

Spremembe gozdnih in travniških površin v Narodnem parku Severni Velebit

Aleš Grlj, Živa Novljan

Uvod

Zaraščanje kmetijskih zemljišč je eden izmed najvidnejših procesov propadanja kulturne krajine (Cunder, 1999) zaradi opuščanja zemljišč, ki je povezan z negativnimi demografskimi in družbeno-gospodarskimi gibanji (Kladnik, 1999). V Evropi proces zaraščanja ni nov, predvsem v gorskem svetu gozdovi vedno bolj zamenjujejo gorske pašnike (Gellrich in Zimmerman, 2006).

Gozdovi in travniki spadajo med pet glavnih habitatov v Narodnem parku Severni Velebit in poleg večinoma neporaščenih kamnitih površin predstavljajo tudi najpogostejši kategoriji pokritosti tal. Zaradi nizke nadmorske višine travniki tu le izjemoma predstavljajo naravno rastje in so lokalno pogojeni z burjo, večinoma pa so posledica človekove dejavnosti, predvsem paše domačih živali. Danes je pašništvo s Severnega Velebita skoraj popolnoma izginilo, travniki in pašniki pa se zaraščajo z gozdom (Staništa, 2017).

Zaznavanje pokritosti površja z rastjem na podlagi daljinsko zajetih podatkov predstavlja natančnejšo alternativo vizualnemu zaznavanju, saj je bolj objektivno, hkrati pa nam s pomočjo geoinformacijskih orodij omogočajo tudi analizo podatkov nevidnega spektra elektromagnetnega sevanja (Coppin in sod., 2004). To nam omogoča vrsta satelitskih sistemov za večspektralno snemanje Zemlje, predvsem njenih kopnih površin. Najstarejši tak sistem je Landsat (Oštir, 2006), katerega podatki so bili uporabljeni tudi pri tej analizi.

Za proučevanje spremembe pokritosti tal oziroma zaraščanja travniških površin smo se odločili na podlagi ustnih pričevanj uslužbencev Narodnega parka Severni Velebit in podatkov na informacijskih tablah, ki opisujejo procese zaraščanja ter zmanjševanja biotske pestrosti zaradi krčenja travniških oziroma pašniških površin.

Namen raziskave je ugotoviti dinamiko pokritosti tal ter s tem zaraščanja travniških površin v Narodnem parku Severni Velebit. Spremembe smo proučevali v 25-letnem obdobju med letoma 1986 in 2011. Hkrati smo želeli ugotoviti tudi, katera izmed dveh apliciranih metod je ustrežnejša za ugotavljanje takšnih sprememb.

Rastje Severnega Velebita

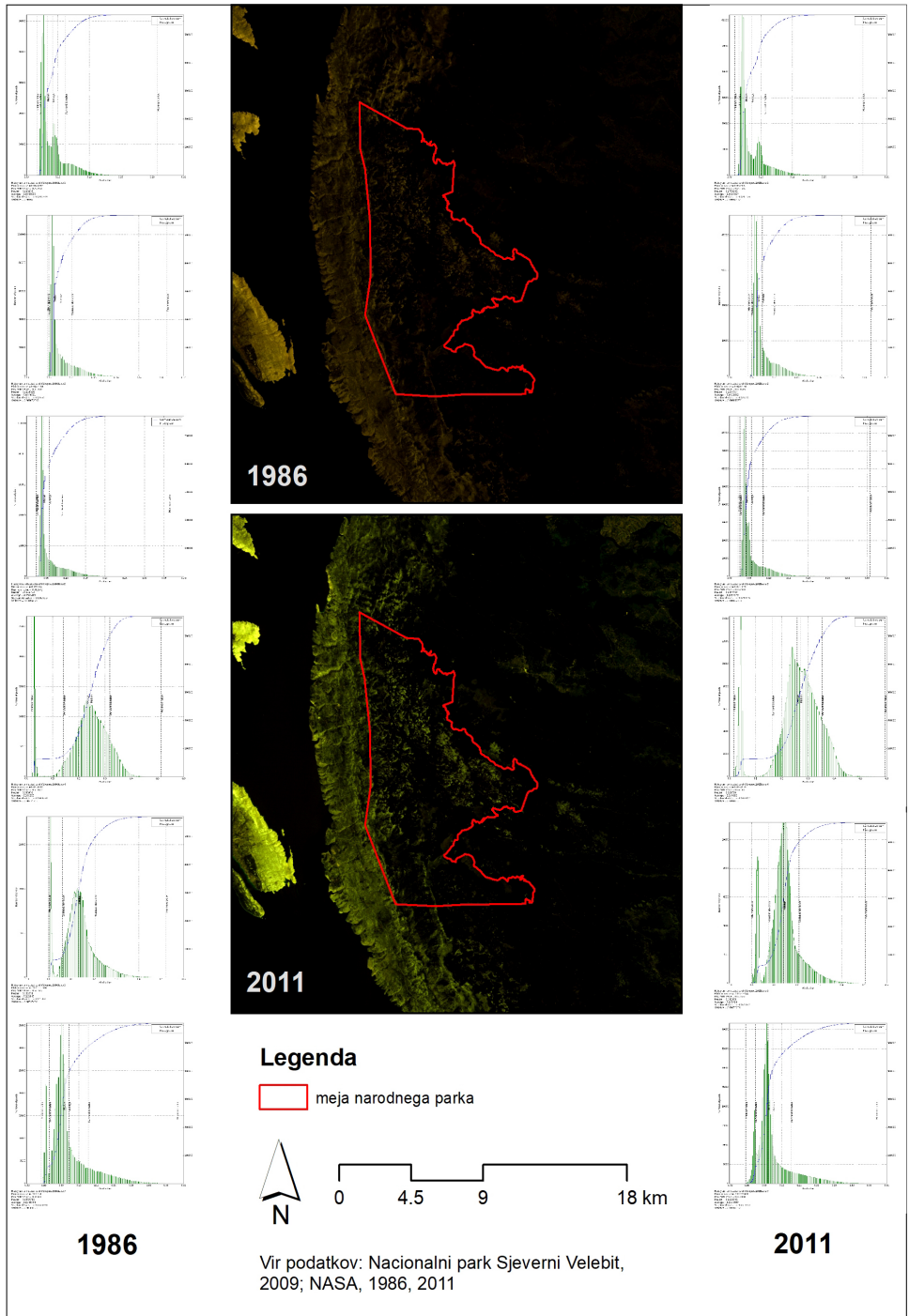
Pokritost tal na Severnem Velebitu je posledica različnih naravnih značilnosti ter dolgotrajnega človekovega vpliva. Potencialno naravno rastje na območju Narodnega parka Severni Velebit je gozd, glede na lego pa so se razvile različne gozdne združbe (Staništa, 2017). Izmed naravnih dejavnikov imajo največji vpliv na oblikovanje rastlinskega pokrova bližina morja, sredozemsko podnebje, pleistocenska poledenitev, karbonatna podlaga ter nadmorske višine in nakloni.

V nižjih predelih primorskih pobočij prevladuje združba hrasta puhavca in kraškega gabra (*Quercus-Carpinetum orientalis*), pojavljajo pa se tudi kostanj (*Castanea sativa*), črni bor (*Pinus niger*) ter druge obsredozemske termofilne vrste, višje pa črni gaber (*Ostrya carpinifolia*) zamenja kraškega (*Carpinus orientalis*). Nad 800 m nadmorske višine se po večini pojavljajo bukove združbe, ki predstavljajo mejo med primorskim in celinskim rastlinstvom (npr. združbe z jesensko vilovino (*Sesleria autumnalis-Fagetum*) in gorskim javorjem (*Polysticho lonchitis-Fagetum*) (Bognar, 1994a; Staništa, 2017). Na pobočjih v notranjosti, ki se dvigajo nad Liko, se najprej pojavlja združba bukve in mrtve koprive (*Lamio orvale-Fagetum sylvaticae*), višje pa ji sledi dinarski bukovo-jelov gozd (*Omphalodo vernaefagetum*). Na tem območju se v dolinah, kjer se zadržuje hladnejši zrak, nahajajo tudi smrekovi gozdovi z navadnim strčkom (*Aremonio-Piceetum abietis*). Mednje spada tudi pragozd v Štirovači, ki predstavlja ostanek borealne vegetacije iz časa poledenitve, del nje pa se nahaja tudi znotraj narodnega parka. Nad različnimi smrekovimi združbami ter dinarskimi bukovo-jelovimi gozdovi, ki so na približno 1000-1500 m nadmorske višine, uspevajo predvsem rušje (*Pinus mugo*) ter pritlikave bukve (*Fagus sylvatica*), ki so v večjem delu pogojeni z nižjimi temperaturami in posledično krajšo rastno sezono (Staništa; Bognar, 1994b).

