

Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1991. do 2011.

Marin Cvitanović

Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta odraz su interakcije društva i okoliša, a posebno su izražene prilikom promjene ekonomskog i društvenog sustava na nekom prostoru. Smatra se da posljedice promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta danas više utječu na kvalitetu života i ljudsko zdravlje od klimatskih promjena. Proučavani prostor u ovom radu, Krapinsko-zagorska županija, prošao je kroz značajne socijalne i ekonomske promjene tijekom promatranoga razdoblja, što se izravno i neizravno odrazilo na promjene zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta. Od 1991. do 2011. zabilježene su promjene na 25 % zemljišta, a glavne promjene su pretvaranje travnjaka u obrađene površine te obrađenih površina u travnjake kao posljedica procesa napuštanja poljoprivrede i poljoprivredne ekstenzifikacije s jedne strane i poljoprivredne intenzifikacije s druge. Indikativno je da je proces intenzifikacije nešto jači od procesa napuštanja poljoprivrede, a oba procesa, zajedno s vrlo malenom prosječnom veličinom posjeda u županiji i dugotrajnim nepovoljnim demografskim promjenama, velik su izazov u procesu restrukturiranja poljoprivredne proizvodnje i očuvanja kulturnih pejzaža.

Ključne riječi: zemljišni pokrov, način korištenja zemljišta, Krapinsko-zagorska županija,

Land-use and Land-cover Changes in the Krapina-Zagorje County from 1991 to 2011

Land-use and land-cover changes reflect the character of a society's interaction with its physical environment, which becomes obvious when it is possible to observe different economic and social systems occupying the same environment. The area studied in this paper, Krapina-Zagorje County, has gone through major social and economic changes in the 1991-2001 period, which has left its mark on the landscape. Land-use and land-cover has changed in about 25 % of the studied area, with major trajectories being from grassland to agricultural land and vice versa. This is the result of processes of agricultural abandonment on one side and agricultural intensification on the other. These processes, along with unfavourable demographic trends and very small land plots (averaging 1 ha), present a major challenge in the process of agricultural restructuring and preservation of cultural landscapes in the county.

Key words: land-cover, land-use, Krapina-Zagorje County

UVOD

Antropogeni utjecaj na okoliš složena je i sveprisutna pojava. Morskim strujama, atmosferskom cirkulacijom i globalnim zatopljenjem proširio se cijelom površinom našeg planeta (McKibben, 1989). Veliki dio antropogenih utjecaja usmjeren je specifično na terestrijalne ekosustave i povezan je s proizvodnjom hrane, vađenjem i obradom sirovina, izgradnjom stambenih jedinica, rekreacijom i drugim. Stoga se upravo promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (engl. *Land-use and land-cover change*, LULCC) smatraju ključnim čimbenikom koji posreduje između socioekonomskih, političkih, kulturnih i drugih društvenih procesa s jedne strane i okoliša s druge (Rayner i sur., 1994; Geist i sur., 2006).

Zbog svoje inherentne kompleksnosti koja počiva na integraciji fizičkogeografskih i društvenogeografskih čimbenika promjene opća teorija analize promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta ne postoji. Umjesto toga niz teorija pomaže u analizama različitih aspekata promjena u specifičnim situacijama. Glavna razlika između koncepta zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta leži u antropogenoj komponenti promjena. Zemljišni pokrov karakteriziraju fizički atributi zemljine površine (tlo, vegetacija, voda i sl.) te se analizira daljinskim istraživanjima. Način korištenja zemljišta složeniji je pojam i uključuje društvenu i ekonomsku svrhu upravljanja zemljištem, iako se ta dva pojma često upotrebljavaju kao istoznačnice (Lambin i sur., 2006).

Unatoč brojnim istraživanjima posvećenima zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta, još uvijek ne možemo reći da potpuno razumijemo kako se i zašto oni mijenjaju. Konceptualno, nastojanja da se otkrije uzročno-posljedične veze rijetko su išla dalje od jednostavnih zaključaka o međuovisnosti ljudskog ponašanja, zemljišnog pokrova i stanja okoliša (Rayner i sur., 1994). Problem leži u činjenici da su lokalne odluke vezane uz način korištenja zemljišta pod utjecajem niza čimbenika koji djeluju na nekoliko razina. Te razine sežu od lokalnih karakteristika (npr. kvaliteta tla) i aktera (npr. čovjek ili kućanstvo) sve do globalnih uvjeta (npr. makroekonomske ili trgovinske situacije u svijetu) i donositelja odluka (npr. vlada) (Turner II i sur., 1995; Geist i sur., 2006; Geoghegan i sur., 1998). Zbog toga ne postoji općeprihvaćeni protokol provedbe istraživanja o promjenama zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta – znanstvenici se slažu da je svaka studija jedinstvena te da su odnosi čovjeka i okoliša previše kompleksni da bi se mogli generalizirati. Lokalne, regionalne i globalne studije slučaja i dalje su najčešći oblik istraživanja promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta te čimbenika koji na njih utječu (Lambin i sur., 2006).

PREGLED ISTRAŽIVANJÂ HRVATSKOJ

Radovi tematike zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u hrvatskoj znanstvenoj literaturi počeli su se pojavljivati početkom pedesetih godina 20. stoljeća. Većinom su se bavili historijskogeografskom analizom određenih područja, što je dijelom uključivalo i analizu promjena na zemljištima. Analize su se temeljile na katastarskim kartama (rjeđe) i brojčanim tabličnim podacima (češće) te se usporedbom vrijednosti zaključivalo o širim fizičkogeografskim i socijalnim promjenama nekog prostora. Analize promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta vrlo su rijetko bile prostorno

eksplicitne, a analizirane kategorije uglavnom su bile vezane uz poljoprivredu. Naglasak se stavljao na analize promjene načina korištenja zemljišta (iako su se ponekad termini zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta poistovjećivali) s ekonomskogeografskog i društvenogeografskog aspekta, po čemu je pristup temi odgovarao sličnim suvremenim znanstvenim trendovima u svijetu.

Kao najznačajnije hrvatske znanstvenike koji su se bavili temama promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, valja istaknuti I. Crkvenčića i V. Rogića. Njihova istraživanja, također u sklopu historijskogeografskih studija određenih prostora, vežu se uz jaku školu kulturnih pejzaža pod utjecajem njemačke pejzažne škole (Fürst-Bjeliš i sur., 2011a).

U svojim radovima, koji su se uglavnom bavili područjem Hrvatskog zagorja, Crkvenčić (1951) analizira promjene pejzaža Bednjanskoga kraja kroz promjenu načina korištenja zemljišta i dovodi ga u vezu s promjenama u seljačkoj agrarnoj organizaciji. U radu autor povezuje podatke iz kartografskih prikaza s brojčanim podacima iz katastra o poljoprivrednim kulturama na prikazanom području. Uočene promjene jesu promjene veličine i oblika parcele te promjene u vrsti poljoprivrednih kultura, što Crkvenčić (1951) povezuje s procesom agrarne reforme, rastom stanovništva i intenzifikacijom poljoprivredne proizvodnje, koja je uzrokom krčenja šuma i nestajanja pašnjaka. Sličan pristup tematici promjene pejzaža Crkvenčić (1957, 1958) ima u radu „Prigorje planinskog niza Ivančice”, u kojemu rekonstruira evoluciju agrarnog pejzaža navedenog prostora analizirajući geološka obilježja i osobine reljefa, demografske pokazatelje, ekonomske promjene i promjene društvenih odnosa od 16. stoljeća do suvremenog razdoblja.

