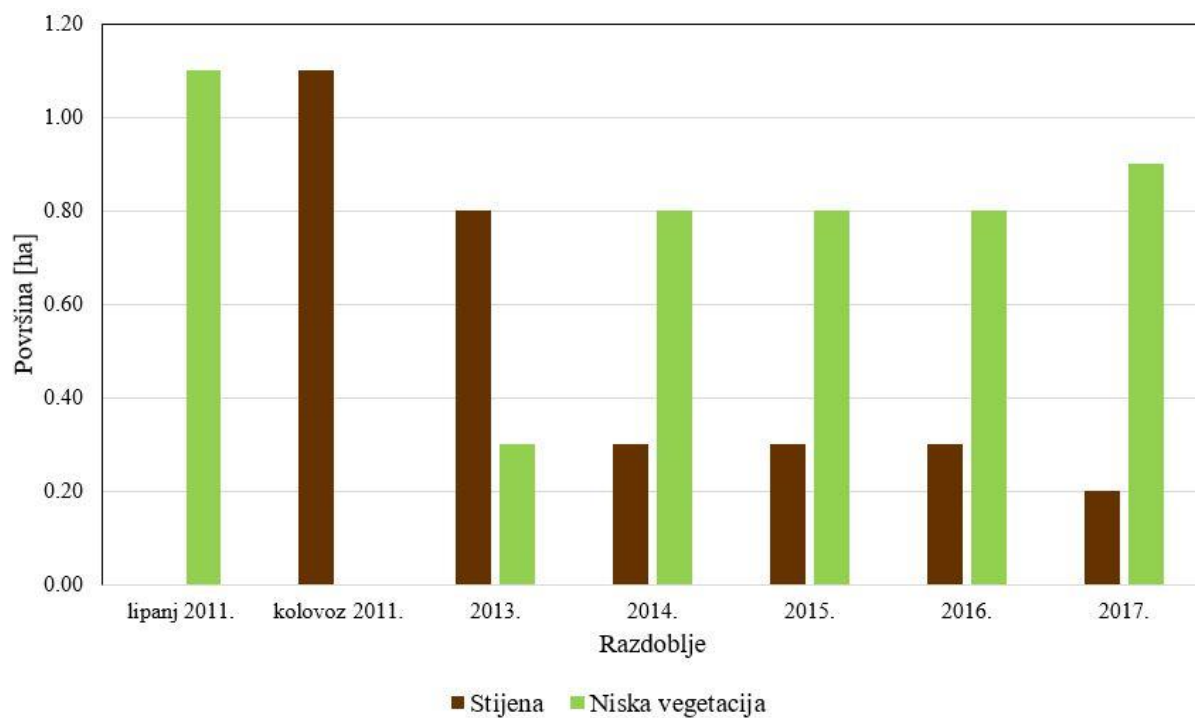
Slika 28. Promjena u površinama klasa zemljišnog pokrova na užem području istraživanja.

Iz slike 28 vidljiv je nagli pad niske vegetacije i visoke vegetacije nakon požara. Opožareno područje, tj. vegetaciju je zamijenila stijena koja je bila dominantan zemljišni pokrov. Niska vegetacija ima puno brži trend oporavka nego visoka vegetacija, tj. šuma. Površina niske vegetacije u 2016. i 2017. godini prerasla je svoje referentno stanje iz lipnja 2011. jer je niska vegetacija zamijenila područje koje je bilo pod visokom vegetacijom. Visoka vegetacija ima spori trend oporavka i pretpostavka je da će trebati još mnogo godina da se šuma oporavi na stanje prije požara u lipnju 2011. godine.



Slika 29. Površine relevantnih klasa na mikrolokaciji 1.

Mikrolokacija 1 reprezentira visoku vegetaciju, tj. područje šume. Visokoj vegetaciji je potrebno više vremena da se oporavi nego niskoj. Na slici 29 vidljivo je kako je opožarenu šumu zamijenila stijena i niska vegetacija te se od 2015. godine na toj lokaciji nalazi isključivo niska vegetacija.



Slika 30. Površine relevantnih klasa na mikrolokaciji 2.

Mikrolokacija 2 predstavlja nisku vegetaciju. Na slici 30 vidljivo je kako se nakon požara zemljišni pokrov mikrolokacije potpuno promijenio od niske vegetacije u stijenu. Opožareno područje potpuno je zamijenio stjenoviti pokrov. Vidljiv je postupni oporavak niske vegetacije uz stagnaciju od 2014. do 2016. te trend rasta u 2017. godini.