Zaradi človekove dejavnosti na tem območju je v preteklosti prihajalo do krčenja gozda, kar pa se je odražalo tudi v intenzivnejši denudaciji prsti. To je povzročilo ogolitev primorskih pobočij, proces pa je še dodatno okrepila močna burja (Bognar, 1994b). Območje Severnega Velebita ne dosega nadmorskih višin, kjer bi gorski travniki predstavljali naravno rastlinstvo, zato so travniki tu večinoma antropogeno pogojeni, deloma pa k njihovemu ohranjanju pripomore tudi močna burja. V preteklosti so ljudje v poletnih mesecih tu pasli živino ter iztrebljali gozd, da se na novo pridobljene površine ne bi zarastle. Danes, ko planinsko pašništvo večinoma ni več prisotno, se te površine počasi zaraščajo (Staništa, 2017).

Fürst-Bjeliš in Lozić (2006) sta zgodovinsko dinamiko rastlinstva in okoljskega vpliva človeka na Velebitu razdelila v tri obdobja. Prvo je trajalo od naselitve človeka do 17. stoletja. Za to obdobje je značilno relativno ravnovesje med nosilnostjo okolja in okoljskim vplivom človeka. V tem obdobju so v višjih predelih Velebita nastali gorski pašniki, ki so poleti dopolnjevali kmetijstvo v nižjih predelih obalnih pobočij, ki je bilo omejeno s sušo in pomanjkanjem obdelovalne prsti. Drugo obdobje med 17. in 20. stoletjem so zaznamovale migracije, s katerimi je prebivalstvo nižjih delov naraslo, s tem pa tudi ekonomsko izkoriščanje pašnikov, gozda in širitev kmetijskih zemljišč. Vse to je pripomoglo k že prej omenjeni eroziji prsti.

Slika 1: Popravljena satelitska posnetka proučevanega območja s histogrami posameznih spektralnih kanalov.



V zadnjem obdobju, ki se je začelo v 20. stoletju, smo priča depopulaciji oziroma ekonomskim spremembam, ki imajo za posledico opuščanje kmetijskih zemljišč in njihovo zaraščanje (Fürst-Bjeliš, 2006).

Proces zaraščanja vodi k ponovni vzpostavitvi gozdnih združb. Z njim se na določenem prostoru pojavljajo rastlinske vrste, ki so v kulturni krajini prisotne na gozdnem robu, ki je sestavljen iz dveh pasov. Prvi pas gradijo predvsem grmovnice in je bližje gozdu, gozdni rob v ožjem pomenu (drugi pas) pa sestavljajo predvsem visoke steblikle in trave ter se nahaja na stiku s travišči (Kaligarič, 1991). Z opustitvijo tradicionalne rabe zemljišč pride do sprostitve naravne dinamike in na travišče se najprej razširijo robne vrste (visoke steblikle), ki se jim kasneje pridružijo še zastorne oziroma grmovne vrste (Fürst-Bjeliš, 2006).

Na splošno so v narodnih parkih na Hrvaškem zaradi zakonskega zavarovanja omejene človekove dejavnosti, zato so tudi spremembe pokritosti tal majhne. Po raziskavah le-teh (Kušan, 2015) je kljub temu zaznati nekaj sprememb. V večini primerov gre za spremembo deleža gozda, hkrati pa se kaže tudi zmanjševanje kmetijskih površin.

Podatki in metode

V raziskavi smo za dosego namena in ciljev uporabili geografske informacijske sisteme (GIS), posnetke daljinskega zaznavanja in numerične pristope njihove obdelave. Za zaznavanje sprememb pokritosti tal smo uporabili dva različna satelitska posnetka obravnavanega območja, programsko orodje ArcGIS 10.5 in programski jezik Python 2.7.2. Prvo programsko orodje je bilo uporabljeno za izvedbo matematičnih operacij na izbranih posnetkih, Python 2.7.2 pa smo uporabili za izdelavo grafov, ki prikazujejo značilnosti posnetkov in njihovo primerjavo.

Oba izbrana satelitska posnetka je posnel satelit Landsat 5 TM, prvega 26. 7. 1986 in drugega 29. 6. 2011. Z izbranimi posnetkoma smo dosegli največji možen časovni razpon med datumoma zajetja za isti senzor. Pri izboru smo pazili, da obravnavanega območja ne prekrivajo oblaki. Pri t. i. bi-temporalnih metodah zaznavanja sprememb pokritosti tal je pomembno, da sta posnetka zajeta v čim bolj podobnem fenološkem obdobju. Enako velja za ostale pogoje, tj. razdalja med Soncem in Zemljo, vpadni kot sončnih žarkov in atmosferski pogoji.

Posnetka sta bila pridobljena s strani National Aeronautics and Space Administration (NASA). Posnetki Landsat 5 TM so objavljeni v formatu GeoTIFF ter imajo prostorsko ločljivost 30 metrov (Landsat Processing Details, 2016).

Pri zaznavanju sprememb v pokritosti tal primerjamo razlike v prostorski predstavitvi odbojnih vrednosti za dva časovna preseka (Green in sod., 1994; Flores in Yool, 2007). Atmosferski popravek posnetkov smo opravili tako, da smo digitalna števila pretvorili nazaj v sliko vrednosti odboja na vrhu atmosfere (ang. *Top of Atmosphere (TOA) reflectance image*) preko slik vrednosti sevanja na senzorju. Uporaba vrednosti odbojnosti omogoča pravilen izračun tako vegetacijskih indeksov kot tudi

v nadaljevanju opisanih Kauth - Thomas (tudi *Tasseled cap*) pretvorbe spektralnega prostora Landsatovih kanalov in izračuna magnitude ter smeri spremembe vektorjev slikovnih točk (ang. *Change Vector Analysis – CVA*). Poleg omenjene metode zaznavanja sprememb iz daljinsko zaznanih podatkov smo v raziskavi uporabili tudi metodo primerjave vegetacijskih indeksov za oba časovna prereza.

Za izračun slike sevanja na vrhu atmosfere digitalna števila spektralnih kanalov najprej pretvorimo v vrednosti sevanja na senzorju po enačbi:

Enačba 1: Izračun sevanja na senzorju.

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale}$$

kjer je, L_{λ} spektralno sevanje na senzorju [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$], Q_{cal} je vrednost slikovne točke v digitalnem številu, $G_{rescaler}$ faktor za prevzorčenje ojačitve (specifičen za vsak kanal) [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)/DN$] in $B_{rescale}$ faktor za prevzorčenje usmeritve (specifičen za vsak kanal) [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$].

Vrednosti $G_{rescale}$ in $B_{rescale}$ pridobimo iz podatkovne datoteke, s katero so opremljeni uporabljeni satelitski posnetki.

Sevanje je dejanska vrednost, ki jo izmeri Landsatov senzor, pretvorba v vrednosti odboja pa omogoča boljšo primerljivost med različnimi posnetki in tudi različnimi senzorji (Khan, 2014). S pretvorbo odstranimo razlike, ki so posledica različnih kotov sončnega zenita in nastanejo zaradi razlike v času zajetja posnetka. Drugič, TOA odbojnost izravna razliko v vrednostih izvenatmosferskega sončnega sevanja, izhajajočega iz razlik v spektralnih kanalih. Tretjič, s pretvorbo popravimo razliko v razdalji med Soncem in Zemljo, ki je zaradi različnega časa zajetja za vsak posnetek drugačna (Chander in sod., 2009). Odbojnost TOA se izračuna po enačbi:

Enačba 2: Planetarna odbojnost na vrhu atmosfere (ang. Top of Atmosphere – TOA).

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_S}$$

kjer je ρ_{λ} planetarna odbojnost TOA [brez enote], π matematična konstanta $\sim 3,14159$ [brez enote], L_{λ} spektralno sevanje na senzorju [$W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$], d razdalja med Soncem in Zemljo [astronomska enota], $ESUN_{\lambda}$ srednje izven atmosfersko sončno sevanje [$W/m^2 \mu m$], θ_S kot sončnega zenita [°].

Razdalje med Soncem in Zemljo na določen dan v letu so izračunane v naprej s pomočjo podatkov Jet Propulsion Laboratoryja (Chander in sod., 2009). Zadnje vrednosti za posamezne kanale $ESUN_{\lambda}$ so bile pridobljene iz objave Chander, Markham, Helder (Chander in sod., 2009). Slika odboja podaja delež odboja elektromagnetnega valovanja oziroma razmerje med vpadno in odbito energijo. Vrednosti so podane brezdimenzijsko, so neodvisne od količine vpadne energije in odražajo fizične lastnosti opazovanega površja (Oštir, 2006).

Kauth - Thomas pretvorba je linearna pretvorba večspektralnih podatkov v nov prostor, pri kateri z zasukom koordinatnega sistema kanalov določimo osi, ki dobro predstavljajo prst in rastje.