Pojava ugara kao specifičnog aspekta promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, odn. indikatora promjena u agrarnom pejzažu jedna je od češćih podtema u znanstvenim radovima hrvatske historijske geografije. Tu se posebno ističu radovi Crkvenčića i Vreska. Crkvenčić (1982) zaključuje da su regionalne razlike u udjelima oranica pod ugarom ili neobrađenim oranicama u Hrvatskoj velike, a uzroke traži u različitim prirodnim obilježjima kao preduvjetima određenih društvenih promjena, te socijalnim procesima kao glavnim razlozima. Kao glavni razlog povećanja površina pod ugarom izdvaja socijalne promjene u Hrvatskoj nakon Drugoga svjetskog rata, prije svega deruralizaciju i deagrarizaciju. Navodi i podatak od 10,1 % svih površina oranica i vrtova u Hrvatskoj koje su neobrađene 1979. godine. U radu „Tendencije suvremene evolucije prenaseljenog agrarnog kraja – primjer iz okolice Varaždina” Vresk (1968) također dovodi u vezu procese deagrarizacije sa značajnim promjenama u načinu korištenja zemljišta. Analizom podataka o načinu korištenja zemljišta u području katastarske općine Druškovec izdvaja karakterističnu promjenu koja općenito prati procese deagrarizacije – napuštanje oraničnih površina, a porast livada, zbog zapošljavanja u neagrarim djelatnostima.

Prvi rad koji se tematski potpuno posvetio analizi promjena načina korištenja zemljišta u Hrvatskoj jest Malićeva (1983) analiza „Regionalne razlike i promjene površina kategorija iskorištavanja poljoprivrednog zemljišta SR Hrvatske”. Autor proučava promjene isključivo poljoprivrednog zemljišta od 1962. do 1982. i od 1972. do 1982., pri čemu izdvaja i četiri osnovna tipa makroregionalne strukture poljoprivrednog zemljišta Hrvatske. U četvrti – tip složene strukture poljoprivrednog zemljišta – svrstao je makroregiju

Središnje Hrvatske, koja uključuje i prostor današnje Krapinsko-zagorske županije. Iako se rad izdvaja prema veličini prostora koji obrađuje (nacionalna razina) te dubini analize (računaju se indeksi promjene površine triju kategorija načina korištenja poljoprivrednog zemljišta – oranice, voćnjaci i vinogradi, livade i pašnjaci – te se sve općine u Hrvatskoj svrstavaju u dvanaest tipova dobivenih na bazi natprosječnoga, tročetvrtinskog ili natpolovičnog udjela triju navedenih kategorija korištenja poljoprivrednog zemljišta), rad se ne bavi društvenim, ekonomskim ili fizičkogeografskim uzrocima promjena. Prema tematici (analiza promjene načina korištenja poljoprivrednog zemljišta) te glavnom izvoru podataka (statističke publikacije i katastri), konceptualno se većim dijelom uklapa u starije radove Crkvenčića i Vreska.

Ni noviji radovi hrvatske geografije ne odudaraju mnogo od uobičajenih historijsko-geografskih regionalnih analiza. Tako Magaš i Faričić (2002) analiziraju promjene kategorija korištenja zemljišta na Olibu od 1930. do 2001. prema katastarskim podacima i bez prostornog pristupa analizi. Navedene promjene upotrebljavaju se kao neizravni pokazatelji nekih socioekonomskih i demografskih promjena. Istim se pristupom u analizi Ista služe Čuka i Magaš (2003), Faričić i Magaš (2004) za katastarsku općinu Žirje, te Magaš i sur. (2006) za katastarsku općinu Unije.

Od novijih radova još valja izdvojiti radove Fürst-Bjeliš, koji promjene okoliša promatraju s fizičkogeografskog aspekta, iako uključuju i analize društvenih promjena u njihovoj pozadini. Za razliku od prijašnjih radova, koji su se uglavnom bavili promjenama načina korištenja zemljišta, Fürst-Bjeliš stavlja naglasak na promjene zemljišnog pokrova i društvene promjene koje su dovele do njih. Također je vremenski okvir radova uglavnom mnogo širi od prethodno analiziranih članaka. Od radova valja izdvojiti studiju promjena mediteranskog okoliša na primjeru Dalmacije, gdje Fürst-Bjeliš (2002) analizira mogućnost upotrebe Grimanijeva katastra kao izvora informacija, Fürst-Bjeliš i Lozić (2006) analiziraju promjene zemljišnog pokrova Velebita od 17. stoljeća do suvremenog razdoblja, koji uglavnom obuhvaćaju promjene šumskog pokrova i eroziju tla, a Fürst-Bjeliš i sur. (2011b) bave se promjenama okoliša središnjeg dijela Dalmatinske zagore tijekom posljednjih 250 godina, gdje izdvajaju proces reforestacije kao glavnu odrednicu promjena zemljišnog pokrova u promatranom području, i to prije svega kao posljedicu litoralizacije. Durbešić (2012) u analizi promjena južnih padina Svilaje modelira niz fizičkogeografskih čimbenika koji su utjecali na izgled analiziranog pejzaža te izdvaja sedam tipova i osamnaest podtipova pejzaža, pri čemu je površinski pokrov osnovni kriterij primijenjen u klasifikaciji. U analizi promjena zemljišnog pokrova, ovdje s naglaskom na šumski pokrov, još valja spomenuti i rad Valožića i Cvitanovića (2011), koji se pomoću daljinskih istraživanja bave procesima deforestacije i reforestacije u Parku prirode Medvednica od proglašenja zapadnog dijela Medvednice parkom prirode pa sve do suvremenog razdoblja.

PROUČAVANI PROSTOR

Način korištenja zemljišta odraz je interakcije društva i okoliša. Ta činjenica postaje još očitija prilikom promjene ekonomskog i društvenog sustava na istom prostoru (Campbell, 2006). Proučavani prostor u ovom radu, Krapinsko-zagorska županija, prošao je kroz značajne ekonomske i društvene procese u promatranom razdoblju. Kolapsom

socijalističkog sustava 1991. država je započela proces ekonomske tranzicije. Naslijeđen je zastarjeli sustav u poljoprivredi, kojim su dominirali manji posjedi nastali još kao posljedica raspada zadruga u 19. stoljeću, ali i agrarne reforme nakon Drugoga svjetskog rata, kad je posjed ograničen zemljišnim maksimumom od deset hektara (Plaščak, 2009), što je onemogućivalo značajnije okrupnjavanje zemljišta. Osim malene prosječne veličine posjeda, ni demografska struktura Krapinsko-zagorske županije nije povoljna. Od 1977. prirodno kretanje u županiji bilježi konstantno negativan predznak, s najnižom vrijednosti zabilježenom 2003. (Spevec, 2011). Danas tako tek jedna općina bilježi pozitivnu demografsku bilancu u županiji (Stubičke Toplice), a prema popisu iz 2011. prosječna je starost stanovnika 41 godina, što je iznad hrvatskog prosjeka.

Pretpostavka je da takve izražene demografske i gospodarske promjene ostavljaju traga na zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji. Cilj ovog rada jest identificirati, kvantificirati i prostorno prikazati promjene koje su se dogodile od 1991. do 2011. godine. U skladu s ciljem rada oblikovane su istraživačke hipoteze:

(a) u promatranom razdoblju došlo je do vidljivih promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji, (b) većina promjena dogodila se na poljoprivrednom zemljištu, (c) veći dio obradivih površina prešao je u travnjake ili šume i (d) manji dio travnjaka i šuma iskrčen je i pretvoren u obradive površine.

DALJINSKA ISTRAŽIVANJA U PROMJENAMA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA

Za geografiju je posebno važan prostorno eksplicitan pristup analizi promjena na zemljištima. Dok promjene načina korištenja zemljišta zahtijevaju složeniji pristup, promjene zemljišnog pokrova metodološki je moguće analizirati uz pomoć daljinskih istraživanja (Lambin i sur., 2006). Daljinska istraživanja jesu metode prikupljanja podataka o udaljenim objektima pomoću ultraljubičastog, vidljivog, infracrvenog i mikrovalnog spektra elektromagnetskog zračenja bez fizičkog dodira s predmetom proučavanja. Podaci iz elektromagnetskog spektra bilježe se instrumentima kao što su kamere, skeneri i laseri locirani na letjelicama ili satelitima u zemljinoj orbiti te se zatim vizualno i digitalno analiziraju (Jensen, 2007).