5. RASPRAVA

Šumski požari sve su češća pojava diljem svijeta, osim što uništavaju vegetaciju, čine materijalnu štetu i ugrožavaju ljudske živote. Vegetacija je vrlo važna za ravnotežu u cijelom svijetu te predstavlja ključan faktor života. Stoga je potrebno razviti dobre sustave gospodarenja šumama i praćenje njezina stanja. Veliki požari mogu ostaviti trajnu štetu na opožarenim dijelovima te je potrebno pratiti kako se vegetacija obnavlja nakon požara.

Zbog toga se brojna istraživanja bave upravo tom temom. Oporavak vegetacije može se pratiti na nekoliko načina, ali najzastupljenije je praćenje metodama daljinskih istraživanja i terenskim prikupljanjem podataka kroz godine ili kombinacijom tih dvaju načina. U ovom istraživanju metodama klasifikacije zemljišnog pokrova kroz pet klasa i prikupljanjem vrijednosti NDVI-a sa satelitskih snimaka prikazana je obnova opožarenog područja kroz vrijeme.

Nije provedena analiza pokrova na cijelom otoku Braču nego na području od interesa – užem području istraživanja, tj. opožarenom području unutar kojeg su se nalazile 3 mikrolokacije za ciljano praćenje oporavka visoke vegetacije, niske vegetacije i stijenu. Uže područje istraživanja zauzima površinu od 7990 ha.

Referentne podatke čine satelitske snimke od 22. 6. 2011. godine, tj. mjesec dana prije požara. Iz dobivenih podataka u tablici 6 vidljivo je da u užem području istraživanja niska vegetacija zauzima 53% površine, a visoka vegetacija 23%. Vegetacija ukupno čini oko 6000 ha područja istraživanja. U mikrolokacijama odgovarajuće klase su 100% zastupljene.

Požar je trajao od 13. do 16. srpnja 2011. godine. Iz podataka za kolovoz 2011. u tablici 8 i na slici 9 vidljiv je znatan pad udjela vegetacije. Udio vegetacije pao je na 9% za visoku vegetaciju te na 23% za nisku vegetaciju, a udio stijene koja je opožareno područje porastao je za 43% u usporedbi s prethodnim podacima gdje je zastupljeno samo 4%. U mikrolokaciji 1 gdje se prati visoka vegetacija, ona je potpuno nestala, a zamijenila ju je uglavnom niska vegetacija, dok na mikrolokaciji 2 gdje se prati niska vegetacija, ona je potpuno postala stijena.

Tijekom godina vidljiv je polagan oporavak vegetacije kroz uže područje istraživanja i mikrolokacije. U 2017. godini na slici 24 i u tablici 18 vidljiv je značajan oporavak niske vegetacije. U tom razdoblju niska vegetacija zauzima 58% površine što je 5% više nego u referentnom stanju, jer niska vegetacija zamjenjuje dio opožarenog područja gdje je bila visoka vegetacija. S druge strane, visoka vegetacija zauzima 9% površine što je 14% manje nego u

referentnom stanju. Prema tim podacima izgubljeno je oko 1,1 ha visoke vegetacije. Za oporavak tog područja bit će potrebno puno više vremena nego kod niske vegetacije.

Vrijednosti NDVI-a koincidiraju s podacima klasifikacije zemljišnog pokrova. Na slici 26 prikazane su vrijednosti NDVI-a po područjima istraživanja. Kao i kod zemljišnog pokrova zabilježen je izraziti pad vegetacijskog indeksa između lipnja i kolovoza 2011. godine, u razdoblju nakon požara vrijednosti su pale ispod vrijednosti za stijene. Pri usporedbi temperaturnih vrijednosti i oborina na slici 27 može se zaključiti da vrijednosti NDVI-a ovise o meteorološkim uvjetima.

Uvjeti kakvi su bili u kolovozu 2014. godine, normalne temperature i obilne oborine pozitivno utječu na vegetaciju. Što je više ekstremno visokih temperatura i sušnih razdoblja usporava se oporavak vegetacije. Idealni uvjeti za obnovu vegetacije bili bi kao u kolovozu 2014. godine, ali ako se nastavi trend visokih temperatura i suša postupak oporavka vegetacije bit će biti otežan i usporen.