Novo določene osi se imenujejo svetlost, zelenost in vlažnost. Svetlost je približno enaka povprečju vrednosti v posameznih kanalih, kontrast med vidnimi in bližnjim infrardečim kanalom je povezan z zelenostjo, vlažnost pa določa razlika med srednjim infrardečim, rdečim in bližnjim infrardečim kanalom (Oštir, 2006). Po Jensen (Jensen, 1986) se nov kanal svetlost uporablja za prepoznavo urbaniziranih ter ostalih neporaščenih območij, kanal zelenost se tako, kot nakazuje že ime, uporablja za identifikacijo zelenih površin in stanja rastja, medtem ko kanal vlažnost nakazuje mokrotnost površja. TCT je enaka vsoti produktov odbojnih vrednosti (Ka_i) v posameznih kanalih in pripadajočih koeficientov (Ko_i):

Enačba 3: Kauth – Thomas pretvorba.

$$TCT = \sum_{i=1}^6 Ko_i \times Ka_i$$

kjer so koeficienti Ko_i določeni v preglednici 1.

Preglednica 1: Koeficienti posameznih kanalov za izračun pretvorbe (Crist, 1985).

Kanal	Svetlost	Zelenost	Vlažnost
TM1	0,3037	-0,2848	0,1509
TM2	0,2793	-0,2435	0,1793
TM3	0,4343	-0,5436	0,3299
TM4	0,5585	0,7243	0,3406
TM5	0,5082	0,0840	-0,7112
TM7	0,1863	-0,1800	-0,4572

Spremembe v pokritosti tal lahko proučujemo že s primerjavo posameznih komponent TCT iz različnih časovnih obdobj (slika 2) z metodami, kot sta odštevanje ali deljenje. V raziskavi spremembe pokritosti tal Narodnega parka Severni Velebit smo se odločili za primerjavo pretvorjenih posnetkov z metodo analize vektorjev sprememb.

Analiza vektorjev sprememb (ang. *Change Vector Analysis (CVA)*) je tehnika spektralnega odštevanja, ki se uporablja za zaznavanje vseh sprememb, prisotnih v vhodnih podatkih. Poleg izračuna magnitude spremembe vrednosti slikovne točke omogoča tudi izračun smeri spremembe (Malila, 1980). Smer in dolžina vektorja spremembe odražata tip in magnitudo spremembe (Hussain in sod., 2013). CVA predvideva, da vrednost posamezne slikovne točke ob različnih časih »prebiva« na bistveno različnih lokacijah spektralnega prostora (Jensen, 1986; Hussain in sod., 2013).

Območja spremenjene in nespremenjene pokritosti se določijo s postavitvijo praga. Ta odločitev je lahko prepuščena raziskovalcu ali pa je prag določen po eni od empiričnih metod. Z določitvijo spremenjenih slikovnih točk tem izračunamo še smer spremembe za določitev tipa spremembe. Tip spremembe je pogosto določen s pomočjo kota vektorja spremembe v dveh ali več spektralnih dimenzijah (Chen in sod., 2013).

Kot vektorja spremembe je mogoče izračunati na več načinov z uporabo kotnih funkcij (Allen in Kupfer, 2000; Carvalho Jr in sod., 2011; Song in Cheng, 2011; Balcik in Goksel, 2012; Chen in sod., 2013).

Pri proučevanju spreminjanja pokritosti tal na območju Narodnega parka Severni Velebit smo se zaradi pokritosti območja, kjer so značilni odsotnost površinskih vod, večinska pokritost z visokim gozdnim rastlinstvom, skromne površine travinj in prisotnost skalnatih površin v vršnih delih gorovja ter na primorski strani [4], odločili za pristop, ki pri CVA uporablja samo dve komponenti TCT. Iz analize smo predvsem zaradi odsotnosti vodnih površin in poudarka na proučevanju spremembe površin, poraščenih z gozdom, izločili komponento vlažnost.

Enačba 4: Enačba magnitude vektorja spremembe vrednosti slikovne točke po metodi CVA.

$$R = \sqrt{(G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2}$$

kjer je R evklidska razdalja oziroma dolžina vektorja spremembe, G_1 komponenta zelenost TCT prve slike, G_2 komponenta zelenost TCT druge slike, B_1 komponenta svetlost TCT prve slike, B_2 komponenta svetlost TCT druge slike, ter enačba za kot oziroma smer spremembe:

Enačba 5: Smer vektorja spremembe vrednosti slikovne točke po metodi CVA.

$$\theta = \arctan_2(G_1 - G_2, B_1 - B_2)$$

kjer je θ kot med ordinatno osjo koordinatnega sistema, ki ga definirata osi svetlost in zelenost, ter vektorjem spremembe.

Vegetacijski indeksi so bolj ali manj zapletena razmerja, navadno med rdečim in infrardečim spektrom elektromagnetnega sevanja oziroma odbojnostjo v teh dveh spektrih, lahko pa vključujejo tudi druge spektralne kanale (Oštir, 2006). V raziskavi smo uporabili tako imenovani rastlinski kazalnik infrardečega deleža (ang. *Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI)*), ki ga je iz normiranega razlikovalnega rastlinskega indeksa (ang. *Normalised Difference Vegetation Index (NDVI)*) izpeljal Crippen (Crippen, 1990). Vrednosti indeksa se gibljejo v razponu med 0 in 1 ter so odvisne od razmerja med koncentracijo klorofila, zaradi česar se rdeča svetloba absorbira v zelene dele rastlin za izvajanje fotosinteze, ter celične strukture zelenih delov rastlin in količine vlage na površini, ki vplivata na odboj sevanja v bližnjem infrardečem spektru (Meera Gandhi in sod., 2015; Measuring Vegetation (NDVI & EVI), 2017). Če je odbitega sevanja v bližnjem infrardečem spektru veliko več od odbitega sevanja v vidnem rdečem spektru, to pomeni, da je rastje gostejše (npr. gozd), če pa so te razlike majhne, lahko sklepamo na redkejše rastje (npr. travnik). Na mestih, kjer se pojavlja bolj bujno rastje, so izračunane vrednosti indeksa bližje 1, na mestih, kjer je ta redkejša oziroma rastlinskega pokrova ni, pa so vrednosti bližje 0 (Measuring Vegetation (NDVI & EVI), 2017).

Enačba 6: Vegetacijski indeks IPVI.

$$IPVI = \frac{NIR}{NIR+R}$$

kjer je *IPVI* vegetacijski indeks infrardečega odstotka, *NIR* odbojnost v bližnjem infrardečem spektru elektromagnetnega sevanja, *R* odbojnost v rdečem spektru elektromagnetnega sevanja.

Vegetacijski indeks smo izračunali za oba uporabljena posnetka ter prvo vrednost odšteli od druge, v rezultatu pa določili prag pri vrednosti, ki določa, ali je sprememba indeksa dovolj velika, da lahko govorimo o spremembi pokritosti tal.