Satelitske snimke dobivene daljinskim istraživanjima omogućuju relativno brz i neposredan uvid u stanja i procese na zemljinoj površini, a budući da su prvi komercijalni sateliti lansirani u zemljinu orbitu prije više od 30 godina, to je dovoljno dug kontinuirani vremenski okvir za proučavanje promjena zemljišnog pokrova na regionalnoj i globalnoj razini. Istovremeno je kvaliteta satelitskih snimaka smanjila i financijske i vremenske zahtjeve istraživanja (Campbell, 2006).

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U daljinskim istraživanjima Krapinsko-zagorske županije upotrebljavane su satelitske snimke američkoga svemirskog programa Landsat i francuskog Centra za svemirska istraživanja CNES putem programa SPOT. Za potrebe analize zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u županiji za 1991. godinu upotrijebljene su snimke satelita Landsat

5, koji je snimao zemljinu površinu u sedam zasebnih frekvencijskih opsega – plavom, zelenom, crvenom, tri infracrvena opsega i u termalnoj komponenti elektromagnetskog spektra, te snimke satelita SPOT-2. Satelit Landsat 7 s dodatno poboljšanim instrumentima upotrijebljen je u analizi podataka na razini županije iz 2011. U usporedbi sa satelitom Landsat 5 TM, Landsat 7 posjeduje i pankromatski opseg s prostornom rezolucijom od petnaest metara, termalni infracrveni opseg s poboljšanom prostornom rezolucijom i neke druge elemente (The Landsat program, <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>). U analizi podataka iz 2011. upotrijebljene su i snimke satelita SPOT-5. Općenito gledano, prostorna rezolucija snimaka SPOT-a bolja je od Landsatovih, a spektralna je nešto slabije kvalitete. No, za razliku od Landsata, senzor na SPOT-ovu satelitu ne posjeduje zrcala kojima se bilježi elektromagnetsko zračenje te zbog toga može doslovce dulje „gledati” u zemljinu površinu koju snima, čime prikuplja preciznije podatke o elektromagnetskom zračenju koje dopire sa Zemlje (Jensen, 2007).

Landsatove snimke preuzete su s poslužitelja Earth Explorer Agencije za geologiju Sjedinjenih Američkih Država (USGS). Snimke od 29. lipnja 2011. (WRS putanja 190, red 28) i od 10. rujna 1991. (WRS putanja 190, red 28) preuzete su u formatu .geotiff. Odabrane snimke dio su arhive GLS-a (Global Land Survey), unaprijed su georeferencirane, ispravljene su pogreške u vrijednostima refleksije nastale uslijed nagiba padina, snimke su projicirane u koordinatnom sustavu WGS84 UTM te su odabrane zbog vrlo malo naoblake. Odabirom snimki iz približno istog razdoblja u godini nastojale su se izbjeći pogreške uslijed fenoloških faza vegetacije. Snimke SPOT-2 učinjene su 20. lipnja 1992., a SPOT-5 5. srpnja 2010. te su upotrijebljene u korekciji nekih rezultata dobivenih putem analiza Landsatovih snimaka. Snimke SPOT-2 i SPOT-5 nisu upotrijebljene u analizi čitavog područja Krapinsko-zagorske županije jer ne postoji potpuna pokrivenost područja snimkama iz navedenog razdoblja.

Nakon preuzimanja u digitalnom obliku, snimke su spektralno analizirane računalnim softverom ESRI ArcGIS 9.3 i TNTmips. Spektralna analiza snimke ustvari je proces svrstavanja svih piksela jedne snimke u manji broj klasa. Svaki piksel razmatra se i dodjeljuje pojedinoj klasi prema svojim vrijednostima u nekoliko valnih duljina, te sama klasifikacija ovisi o mogućnosti detektiranja razlika u svjetlini objekata na satelitskoj snimci (Campbell, 2006). U ovom istraživanju upotrijebljena je metoda nenadzirane klasifikacije, a računalno dobivene klase na spektralnoj bazi naknadno su grupirane u četiri odabrane informacijske klase, odn. kategorije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta – šume, travnjaci, obrađene površine i izgrađene površine. Kategorije su odabrane nakon opsežnoga terenskog istraživanja i klasificirane prema sustavu klasifikacije zemljišta Agencije za geologiju SAD-a (Anderson i sur., 1976). Dio kategorija izostavljen je iz analize (vodene površine, otvoreni kopovi i kamenolomi) jer zauzimaju maleni udio u ukupnoj površini Krapinsko-zagorske županije i pokazuju vrlo malene promjene u razdoblju 1991. – 2011.

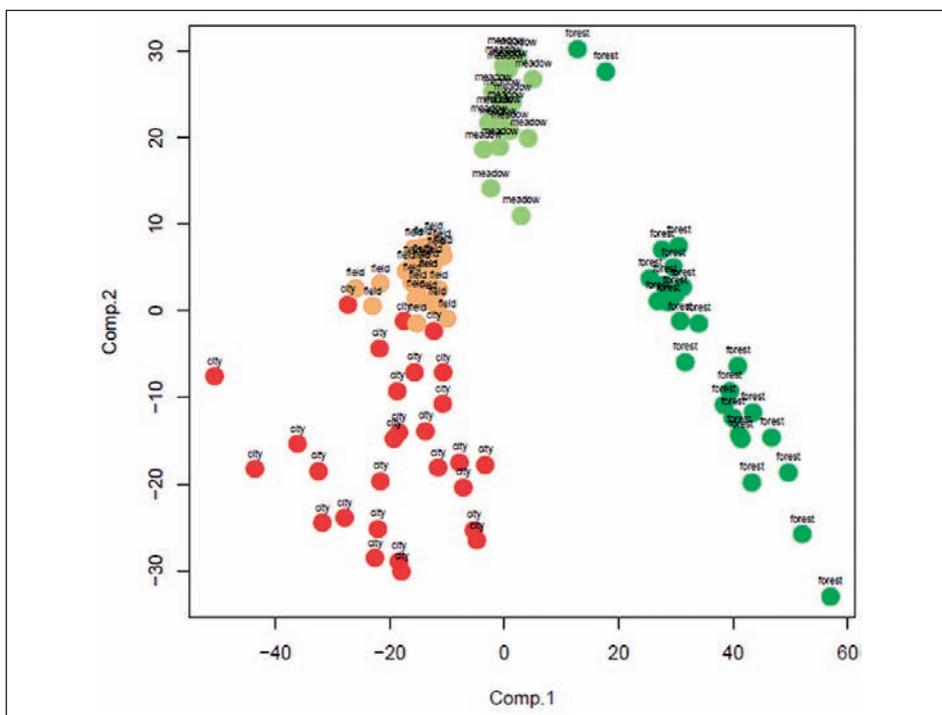
Prije postupka klasifikacije snimke su vizualno analizirane te je ručno prikupljeno 145 testnih poligona za snimku iz 2011. i 99 poligona za snimku iz 1991. Odabir se provodio putem kombinacije plave, crvene i zelene valne duljine, tzv. RGB kombinacije ili *true colour composite*, ali krajnja analiza provedena je sa šest valnih duljina u sve četiri analizirane kategorije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta – šuma, travnjak, obrađena površina i izgrađena površina. Podaci su spremljeni u formatu .dbf i analizirani

Tab. 1. Valne duljine i prostorna rezolucija satelitskih snimaka Landsatovih satelita 5 i 7. Vrijednosti za oba satelita iste su, osim što Landsat 5 ne posjeduje pankromatsku snimku prostorne rezolucije 15 m (tzv. band 8)

Tab. 1 Wavelengths and spatial resolution of the Landsat 5 and Landsat 7 satellite images. Landsat 5 does not have the panchromatic image with the spatial resolution of 15 m (band 8).