Sumirano, postupak oporavka vegetacije je i dalje u procesu razvoja. Pozitivni trendovi vidljivi su i u zemljišnom pokrovu i u NDVI-u. Ako se meteorološki uvjeti budu približavali stanju kakvo je bilo 2014. godine i u međuvremenu to područje ne bude ponovno opožareno, oporavak vegetacije bit će znatno ubrzan.

Ovo istraživanje provedeno je na besplatno dostupnim satelitskim snimkama i programima otvorenog koda što je vrlo pozitivno i ohrabrujuće za populariziranje istraživanja. Također, time se omogućava ponovljivost i verifikacija rezultata istraživanja. Satelitske snimke su bile prostorne rezolucije od 30 m, a da su dostupni podaci bili bolje rezolucije rezultati bi bili pouzdaniji i analiza bi mogla biti provedena puno detaljnije.

6. ZAKLJUČAK

Pojava požara sveprisutna je u današnjem svijetu. Stoga je nužno pratiti utjecaje koje požari čine na vegetaciju, naseljena područja i ljude. Ljudska briga o vegetaciji je ključna, treba minimizirati požare uzrokovane ljudskim faktorom i povećati brigu o opožarenim područjima.

Metodama daljinskih istraživanja provedena je prostorno-vremenska analiza obnove zemljišnog pokrova nakon velikog požara na otoku Braču koji je zahvatio zapadni dio otoka u srpnju 2011. godine. Analizom satelitskih snimki *Landsat* provedena je klasifikacija zemljišta metodom nadzirane klasifikacije pomoću algoritma *Random Forrest*. Paralelno, pomoću crvenog i blisko-infracrvenog kanala satelitskih snimki prema izrazu (1) računane su vrijednosti NDVI-a.

Rezultati su prikazani kartografskim prikazom cijelog područja otoka Brača i užeg područja istraživanja, kao i vrijednosti NDVI-a. Statističke vrijednosti i udjeli površina klasa prikazani su tablično i grafički u poglavlju 4. Rezultati i analize zemljišnog pokrova.

Analizirajući dobivene rezultate, donesen je zaključak o oporavku vegetacije. Niska vegetacija ima znatno brži trend oporavka od visoke vegetacije te je udio niske vegetacije u 2017. nadmašio svoju početnu vrijednost prije požara. To znači da je udio pokrova koji je bio pod visokom vegetacijom u oporavku, ali da će trebati određeno vrijeme da od trenutne niske vegetacije dođe do početnog stanja.

Godine 2017. niska vegetacija zauzima 58% površine, što je 5% više nego u referentnom stanju jer niska vegetacija zamjenjuje dio opožarenog područja gdje je bila visoka vegetacija. S druge strane, visoka vegetacija zauzima 9% površine što je 14% manje nego u referentnom stanju. Prema tim podacima izgubljeno je oko 1,1 ha visoke vegetacije.

Osim satelitskih snimki, u obzir su uzete temperaturne vrijednosti koje dopunjuju vrijednosti rezultata dobivenih analizom snimaka. Unatoč tome što je u srpnju 2011. bilo jako toplo s vrlo kišnim razdobljem, njemu je prethodio ekstremno topao lipanj s normalnom količinom padalina koji je postavio preduvjete za požar. Oporavak vegetacije je prisutan, ali će uvelike ovisiti o meteorološkim uvjetima i ljudskom djelovanju.

Satelitske snimke misije *Landsat*, iako su besplatne i dostupne svima, pokazale su se veoma pogodnima za ovu vrstu istraživanja, osim toga, u korist im ide to što arhiva satelitskih snimki postoji od 1972. godine te predstavlja odlične podatke za praćenje promjena u okolišu.

U ovakvim istraživanjima poseban doprinos čine terenski podaci koji uvelike pridonose kvalitetnoj analizi. Kombinacijom terenskih podataka i satelitskih snimaka mogu se dobiti izuzetno kvalitetni podaci o stanju i oporavku vegetacije, što će biti predmet nekog od predstojećih istraživanja.

7. ZAHVALA

Zahvaljujem mentorima izv. prof. dr. sc. Mladenu Zrinjskom i doc. dr. sc. Mateu Gašparoviću na uloženom trudu i susretljivosti. Zahvaljujem im na stručnim savjetima, utrošenom vremenu i velikoj pomoći pri izradi rada, a posebno doc. dr. sc. Mateu Gašparoviću što je svojim izvođenjem nastave stvorio velik interes za područje daljinskih istraživanja.

8. POPIS LITERATURE

Bosch, A., Zisserman, A., Munoz, X. (2007): Image Classification using Random Forests and Ferns, 2007 IEEE 11th International Conference on Computer Vision, 1–8.

Breiman, L. (2001): Random Forests, Machine Learning, 45, 5–32.

Chavez, P. S. (1996): Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, American Society of Photogrammetry, 62, 1025–1036.

DHMZ (2011a): Meteorološki i hidrološki bilten, lipanj, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

DHMZ (2011b): Meteorološki i hidrološki bilten, srpanj, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

DHMZ (2011c): Meteorološki i hidrološki bilten, kolovoz, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

DHMZ (2012): Meteorološki i hidrološki bilten, kolovoz, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

DHMZ (2013): Meteorološki i hidrološki bilten, kolovoz, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

DHMZ (2014): Meteorološki i hidrološki bilten, kolovoz, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

DHMZ (2015): Meteorološki i hidrološki bilten, kolovoz, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

DHMZ (2016): Meteorološki i hidrološki bilten, kolovoz, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

DHMZ (2017): Meteorološki i hidrološki bilten, kolovoz, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb.

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

- Frančula, N., Lapaine, M., Vučetić, N. (1994): Primjena daljinskih istraživanja u kartografiji, *Geodetski list*, 3, 265–276.
- Gašparović, M., Zrinjski, M., Gudelj, M. (2017): Analiza urbanizacije grada Splita, *Geodetski list*, 3, 189–202.
- Gislason, P. O., Benediktsson, J. A., Sveinsson, J. R. (2006): Random Forests for land cover classification, *Pattern Recognition Letters*, 27, 294–300.
- Huete, A., Justice, C., Liu, H. (1994): Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS, *Remote Sensing of Environment*, 49, 224–234.
- Jovanović, N., Župan, R. (2017): Analiza stanja vegetacije prije i nakon šumskih požara pomoću satelitskih snimaka Sentinel-2 na području Dalmacije, *Geodetski list*, 3, 233–248.
- Lenney, M. P., Woodcock, C. E., Collins, J. B., Hamdi, H. (1996): The status of agricultural lands in Egypt: The use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM, *Remote Sensing of Environment*, 56, 8–20.
- Liaw, A., Wiener, M. (2002): Classification and Regression by random Forest, *R News*, Vol. 2/3, 18–22.
- Oluić, M. (2001): Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira: sateliti-senzori-primjena, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Geosat, Zagreb.
- Regodić, M. (2008): Daljinska detekcija kao metod prikupljanja podataka o prostoru, *Vojnotehnički glasnik*, 1/2008, 91–123.
- Sever, L., Leach, J., Bren, L. (2012): Remote sensing of post-fire vegetation recovery; a study using Landsat 5 TM imagery and NDVI in North-East Victoria, *Journal of Spatial Science*, 57, 2, 175–191.
- Solans Vila, J. P., Barbosa, P. (2010): Post-fire vegetation regrowth detection in the Deiva Marina region (Liguria-Italy) using Landsat TM and ETM+ data, *Ecological Modeling*, 221, 75–84.
- Veraverbeke, S., Gitas, I., Katagis, T., Polychronaki, A., Somers, B., Goossens, R. (2012): Assessing post-fire vegetation recovery using red-near infrared vegetation indices: Accounting for background and vegetation variability, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 28–39.

Viana-Soto, A., Aguado, I., Martinez, S. (2017): Assessment of Post-Fire Vegetation Recovery Using Fire Severity and Geographical Data in the Mediterranean Region (Spain), *Environments*, 4, 90.

Mrežne adrese

URL 1: Šumski požar, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=60018>, (20.1.2018.).

URL 2: Požari u Republici Hrvatskoj, <https://www.morh.hr/hr/protupozarna-sezona-2015/po%C5%BEari-u-republici-hrvatskoj.html>, (15.1.2018.).

URL 3: EarthExplorer, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, (5.2.2018.).

URL 4: Landsat-5, <https://eos.com/landsat-5-tm/>, (21.1.2018.).

URL 5: Landsat-8, <https://eos.com/landsat-8/>, (21.1.2018.).