Rezultati

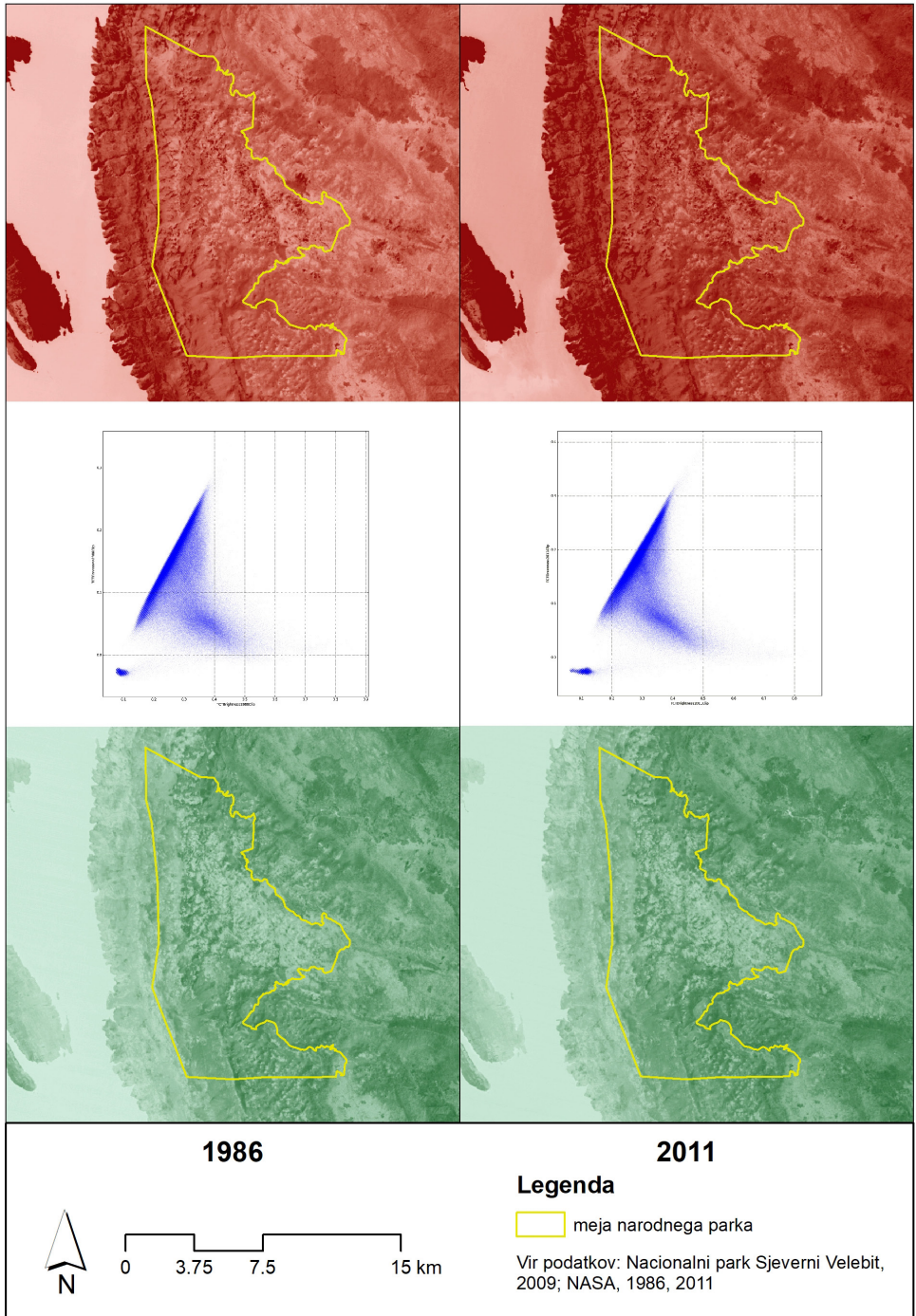
Na uporabljenih satelitskih posnetkih Landsat 5 TM iz let 1986 in 2011 smo najprej opravili popravek vpliva atmosfere na elektromagnetno valovanje (atmosferska korekcija). Slika odboja podaja delež odboja elektromagnetnega valovanja oziroma razmerje med vpadno in odbito energijo. Vrednosti digitalnih števil slikovnih točk so bile najprej pretvorjene v vrednosti sevanja na senzorju nato pa še v vrednosti odboja na vrhu atmosfere. Popravljenе slike so predstavljene na sliki 1 s pripadajočimi histogrami posameznih spektralnih kanalov.

Histogrami posameznih kanalov so med sabo primerljivi po obliki. Z izjemo bližnjega infrardečega kanala (4), ki kljub bimodalnosti v večjem delu podatkov izkazuje najbolj normalno porazdelitev vrednosti, so porazdelitve vrednosti ostalih kanalov asimetrične v desno. Histogrami kanalov 1, 5 in 7 poleg asimetričnosti izkazujejo tudi bimodalnost.

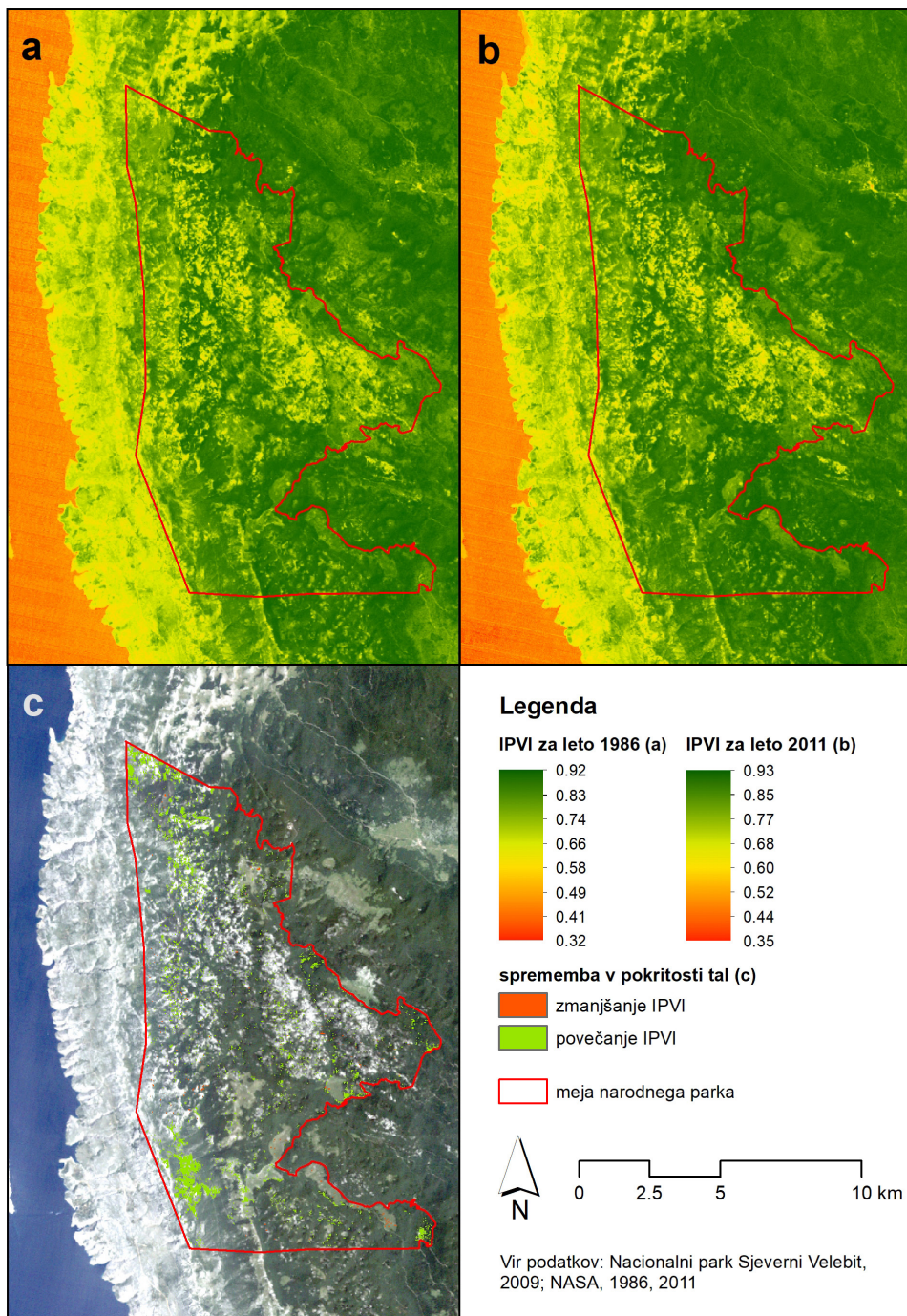
Z odstranitvijo atmosferskih vplivov smo podatke pripravili za pretvorbo spektralnega prostora po metodi Kauth - Thomas v komponente svetlost, zelenost in vlažnost. Svetlost slikovnih točk, na sliki 2 prikazanih v rdečih tonih, zavzemajo vrednosti na intervalih med 0 in 1,60 za leto 1986 ter med 0 in 1,55 za leto 2011. Pri tem so manjše vrednosti bližje beli barvi, višje pa rdeči. Slednje prikazujejo bolj gole površine, ki najboljše sovpadajo z živo skalnim pokrovom otokov Rab in Goli otok. Vrednosti zelenosti so porazdeljene med -0,55 in 0,67 za leto 1986 ter med -0,65 in 0,63 za leto 2011. Negativne vrednosti v zeleni komponenti predstavljajo izključno vodne površine, nizke pozitivne vrednosti na prikazih slike 2 v odtenkih bližje beli prikazujejo gole ter redko in z nižjim rastjem poraščene površine. Višje vrednosti in temnejši odtenki zelene predstavljajo visoko gozdno rastje listnatih, iglastih in mešanih gozdov višjih nadmorskih višin.

Značilnosti pokrova in pravilnost izvedbe pretvorbe lahko dobro ocenimo tudi iz grafikona raztrosa (slika 2), kjer smo na ordinatni osi prikazali vrednosti zelene komponente ter vrednosti svetlostne komponente na abscisni osi. Grafikon raztrosa pri pravilno izvedeni pretvorbi spominja na kapo s cofom (ang. *Tasseled cap*). Pri tem je možnih več različic oblike glede na zastopanost in porazdelitev slikovnih točk različnih tipov pokritosti. Osamljena regija zgostitve v spodnjem levem kotu grafikona (slika 2) predstavlja vrednosti slikovnih točk vodnih površin. Leva diagonalno naraščajoča zgostitev predstavlja vrednosti slikovnih točk rastlinja, z gozdom blizu sredine oziroma v regiji največje zgostitve vrednosti.