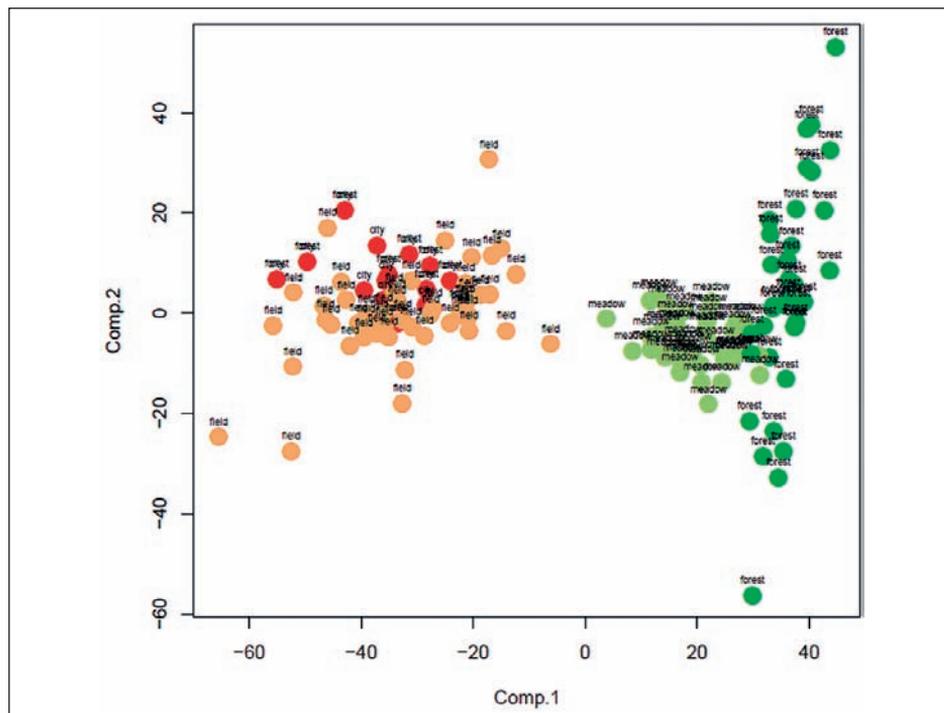
Frekvencijski opseg snimaka	Valna duljina (u mikrometrima)	Prostorna rezolucija (u metrima)
Band 1	0.45-0.52	30
Band 2	0.52-0.6	30
Band 3	0.63-0.69	30
Band 4	0.77-0.9	30
Band 5	1.55-1.75	30
Band 6	10.4-12.5	30
Band 7	2.09-2.35	30
Band 8	0.52-0.9	15

Izvor: US Geological Survey, 2013.



Sl. 1. Rezultati analize glavnih komponenta za 1991. pokazuju dobru spektralnu separabilnost kategorija šume (tamnozeleno), travnjaka (svijetlozeleno), obradivih površina (narančasto) i izgrađenih površina (crveno). Analiza se temelji na 99 ručno odabranih poligona putem 1991 RGB snimke.

Fig. 1 PCA analysis for 1991 shows good spectral separability of the studied categories (forest – dark green, grassland – light green, fields – orange, built-up areas – red). The analysis is based on 99 manually selected polygons from a 1991 RGB composite.



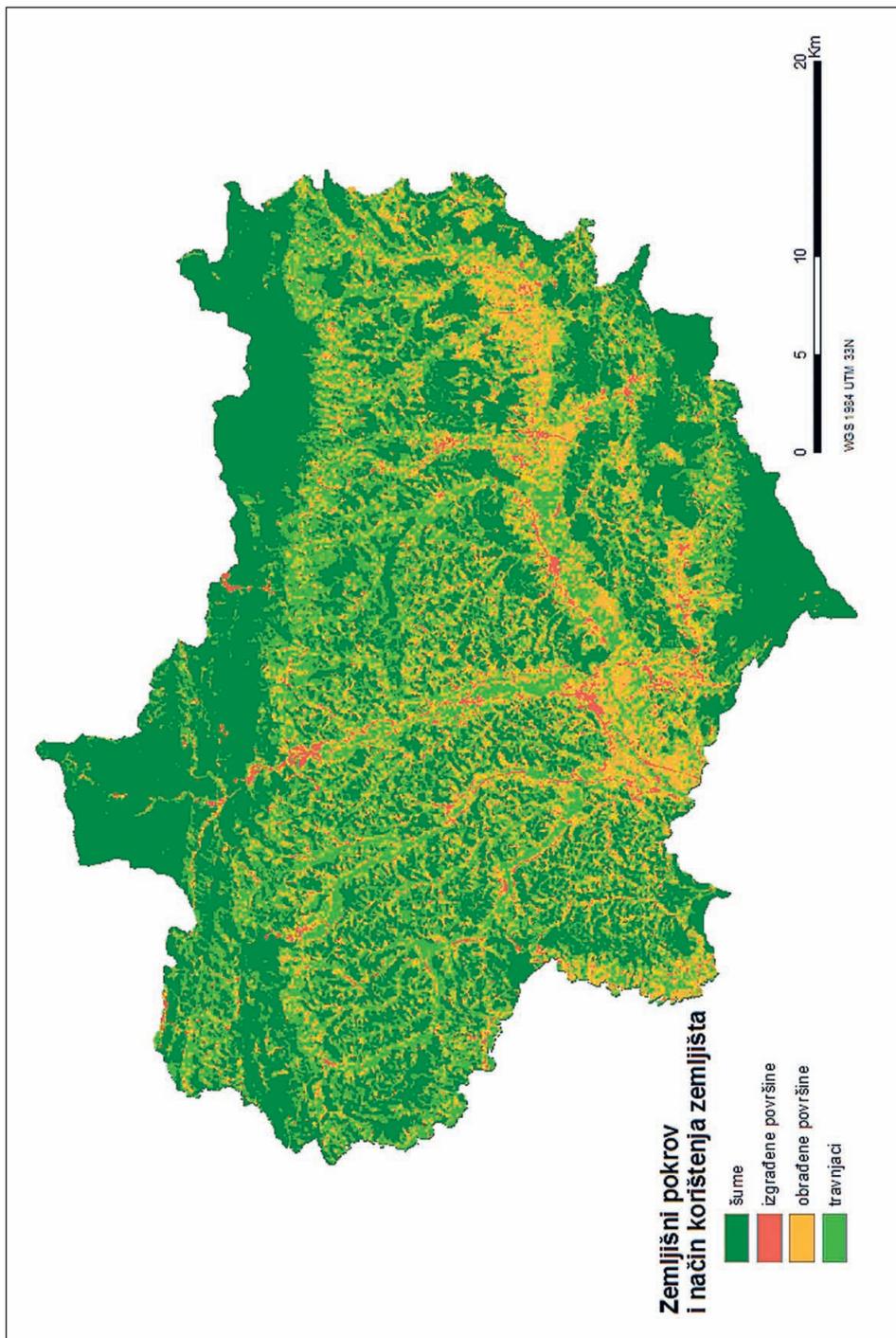
Sl. 2. Rezultati analize glavnih komponenta za 2011. pokazuju nešto jače spektralno miješanje kategorija obrađene površine i izgrađene površine. Analiza se temelji na 145 ručno odabranih poligona putem 2011 RGB snimke.

Fig. 2 PCA analysis for 2011 shows slight spectral mixing between fields and built-up areas. The analysis is based on 145 manually selected polygons from a 2011 RGB composite.