URL 6: Brač, <https://en.wikipedia.org/wiki/Bra%C4%8D>, (20.1.2018.).

URL 7: Brač,
<https://www.google.com/maps/@43.3380537,16.5972202,49499m/data=!3m1!1e3>,
(20.1.2018.).

URL 8: Klima Brača, <http://www.bracinfo.com/hr/klima-flora-fauna.htm>, (20.1.2018.).

URL 9: QGIS, <https://qgis.org/en/site/about/index.html>, (20.1.2018.).

URL 10: SCP plugin, <https://fromgistors.blogspot.hr/p/semi-automatic-classification-plugin.html>, (20.1.2018.).

URL 11: SAGA, <http://www.saga-gis.org/en/index.html>, (20.1.2018.).

URL 12: MS Excel, https://hr.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel, (20.1.2018.).

Popis slika

Slika 1. Područje otoka Brača na snimci Landsat-7	6
Slika 2. Geografski položaj otoka Brača (URL 7)	10
Slika 3. Otok Brač s označenim užim područjem istraživanja (crveni kvadrat)	14
Slika 4. Uže područje istraživanja a) na dan 22. 6. 2011 – prije požara, b) na dan 25. 8. 2011. – nakon požara s označenim mikrolokacijama (crveni kvadrati).....	14
Slika 5. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za lipanj 2011. godine	16
Slika 6. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za lipanj 2011. godine.....	17
Slika 7. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za lipanj 2011. godine	18
Slika 8. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2011. godine	19
Slika 9. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za kolovoz 2011. godine	20
Slika 10. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2011. godine	21
Slika 11. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2013. godine.	22
Slika 12. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2013. godinu.....	23
Slika 13. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2013. godine	24
Slika 14. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2014. godine.	25
Slika 15. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2014. godinu.....	26
Slika 16. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2014. godine..	27
Slika 17. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2015. godine.	28
Slika 18. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2015. godinu.....	29
Slika 19. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2015. godine.	30

Slika 20. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2016. godine	31
Slika 21. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2016. godinu.....	32
Slika 22. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2016. godine	33
Slika 23. Klasifikacija zemljišnog pokrova: a) otoka Brača i b) užeg područja istraživanja za kolovoz 2017. godine	34
Slika 24. Udio pojedinih klasa na užem području istraživanja za 2017. godinu.....	35
Slika 25. NDVI vrijednosti za: a) otok Brač i b) uže područje istraživanja za kolovoz 2017. godine.....	36
Slika 26. NDVI vrijednosti za uže područje istraživanja i mikrolokacije.....	37
Slika 27. Vrijednosti temperatura i oborina kroz godine	38
Slika 28. Promjena u površinama klasa zemljišnog pokrova na užem području istraživanja..	39
Slika 29. Površine relevantnih klasa na mikrolokaciji 1	40
Slika 30. Površine relevantnih klasa na mikrolokaciji 2	41

Popis tablica

Tablica 1. Informacije o korištenim satelitskim snimkama	7
Tablica 2. Kanali satelita <i>Landsat-5</i>	8
Tablica 3. Kanali satelita <i>Landsat-8</i>	9
Tablica 4. Klase pokrova zemljišta za provedbu nadzirane klasifikacije.....	13
Tablica 5. Podaci o užem području istraživanja i mikrolokacijama za istraživanje	15
Tablica 6. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 22.6.2011.	17
Tablica 7. NDVI vrijednosti za lipanj 2011.	18
Tablica 8. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 25.8.2011.	20
Tablica 9. NDVI vrijednosti za kolovoz 2011.	21
Tablica 10. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 14.8.2013.	23
Tablica 11. NDVI vrijednosti za kolovoz 2013.	24
Tablica 12. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 10.8.2014.	26
Tablica 13. NDVI vrijednosti za kolovoz 2014.	27
Tablica 14. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 4.8.2015.	29
Tablica 15. NDVI vrijednosti za kolovoz 2015.	30
Tablica 16. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 15.8.2016.	32
Tablica 17. NDVI vrijednosti za kolovoz 2016.	33
Tablica 18. Površina pojedinoga zemljišnog pokrova na promatranim lokacijama za 2.8.2017.	35
Tablica 19. NDVI vrijednosti za kolovoz 2017.....	36
Tablica 20. Tumač percentila odstupanja srednje mjesečne temperature i količine oborina ...	38

9. SAŽETAK

Prostorno-vremenska analiza stanja vegetacije opožarenog područja na otoku Braču

Iva Rajković

Predmet ovog istraživanja je utvrđivanje stanja i obnove vegetacije nakon požara na otoku Braču, tj. od lipnja 2011. do kolovoza 2017. Istraživanje je provedeno metodama daljinskih istraživanja analizom satelitskih snimki misije *Landsat*. Analizirano je sedam setova snimki koje pokrivaju područje otoka Brača. Područje interesa je zapadni dio otoka podijeljen na uže područje istraživanja i tri mikrolokacije za ciljano praćenje oporavka visoke vegetacije, niske vegetacije i stijenu. Uže područje istraživanja zauzima površinu 7990 ha, a mikrolokacije 1,1 ha. Za obradu i analizu korišteni su softveri otvorenog koda QGIS i SAGA GIS. Na snimkama je provedena nadzirana klasifikacija metodom *Random Forrest Classification* te su snimke klasificirane u pet klasa: vodena površina, stijena/zemlja, izgrađeno područje, niska vegetacija i visoka vegetacija. Osim klasifikacije, mjerene su vrijednosti NDVI-a. Njihove vrijednosti su bilježene i praćene kroz statističke parametre (srednja vrijednost, standardno odstupanje, minimum i maksimum). U obzir su se uzimale temperaturne vrijednosti koje dodaju vrijednost rezultatima dobivenim analizom snimaka. Ekstremno topla i sušna razdoblja usporavaju obnovu vegetacije i stvaraju rizične uvjete za nove požare. Niska vegetacija pokazala je znatno brži trend oporavka nego visoka vegetacija. Ukupno gledajući, niska vegetacija potpuno se oporavila i povećala svoju zastupljenost za 5%, dok visoka vegetacija bilježi značajan pad od 14% što znači da je potpuno nestao 1,1 ha visoke vegetacije. Visokoj vegetaciji potrebno je puno više vremena za oporavak od 7 godina, koliko je praćeno u ovome istraživanju.

Ključne riječi: prostorno-vremenska analiza, vegetacija, opožareno područje, otok Brač, daljinska istraživanja

10. SUMMARY

Spatial-Temporal Analysis of the Vegetation State on the Burnt Area of the Island Brač

Iva Rajković

In this research, the issue discussed will be the determination of the state and recovery of the vegetation after the wildfire on the Island of Brač from June of 2011 until August of 2017. The research is based on methods of remote sensing by analysing seven sets of satellite images, retrieved from the *Landsat* mission, which cover the area of the island. The area of interest of this research is the western side of the island divided in a specific research area and three micro-locations within it included for a targeted tracking of the recovery of higher vegetation, lower vegetation and rock. The specific area of research includes 7990 ha, while the micro-locations 1.1 ha. Open source software, like QGIS and SAGA GIS, are used for the processing and analytics of data. Supervised classification is applied to the images using the method *Random Forrest Classification* in five classes: water surface, rock surface/soil, built area, lower vegetation and higher vegetation. Aside from the classification, there were also measured the NDVI values. Their values were recorded and tracked through statistic parameters (mean, standard deviation, minimum and maximum). The temperature was also taken into consideration and added to the results of the image analytics. Extremely hot and dry periods account for a slower restoration of the vegetation and create the risky condition. The research showed how lower vegetation has a faster recovery trend than higher vegetation. Altogether, lower vegetation has been completely renewed and has since grown by 5%, while higher vegetation shows a decrease of 14% which means that 1.1 ha of higher vegetation has not been recovered. The higher vegetation needs a larger time span than the 7 years of growing that is covered in this research.

Key words: spatial-temporal analysis, vegetation, burnt area, island Brač, remote sensing

11. ŽIVOTOPIS

Iva Rajković rođena je 6. rujna 1996. godine u Slavonskom Brodu. Godine 2011. upisuje opću gimnaziju „Matija Mesić“ u Slavonskom Brodu, koju završava 2015. godine. Nakon toga upisuje preddiplomski studij na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Trenutno je studentica druge godine preddiplomskoga sveučilišnog studija Geodezija i geoinformatika na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. U akademskoj godini 2017./2018. postaje članicom Studentskog zbora Geodetskog fakulteta i predstavnik studenata u Fakultetskom vijeću Geodetskog fakulteta.