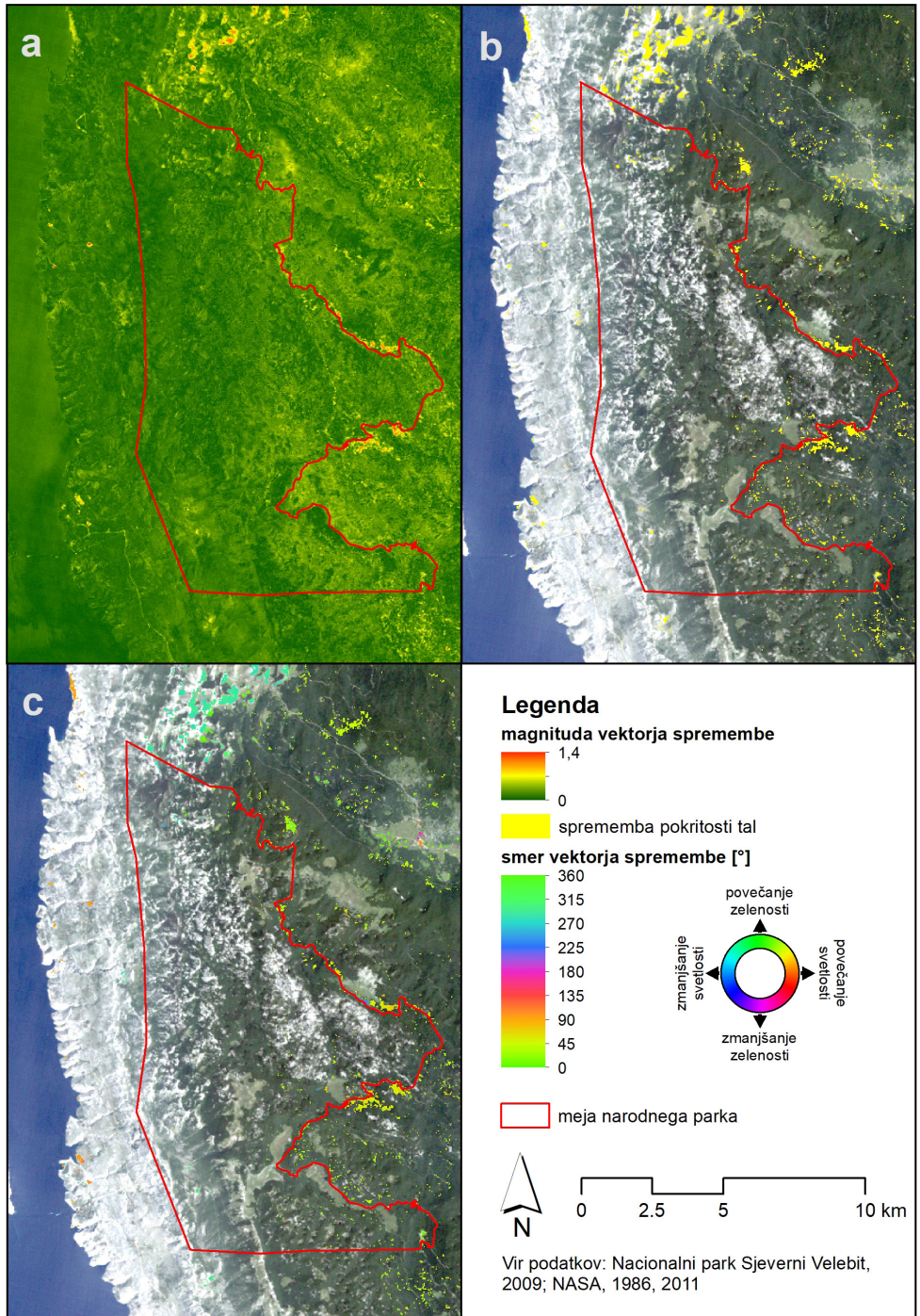
Slika 2: Komponenta svetlosti (rdeči odtenki) in zelenosti površja (zeleni odtenki) ter grafikona raztrosa pretvorbe po metodi Kauth - Thomas za leti 1986 in 2011.



Slika 3: Pristop CVA: (a) vrednosti magnitude vektorjev sprememb, (b) površina ter (c) smeri vektorjev sprememb.



Slika 4: Vegetacijski indeks IPVI za leti (a) 1986 in (b) 2011 ter (c) zaznane spremembe indeksa med obema letoma.



Po opisanem postopku pripravljene podatke smo uporabili v CVA pristopu zaznavanja sprememb pokritosti tal. Na celotnem območju satelitskih posnetkov vrednosti magnitude vektorjev sprememb zavzemajo vrednosti med 0 in 1,41 na območju obdelave podatkov pa med 0 in 0,34, oziroma dobrih 24 % celotnega razpona vrednosti (slika 3a).

Mejno vrednost magnitude spremembe, ki določa, ali je do spremembe v pokritosti prišlo ali ne, smo določili z natančno proučitvijo očitnih vidnih sprememb v pokritosti med dvema datumoma. Izbrali smo pet območij, kjer so spremembe očitne ter je jasno viden tudi prostorski obseg spremembe. S prilagajanjem praga smo mu določili tako vrednost, ki najbolje odraža prostorski obseg sprememb v pokritosti tal. Prag je bil dokončno določen s klasifikacijo slike v dva razreda, pri čemer vrednosti manjše od vrednosti standardnega odklona (0,095) predstavljajo slikovne točke pri katerih se pokritost tal ni spremenila (slika 3b).

Na sliki 3b so z rumeno barvo prikazane površine, ki ustrezajo kriteriju za spremenjeno pokritost tal. Razvidno je, da je teh površin zelo malo oziroma se pojavljajo v obliki večjih sklenjenih regij zgolj izven območja parka. Površina spremenjene pokritosti tal znotraj Narodnega parka Severni Velebit znaša 0,62 km² (0,6 % celotne površine), znotraj območja obdelave podatkov pa 10,19 km² (2 % celotne površine). Znotraj območja parka se slikovne točke sprememb pojavljajo večinoma posamezno, le v južnem in vzhodnem delu se pojavljajo nekoliko večje gruče.

Vektorjem spremembe smo poleg dolžine izračunali tudi smer (slika 3c). Smer spremembe predstavlja azimut med ordinatno osjo ravnine svetlost-zelenost in vektorjem spremembe, torej lahko zavzemajo vrednosti med 0° in 360°. Pri razlagi rezultatov si pomagamo z lestvico in barvnim krogom v legendi slike 3. Večina kotov vektorjev obravnavnega območja ima vrednosti med 0° in 90° kar nakazuje povečanje tako v zelenosti kot tudi v svetlosti ter s tem uvrstitev v razred, ki ga je nekoliko težje interpretirati. Vrednosti teh kotov so bližje 0°, kar nakazuje na nekoliko večje povečanje v zelenosti. Rezultat zato lahko s pomočjo magnitude spremembe razložimo kot spremembo zelenih površin v bolj zelene površine. Glede na značaj površja in poznane tipe pokritosti tal gre za prehod iz travniškega oziroma pašniškega rastja v gozdno ali prehod med temi tipi. Na skrajnem severu Narodnega parka Severni Velebit smo zaznali manjše regije slikovnih točk, grupiranih okoli vrednosti 270°. Ta razred bistveno lažje razložimo, saj predstavlja povečanje v zeleni komponenti TCT ter zmanjšanje v svetlosti površja in gre nedvoumno za proces ozelenjevanja. Po vizualni primerjavi satelitskih posnetkov smo ugotovili, da gre za povečanje gozdnih površin na račun golega skalnatega površja. Omenjene površine se nahajajo na območjih Ažić – krč, Kita (929 m), Malenjak, Božinac. Drugi razred, ki ga je težje identificirati, so vrednosti med 180° in 270°. Pri teh smereh gre za zmanjšanje vrednosti obeh komponent, zato ponovno ugotavljamo, bližje kateri strani intervala se nahajajo. Na območju Lomske dulibe, kjer smo takšne slikovne točke zaznali, so njihove vrednosti bližje zgornji meji intervala. V tem primeru gre za nekoliko večje zmanjšanje v svetlosti kot zelenosti ob nizki magnitudi spremembe. Območje se nahaja v Lomski dulibi na območju Roguše, sicer izven, a ob samem robu Narodnega parka Severni Velebit. Povečanje v vrednostih rdeče komponente in zmanjšanje v vrednostih zelene smo zaznali samo na dveh območjih. Tip spremembe sovпада s pozidavo ali ogolitvijo površja. V obeh primerih gre za antropogen poseg na območju parka. Prvi se nanaša na ureditev parkirnih prostorov pod Vučjakom (1644 m) pod planinskim

domom Zavižan. Drugi primer se nahaja v kotanji Veliki Lubenovac, v kateri je bilo na omenjeni zaplati odstranjeno rastje in kamenje, verjetno za potrebe obnove porušenih pastirskih stanov. Slednje so obnovili z namenom ohranjanja kulturne dediščine, vendar posameznih stavb zaradi njihove manjše površine nismo zaznali kot spremembo.