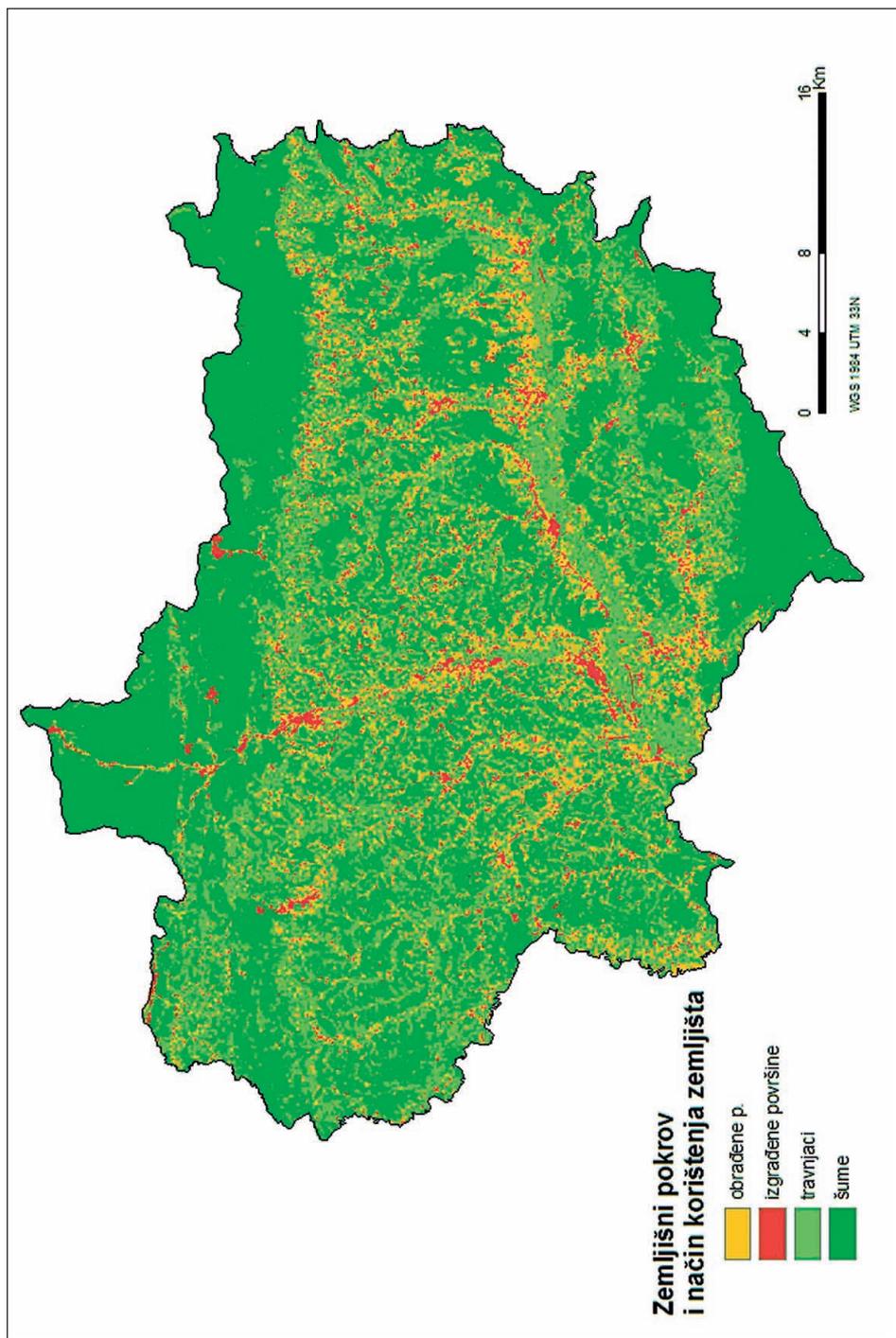
statističkim softverom R. Medijani svakoga pojedinog poligona upotrijebljeni su u analizi glavnih komponenti te prikazani na slikama 4 i 5. Prve četiri komponente objašnjavaju 63,9 %, 30,5 %, 4,99 % i 0,43 % varijance za snimku iz 1991. te 80,8 %, 14,1 %, 4,6 % i 0,3 % varijance za snimku iz 2011.

Takvom eksploratornom spektralnom analizom ustanovljena je potencijalno dobra separabilnost kategorija zemljišta na odabranim snimkama te se pristupilo klasifikaciji snimaka standardnim postupcima digitalne obrade snimaka i analize koji uključuju kompozitne snimke te računanje kvocijenta valnih duljina. Analizirano je četrdesetak kombinacija valnih duljina multispektralnih snimaka, a najtočniji rezultati postignuti su analizom standardne 321 RGB kompozitne snimke u svim slučajevima.

Klasifikacija se provodila putem *K-means* klasifikacije pomoću računalnog softvera TNTmips. Kod *K-means* metode računalni algoritam svrstava svaki piksel snimke u kategoriju prema čijem centroidu analizirani piksel ima najmanju udaljenost u trodimenzionalnome koordinatnom sustavu. Svaka os u koordinatnom sustavu predstavlja vrijednosti emitirane energije analiziranog piksela u tri odabrane valne duljine (crvenoj, plavoj



Sl. 3. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji 1991.
Fig. 3. Land-use and land-cover of the Krapina-Zagorje County in 1991.



Sl. 4. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji 2011.
Fig. 4. Land-use and land-cover of the Krapina-Zagorje County in 2011.

i zelenoj). Unaprijed je odabrano dvanaest spektralnih kategorija te se nakon dvadeset iteracija pristupilo spajanju spektralnih kategorija u informacijske kategorije šume, travnjaka, obrađenih površina i izgrađenih površina. Spajanje se provodilo pomoću usporedbe slojeva sa satelitskim snimkama Google Earth, SPOT-2 i SPOT-5 te analizom histograma, a klasificirana snimka filtrirana je modalnim filtrom veličine 3 x 3 piksela za uklanjanje šumova. Kako klasificirane snimke mogu imati određeni broj izoliranih piksela jedne kategorije lociranih unutar većih područja druge kategorije, oni se uklanjaju modalnim filtrom tako da računalo unutar prozora veličine 3 x 3 piksela pronalazi najčešći element (mod), a pikselima koji odudaraju posljedično mijenja vrijednost, odn. kategoriju.

REZULTATI I RASPRAVA

Točnost (uspješnost) postupka klasifikacije mjerena je pomoću matrice konfuzije, koja se temelji na usporedbi klasificiranih vrijednosti na karti s onima na terenu (Richards i Jia, 1998). Iako je taj postupak jednostavan i vrlo informativan, postoje nedostaci koji proizlaze iz mogućnosti slučajne ispravne klasifikacije određenog broja točaka. Stoga se uz matricu konfuzije često upotrebljava i tzv. kappa koeficijent, koji se računa iz tablice matrice konfuzije formulom:

$$K = (\text{opaženo} - \text{očekivano}) / (1 - \text{očekivano}).$$

„Očekivano” predstavlja procijenjeni doprinos slučajnosti u opaženom postotku točnosti. Računa se pomoću zbrojeva redova i stupaca te umnožaka njihovih marginalnih vrijednosti, odn. onih koje se nalaze izvan dijagonale na kojoj su položene točno klasificirane vrijednosti (Campbell, 2006). Smatra se da vrijednosti kappa koeficijenta između 0,41 i 0,60 predstavljaju umjerenu točnost u klasifikaciji, vrijednosti između 0,61 i 0,80 visoku točnost, a vrijednosti više od 0,8 vrlo visoku točnost klasifikacije (Viera i Garrett, 2005).

Za Landsatove snimke ciljana točnost klasifikacije trebala bi iznositi 85 %, a točnost interpretacije svih kategorija trebala bi biti podjednaka (Lillesand i sur., 2008). No Trodd (1995) analizirao je metode računanja uspješnosti klasifikacije satelitskih snimaka u 25 znanstvenih radova objavljenih u međunarodnim časopisima 1994. i 1995. te navodi podatak o prosječnoj postignutoj točnosti klasifikacije od 59 %. Karte izrađene u sklopu Međunarodnog programa za geosferu i biosferu (IGBP) ostvarile su prosječnu točnost od 67 %, što je mnogo manje od ciljanih 85 % točnosti. Niz drugih radova također ostvaruje niže točnosti u klasifikaciji, a varira i postignuta točnost pojedinih kategorija, koje se klasificiraju s točnošću od 40 % do 100 %.

Najviša razina točnosti za čitavu Krapinsko-zagorsku županiju (Landsatove snimke) u ovom radu iznosi 82 % za 2011. godinu, odn. 75 % za 1991. Naknadnom analizom ručno je mijenjana kategorija određenog broja piksela za koje je utvrđena pogrešna klasifikacija, te je završna razina točnosti nešto viša.

Tab. 2. Matrica konfuzije Krapinsko-zagorske županije za 2011. na temelju 502 nasumično odabrane točke
 Tab. 2 *Error matrix for the 2011 Krapina-Zagorje County analysis based on 502 randomly selected points*

Klasificirano kao:	Stvarna situacija:				
	Šuma	Travnjak	Obradive p.	Izgrađene p.	Greška uključenja
Šuma	181	9	0	0	190 (4.8%)
Travnjak	16	107	8	0	131 (19.4%)
Obradive p.	7	16	86	15	124 (30.6%)
Izgrađene p.	1	4	13	39	57 (31.5%)
Greška isključenja	205 (11.7%)	136 (21.3%)	107 (19.6%)	54 (27.7.1%)	413/502 (82%)

Kappa koeficijent = 0,75 s intervalom pouzdanosti od 95 %

Tab. 3. Matrica konfuzije Krapinsko-zagorske županije za 1991. na temelju 414 nasumično odabranih točaka
 Tab. 3 *Error matrix for the 1991 Krapina-Zagorje County analysis based on 414 randomly selected points*

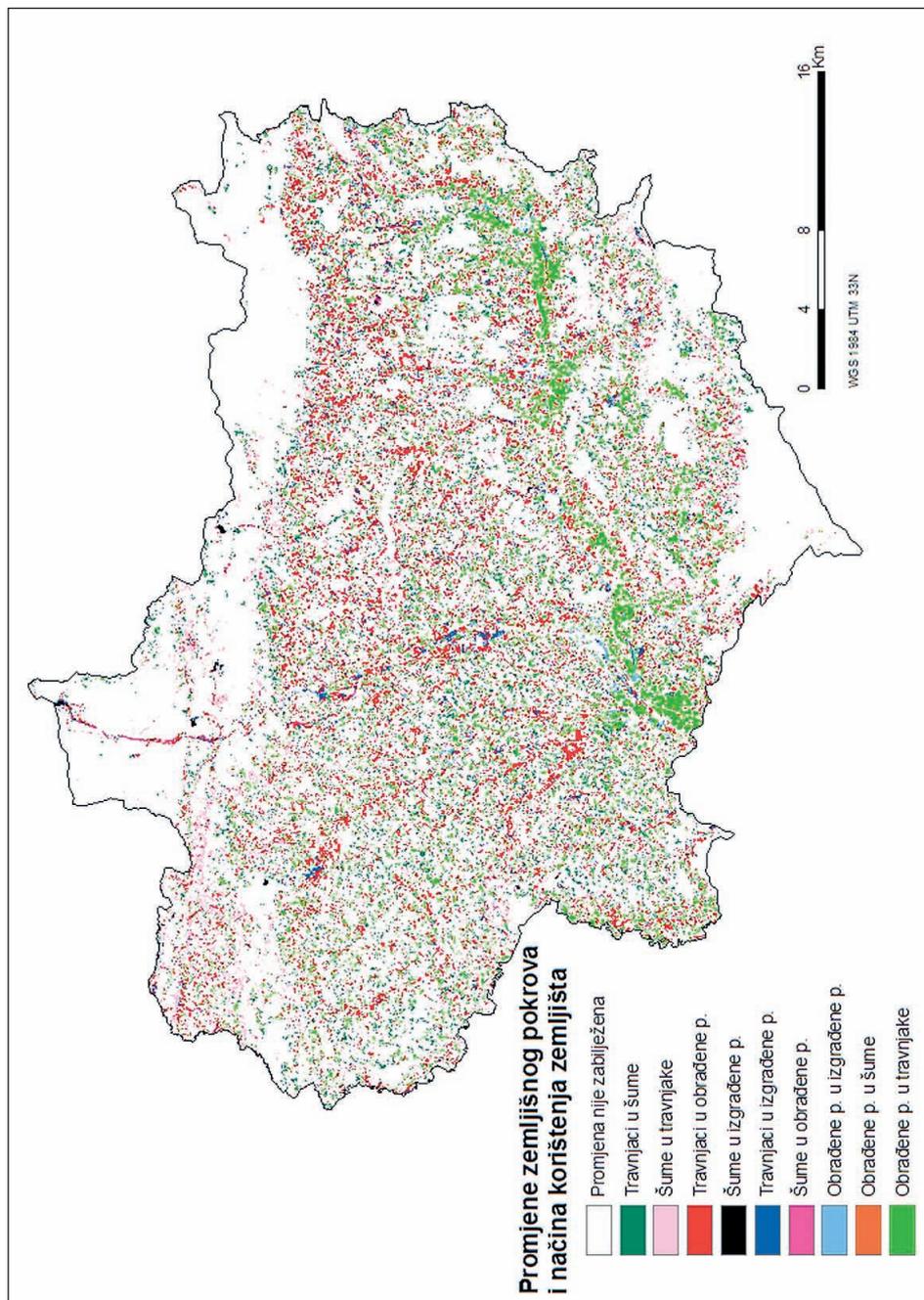
Klasificirano kao:	Stvarna situacija ¹ :				
	Šuma	Travnjak	Obradive p.	Izgrađene p.	Greška uključenja
Šuma	114	24	3	1	142 (19.7%)
Travnjak	16	97	3	4	120 (19.2%)
Obradive p.	2	11	79	12	104 (24%)
Izgrađene p.	4	2	21	21	48 (57%)
Greška isključenja	136 (17%)	134 (27.7%)	106 (25.5%)	38 (44.7%)	311/414 (75%)

Kappa koeficijent = 0,65 s intervalom pouzdanosti od 95 %

¹ Matrica konfuzije rađena je pomoću topografske karte Hrvatske mjerila 1:100 000 iz 1991. te 321 RGB kompozitne snimke Landsat i SPOT-2

Iz priloženih tablica vidljivo je da su se najveće pogreške javljale kod klasifikacije obradenih površina i izgrađenih područja, na što je upućivala i analiza glavnih komponenta. Glavnina miješanja signala dolazila je kod tla bez pokrova (izorane zemlje), koje ima vrlo sličan sastav kao i građevni materijal.

U oba promatrana razdoblja osnovne kategorije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u županiji gotovo su iste. Tako šume čine 46 % teritorija Krapinsko-zagorske županije 1991. i 44,5 % teritorija županije 2011. Ukupno gledano, najstabilniji je i najmanje izmijenjen zemljišni pokrov jer u promatranome dvadesetogodišnjem razdoblju više od 85 % šumskog pokrova uopće nije izmijenjeno. Prema zastupljenosti slijede travnjaci, koji zauzimaju oko 36 % površine 1991. i oko 35 % površine 2011. Obradene površine 1991. zauzimaju 16 % površine Krapinsko-zagorske županije, da bi se 2011. zabilježilo blagi porast na 17,5 %. Izgrađene površine zauzimaju 2 % površine županije 1991. i 3 % površine 2011. Završna analiza promjena dobivena je tzv. delta usporedbom, gdje je



Sl. 5. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1991. do 2011.
Fig. 5. Land-use and land-cover changes in the Krapina-Zagorje County from 1991 to 2011.