Z enakimi predpripravljenimi podatki smo za obe leti izračunali IPVI vegetacijski indeks, ki ga je razvil Crippen (Crippen, 1990).

Vrednosti indeksa se gibljejo med 0,322 in 0,916 za leto 1986 in med 0,354 in 0,932 za leto 2011, pri čemer najnižje vrednosti predstavljajo vodne in pozidane površine, sledijo jim skalnate in travnate površine, najvišje vrednosti (na sliki 4a in 4b zelene barve) pa imajo površine porastle z gozdom. Podatki o spremembi pokritosti tal predstavljajo spremembo vrednosti za posamezno slikovno točko, vrednosti pa se gibljejo med -0,258 in 0,204. Negativne vrednosti pomenijo, da se je vrednost indeksa IPVI med obema letoma zmanjšala (redkejša, manj razvito rastje, obdelava polj, pozidava), pozitivne vrednosti pa pomenijo, da se je vrednost indeksa v izbranem časovnem intervalu povečala, torej se je območje zarastlo.

Mejne vrednosti spremembe smo tudi v tem primeru določili z natančno proučitvijo očitnih vidnih sprememb v pokritosti na petih območjih. Klasifikacija sprememb se je najbolje odrazila pri določanju razredov po standardnem odklonu, pri čemer smo kot prehod v bolj intenzivno poraščenost opredelili vrednosti zadnjega razreda, ki so večje od 0,055, mejno vrednost zmanjšanja rastja pa smo postavili pri 0,031, kar predstavlja prvi razred po omenjeni klasifikaciji.

Vsa območja zaznanih sprememb pokritosti tal, prikazana na sliki 4, znotraj Narodnega parka Severni Velebit zavzemajo površino 6,074 km², (5,4 % celotne površine parka), od tega večinski delež (6,054 km²) predstavljajo spremembe s pozitivnimi vrednostmi. Na območju parka se pojavljata dve nekoliko večji zgostitvi slikovnih točk, in sicer v njegovem južnem ter severnem delu. Vmes prihaja predvsem do razpršenega pojavljanja posameznih slikovnih točk oziroma manjših zgostitev na območju celotnega parka, ki pa niso omejene le na travnike oziroma pašnike in golo površje, temveč se pojavljajo tudi na območju gozdnih površin. Po vizualni primerjavi satelitskih posnetkov smo ugotovili, da večje zgostitve točk na območju med Trnovcem, Rogić-Dolino in vrhom Samaržinica, na območju med Malenjakom in Palježem ter južno od Dundović-Poda med Balenskimi brižinami in Kramarkovačko koso v večjem delu predstavljajo ozelečenje golega skalnega površja. Nekatere manjše zgostitve slikovnih točk se pojavljajo na robovih travnikov in v gozdu npr. na območjih Štirovače, Velikega in Malega Lubenovca, na območju južno od Malega loma ter na severozahodnem delu Lomske dulibe, kar je značilno za zaraščanje travniških površin, obdanih z gozdom.

Zmanjšanje pokritosti tal se pojavlja v veliko manjših zgostitvah slikovnih točk (na sliki 4c označeno z rdečo barvo), npr. pri vhodu v narodni park Babić-siča, v okolici Borovega vrha, ob in pod planinskim domom Zavižan, na zahodnem delu Velikega Lubenovca, na območju Tudorevega ter v pasu med Bilenskim in Dundović padežem. Razpršeno se slikovne točke zmanjšanja pokritosti tal pojavljajo še na območju vzhodno od Rožanskih kukov ter na območju med vrhom Lisac (1541 m) in Zelengradom.

Slikovne točke z zaznanimi spremembami v obeh smereh se razpršeno nahajajo na območju celotnega parka, vendar pa je tistih, ki prikazujejo spremembo v smeri

zaraščanja površin, bistveno več. Nekateri večji deli, kjer nismo zaznali nobenih sprememb oziroma so te izredno redke, so Donja in Gornja branjevina, na območju med Lekčevacem in Golubi, ob vzhodni meji parka med Karamarkovim vrhom ter Rastovačko glavico in območje Blatne doline.

Razprava

Uporabljena pristopa analiza vektorjev sprememb (CVA) in vegetacijski indeks IPVI sta podala dokaj različne rezultate. Najbolj očitno se ta razlika odraža v površini zaznanih sprememb, saj je skupna površina zaznanih sprememb z uporabo pristopa CVA (0,626 km²) približno desetkrat manjša od površine, ki smo jo izračunali z uporabo indeksa IPVI (6,074 km²). Posledično se znotraj Narodnega parka Severni Velebit pri rezultatih uporabe indeksa IPVI poleg manjših zgostitev slikovnih točk, ki so značilne tudi za uporabo pristopa CVA, pojavljajo tudi večje zgostitve, vendar te vedno predstavljajo povečanje oziroma zgostitev rastja. Ta razlika je izrazita predvsem na območjih zaraščanja golih skalnatih površin, ki pri uporabi indeksa IPVI predstavlja največje sklenjeno območje zaznanih sprememb in se po daljši osi razteza na dolžini dveh kilometrov. Na istem območju smo z uporabo pristopa CVA zaznali le zelo majhno površino sprememb pokritosti tal. Drugo večje območje zgostitve slikovnih točk, kjer smo z uporabo indeksa IPVI zaznali spremembe v smeri zaraščanja, se nahaja na skrajnem severnem delu Narodnega parka Severni Velebit, zaznane spremembe pa ponovno sovpadajo z le nekaj manjšimi zgostitvami, identificiranimi z uporabo pristopa CVA.

Pri zaznavanju sprememb z uporabo indeksa IPVI se, za razliko od rezultatov pristopa CVA, veliko slikovnih točk pojavlja razpršeno, brez izrazitih zgostitev na območju celotnega parka. Tu gre večinoma za posamezne slikovne točke, veliko se jih pojavlja na območju gozda, zato ocenjujemo, da nekatere predstavljajo realne spremembe v pokritosti tal, del njih pa najverjetneje predstavlja tudi razlike v stanju rastja. Te so lahko rezultat vremenskih razmer v obravnavanih letih in posledica različnih fenoloških obdobji rastja, lahko pa se odražajo kot posledica spremenjene rabe gozda med proučevanima letoma. Ustanovitev Narodnega parka Severni Velebit je namreč povzročila manjšo izrabo gozdnih virov ter s tem manj posegov v sam gozd, kar se odraža v vzpostavljanju naravnega stanja gozdnega rastja.

Na območju travnikov oziroma pašnikov, ki nas v omenjeni raziskavi tudi najbolj zanimajo, smo z uporabo indeksa IPVI razmeroma natančno zaznali spremembe na njihovih robovih. To je zelo dobro vidno na območjih Veliki Lubenovac, Brensko Mirovo, Dundović-Mirovo, Bilenski padež ter na pašnikih okoli Balinovca, Velike Kose ter Vučjaka. V vseh primerih gre za frontalno napredovanje gozdne meje in širjenje gozdnih združb na površine travinj.

Rezultata obeh pristopov izkazujeta relativno majhne spremembe pokritosti površin znotraj meja Narodnega parka Severni Velebit, kar nakazuje na stabilne površinske posameznih tipov pokritosti. Sklepamo lahko, da je v parku z vidika proučevane problematike vzpostavljeno dinamično ravnovesje. Izraz dinamično ravnovesje v tem primeru uporabljamo zato, ker do določenih sprememb vedno prihaja oziroma lahko

rečemo, da dinamika tega ravnovesja najverjetneje podobna nihanju. Primerjava s površinami izven meja parka kaže na veliko večjo dinamiko sprememb izven meja parka. Dobro so vidne na primer nova pozidana območja na primorskem pobočju in tik ob morju. Na celinski strani je teh sprememb bistveno več in tudi smeri njihovih vektorjev so bolj raznolike. V vršnem delu gre bolj ali manj za zaraščanje, nekoliko nižje pa smo zaznali približno enakomerne spremembe v obe smeri. Pri tem gre pri ogo-ljenju najverjetneje za spremembe zaradi izsekavanja, saj se le-te pojavljajo na videz naključno po celotni površini sklenjenih sestojev gozda. Drugi razlog za to bi lahko bili naravni pojavi, ki poškodujejo rastlinstvo in s tem spremenijo spektralni odboj. Dva takšna pojava sta na primer vetrolom in žled, ki sta vremensko pogojena, omeni-mo pa lahko še lubadarja, ki dodatno poškoduje s prej omenjenima pojavoma osla-bljene sestoje. Na najnižje ležečih celinskih predelih Severnega Velebita je ponovno izrazitejša sprememba zaraščanje. Gre za površine v okolici naselij, ki se zaraščajo kot posledica zmanjšanja površine kmetijskih zemljišč, kar je pogosto poglavitni razlog za zaraščanje površin z gozdom.