Tab. 4. Procesi promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta Krapinsko-zagorske županije od 1991. do 2011. (apsolutne i relativne vrijednosti)

Tab. 4 Land-use and land-cover changes in the Krapina-Zagorje County from 1991 to 2011 (absolute and relative values)

Promjena	Površina (u km ²)	Udio promjene
Pretvaranje travnjaka u obrađene površine	95,5	32%
Zarastanje obrađenih površina u travnjake	77,5	26%
Pretvaranje šumskih površina u travnjake	51	17%
Zarastanje travnjaka u šumske površine	38,5	13%
Izgrađnja na obrađenim površinama	15	5%
Izgrađnja na travnjacima	9	3%
Ostale promjene	12,5	4%

jednostavnom matematikom vrijednosti pojedinog klasificiranog piksela iz 2011. oduzeta vrijednost njegova parnjaka iz 1991.

Rezultati istraživanja potvrdili su prvu hipotezu – u promatranom razdoblju došlo je do vidljive promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji. Od ukupno 1224 km² obuhvaćenih daljinskim istraživanjima 925 km² (75,5 %) površine ostalo je neizmijenjeno, uglavnom travnjačke i šumske površine. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta opažene su na 299 km² teritorija Krapinsko-zagorske županije, što obuhvaća 24,5 % županije. Glavne su promjene pretvaranje travnjaka u obrađene površine i obrađenih površina u travnjake. Slijede promjene u šumskom pokrovu te širenje izgrađenih površina (tab. 4). Analizom rezultata potvrđena je i druga hipoteza – većina promjena dogodila se na poljoprivrednom zemljištu. Preostale dvije hipoteze dijelom su potvrđene – iako su razlike malene, proces pretvaranja travnjaka u obrađene površine značajniji je od procesa zarastanja obrađenih površina u travnjake i šume, ali je primijećen i relativno značajan proces pretvaranja šuma u travnjake.

Dobiveni rezultati pružaju inicijalni uvid u čimbenike koji su doveli do opaženih promjena. Tako su slični trendovi pretvaranja obrađenih površina u travnjake ustanovljeni prijašnjim analizama koje se bave pojavom ugara i neobrađenih površina u SR Hrvatskoj pod utjecajem industrijalizacije i urbanizacije. Vresk (1971) prikazuje karakteristične promjene u iskorištavanju zemljišta u Varaždinskom kraju koje prate procese deagrarizacije šezdesetih godina prošlog stoljeća, a to su tendencije napuštanja oraničnih površina i porast površina livada. Crkvenčić (1981) s druge strane utvrđuje oscilaciju broja ugara i neobrađenih površina u regiji Središnje Hrvatske od 1970. do 1979., ali naglašava problematiku vođenja statističkih podataka. Na razini SR Hrvatske Crkvenčić (1982) ipak navodi podatak o povećanju udjela oranica i vrtova pod ugarima i neobrađenim površinama te ih također dovodi u vezu s procesima napuštanja poljoprivredne djelatnosti i odljeva dijela stanovnika u gradska i prigradska područja. Navedeni procesi napuštanja obrađenih površina i porasta udjela travnjačkih površina ustanovljeni su i u ovom istraživanju u nekim dijelovima Krapinsko-zagorske županije te se mogu povezati s nastavkom trendova

deagrarizacije i deruralizacije, no za to su potrebne detaljnije socioekonomske analize. S druge strane, primjećuje se i obratni proces širenja obrađenih površina na račun travnjaka.

ZAKLJUČAK

Od 1991. do 2011. u Krapinsko-zagorskoj županiji došlo je do vidljive promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Neki dijelovi županije karakterizirani su jačim procesima poljoprivredne intenzifikacije, dok se u drugima opažaju suprotni procesi. Tako je u ovom istraživanju najintenzivniji proces napuštanja obrađenih površina i porast udjela travnjaka opažen u općinama i Gradovima Konjščina, Oroslavje, Hum na Sutli i Zlatar-Bistrica. S druge strane, u općinama i radovima Mače, Bedekovčina i Zabok bilježe se najintenzivniji procesi širenja obrađenih površina na račun travnjaka. Šume pokazuju relativnu stabilnost, iako je primijećen proces deforestacije. Takve unutarregionalne razlike upućuju na činjenicu da se promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta ne mogu objasniti jednim ili s nekoliko jednostavnih jednosmjernih čimbenika, nego zahtijevaju složeniju analizu. Mogući čimbenici promjene uključuju demografske i sociokulturne varijable, ali, nesumnjivo, i reljefna obilježja.

Kao posljedica inherentne kompleksnosti promjena svaki pejzaž u prošlosti najčešće se mijenjao neplanirano. To je često značilo prepuštanje razvojnoj sukcesiji, pa i neprikladnoj sanaciji, degradaciji i gubljenju identiteta. S druge strane, EU obvezuje na uspostavu učinkovite provedbe i mjere zaštite kulturnih pejzaža (Andlar i sur., 2011). Prema krajobraznoj regionalizaciji Hrvatske, područje Krapinsko-zagorske županije svrstano je u Sjeverozapadnu Hrvatsku (Bralić, 1999). Kao posebna vrijednost tog pejzaža ističu se slikoviti, uglavnom kultivirani rebrasti reljef, vinogradi i šume, upravo one komponente pejzaža koje bilježe intenzivne promjene. Proces analizirani u ovom radu, zajedno s vrlo malenom prosječnom veličinom posjeda u županiji i dugotrajnim nepovoljnim demografskim promjenama, veliki su izazov u procesu restrukturiranja poljoprivredne proizvodnje, pa i očuvanja kulturnih pejzaža po kojima je Krapinsko-zagorska županija prepoznata u turizmu.

Snimke SPOT analizirane u ovom radu potječu od programa ISIS (*Incentive for the Scientific use of Images from the SPOT system*) francuskoga Nacionalnog centra za svemirska istraživanja (CNES – *Centre National d'Etudes Spatiales*). Rad je izrađen u sklopu projekta „Promjene okoliša i kulturni pejzaž kao razvojni resurs” uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske.

LITERATURA

- Anderson, James R., Hardy, Ernest E., Roach, John T., Witmer, Richard E., 1976: A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data, *Geological Survey Professional Paper* 964, 1-41.
- Campbell, James B., 2006: *Introduction to Remote Sensing*, The Guilford Press.
- Crkvenčić, I., 1951: O agrarnoj strukturi gornjeg potječja Bednje, *Geografski glasnik* 13 (1), 101-114.
- Crkvenčić, I., 1957: Prigorje planinskog niza Ivančice, *Geografski glasnik* 19 (1), 9-56.
- Crkvenčić, I., 1958: Prigorje planinskog niza Ivančice, *Geografski glasnik* 20 (1), 1-48.
- Crkvenčić, I., 1981: Socijalnogeografski aspekti pojave ugara, odnosno neobrađenih oranica, *Geografski glasnik* 43 (1), 95-106.
- Crkvenčić, I., 1982: Pojava ugara i neobrađenih oranica i promjene brojnosti stanovništva SR Hrvatske u posljednjih dvadeset godina, *Geografski glasnik* 44 (1), 3-21.
- Čuka, A., Magaš, D., 2003: Socio-geografska preobrazba otoka Ista, *Geoadria* 8 (2), 67-86.
- Faričić, J., Magaš, D., 2004: Suvremeni socio-geografski problem malih hrvatskih otoka – primjer otoka Žirja, *Geoadria* 9 (2), 125-158.
- Fürst-Bjeliš, B., 2002: Reading the Venetian Cadastral Record: An Evidence for the Environment, Population and Cultural Landscape of the 18th century Dalmatia, *Hrvatski geografski glasnik* 65 (1), 47-62.
- Fürst-Bjeliš, B., Lozić, S., 2006: Environmental impact and change on the Velebit Mountain, Croatia: an outline of the periodization, u: *Views from the South, Environmental Stories from the Mediterranean World* (ed. Marco Armiero), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Studi sulle Societa del Mediterraneo, Napulj, 127-139.
- Fürst-Bjeliš, B., Cvitanović, M., Petrić, H., 2011a: Što je povijest okoliša u Hrvatskoj?, u: *Što je povijest okoliša?*, Hughes, D. J. (ed. Fürst-Bjeliš, B.), Disput, Zagreb.
- Fürst-Bjeliš, B., Lozić, S., Cvitanović, M., Durbešić, A., 2011b: Promjene okoliša središnjeg dijela Dalmatinske zagore od 18. stoljeća, u: *Zagora između stočarsko-ratarske tradicije te procesa litoralizacije i globalizacije* (eds. Matas, M., Faričić, J.), Sveučilište u Zadru, Kulturni sabor Zagore, Ogranak Matice hrvatske Split, 117-130.
- Geist, H., McConnel, W., Lambin, E.F., Moran, E., Alved, D., Rudel, T., 2006: Causes and Trajectories of Land Use/Cover Change, u: *Land-Use and Land-Cover Change* (eds. Lambin, E. F., Geist, H. J.), Springer, Berlin, 41-70.
- Geoghegan, J., Pritchard JR, L., Ognkva-Himmelberger, Y., Chowdhury, R.R., Sanderson, S., Turner II, B.L., 1998: "Socializing the Pixel" and "Pixelizing the Social" in Land-Use and Land-Cover Change, u: *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*, Committee on the Human Dimensions of Global Environmental Change (National Research Council).
- Jensen, J., 2007: *Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective*, Prentice Hall.
- Lambin, E.F., Geist, H., Rindfuss, R.R., 2006: Local Processes with Global Impacts, u: *Land-Use and Land-Cover Change* (eds. Lambin, E.F., Geist, H. J.), Springer, Berlin, 1-8.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipmann, J.W., 2008: *Remote Sensing And Image Interpretation*, Sixth Edition, John Wiley and Sons, USA.
- Magaš, D., Faričić, J., Lončarić, R., 2006: Geografske osnove društveno-gospodarske revitalizacije Unija, *Geoadria* 11 (2), 173-239.
- Magaš, D. Faričić, J., 2002: Problemi suvremene socio-geografske preobrazbe otoka Oliba, *Geoadria* 7 (2), 35-62.
- Malić, A., 1983: Regionalne razlike i promjene površina kategorije iskorištavanja poljoprivrednog zemljišta SR Hrvatske, *Geografski glasnik* 45 (1), 55-72.
- McKibben, B., 1989: *The End of Nature*, Random House Trade Paperbacks, New York.

Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1991. do 2011.

- Plaščak, E., 2009: Kretanje posjeda poljoprivrednog zemljišta na području naselja Osijeka od proglašenja slobodnog kraljevskog grada do danas, *Anali Zavoda za znanstveni i umjetnički rad u Osijeku* 25, 11-22.
- Rayner, S., Bretherton, F., Buol, S., Fosberg, M., Grossman, W., Houghton, R., Lal, R., Lee, J., Lonergan, S., Olson, J., Rockwell, R., Sage, C., Van Imhoff, E., 1994: A Wiring Diagram for the Study of Land Use/Cover Change: Report of Working Group A, u: *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective* (eds. Meyer, W. B., Turner II, B. L.), Cambridge University Press, 13-53.
- Richards, John A., Jia, X., 1998: *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer.
- Spevec, D., 2011: *Prostorne značajke demografskih resursa i potencijala Krapinsko-zagorske, Varaždinske i Međimurske županije*, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb.
- Turner II, B.L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., Leemans, R., 1995: Land Use and Land-Cover Change Science Research Plan, *JGPB Report No. 35 and HDP Report No. 7*, 132.
- Trodd, N.M., 1995: Uncertainty in land cover mapping for modelling land cover change, u: *Proceedings of RSS95 – Remote sensing in action*, Nottingham: Remote Sensing Society, 1138-1145.
- Viera, A.J., Garret, J.M., 2005: Understanding interobserver agreement: the kappa statistic, *Family Medicine* 37 (5), 360-363.
- Vresk, M., 1968: Tendencije suvremene evolucije prenaseljenog agrarnog kraja – primjeri iz okolice Varaždina, *Geografski glasnik* 30 (1), 143-154.

IZVORI

- Naselja i stanovništvo RH od 1857 do 2001. godine*, Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, Zagreb, 2005.
- Prostorni plan Krapinsko-zagorske županije 2002.*, Krapinsko – zagorska županija, Upravni odjel za prostorno planiranje, zaštitu okoliša i graditeljstvo, Zavod za prostorno uređenje.
- The Landsat program, <http://landsat.gsfc.nasa.gov>, 20.1.2013.
- US Geological Survey, http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php, 24.2.2013.

SUMMARY

Land-use and Land-cover Changes in the Krapina-Zagorje County from 1991 to 2011

Marin Cvitanović

People live on land and a significant part of their activities focuses especially on terrestrial ecosystems, making the land sub-system central to the study of interaction between people and the environment. Land-use patterns reflect the character of a society's interaction with its physical environment, a fact that becomes obvious when it is possible to see different economic and social systems occupying the same or similar environments. The selected region in this study, the Krapina-Zagorje County in Northern Croatia, has gone through dramatic societal and economic changes in the studied period. In 1991 the socialist system collapsed, and the country went through the process of economic transition. Such dramatic changes are expected to leave their mark on the landscape of the region.

The changes in land-use and land-cover in the Krapina-Zagorje County from 1991 to 2011 were analyzed via remote sensing. Digital images used in the research were from Landsat TM, Landsat ETM+, SPOT-2 and SPOT-5 satellites. With the selection of anniversary dates (summer months), possible errors due to phenological changes were avoided. Subsequently, the images were spectrally analyzed using the ESRI ArcGIS 9.3 and TNTmips software packages. The methods used were unsupervised K-means and Fuzzy-C classification and the overall level of correctness achieved was 82 % for the 2011 image and 75 % for the 1991 image.

Out of 1224 km² of the territory which was analysed via remote sensing image, 925 km² (75.5 %) of the observed land-use and land-cover remained unchanged, mostly forests and grasslands. The changes occurred on 299 km² of the surface, with major trajectories being from grasslands to arable land (32 % of total change), arable land to grassland (26 %), forest to grassland (17 %) and grasslands to forests (13 %). It encompasses 88 % of the total change in land-use and land-cover. Other changes are grasslands to built-up areas, forest to arable land, arable land to forest and forest to built-up areas. In total, around one quarter of the Krapina-Zagorje County surface has shown a change in land-use and land-cover. For such a small county and for a relatively short period of time it seems a lot, but taking into consideration that almost 60 % of the overall change is grassland changing to arable land and arable land changing to grassland, the results are more or less as expected. Overall, the built-up area has doubled in surface, forest have decreased in size by little over 1 %, grassland areas have slightly decreased in size, and arable land has slightly increased. Changes in land-use and land-cover vary among municipalities in the region, suggesting that not only differences in socioeconomic conditions and management practices, but physical characteristics such as slope and altitude also influenced the observed changes.

Primljeno (Received): 03-10-2013

Prihvaćeno (Accepted): 31-01-2014

Dr. sc. **Marin Cvitanović**
Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek
Marulićev trg 19/II, 10 000 Zagreb
mcvitan@geog.pmf.hr