Spremembe pokritosti tal na območju Narodnega parka Severni Velebit, ki smo jih zaznali v tej raziskavi, ne potrjujejo teh trditev, kar sklepamo na podlagi majhnih površin sprememb v tip pokritosti gozd. Prej omenjena trditev se bolj nanaša na nižje ležeče kmetijske površine, na območjih, podobnih proučevanemu, pa moramo upoštevati še druge dejavnike. Prvi je ta, da počasnemu zaraščanju velikih kotanj botruje sorazmerno pozna opustitev uporabe. To pomeni, da je lahko sprememba nastala v veliko krajšem časovnem obdobju od proučevanega, kar se je izkazalo kot velika pomanjkljivost uporabe časovno zelo oddaljenih posnetkov. Rešitev tega problema se ponuja z uporabo časovnih vrst, ki se vse pogosteje uporabljajo za proučevanje sprememb pokritosti in rabe tal. Drugi dejavnik, ki bi lahko pripomogel k počasnejšemu zaraščanju, so velike populacije rastlinojedih in vsejedi vrst divjadi oziroma njihovo število v razmerju s populacijami plenilskih vrst. Veliko razmerje lahko povzroči velik pritisk na okolje z vidika paše in tudi objedanja mladih poganjkov dreves. Izkušnje drugih Narodnih parkov kažejo na to, da je reintrodukcija oziroma povečanje populacij velikih plenilcev zmanjšalo populacije plena ter omenjene pritiske na rastlinstvo. Sprememba razmerja med številčnostmi populacij plenilcev in plena lahko tako posledično privede k povečanju gozdnih površin. Zadnji, tudi najmanj verjeten dejavnik je mikroklima teh kotanj. Podrobnih raziskav mikroklimе Velebitskih kotanj nismo zasledili, vendar je temperaturni obrat pogost pojav v podobnih geomorfoloških oblikah Dinarskega gorstva in širše. Temperaturni obrat je pojav, pri katerem temperatura zraka z višino narašča, namesto da bi padala (Temperaturni obrat; cv. Žiberna, 1999). Pojav prizemnega temperaturnega obrata lahko krepi tudi relief, saj se zaradi stekanja hladnega zraka na dno dolin in kotlin v energijski bilanci pojavi še advektivni člen (Hočevnar; cv. Žiberna, 1999). Dotok hladnega zraka z okoliških pobočij povzroča dodatni padec temperature zraka na dnu dolin in kotlin. Temperaturnemu pogosto sledi tudi vegetacijski obrat, pri katerem robove kotanj prerašča bukovje, nižje prevladujejo smrekovi sestoji, ki jim proti dnu sledi rušje in trava (Žiberna, 1999).

Delež zaznanih sprememb v smeri redčenja oziroma odstranjevanja rastlinstva je pri rezultatih obeh metod zelo majhen v primerjavi z ostalimi spremembami, kljub temu pa smo z uporabo indeksa IPVI zaznali več takih območij. Obe območji (pod Vučjakom ter v kotanji Veliki Lubenovac), ki smo ju zaznali s pristopom CVA, smo zaznali

tudi z uporabo indeksa. Poleg njiju smo v slednjem primeru identificirali še nekaj manjših območij nekoliko večje zgostitve slikovnih točk, ki se pojavljajo tako na območju travnikov oziroma pašnikov ter na mejnih območjih med skalnatim in z gozdom poraslim površjem. Po vizualni primerjavi satelitskih posnetkov smo ponovno ugotovili, da gre v večini teh primerov najverjetneje za šume v satelitskih posnetkih oziroma za razliko v stanju fenoloških obdobjih posameznega leta.

Z vizualno primerjavo satelitskih posnetkov smo ugotovili, da so zaznane spremembe z uporabo pristopa CVA nekoliko podcenjene, saj rezultati ne zajemajo nekaterih površin, kjer je zaraščanje očitno. Na drugi strani pa ocenjujemo, da so površine, ki smo jih zaznali z uporabo indeksa IPVI, predimenzionirane zaradi večjega deleža napak, ki so posledica razlik v trenutnem stanju rastlinstva.

Obe uporabljeni metodi spadata med pristope, ki temeljijo na analizi vrednosti posameznih slikovnih točk ter zanemarjata njihov prostorski kontekst. Za ta dva pristopa smo se odločili predvsem zaradi razpoložljivih podatkov in enostavnosti izvedbe. Uporabili smo brezplačne podatke Landsat 5 TM s prostorsko ločljivostjo 30 metrov, ki je primerna za proučevanje pokritosti z uporabljenima metodama. Po Liu in sod. (Liu in sod., 2016) tradicionalni pristopi s proučevanjem sprememb na nivoju slikovnih točk niso primerni za zaznavanje sprememb pokritosti na visoko ločljivih podatkih. Poleg tega imajo podatki Landsat dolgo zgodovino tako z vidika časovne pokritosti, kot tudi z vidika uporabe za namene sorodne namenu te raziskave.

Z metodo CVA lahko obdelamo različno število spektralnih kanalov ter pridemo do zelo natančnih informacij o spremembi pokritosti tal (Hussain in sod., 2013). Johnson in Kasischke (Johnson in Kasischke, 1998) navajata, da je CVA zelo uporabna v primerih, ko izražanja proučevane spremembe ne poznamo dobro ali pa spremembo poznamo, vendar ima ta visoko spektralno variabilnost. Po drugi strani je ugotavljanje trajektorije spremembe s tem pristopom težavno, obenem pa moramo za optimalen rezultat nujno uporabiti podatke, zajete v enakem fenološkem obdobju (Chen in sod., 2013). Slabost obeh pristopov je ta, da je v večini primerov določitev vrednosti, pri kateri ločimo razreda »je sprememba« in »ni spremembe«, prepuščena izvajalcu raziskave ter tako odvisna od njegovega poznavanja metode, še bolj pa od poznavanja proučevanega območja. Pragove je mogoče postaviti tudi s pomočjo za to namenjenih algoritmov, pri čemer pa do optimalne vrednosti prav tako pridemo s preizkušanjem in učenjem na napakah.

Odštevanje vegetacijskih indeksov je ena preprostejših metod zaznavanja razlik pokritosti tal in jo je kot tako tudi enostavno izvesti s pomočjo različnih GIS-ov, ki so danes na voljo. Prednost pred odštevanjem nespremenjenih posnetkov se odraža predvsem v tem, da vegetacijski indeksi do določne mere zmanjšajo učinke topografije in osvetlitve na posnetku. Kot slabost smo tako kot nekateri drugi avtorji (Hussain in sod., 2013) ugotovili pogosto pojavljanje naključnega ali koherentnega šuma.

Rezultate GIS analiz prostorskih podatkov navadno vedno preverjamo s terenskim proučevanjem, kar je verjetno najpomembnejši del ocene kakovosti rezultatov. V raziskavah pokritosti in sprememb pokritosti tal obravnavani del metodologije ni mogoč, saj na terenu ne moremo ugotavljati stanja, v našem primeru, izpred tridesetih let. Oceno natančnosti lahko podamo s primerjavo podatkov podobnih raziskav

obravnavega območja ali s primerljivimi podatki daljinskega zaznavanja. Predhodnih raziskav spremembe pokritosti za Narodni park Severni Velebit v pregledani literaturi nismo zasledili, zato smo rezultate ocenili z vizualno preučitvijo uporabljenih satelitskih posnetkov. S tem smo zagotovili upoštevanje informacij, ki jih metode zaznavanja sprememb, ki delujejo na ravni slikovne točke sicer ignorirajo. Te informacije se nanašajo na prostorski vidik objektov v resničnem svetu ter na njihove medsebojne odnose, razporeditev in podobno. Te parametre človeški operater skoraj samodejno upošteva pri dolgotrajni interpretaciji ter preko njih s posnetkov pridobiva bistveno bolj popolne informacije o spremembah, ki jih z uporabljenimi metodami težko modeliramo (Blaschke in Strobl, 2001; Johansen in sod., 2010).

Zaključek

Na območju Narodnega parka Severni Velebit smo proučili spremembo pokritosti tal med letoma 1986 in 2011. Posebno pozornost smo namenili spremembam med tipoma pokritosti gozd in travnik, saj se te odražajo bodisi kot krčenje gozdnih površin bodisi kot zaraščanje travnikov. Prav slednje je bilo s strani nekaterih virov navedeno kot poglaviti proces, pogojen z odsotnostjo človeških dejavnosti, in dejavnik zmanjševanja biotske pestrosti.

Proučevanje sprememb pokritosti tal smo izvedli s pomočjo daljinsko zaznanih podatkov oziroma satelitskih posnetkov ter geografskih informacijskih orodij. Kombinacija obojega nudi širok nabor pristopov k obravnavanju problematike. Zaradi dostopnosti smo se odločili za uporabo posnetkov Landsat 5 TM, ki nudijo nabor sedmih spektralnih kanalov v prostorski ločljivosti 30 metrov, dolgo in neprekinjeno obdobje pokritosti in v naprej izračunane koeficiente Kauth - Thomas pretvorbe. Uporaba navedenih posnetkov je deloma pogojevala izbor metod primerjave posnetkov, ki se uvrščata med metode primerjave dveh časovnih prerezov na ravni slikovne točke. Uporabili smo dva pristopa, prvi zahteva prej omenjeno pretvorbo spektralnega prostora, tako pripravljene podatke pa primerjamo z izračunom dolžine in kota vektorja spremembe, pri drugem pa smo izračunali vegetacijski indeks IPVI za oba posnetka ter novejšega odšteli od starejšega. Pri obeh pristopih območja s spremenjeno pokritostjo tal določimo s postavitvijo praga ter klasifikacijo podatkov. Prvi pristop omogoča tudi določitev tipa spremembe preko kota vektorja spremembe.

Pristopa sta podala dokaj različne rezultate. Najbolj očitno se ta razlika odraža v površini zaznanih sprememb, saj je skupna površina zaznanih sprememb z uporabo pristopa CVA (0,626 m²) približno desetkrat manjša od površine, ki smo jo izračunali z uporabo indeksa IPVI (6,074 km²). Znotraj Narodnega parka Severni Velebit se slikovne točke sprememb po metodi CVA pojavljajo večinoma posamezno, le v južnem in vzhodnem delu se pojavljajo nekoliko večje gruče. Pri primerjavi IPVI se pojavljata dve nekoliko večji zgostitvi slikovnih točk, in sicer v njegovem južnem ter severnem delu, vmes pa prihaja predvsem do razpršenega pojavljanja posameznih slikovnih točk.

Zaradi dobljenih rezultatov, kompleksnosti metode in njenih prednosti metodo CVA in njene rezultate obravnavamo kot bolj relevantne. S tega vidika ocenjujemo, da

površine spremenjene pokritosti tal v Narodnem parku Severni Velebit v obravnavanem obdobju predstavljajo dobro polovico odstotka celotne površine parka. Kljub temu da večina sprememb slikovnih točk dejansko odraža proces zaraščanja travnatih in golih površin, to ocenjujemo kot počasno. Proces zaraščanja travinj je pri večini območij varovanja narave nezaželen, saj se s tem biotska pestrost, ki je bila pogosto eden glavnih razlogov za njihovo zaščito, močno zmanjšuje.

Literatura

- Allen, T. R., Kupfer, J. A., 2000. Application of spherical statistics to change vector analysis of landsat data in southern Appalachian sprucefir forests. *Remote Sensing of Environment*, 74, str. 482–493.
- Balcik, F. B., Goksel, C. (2012). Determination of magnitude and direction of land use / land cover changes in Terkos water basin, Istanbul. 2012 XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia.
- Blaschke, T., Strobl, J., 2001. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GIS- Zeitschrift fur Geoinformationsysteme*, 6, 1, str. 12–17.
- Bognar, A., 1994a. Neke od temeljnih značajki razvoja pedimenata u gorskoj zoni vanjskih Dinarida. *Geografski glasnik*, 56, 1, str. 21–31.
- Bognar, A., 1994b. Temeljna skica geoloških osobina Velebita. *Senjski zbornik*, 21, 1, str. 1–8.
- Carvalho Jr, O. A., Guimarães, R. F., Gillespie, R. F., Silva, N. C., Gomes, R. A. T., 2011. A New Approach to Change Vector Analysis Using Distance and Similarity Measures. *Remote Sensing of Environment*, 3, str. 2473–2493.
- Chander, G., Markham, L. B., Helder, D. L., 2009. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, str. 893–903.
- Chen, J., Gong, P., He, C., Pu, R., Shi, P., 2013. Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change-Vector Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 96, 4, str. 369–379.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., Lambin, E., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 9, str. 1565–1596.
- Crippen, R. E., 1990. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34, 1, str. 71–73.
- Crist, E. P., 1985. ATM Tasseled Cap equivalent transformation for reflectance factor data. *Remote Sensing of Environment*, 17, str. 301–306.
- Cunder, T., 1999. Zaraščanje kmetijskih zemljišč v slovenskem alpskem svetu. *Dela*, 13, str. 165–175.

- Flores, S. E., Yool, S. R., 2007. Sensitivity of change vector analysis to land cover change in an arid ecosystem. *International Journal of Remote Sensing*, 28, str. 1069–1088.
- Fürst-Bjeliš, B., Lozić, S., 2006. Environmental impact and change on the Velebit mountain, Croatia: an outline of the periodization. V: Armiero, M. (ur.). *Views from the South: environmental stories from the Mediterranean world (19th-20th centuries)*, CNR-Servizio Pubblicazioni, str. 127–139.
- Fürst-Bjeliš, B., Lozić, S., 2006. Environmental impact and change on the Velebit mountain, Croatia: an outline of the periodization. V: Armiero, M. (ur.). *Views from the South: environmental stories from the Mediterranean world (19th-20th centuries)*, CNR-Servizio Pubblicazioni, str. 127–139.
- Gellrich, M., Zimmerman, N. E., 2006. Investigating the regional-scale pattern of agricultural land abandonment in the Swiss mountains: A spatial statistical modeling approach. *Landscape and Urban Planning*, 79, str. 65–76.
- Green, K., Kempka, D., Lackey, L., 1994. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60, 331–337.
- Hočevar, A., Petkovšek, Z., 1995. *Meteorologija: osnove in nekatere aplikacije*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 219 str.
- Hussain, M., Chen, D., A., C., Wei, H., Stanley, D., 2013. Change detection from remotely sensed images: from pixel based to object based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 80, str. 91–106.
- Jensen, J. R., 1986. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 379 str.
- Johansen, K., Arroyo, L. A., Phinn, S., Witte, C., 2010. Comparison of Geo-Object Based and Pixel-Based Change Detection of Riparian Environments using High Spatial Resolution Multi-Spectral Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2, str. 123136.
- Johnson, R. D., Kasischke, E. S., 1998. Change vector analysis: a technique for multi-spectral monitoring of land cover and condition. *International Journal of Remote Sensing*, 19, str. 411–426.
- Kaligarič, M., Čarni, A., 1991. Travniki na Krasu in v Istri se zaraščajo. *Annales*, 91, 1, str. 41–46.
- Khan, A. I., 2014. Using Tasseled Cap Transformation Technique to Study the Urban Environment, and its effect on Pollution, in Lahore, Pakistan. Punjab, Institute of Geology, University of Punjab, 29 str.
- Kladnik, D., 1999. *Leksikon geografije podeželja*. Ljubljana, Inštitut za geografijo, 318 str.
- Kušan, V. 2015. *Pokrov i korištenje zemljišta u RH – stanje i smjerovi razvoja 2012. okoliša*, H. a. z. z. Zagreb.
- LandsatProcessingDetails. 2016. URL: <https://landsat.usgs.gov/landsat-processing-details>
- Liu, Q., Liu, G., Huang, C., Xie, C., Chu, L., Shi., S., 2016. Comparison of tasseled cap components of images from Landsat 5 Thematic Mapper and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus. *Journal of Spatial Science*, 61, 2, str. 351–356.

- Malila, M. A., 1980. Change vector analysis: an approach for detecting forest changes with Landsat. V: Burroff, P. G., Morrison, D. B. (ur.). 6th Annual Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers, str. 326-335.
- Measuring Vegetation (NDVI & EVI). 2017. URL: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php (8. 3. 2017).
- Meera Gandhi, G., Parthiban, S., Thummalu, N., Christy, A., 2015. NDVI: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis – A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57, str. 1190–1210.
- Oštir, K., 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Založba ZRC, 250 str.
- Song, X., Cheng, B., 2011. Change Detection Using Change Vector Analysis from Landsat TM Images in Wuhan. *Procedia Environmental Sciences*, 11, str. 238–244.
- Staništa. URL: <http://www.np-sjeverni-velebit.hr/park/zivapriroda/stanista/> (14. 2. 2017).
- Staništa. 2017. URL: <http://www.np-sjeverni-velebit.hr/park/zivapriroda/stanista/> (14. 2. 2017).
- Temperaturni obrat 1990. Enciklopedija Slovenije. Voglar, D. Ljubljana, Mladinska knjiga. 4.
- Žiberna, I. (1999). Temperaturni obrat v hriboviti Sloveniji. Sonaravni razvoj v slovenskih Alpah in sosedstvu, 1. Melikovi geografski dnevi, Kranjska Gora, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete.