

Primljeno / Received  
21-11-2016 / 2016-11-21Prihvaćeno / Accepted  
12-12-2016 / 2016-12-12Tomislav Jogun  
Katarina Pavlek  
Tomislav Belić  
Smiljan Buhin  
Nino Malešić

## Promjene zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj od 1981. do 2011. godine

### Land cover changes in northern Croatia from 1981 to 2011

Promjene zemljišnog pokrova vidljiv su odraz promjena u društvu, a važno ih je proučavati zbog njihovih potencijalno negativnih posljedica na okoliš i stanovništvo. Predmet su ovoga istraživanja promjene zemljišnog pokrova na području sjeverne Hrvatske (Međimurska, Varaždinska i Koprivničko-križevačka županija) u razdoblju između 1981. i 2011. godine, tijekom kojega je došlo do velike promjene u društveno-gospodarskom sustavu. Metode daljinskih istraživanja temeljene na digitalnim snimkama satelitskog sustava Landsat omogućile su nadziranu klasifikaciju zemljišnog pokrova u četiri klase: izgrađeno, poljoprivredno zemljište, prirodna vegetacija i voda. Najvažnijim procesima promjena pokazali su se porast udjela prirodne vegetacije i izgrađenog zemljišta te smanjenje udjela poljoprivrednih površina. Rezultati istraživanja pokazali su da se intenzitet promjena zemljišnog pokrova mijenjao ovisno o reljefnim obilježjima područja. Porast prirodne vegetacije bio je najintenzivniji u brežuljkastim područjima blagog i srednjeg nagiba te u poljima rijeka Drave i Mure. U gusto naseljenim ravničarskim područjima najčešći je bio porast izgrađenog zemljišta zbog utjecaja (sub)urbanizacije.

**Ključne riječi:** promjene zemljišnog pokrova, Landsat, nadzirana klasifikacija, satelitske snimke, sjeverna Hrvatska

Changes in land cover are a distinct reflection of alterations within society, and the importance of research on land cover changes can be seen in the potentially negative consequences they have on the environment and population. The subject matter of this particular study consists of the land cover changes in the territory of northern Croatia (Međimurje, Varaždin, and Koprivnica-Križevci Counties) between 1981 and 2011; during which time a significant transformation of the socio-economic system occurred. Methods of remote sensing based on digital images from the Landsat satellite system enabled a supervised classification of land cover into four classes: built-up; agricultural; natural vegetation; and water. The most significant processes of change were an increase in the share of natural vegetation and built-up land, and a decrease in the share of agricultural land. According to the results of the study, the intensity of land cover changes depended on the relief characteristics of the area. The increase in natural vegetation was most intense in hilly areas with mild and medium slopes, and in the flood plains of the rivers Drava and Mura. In densely populated plain areas, the most significant process was the increase in built-up land due to (sub)urbanisation.

**Key words:** land cover changes, Landsat, satellite images, supervised classification, northern Croatia

## Uvod

Zemljišni pokrov, kao sastavni dio okoliša, označava prirodna obilježja Zemljine površine i dijela neposredno ispod površine (vegetacija, voda, tlo, građevine i sl.) i uglavnom je u domeni prirodnih znanosti (Brown i Duh, 2004; Cvitanović, 2014b). Budući da su promjene zemljišnog pokrova vidljiv odraz interakcije ljudi s okolišem, one su pokazatelj i socioekonomskih te demografskih promjena. Stoga istraživanja promjena zemljišnog pokrova iz sfere prirodnih znanosti prelaze u interdisciplinarna i multidisciplinarna područja tražeći znanja i vještine iz različitih struka, među kojima se osobito ističu geografija i geoinformatika (Jenerette i Wu, 2001; Brown i dr., 2002). Istraživanja promjena pokrova zemljišta posebno su potaknuta razvojem računalne tehnologije, metoda daljinskih istraživanja i geografskih informacijskih sustava (GIS-a) (Manson, 2009).

Satelitske snimke prikupljene metodama daljinskih istraživanja bogat su izvor prostornih podataka za mnoge znanstvene discipline uključujući i geografiju. Njihove su prednosti u tome što omogućuju relativno brz i neposredan uvid u stanja i procese na Zemljinoj površini, a budući da satelitski slikovni sustavi kontinuirano snimaju Zemlju četiri i pol desetljeća, mogu se analizirati povijesne promjene zemljišnog pokrova na regionalnoj i globalnoj razini. Prisutni su pozitivni trendovi povećanja kvalitete snimaka uz istodobno smanjenje financijskih i vremenskih zahtjeva istraživanja (Campbell, 2006).

Snažan uzlet u istraživanjima promjena zemljišnog pokrova metodama daljinskih istraživanja postiže se tijekom posljednjih dvadesetak godina. Tomu svjedoči veliki broj radova o područjima u kojima su urbanizacija, demografski rast i gospodarski razvoj izrazito promijenili zemljišni pokrov u smjeru intenzifikacije i deforestacije (Lambin i dr., 2003; Fukushima i dr., 2007; Dewan i Yamaguchi, 2009; Jiang i dr., 2011; López-Carr i Burgdorfer, 2013). Područja istočne i srednje Europe u kojima je tijekom 1990-ih došlo do raspada socijalističkog uređenja bilježe divergentne procese promjena zemljišnog pokrova (izgradnja, intenzifikacija, ekstenzifikacija, reforestacija, deforestacija) u uvjetima urbanizacije, privatizacije, gospodarske krize,

## Introduction

Land cover, as an integral part of the environment, includes the natural features of the Earth's surface and that which sits directly on it (vegetation, water, soil, buildings, etc.). It is mainly in the domain of natural sciences (Brown and Duh, 2004; Cvitanović, 2014b). Since changes in land cover are a visible reflection of human interaction with the environment, they are an indicator of socio-economic and demographic changes. Therefore, research of land cover changes goes beyond the sphere of natural sciences and enters interdisciplinarity / multidisciplinarity, demanding knowledge and skills from various fields – especially geography and geoinformatics (Jenerette and Wu, 2001; Brown et al., 2002). Research of land cover changes has been particularly inspired by the development of computer technology, remote sensing methods, and geographic information systems (GIS) (Manson, 2009).

Satellite images acquired using remote sensing methods are a rich source of spatial data for many scientific disciplines, including geography. Their advantages are that they provide relatively fast and direct insight into situations and processes on the Earth's surface, and, because satellite imaging systems have been continuously observing the Earth for four and half decades, historical land cover changes at the regional and global levels can be easily analysed. The positive trends of increasing image quality along with cheaper and more time-efficient research are also important factors (Campbell, 2006).

A significant advancement in research of land cover changes through remote sensing methods has been achieved during the last twenty years. This is evident from an increasing number of papers dealing with the areas where urbanisation, demographic growth, and economic development have remarkably changed land cover, with trends of intensification and deforestation (Lambin et al., 2003; Fukushima et al., 2007; Dewan and Yamaguchi, 2009; Jiang et al., 2011; López-Carr and Burgdorfer, 2013). The regions of Eastern and Central Europe, following the demise of the socialist system in the early 1990s, have experienced divergent processes of land cover change (construction, intensification, extensification, reforestation, deforestation) under conditions of

depopulacije i napuštanja poljoprivrednog zemljišta (Baumann i dr., 2012; Prishchepov i dr., 2012; Alcantara i dr., 2013; Griffiths i dr., 2013; Cvitanović i dr., 2016).

U domaćoj literaturi prva detaljnija istraživanja promjena načina korištenja zemljišta i zemljišnog pokrova počela su pedesetih godina prošlog stoljeća (Crkvenčić, 1957; 1958; Rogić, 1957; 1958). Dominantni procesi bili su intenzifikacija poljoprivrednog zemljišta i deforestacija zbog demografskog rasta i agrarnih reformi. Promjene agrarnog pejzaža analizirane su uglavnom na temelju brojčanih tabličnih podataka, a znatno rjeđe na temelju katastarskih planova. Na slične metode nailazi se i u većini kasnijih radova. Vresk (1968; 1972) i Crkvenčić (1982) proučavali su porast zemljišta pod ugarom, što su objasnili deagrarijizacijom. Malić (1983) je analizirao promjene načina korištenja zemljišta na nacionalnoj razini, bez ulaženja u njihove uzroke. Fürst-Bjeliš i dr. (2011) izdvojili su reforestaciju kao najznačajniju promjenu zemljišnog pokrova u Dalmatinskoj zagori, koju objašnjavaju litoralizacijom. Tek se u posljednjih nekoliko godina javljaju radovi u kojima se rabe geografski informacijski sustavi i metode daljinskih istraživanja u analizi promjena zemljišnog pokrova. Valozić i Cvitanović (2011) proučavali su reforestaciju i deforestaciju u Parku prirode Medvednica. Durbešić (2012) je provela tipizaciju pejzaža južne Svilaje, gdje su glavni trendovi promjene – melioracija, degradacija šume, ekstenzifikacija, intenzifikacija i nestanak tipa pejzaža – modelirani fizičko-geografskim varijablama. Horvat (2013) je proučavao promjene u Međimurskoj županiji od 1978. do 2007. godine, bez egzaktnog objašnjavanja njihovih uzroka. Cvitanović (2014b) je integriranim pristupom proučavao promjene načina korištenja zemljišta i zemljišnog pokrova u Krapinsko-zagorskoj županiji prije i poslije raspada socijalizma, odnosno u postsocijalističkom razdoblju (Cvitanović, 2014a). Najveće su promjene zabilježene na poljoprivrednom zemljištu i travnjacima (poljoprivredna intenzifikacija i sukcesija) u nižim visinskim zonama pod utjecajem deagrarijizacije, deruralizacije, urbanizacije, porasta obrazovanja itd. U istom prostorno-vremenskom okviru kao prethodno istraživanje Cvitanović i dr. (2016) usmjerili su se na promjene šumskog pokro-

urbanisation, privatisation, economic crisis, depopulation, and farmland abandonment (Baumann et al., 2012; Prishchepov et al., 2012; Alcantara et al., 2013; Griffiths et al., 2013; Cvitanović et al., 2016).

In Croatian literature, the first detailed studies of land use and land cover changes were conducted in the 1950s (Crkvenčić, 1957; 1958; Rogić, 1957; 1958). The prevailing processes were intensification of agricultural land and deforestation due to demographic growth and agrarian reforms. Analyses of changes in the agricultural landscape were mainly based on numerical table data, and much less on cadastral maps. Similar methods were used in most of the later works. Vresk (1968; 1972) and Crkvenčić (1982) studied expansion of fallow land, which was explained with deagrarianisation. Malić (1983) analysed land use changes at the national level, without dealing with their causes. Fürst-Bjeliš et al. (2011) emphasised reforestation as the most important land cover change in the Dalmatian hinterland, which was explained with littoralisation. Geographic information systems and remote sensing methods have only recently become widely used in research of land cover changes. Valozić and Cvitanović (2011) studied reforestation and deforestation within the Medvednica Protected Area. Durbešić (2012) made a typology of the landscapes of Southern Svilaja, where the main trends of change – melioration, forest degradation, extensification, intensification, and disappearance of a landscape type – were modelled with physical-geographical variables. Horvat (2013) investigated changes in Međimurje County from 1978 to 2007, without providing an exact explanation of their causes. Cvitanović (2014b) used an integrated approach to research of land use and land cover changes in Krapina-Zagorje County before and after the fall of socialism, isocialism, as well as in the post-socialist era (Cvitanović, 2014a). The largest changes were detected on agricultural land and grassland (agricultural intensification and succession) in lower elevation zones, affected by deagrarianisation, deruralisation, urbanisation, education growth, etc. Cvitanović et al. (2016) focused on forest cover changes in the same spatio-temporal frame as in the previous research, where reforestation affected by deagrarianisation and deruralisa-

va, gdje su detektirali reforestaciju pod utjecajem deagrarizacije i deruralizacije. Valozić (2014; 2015) je klasificirao zemljišni pokrov na području Grada Zagreba i doveo njegovu strukturu u vezu s tipovima urbanih, urbaniziranih i ruralnih naselja.

Nekontrolirane promjene zemljišnog pokrova mogu dovesti do pada poljoprivredne proizvodnje, smanjenja bioraznolikosti, degradacije kulturnih pejzaža i gubitka prostornog identiteta (Rey Benayas i dr., 2007). Prethodno istraženi društveno-gospodarski procesi u razdoblju prije i poslije raspada socijalizma te prirodni uvjeti koji su ostavili trag na zemljišnom pokrovu odvijali su se i u sjevernoj Hrvatskoj. Ipak, to područje na međuzupanijskoj razini dosad nije bilo objekt proučavanja procesa promjena zemljišnog pokrova i njihova tumačenja. Prostorni planovi ili analize vezane za regionalni razvoj moraju uzeti u obzir procese vezane uz promjene zemljišnog pokrova promatranog prostora. Rezultati ovoga rada omogućuju uvid u navedenu problematiku i služe kao segment u sintezi znanja u svrhu izrade strateških razvojnih dokumenata analiziranog prostora (prostornih planova, strategija razvoja, strategija zaštite okoliša) s ciljem njegove optimalne valorizacije te prosperitetnog, usklađenog i održivog razvoja.

Osnovni su ciljevi istraživanja detektirati zemljišni pokrov na području sjeverne Hrvatske za 1981. i 2011. godinu nadziranom klasifikacijom digitalnih snimka satelitskog sustava Landsat te odrediti promjene zemljišnog pokrova u navedenom razdoblju. Ustanovljene promjene će se kvantitativno i vizualno analizirati u odnosu na društveno-geografske i prirodno-geografske elemente pomoću GIS-a. Iz navedenih ciljeva i na temelju dosadašnjeg poznavanja problematike može se pretpostaviti da se zemljišni pokrov u sjevernoj Hrvatskoj prilično promijenio između 1981. i 2011. godine, što je moguće pouzdano odrediti nadziranom klasifikacijom digitalnih snimka satelitskog sustava Landsat. Očekuje se da će rezultati pokazati kako je najizrazitija vrsta promjene zemljišnog pokrova povećanje udjela prirodne vegetacije te da se količina promjena zemljišnog pokrova mijenja ovisno o reljefnim obilježjima istraživanog područja.

tion was detected. Valozić (2014; 2015) classified land cover in the area of the City of Zagreb and related its structure with types of urban, urbanised, and rural settlements.

Uncontrolled land cover changes can lead to decreased agricultural production, reduction of biodiversity, degradation of cultural landscapes, and the deterioration of spatial identity (Rey Benayas et al., 2007). Previously studied socio-economic processes in the period before and after the fall of socialism, and the natural factors reflected in land cover, also took place in northern Croatia. However, the processes of land cover change and their interpretation have not yet been the object of research in the area, on an inter-county level. Spatial plans or analyses related to regional development must take into account the processes of land cover change in the observed area. The results of this paper provide insight into the problem and serve as a segment in the synthesis of knowledge, in order to develop strategic development documents for the research area (spatial plans, development strategies, environmental strategies); with the aims of optimal valorisation and prosperous, harmonious, and sustainable development.

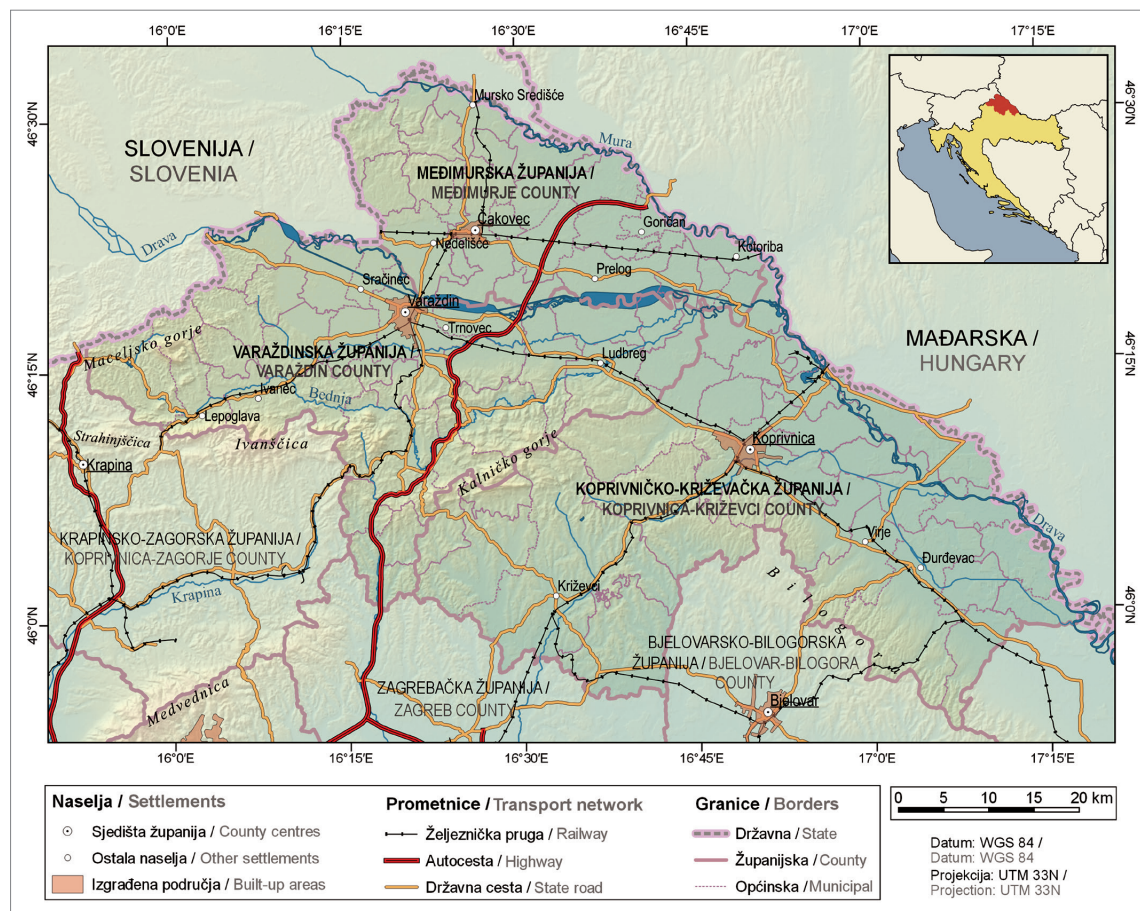
The main objectives of this research were to detect the types of land cover in the area of northern Croatia from 1981 and 2011 using supervised classification of digital images from Landsat satellite system, and to determine and analyse changes in land cover in the specified time period. The determined changes were quantitatively and visually analysed in relation to socio-geographic and physical-geographic elements, using GIS. From these objectives and previous knowledge of the issue, it can be assumed that land cover in northern Croatia changed considerably between 1981 and 2011, which can be reliably determined by supervised classification of digital images from the Landsat satellite system. The original hypothesis was that the results would show the most important type of land cover change in northern Croatia from 1981 to 2011 to be the increase in the share of natural vegetation, and that the amount of change in land cover would depend on the relief characteristics of the research area.

## Područje istraživanja

Istraženi prostor sastoji se od triju jedinica regionalne (područne) samouprave smještenih na sjeveru Hrvatske: Varaždinske, Međimurske i Koprivničko-križevačke županije (sl. 1). Površina navedenih županija iznosi 3737 km<sup>2</sup>, a prema posljednjem popisu područje ima 405 339 stanovnika. Opća gustoća naseljenosti regije iznosi 108,5 stan./km<sup>2</sup>, pri čemu su Međimurska (156,1 stan./km<sup>2</sup>) i Varaždinska županija (139,4 stan./km<sup>2</sup>) s gustoćom naseljenosti gotovo dvostruko većom od državnog prosjeka (76,7 stan./km<sup>2</sup>), nakon Grada Zagreba, najgušće naseljene hrvatske županije. Prema administrativno-teritorijalnom ustroju istraživano područje sjeverne Hrvatske obuhvaća 78 jedinica lokalne samouprave, od čega 12 upravnih gradova i 66 općina.

## Research area

The research area consists of three administrative regions located in northern Croatia – Varaždin, Međimurje, and Koprivnica-Križevci Counties (Fig. 1). The area of the counties is 3,737 km<sup>2</sup>, and according to the last population census, the area has 405,339 inhabitants. The overall population density of the region amounts to 108.5 per km<sup>2</sup>; Međimurje (156.1 per km<sup>2</sup>) and Varaždin (139.4 per km<sup>2</sup>) are the most densely-populated counties in Croatia after the City of Zagreb, with a population density of nearly twice the national average (76.7 per km<sup>2</sup>). According to the administrative-territorial structure, the area of northern Croatia consists of 78 local governments, of which 12 are administrative cities and 66 are municipalities.



Sl. 1. Geografski smještaj sjeverne Hrvatske

Fig. 1 Geographic location of northern Croatia

Izvor / Source: prema / according to: DARH, 2005; EU-DEM.

Nadmorska visina varira od 120 do 1061 m (vrh Ivanščice), no najrašireniji elementi reljefa su naplavne ravni i brežuljkasti krajevi (sl. 1). Osobito veliku važnost u agrarnom iskorištavanju imaju debeli slojevi plodnog tla u aluvijalnoj ravnici rijeke Drave (Feletar, 2013). Brežuljkasta područja gdje je vertikalna raščlanjenost reljefa veća i izraženija valorizirana su uzgojem vinove loze čime čitavo područje ima dobru prirodnu resursnu osnovu za razvoj gastroturizma i enoturizma.

Budući da je sjeverna Hrvatska tradicionalno agrarni kraj u kojem se rano pojavljuje agrarna prenapučenost i viškovi radne snage, ona ubrzo postaje emigracijsko područje. Osim prema inozemstvu i drugim krajevima Hrvatske, agrarna prenapučenost potaknula je iseljavanje stanovništva i prema županijskim centrima Varaždinu, Čakovcu i Koprivnici, koji demografski jačaju. Gradovi se šire duž glavnih prometnica te zapošljavaju velik dio agrarnog stanovništva okolice što dovodi do polariziranog razvoja prostora. Urbano locirana industrijalizacija nakon Drugoga svjetskog rata dovodi do procesa deagrarizacije i deruralizacije te postaje pokretač intenzivne socijalne i prostorne mobilnosti stanovništva čije se posljedice očituju u socioekonomskoj, fizionomskoj i funkcionalnoj transformaciji prostora (Vresk, 1982–83; 1988). Dolazi do napuštanja poljoprivrede kao temeljne egzistencijalne djelatnosti ruralnog prostora, što se odražava u pojavi ugara (Vresk, 1972; Crkvenčić, 1982), a pod utjecajem grada mijenja se način života ljudi okolice. U uvjetima tržišne privrede i jačanjem procesa tercijarizacije dolazi do ekonomskog restrukturiranja i decentralizacije funkcije rada županijskih središta, a nakon 1990-ih godina započinje razdoblje suburbanizacije njihove okolice (Feletar i dr., 2010). Područje obilježavaju procesi depopulacije i starenja te neravnomjerna naseljenost, koji otežavaju usklađen regionalni razvoj (Spevec 2009; 2011).

### Metodologija istraživanja

Osnovni izvor podataka u ovom istraživanju bile su multispektralne satelitske snimke prikupljene misijom Landsat, a preuzete su sa servisa *EarthExplorer* Agencije za geologiju Sjedinjenih

Altitude varies from 120 to 1,061 m a.s.l. (peak of Ivanščica), but the most common elements of relief are flood plains and hilly regions (Fig. 1). Regarding agricultural exploitation, the alluvial plain created by the river Drava, with its thick and fertile soil, is especially important (Feletar, 2013). The higher relative relief of hilly areas is exploited for viticulture. Therefore, the entire area has a good natural resource base for the development of gastro-tourism and enotourism.

Since northern Croatia is traditionally a farming region, in which problems of agrarian overpopulation and labour surplus appeared early, it has long been an emigration area. Agrarian overpopulation prompted emigration abroad and to other parts of Croatia, as well as to the county centres of Varaždin, Čakovec, and Koprivnica, whose populations have been increasing steadily as a result. Cities have been spreading along the main roads and have employed a large part of the agricultural population of the surrounding area, resulting in polarised development. Industrialisation in urban areas after World War II led to the processes of deagrarianisation and deruralisation and became a driver of intense social and spatial mobility of the population; the consequences of which are reflected in the socio-economic, physiognomic, and functional transformation of the region (Vresk, 1982–83; 1988). Agriculture as a fundamental existential activity in rural areas has been increasingly abandoned, which is reflected in the emergence of fallow land (Vresk, 1972; Crkvenčić, 1982). Also, the lifestyle of the population in urban surroundings has changed under the influence of urbanisation. The consequences of the market economy and increasing tertiarisation are: economic restructuring; and decentralisation of the labour functions of the county centre. Since the 1990s, the suburbanisation process of urban surroundings has become evident (Feletar et al., 2010). The research area has been marked by depopulation, population ageing, and uneven population density, which has hindered well-balanced regional development (Spevec 2009; 2011).

### Research methodology

The main data source of this research was multispectral satellite images acquired by the Landsat mission and downloaded from the US Geological Survey (USGS) *EarthExplorer* service. While selecting the

Američkih Država (USGS). Prilikom odabira snimki vodilo se računa o tome da pokrivaju isti prostor sjeverne Hrvatske, da budu dostupni svi izvorni kanali (*Level 1 Data Product*), da na njima ne bude oblaka, da budu u istom godišnjem dobu (ljetu) radi fenološke usklađenosti i da za tu godinu postoje točniji referentni podatci radi kontrole klasifikacije. Snimke su preuzete u GeoTIFF formatu, unaprijed georeferencirane i georektificirane u koordinatnom sustavu WGS84 UTM 33N. Njihova detaljna svojstva prikazana su u Tablici 1. Prostorna rezolucija snimki usklađena je povećanjem broja ćelija na digitalnim snimkama satelitskog sustava Landsat 2, odnosno smanjivanjem njihovih dimenzija na 30 × 30 m. Dodatno su sve snimke izrezane na prostorni obuhvat istraživanja. Pri klasifikaciji nisu korišteni kanali iz termalnog dijela spektra.

Dopunski prostorni podatci služili su za kontrolu klasifikacije: hrvatska osnovna karta u mjerilu 1 : 5000 (HOK5) iz 1979./1983. godine i digitalna ortofoto-karta u mjerilu 1 : 5000 (DOF5) iz 2011. godine preko Web Mapping Servicea (WMS) Geoportala Državne geodetske uprave.

Scene su klasificirane nadziranom metodom u GRASS GIS-u upotrebom algoritma *sequential maximum a posteriori (SMAP) estimation*. SMAP algoritam iskorištava činjenicu da susjedne ćelije na sceni vjerojatno imaju istu klasu. Djeluje tako što segmentira scenu u raznim mjerilima ili rezolucijama i koristi segmentacije u grubom mjerilu kako bi se upravljale segmentacije u finijem mjerilu (McCauley i Engel, 1995). Uzorci klasa za treniranje birani su na temelju *true colour* (crveni, zeleni i plavi kanal) i *false colour* (koriste se kanali iz infracrvenog i vidljivog dijela

images, it was taken into account that they covered the same area of northern Croatia, that all original bands (*Level 1 Data Product*) were available, that they were free of clouds and from the same season (summer), for the purpose of phenological consistency, and that there were more accurate reference data from the same year for the classification quality control. The images were downloaded in GeoTIFF format, already georeferenced and georectified in the WGS84 UTM 33N coordinate system. Their detailed characteristics are shown in Tab. 1. The spatial resolution of the images was harmonised by increasing the number of pixels on digital images from the Landsat 2 satellite system, i.e. by reducing their dimensions to 30 × 30 m. In addition, all images were cropped to the spatial extent of the research area. Bands from the thermal part of the spectrum were not used in the classification.

Ancillary spatial data served for the classification control: the Croatian Base Map in scale 1:5,000 (HOK5) from 1979-1983; and the Digital orthophoto map in scale 1:5,000 (DOF5) from 2011 via the State Geodetic Administration Geoportals Web Mapping Service (WMS).

The scenes were classified via supervised method in GRASS GIS, using a *sequential maximum a posteriori estimation (SMAP) algorithm*. The SMAP algorithm exploits the fact that nearby pixels in an image are likely to have the same class. It works by segmenting the image at various scales or resolutions and using the coarse scale segmentations to guide the finer scale segmentations (McCauley and Engel, 1995). Training samples for classes were chosen on the basis of “true colour” (red, green, and blue bands) and “false colour” RGB composites (bands from the infrared and visible parts of the

Tab. 1. Svojstva satelitskih snimka upotrijebljenih u istraživanju  
Tab. 1 Characteristics of the satellite images used in the research

WRS:P/R / WRS:P/R	Datum / Date	Senzor / Sensor	Broj kanala / Number of bands	Rezolucija / Resolution	Format / Format	Projekcija / Projection
1:204/028	2. 7. 1981.	Landsat 2 MSS	4	60 m*	GeoTIFF	UTM 33N
2:189/028	22. 6. 2011.	Landsat 5 TM	7	30 m	GeoTIFF	UTM 33N

\* Izvorna veličina ćelija bila je 79 × 57 m; proizvodni sustavi sada preuzorkuju podatke na 60 m.

\* Original pixel size was 79 × 57 m; production systems now resample the data to 60 m.

Izvor / Source: US Geological Survey, 2016.

spektra) RGB kompozita te uz pomoć referenčnih podataka više točnosti u programu *QGIS 2.14*. S obzirom na to da se klasa izgrađenih područja redovito najviše miješa s drugim klasama jer se sastoji od mozaika zgrada, vegetacije i tla, klasifikacija je po preporukama provedena odvojeno za izgrađena i ostala područja (Horvat, 2013). Pri tome su izgrađena područja ručno izdvojena za 1981. s topografske karte u mjerilu 1 : 100 000 preko WMS-a Državne geodetske uprave, a za 2011. s digitalne ortofoto-karte u mjerilu 1 : 5000 iz 2011. godine. Nakon završene cjelokupne klasifikacije, provedeno je modalno filtriranje s veličinom susjedstva 3 × 3 ćelije radi uklanjanja šumova.

Prvotno je planirana klasifikacijska shema od pet klasa: *izgrađeno, poljoprivredno, trava i šikara, šuma* te *voda*. Međutim, zbog slabe spektralne odvojivosti klasa *trave* i *šikare* sa *šumom* uslijed slična spektralnog odziva klorofila odlučeno je da će se te dvije klase spojiti u klasu *prirodna vegetacija* (tab. 2). Klasa *poljoprivredno* često označava način korištenja zemljišta, koji se na razini zemljišnih parcela i složenih ljudskih djelatnosti ne može detektirati isključivo metodama daljinskih istraživanja, nego su potrebni dodatni izvori podataka (terenski rad, katastar). Ipak, poljoprivredno zemljište na najgrubljoj prostornoj razini klasifikacijske sheme može se detektirati uporabom kontekstualnih informacija (npr. oblik, tekstura, položaj) u nadziranoj klasifikaciji snimki prikupljenih metodama daljinskih istraživanja (Anderson i dr., 1976).

spectrum), and with more-accurate reference data in *QGIS 2.14* software. Regarding the fact that the class of built-up land often gets mixed with the other classes (because it incorporates a mosaic of buildings, vegetation, and soil), the classification was conducted separately for built-up land, and other land, according to recommendations (Horvat, 2013). In this procedure, the built-up land was manually delineated for 1981 from the topographic map in the scale of 1:100,000 via the State Geodetic Administration Geoportal WMS, and for 2011 from the Digital orthophoto map from 2011 in the scale of 1:5,000. After finishing the entire classification, modal filtering with 3 × 3-pixel neighbourhood size was carried out in order to reduce noise.

In the first planned classification scheme, there were five classes: built-up; agricultural; grass and shrubs; forest; and water. However, because of the low spectral separability between the classes “grass and shrubs” and “forest”, caused by the similar spectral response of chlorophyll, it was decided that these two classes would be merged into the “natural vegetation” class (Tab. 2). The class of agricultural land often refers to land use, which, at the level of particular parcels and complex human activities, cannot be detected exclusively through remote sensing methods – it requires additional data sources (fieldwork, cadastre). However, agricultural land, at the coarsest spatial level of classification scheme, can be detected using contextual information (e.g. shape, texture, position) in supervised classification of images acquired with remote sensing methods (Anderson et al., 1976).

Tab. 2. Klasifikacijska shema u istraživanju  
Tab. 2 Classification scheme in the research

Klasa / Class	Opis / Description
Izgrađeno / Built-up	Urbana i ruralna naselja, prometnice / Urban and rural settlements, roads
Poljoprivredno / Agricultural	Poljoprivredno zemljište pod jednogodišnjim ili trajnim nasadima, oranice, livade / Agricultural land under annual or perennial plantation, arable land, meadows
Prirodna vegetacija / Natural vegetation	Sukcesija na poljoprivrednom zemljištu, močvarno bilje, šikare, šume i šumsko zemljište / Succession on agricultural land, wetland plants, shrubs, forests and forest land
Voda / Water	Jezeru, ribnjaci i vodotoci / Lakes, ponds, and rivers



Točnost klasifikacije mjerena je matricom konfuzije i kapa-koeficijentom, kao najčešće korištenim metodama u citiranoj literaturi (Story i Congalton, 1986; Horvat, 2013; Cvitanović, 2014a; 2014b; Valozić, 2014; 2015).

Uzorci za testiranje klasifikacija generirani su slučajno u *ArcGIS*-u bez uvjeta minimalne udaljenosti na području za koje su postojali referentni podatci. To znači da su uzorci za 2011. godinu bili raspršeni na cijelom području triju županija jer DOF5 iz 2011. pokriva teritorij cijele Hrvatske. Uzorkovanje za 1981. godinu bilo je složenije jer je HOK5 izrađivan od 1954. do 2010. godine. Zato je trebalo identificirati karte koje su vremenski odstupale maksimalno  $\pm 2$  godine od 1981. godine pomoću metapodataka.

Ukupna postignuta točnost klasifikacije zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj za 1981. godinu iznosila je 87 % što se poklapalo s ciljanom točnošću u literaturi (Lillesand i dr., 2008). To je potvrdio i kapa-koeficijent od 0,78. Smatra se da vrijednosti kapa-koeficijenta između 0,41 i 0,6 predstavljaju umjerenu točnost u klasifikaciji, vrijednosti između 0,61 i 0,8 visoku točnost, a vrijednosti više od 0,8 vrlo visoku točnost klasifikacije (Viera i Garrett, 2005; Cvitanović, 2014b). Očekivano, najproblematičnija klasa bila je *izgrađeno*. U toj klasi bila je prisutna najveća razlika između proizvodne točnosti, koja označava točnost u odnosu na referentne podatke, i korisničke točnosti, koja označava pouzdanost u odnosu na klasificirane podatke. Razlog tomu bilo je ručno izdvajanje klase *izgrađeno* s karte sitnijeg mjerila zbog čega su raspršena izgrađena područja isključena iz klasifikacije. Ono što je moglo biti klasificirano kao *izgrađeno*, klasificirano je s pouzdanošću od 70 %. Budući da je klasa *izgrađeno* površinom mala, važnije je bilo smanjiti pogreške uključenja nego isključenja. Ostale klase izdvojile su se s visokom točnošću (tab. 3).

Ukupna točnost i kapa-koeficijent klasifikacije za 2011. godinu bili su gotovo identični onima za 1981. godinu. Ipak, klasa *izgrađeno* klasificirana je nešto uspješnije jer je ručno izdvajanje provedeno s DOF5 iz 2011. godine. U usporedbi s drugim domaćim radovima slične tematike (Valozić i Cvitanović, 2011; Horvat, 2013; Cvitanović, 2014a; 2014b; Valozić,

The classification accuracy was measured with a confusion matrix and kappa coefficient – the most frequently-used methods in cited literature (Story and Congalton, 1986; Horvat, 2013; Cvitanović, 2014a; 2014b; Valozić, 2014; 2015).

Samples for the classification testing were generated randomly in *ArcGIS* without minimum distance constraint at the area where reference data existed. That means that the samples for 2011 were dispersed over the area of the three counties, because DOF5 from 2011 covers the entire territory of Croatia. Sampling for the year 1981 was more complex because HOK5 was being produced from 1954 to 2010. Therefore, maps deviating temporally for a maximum of  $\pm 2$  years from 1981 needed to be identified through the metadata.

The overall achieved accuracy of the land cover classification in northern Croatia for 1981 was 87%, which corresponded to the desired accuracy goals from the literature (Lillesand et al., 2008). The kappa coefficient of 0.78 also confirmed this. It is considered that kappa coefficient values between 0.41 and 0.6 represent moderate classification accuracy, values between 0.61 and 0.8 high accuracy, and values greater than 0.8 very high classification accuracy (Viera and Garrett, 2005; Cvitanović, 2014b). As expected, the most problematic class was the built-up class. In that class, the biggest difference between the producer's accuracy, which represents accuracy regarding reference data, and the user's accuracy, which represents reliability regarding classified data, was present. The reason for that was a manual delineation of the built-up class from the map in a smaller scale, which excluded dispersed built-up areas from the classification. Land that was able to be classified as built-up was classified with 70% reliability. Considering that the built-up class has a small area, it was more necessary to reduce the errors of commission than the errors of omission. The other classes were separated very accurately (Tab. 3).

Overall accuracy and kappa coefficient of the classification for 2011 were almost identical to the ones for 1981. However, the built-up class was classified a bit more successfully because of the manual delineation with DOF5 from 2011. Compared to other Croatian papers with a similar topic (Valozić and Cvitanović, 2011; Horvat, 2013; Cvitanović, 2014a; 2014b; Valozić,

Tab. 3. Matrica konfuzije klasifikacije zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj za 1981. godinu  
Tab. 3 Confusion matrix of the land cover classification in northern Croatia for 1981

		Referentni podatci / Reference data						
		Izgrađeno / Built-up	Poljoprivredno / Agricultural	Vegetacija / Vegetation	Voda / Water	Ukupno / Overall		
Klasificirani podatci / Classified data	Izgrađeno / Built-up	12	5	0	0	17	70,6	Korisnička točnost (%) / User's accuracy (%)
	Poljoprivredno / Agricultural	12	217	29	2	260	83,5	
	Vegetacija / Vegetation	1	14	186	1	202	92,1	
	Voda / Water	0	1	0	20	21	95,2	
	Ukupno / Overall	25	237	215	23	500		
Ukupna točnost 87 % / Overall accuracy 87%		48,0	91,6	86,5	87,0			
Kapa-koef. 0,78 / Kappa coeff. 0.78		Proizvodna točnost (%) / Producer's accuracy (%)						

Tab. 4. Matrica konfuzije klasifikacije zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj za 2011.  
Tab. 4 Confusion matrix of the land cover classification in northern Croatia for 2011

		Referentni podatci / Reference data						
		Izgrađeno / Built-up	Poljoprivredno / Agricultural	Vegetacija / Vegetation	Voda / Water	Ukupno / Overall		
Klasificirani podatci / Classified data	Izgrađeno / Built-up	24	6	0	0	30	80,0	Korisnička točnost (%) / User's accuracy (%)
	Poljoprivredno / Agricultural	11	238	34	1	284	83,8	
	Vegetacija / Vegetation	0	10	160	0	170	94,1	
	Voda / Water	0	0	1	14	15	93,3	
	Ukupno / Overall	35	254	195	15	499		
Ukupna točnost 87 % / Overall accuracy 87%		68,6	93,7	82,1	93,3			
Kapa-koef. 0,78 / Kappa coeff. 0.78		Proizvodna točnost (%) / Producer's accuracy (%)						

2014; 2015), može se zaključiti kako je klasifikacija provedena sa zadovoljavajućom točnošću (tab. 4).

Presjekom scena klasificiranih u četiri klase za 1981. i 2011. godinu dobiveno je 12 kombinacija promjena zemljišnog pokrova. Međutim, nisu sve promjene bile jednako relevantne u promatranom prostoru s obzirom na uzroke nastanka ili površinu koju su zauzimale. Primjerice, promjene svih klasa u vodu većinom su bile posljedica planske izgradnje akumulacijskih jezera Donja Dubrava i Varaždin. Stoga su promjene zemljišnog pokrova podijeljene u tri kategorije:

1. promjene poljoprivrednog zemljišta u prirodnu vegetaciju;
2. promjene poljoprivrednog zemljišta i prirodne vegetacije u izgrađeno zemljište; i
3. promjene prirodne vegetacije u poljoprivredno zemljište.

Za svaku kategoriju promjena zemljišnog pokrova izračunat je udio u površini jedinice lokalne samouprave te udjeli po razredima nadmorske visine i nagiba. Digitalni model reljefa preuzet je s internetske stranice Europske agencije za okoliš. Njegova izvorna prostorna rezolucija bila je 25 m u projekciji ETRS89 LAEA zbog čega je preuzorkovan na 30 m metodom najbližeg susjeda u projekciju WGS84 UTM 33N. Nagibi su izračunati u programu *ArcGIS 10.3* te su kasnije reklasificirani u pet standardnih razreda (0 – 2°, 2 – 5°, 5 – 12°, 12 – 32° i više od 32°). Nadmorske visine također su reklasificirane u pet pojasa (0 – 200, 200 – 300, 300 – 400, 400 – 500 i više od 500 m).

## Rezultati

### a) Struktura zemljišnog pokrova 1981. godine

Najveći dio zemljišnog pokrova 1981. godine činile su poljoprivredne površine – 2318,9 km<sup>2</sup> ili 62,1 % ukupne površine. Sljedeću klasu po zastupljenosti činila je prirodna vegetacija koja je zauzimala 1226,9 km<sup>2</sup> (32,8 %), najvećim dijelom na padinama Kalničkog i Maceljskog gorja, Ivanščice i Bilogore. Izgrađene površine prostirale su se na 143,6 km<sup>2</sup> (3,8 %), a najmanji dio činila je voda s 47,2 km<sup>2</sup> ili 1,3 % ukupne površine (sl. 2).

2014; 2015), it can be concluded that the classification was conducted with satisfactory accuracy (Tab. 4).

Overlaying the scenes classified into the four classes for 1981 and 2011 gave 12 combinations of land cover changes. However, all changes were not equally relevant in the research area, considering their origin or surface area. For example, the changes of all classes into water were mostly a consequence of the planned construction of the Donja Dubrava and Varaždin reservoirs. Hence, the land cover changes were divided into three categories:

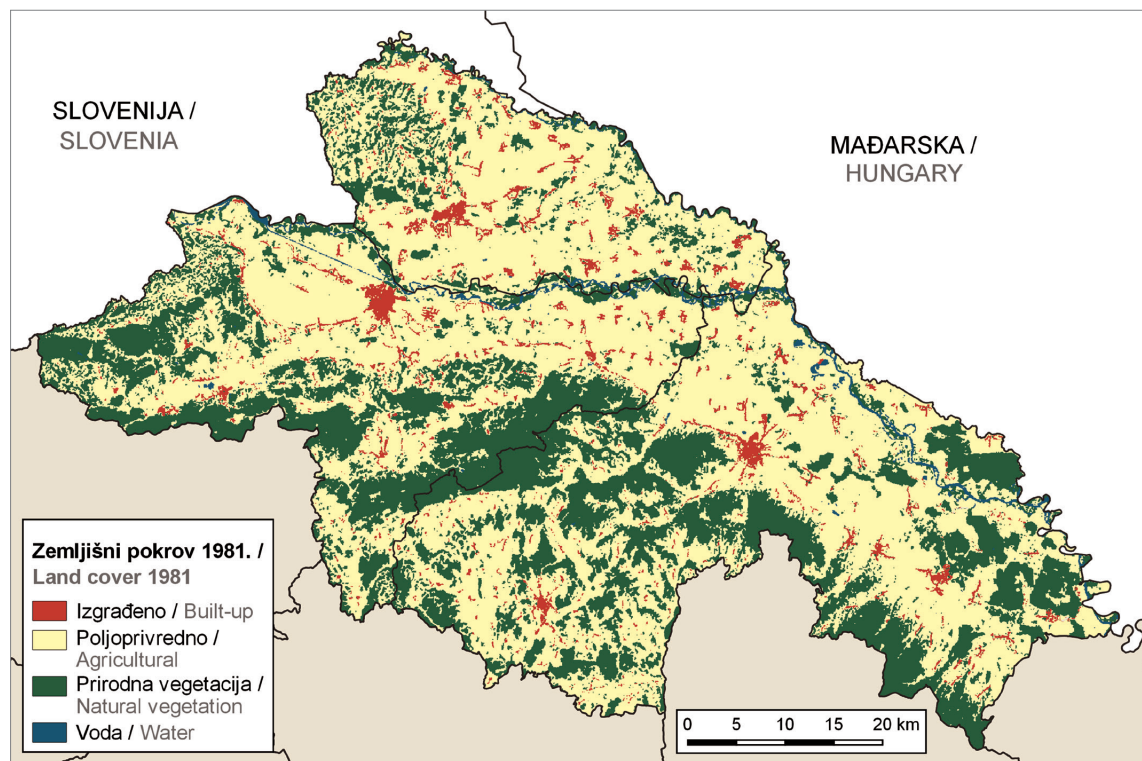
1. change of agricultural land into natural vegetation;
2. change of agricultural land and natural vegetation into built-up land; and
3. change of natural vegetation into agricultural land.

For each category of land cover changes, the percentage in the area of local municipal units and percentages of elevation and slope per class were calculated. The digital elevation model was downloaded from the European Environment Agency internet site. Its original spatial resolution was 25 m in the ETRS89 LAEA projection, so it was resampled to 30 m with the nearest neighbour method into the WGS84 UTM 33N projection. Slopes were calculated in *ArcGIS 10.3* software and later reclassified into five standard classes (0–2°, 2–5°, 5–12°, 12–32°, and more than 32°). The elevations were also reclassified into five zones (0–200, 200–300, 300–400, 400–500, and higher than 500 m).

## Results

### a) Land cover structure in 1981

Most of the land (in the research area) in 1981 was agricultural land – 2,318.9 km<sup>2</sup> or 62.1% of the total area. The next class by share was natural vegetation, which extended onto 1,226.9 km<sup>2</sup> (32.8%), mostly on the slopes of the Ivanščica, Bilogora, Kalnik, and Macelj highlands. Built-up land covered 143.6 km<sup>2</sup> (3.8%). The class with the smallest share was water, covering only 47.2 km<sup>2</sup> or 1.3% of the total area (Fig. 2)



Sl. 2. Klasifikacija zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj 1981. godine  
Fig. 2 Classification of land cover in northern Croatia in 1981

Izvor: prema rezultatima vlastitog istraživanja i DARH, 2005.  
Source: according to the research results and DARH, 2005

Na razini županija nije bilo velikih razlika, no strukturom zemljišnog pokrova isticala se Međimurska županija, dok su ostale dvije imale podjednak udio svih klasa 1981. godine (tab. 5). Gusto

At the county level, there were no major differences, but Međimurje County stood out with its structure of land cover, while the other two had the same proportion of classes in 1981 (Tab. 5).

Tab. 5. Zemljišni pokrov po županijama sjeverne Hrvatske 1981. godine  
Tab. 5 Land cover by Counties of northern Croatia in 1981

	Koprivničko-križevačka / Koprivnica-Križevci		Međimurska / Međimurje		Varaždinska / Varaždin	
	Površina / Area (km <sup>2</sup> )	Udio / Share (%)	Površina / Area (km <sup>2</sup> )	Udio / Share (%)	Površina / Area (km <sup>2</sup> )	Udio / Share (%)
Voda / Water	21,50	1,23	10,45	1,44	15,14	1,20
Izgrađeno / Built-up	53,12	3,04	41,77	5,74	48,65	3,86
Poljoprivredno / Agricultural	1047,45	59,99	542,72	74,53	727,82	57,75
Prirodna vegetacija / Natural vegetation	624,04	35,74	133,22	18,30	468,63	37,19

naseljena Međimurska županija imala je manji udio površine prekriven prirodnom vegetacijom, a veći udio pod poljoprivrednim površinama. Uz to je imala i najveći udio izgrađenih površina 1981. godine.

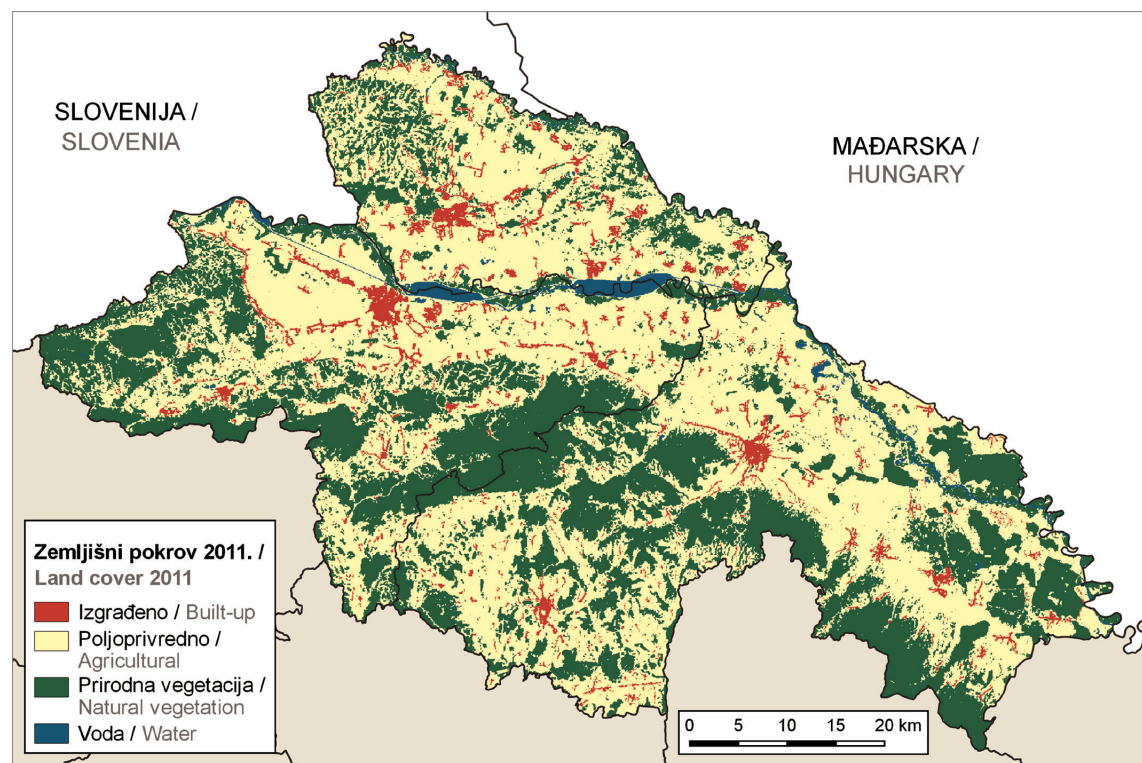
The densely populated Međimurje County had a lower share of the total area covered with natural vegetation and a higher share of agricultural land. Furthermore, it had the highest share of built-up land.

### b) Struktura zemljišnog pokrova 2011. godine

U promatranom se razdoblju udio poljoprivrednih površina u sjevernoj Hrvatskoj smanjio, no i 2011. godine to je bila najzastupljenija klasa s 2109,8 km<sup>2</sup> (56,4 %). Istovremeno, površine prekrivene prirodnom vegetacijom proširile su se na 1391,7 km<sup>2</sup> ili 37,2 %. Izgrađene površine također su povećane, zauzimajući 2011. godine 176,0 km<sup>2</sup> ili 4,7 % ukupne površine (sl. 3). Klasa s najmanjom površinom 2011. godine opet je bila voda, ali joj se osjetno povećala površina, na 60,2 km<sup>2</sup> (1,6 %), uglavnom zbog antropogenih zahvata osamdesetih godina kojima su izgrađena dva akumulacijska jezera na rijeci Dravi.

### b) Land cover structure in 2011

Although the share of agricultural land in northern Croatia declined in the analysed period, it was still the most prevalent class in 2011 with 2,109.8 km<sup>2</sup> (56.4%). In the same period, the area covered with natural vegetation expanded to 1,391.7 km<sup>2</sup> or 37.2%. Built-up land also increased in 2011, spreading onto 176.0 km<sup>2</sup> or 4.7% of the total area (Fig. 3). The class with the smallest area in 2011 was water again, but its surface significantly increased to 60.2 km<sup>2</sup> (1.6%) mainly due to anthropogenic interventions in the 1980s when two accumulation lakes on the river Drava were built.



Sl. 3. Klasifikacija zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj 2011. godine  
Fig. 3 Classification of land cover in northern Croatia in 2011

Izvor: prema rezultatima vlastitog istraživanja i DARH, 2005.  
Source: according to the research results and DARH, 2005

Tab. 6. Zemljišni pokrov po županijama sjeverne Hrvatske 2011. godine  
Tab. 6 Land cover by Counties of northern Croatia in 2011

	Koprivničko-križevačka / Koprivnica-Križevci		Međimurska / Međimurje		Varaždinska / Varaždin	
	Površina / Area (km <sup>2</sup> )	Udio / Share (%)	Površina / Area (km <sup>2</sup> )	Udio / Share (%)	Površina / Area (km <sup>2</sup> )	Udio / Share (%)
Voda / Water	16,72	0,96	21,18	2,91	22,18	1,75
Izgrađeno / Built-up	60,16	3,45	52,90	7,26	62,92	4,99
Poljoprivredno / Agricultural	962,33	55,11	485,35	66,65	660,50	52,41
Prirodna vegetacija / Natural vegetation	707,20	40,50	168,74	23,17	514,63	40,84

Razlike struktura zemljišnog pokrova po županijama 2011. godine bile su nešto neujednačenije no u prethodnom razdoblju (tab. 6). I dalje se najvećim udjelom izgrađenih i poljoprivrednih površina isticala Međimurska županija, no udio klase *prirodna vegetacija* značajno je povećan. U Koprivničko-križevačkoj i Varaždinskoj županiji udio površine pod prirodnom vegetacijom približio se udjelu poljoprivrednog zemljišta.

The differences in the structure of land cover by counties in 2011 were slightly more uneven than in the previous period (Tab. 6). Even though the largest shares recorded in Međimurje County were that of built-up and agricultural land, the share of the natural vegetation class significantly increased. The share of natural vegetation in Koprivnica-Križevci and Varaždin Counties approached the share of agricultural land.

### c) Promjene zemljišnog pokrova 1981. – 2011.

Unakrsnim tabeliranjem klasificiranih scena dobivene su apsolutne i relativne bruto promjene zemljišnog pokrova u periodu 1981. – 2011. u sjevernoj Hrvatskoj (tab. 7). Sumirani stupci i redci sadrže apsolutne površine klasa pokrova za 1981. i 2011. godinu. Na dijagonali su površine klasa koje su ostale nepromijenjene, a vrijednosti izvan dijagonale predstavljaju raspodjelu promjena klasa. Konačne razlike iskazane su u odnosu na početne površine pojedinih klasa.

Ukupni udio neto promjena pokrova u odnosu na površinu istraživanog prostora iznosio je 11,25 %, dok je ukupni udio bruto promjena (sve izvan dijagonale) bio 13,8 % jer su se neke promjene suprotnog predznaka poništile u konačno evidentiranim promjenama. Apsolutno najveći porast u sve tri županije zabilježen je u klasi *prirodna vegetacija* (164,81 km<sup>2</sup>), a apsolutno

### c) Land cover changes 1981-2011

Using cross-tabulation of classified scenes, the absolute and relative gross changes of land cover in northern Croatia in the period of 1981–2011 were obtained (Tab. 7). Summarised columns and rows contain absolute areas of land cover classes, for 1981 and 2011 respectively. Areas of unchanged classes are shown on a diagonal, while values outside the diagonal represent the distribution of class changes. Final differences were measured in relation to the initial area value of individual classes.

The total share of net land cover change in the entire research area was 11.25%. The total share of gross changes (all outside of the diagonal) was 13.8%, as some opposing changes were nullified in the final recorded land cover changes. In absolute values, the highest increase was recorded in the natural vegetation class (164.81 km<sup>2</sup>), while the highest decrease was recorded in the agricultural land

Tab. 7. Bruto promjene zemljišnog pokriva u sjevernoj Hrvatskoj 1981. – 2011. godine  
Tab. 7 Gross land cover change in northern Croatia 1981-2011

		2011.				Ukupno 1981. / Total 1981
		Voda / Water	Izgrađeno / Built-up	Poljoprivredno / Agricultural	Prirodna vegetacija / Natural vegetation	
1981.	Voda (km <sup>2</sup> ) / Water (km <sup>2</sup> )	28,13	0,05	9,94	9,12	47,24
	Izgrađeno (km <sup>2</sup> ) / Built-up (km <sup>2</sup> )	0,02	110,66	31,93	1,11	143,59
	Poljoprivredno (km <sup>2</sup> ) / Agricultural (km <sup>2</sup> )	21,19	61,88	1968,11	267,66	2318,94
	Prirodna vegetacija (km <sup>2</sup> ) / Natural vegetation (km <sup>2</sup> )	10,84	3,40	98,83	1113,80	1226,88
Ukupno 2011. (km <sup>2</sup> ) / Total 2011 (km <sup>2</sup> )		60,18	175,98	2108,80	1391,69	3736,65
Δ 1981. – 2011. (km <sup>2</sup> )		12,94	32,39	-210,14	164,81	420,28
Δ 1981. – 2011. (%)		27,40	22,56	-9,06	13,43	11,25
Udio ukupne promjene (%) / Share of total change (%)		3,08	7,71	-50,00	39,21	100,00

Promjene  
zemljišnog  
pokrova u sjevernoj  
Hrvatskoj od 1981.  
do 2011. godine

Land cover  
changes in  
northern Croatia  
from 1981 to 2011

najveći pad u klasi *poljoprivredno zemljište* (-210,14 km<sup>2</sup>). Istovremeno su relativno najviše porasle klase *voda* (27,4 %) i *izgrađeno* (22,6 %) premda su zajedno činile samo oko 10 % ukupnih promjena. Porast prirodne vegetacije na račun poljoprivrednih zemljišta bila je dominantna promjena zemljišnog pokriva (267,66 km<sup>2</sup>) te je činila više od polovice svih promjena.

Budući da su oba novoizgrađena akumulacijska jezera smještena između Međimurske i Varaždinske županije, u njima je zabilježena velika relativna promjena povećanja klase *voda* (tab. 8). Kod tih je županija relativno povećanje klase *izgrađeno* bilo više no dvostruko veće nego kod Koprivničko-križevačke županije. Sve tri županije izgubile su podjednak udio poljoprivrednih površina u odnosu na 1981. godinu. Nadalje, u Međimurskoj se županiji klasa *prirodna vegetacija* povećala za više od četvrtinu.

class (-210.14 km<sup>2</sup>). At the same time, classes with the highest relative increases were water (27.4%) and built-up land (22.6%), even though together they comprised only 10% of the overall change. The increase in natural vegetation at the expense of agricultural land was the dominant type of land cover change (267.66 km<sup>2</sup>) and accounted for more than half of all recorded changes.

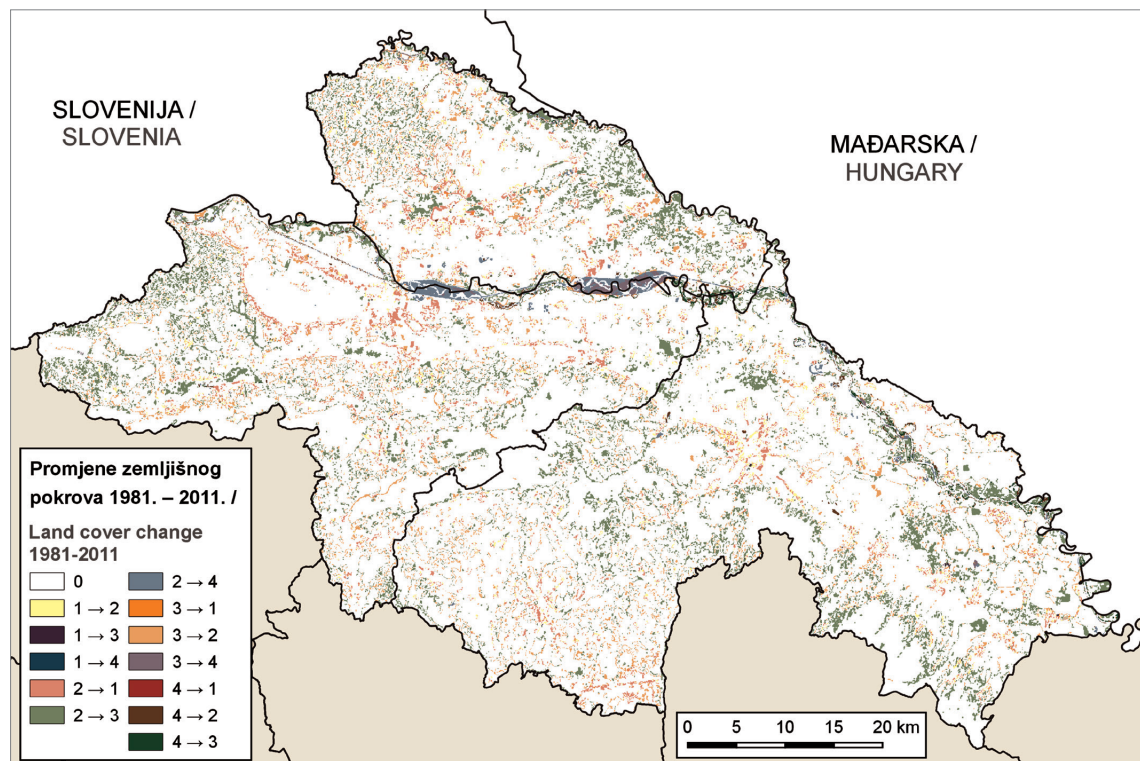
Since both newly-constructed reservoirs are located between Međimurje and Varaždin Counties, there was a high relative change of the water class recorded in both counties (Tab. 8). In these counties, the relative increase of built-up land was twice as high as that in Koprivnica-Križevci County. All three counties lost an approximately equal share of agricultural land when compared to 1981. Furthermore, in Međimurje County, the natural vegetation class increased by more than 25%.

Tab. 8. Promjene zemljišnog pokrova po županijama sjeverne Hrvatske 1981. – 2011. godine  
Tab. 8 Land cover changes by Counties of northern Croatia 1981-2011

	Koprivničko-križevačka / Koprivnica-Križevci		Međimurska / Međimurje		Varaždinska / Varaždin	
	Površina / Area (km <sup>2</sup> )	Udio / Share (%)	Površina / Area (km <sup>2</sup> )	Udio / Share (%)	Površina / Area (km <sup>2</sup> )	Udio / Share (%)
Voda / Water	-4,78	-22,23	10,73	102,67	7,04	46,50
Izgrađeno / Built-up	7,04	13,25	11,12	26,63	14,27	29,34
Poljoprivredno / Agricultural	-85,12	-8,13	-57,37	-10,57	-67,31	-9,25
Prirodna vegetacija / Natural vegetation	83,16	13,33	35,52	26,66	46,00	9,82

Najuočljiviju promjenu činila su dva akumulacijska jezera nastala većim dijelom iz poljoprivrednog zemljišta, a manjim dijelom iz prirodne vegetacije. Ostale su promjene bile pretežito raspršene (sl. 4).

The most visible change in the research area was the two reservoirs, formed largely at the expense of the agricultural land class and partly from the natural vegetation class. Other changes (Fig. 4) were mostly



Sl. 4. Promjene zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj 1981. – 2011. godine (0 – bez zabilježenih promjena, 1 – izgrađeno, 2 – poljoprivredno, 3 – prirodna vegetacija, 4 – voda).

Fig. 4 Land cover changes in northern Croatia 1981-2011 (0 - no recorded change, 1 - built-up, 2 - agricultural, 3 - natural vegetation, 4 - water)

Izvor: prema rezultatima vlastitog istraživanja i DARH, 2005.

Source: according to the research results and DARH, 2005

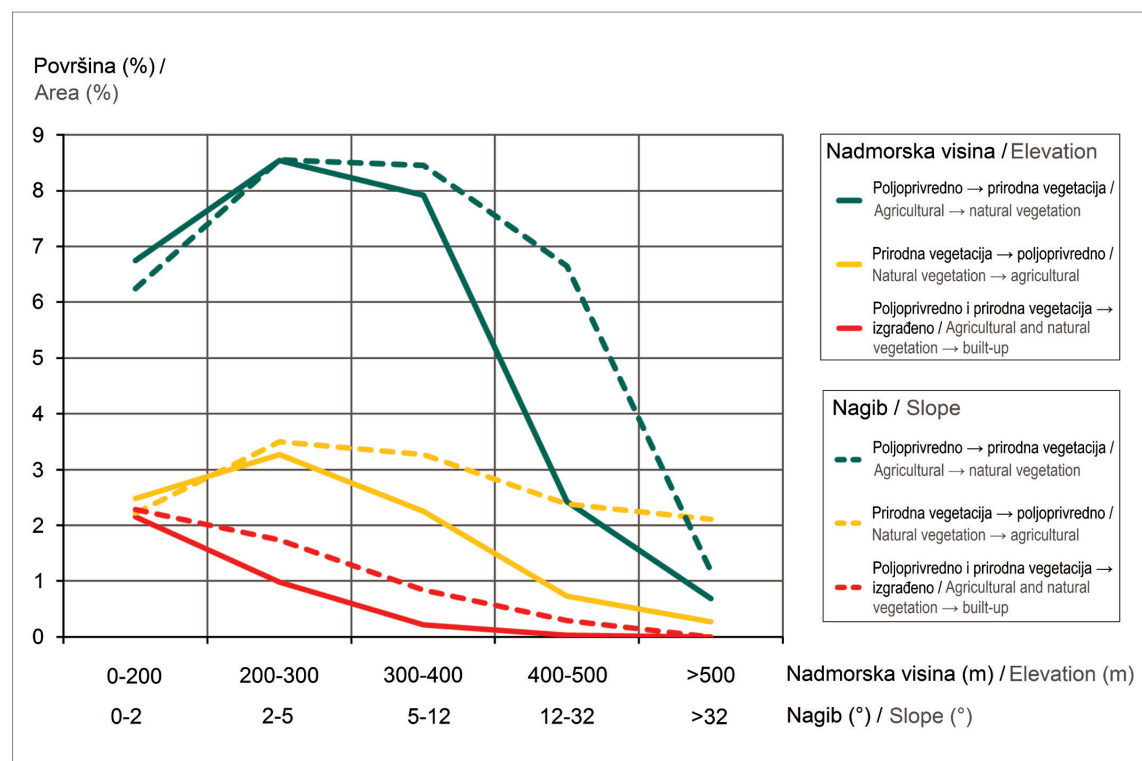


Područja snažnijeg porasta prirodne vegetacije bila su donje Međimurje i Đurđevačka Podravina, a isticala su se i dva lokaliteta sjeverno od Koprivnice. Također je bio zamjetan porast prirodne vegetacije na brežuljkastim područjima nižih nadmorskih visina. Većih i kompaktnih područja porasta poljoprivrednih zemljišta nije bilo. Porast izgrađenih površina bio je uočljiv u okolici najvećih gradova, a isticao se i „obruč“ izgrađenog područja oko kompaktnih poljoprivrednih površina zapadno od Varaždina.

Promjene poljoprivrednog zemljišta u prirodnu vegetaciju najvećim su se dijelom pojavljivale na visinama od 200 do 400 m (sl. 5). U nizinskim područjima do 200 m bile su manje zastupljene, a na visinama iznad 400 m rijetko su se pojavljivale. Promjene prirodne vegetacije u poljoprivredno zemljište najčešće su se pojavljivale na visinama od 200 do 300 m, a nešto manje i na visinama do 200 m. Na višim nadmorskim visinama odvijale su se mnogo manje, kao i promjene poljoprivrednog u prirodnu vegetaciju. Promjene poljoprivrednog i prirodne vegetacije u izgrađeno zemljište bile su najveće na nižoj nadmorskoj visini.

scattered. Areas with a stronger increase in natural vegetation were lower Međimurje, Đurđevačka Podravina, and two localities north of Koprivnica. Besides these, an increase in natural vegetation was evident in hilly areas of lower elevation. Larger and more compact areas of increase in agricultural land were not evident. The increase of built-up land was visible in the vicinity of the most populated cities. A ring of built-up land around compact agricultural areas west of Varaždin was also highlighted.

The change from agricultural land to natural vegetation largely occurred at an elevation ranging from 200 to 400 m (Fig. 5). In lowlands up to 200 m it was less evident, while at elevations above 400 m it occurred rarely. The change from natural vegetation to agricultural land mostly occurred at an elevation ranging from 200 to 300 m and only slightly less at elevations up to 200 m. It was noted even less at higher elevations, same as the change from agricultural land to natural vegetation. The changes from agricultural and natural vegetation to built-up land were increasing in areas of low elevation.



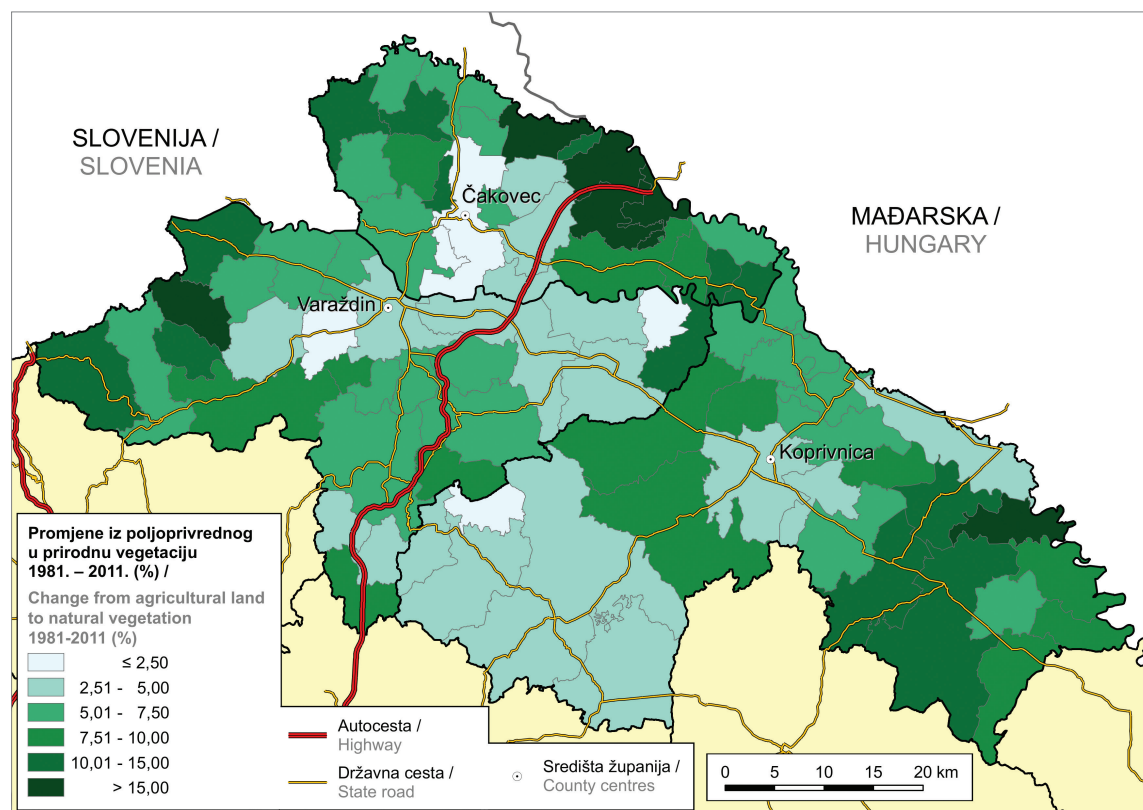
Sl. 5. Dominantne promjene zemljišnog pokrova sjeverne Hrvatske 1981. – 2011. godine po visinskim razredima i razredima nagiba  
Fig. 5 Prevailing land cover changes in northern Croatia 1981-2011 by elevation and slope classes

Sličan obrazac kao kod nadmorske visine promjene poljoprivrednog zemljišta u prirodnu vegetaciju poprimale su i kod raspodjele po razredima nagiba – najvećim su se dijelom pojavljivale na blago nagnutu i nagnutu terenu, a nešto manje na zaravnjenom (sl. 5). Međutim, distribucija promjena prirodne vegetacije u poljoprivredno zemljište prema nagibu bila je bitno drugačija. Premda su bile najčešće na blago i srednje nagnutim terenima, samo su bile nešto slabije, a podjednako snažne, s jedne strane u ravninama i s druge strane na jako nagnutim i vrlo strmim terenima. Distribucija promjena poljoprivrednog i prirodne vegetacije u izgrađeno zemljište bila je podjednaka kao kod razreda nadmorske visine, što znači da su bile najčešće na ravnim terenima, a opadale su s povećanjem nagiba.

Promjene poljoprivrednog zemljišta u prirodnu vegetaciju bile su najizraženije u istočnom dijelu donjeg Međimurja, Đurđevačke Podravine i pobr-

The change from agricultural land to natural vegetation had a similar pattern in slope classes as in altitude – it largely occurred at mild and middle slopes and less on flat terrain (Fig. 5). However, the distribution of the change from natural vegetation to agricultural land by slopes was a bit different. Although it was the most common on mild and medium slopes, it was only slightly lower in plains, but also on steep terrain. The distribution of the changes from agricultural and natural vegetation to built-up land by slope classes was similar to its distribution by elevation classes, which means it was the most common on flat terrain and it decreased with the increase of the slope.

According to the spatial distribution of the process in the municipalities of northern Croatia, the change from agricultural to natural vegetation was the most evident in the eastern part of lower Međimurje, Đurđevačka Podravina, and on hillsides in



Sl. 6. Udio promjena poljoprivrednog u prirodnu vegetaciju po površini jedinica lokalne samouprave sjeverne Hrvatske 1981. – 2011. godine  
Fig. 6 Share of change from agricultural to natural vegetation by area of local municipal units in northern Croatia 1981-2011

Izvor: prema rezultatima vlastitog istraživanja i DARH, 2005.  
Source: according to the research results and DARH, 2005

đima na zapadu Varaždinske županije (sl. 6). Područja najslabijih promjena u prirodnu vegetaciju bila su urbana i suburbana područja veće gustoće naseljenosti poput Varaždina, Čakovca i Koprivnice. Manjom stopom promjena isticao se i zapadni dio Koprivničko-križevačke županije.

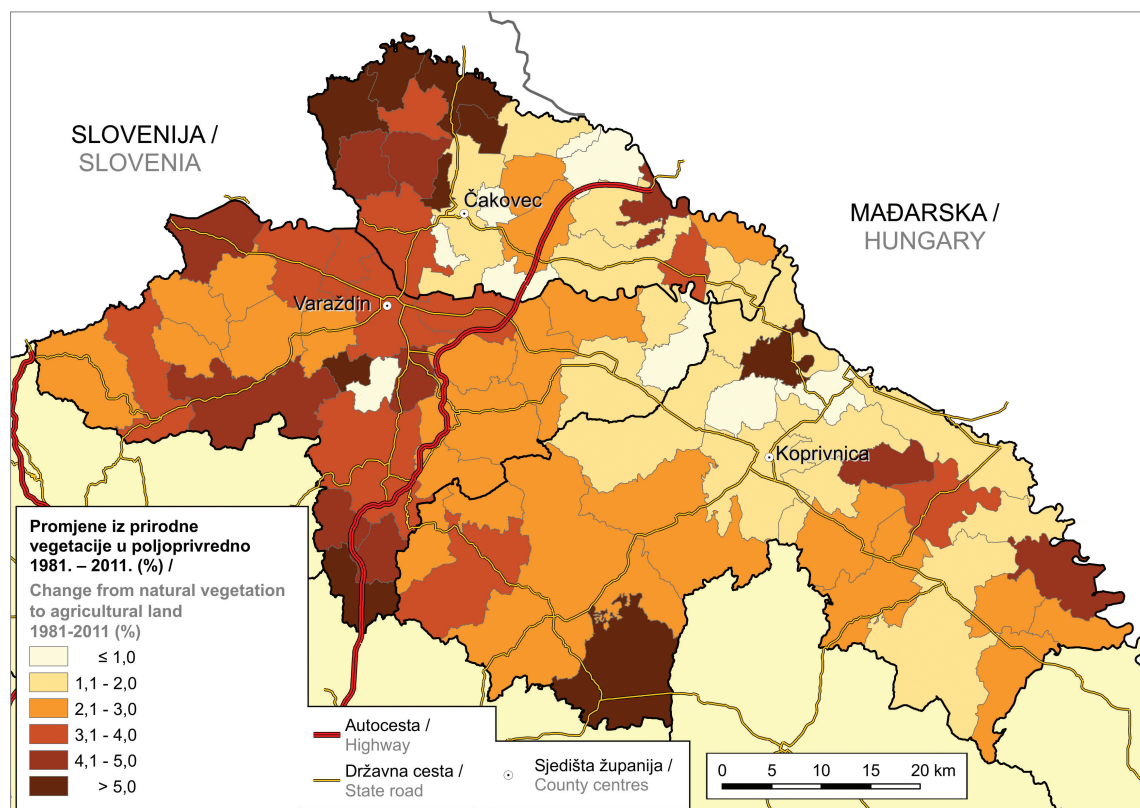
Nešto jače promjene prirodne vegetacije u poljoprivredno zemljište zabilježene su u zapadnom dijelu proučavanog područja, a napose na sjeveru gornjeg Međimurja. Još su se isticala općine Breznica u Varaždinskoj te Sveti Ivan Žabno i Đelekovec u Koprivničko-križevačkoj županiji (sl. 7).

Najveće promjene poljoprivrednog i prirodne vegetacije u izgrađeno zemljište evidentirane su u urbanim i suburbanim područjima, posebice u pojasu uz magistralnu cestu Varaždin – Čakovec – Mursko Središće, koja čini okosnicu toga prostora (sl. 8).

the west of Varaždin County (Fig. 6). Areas with the lowest level of change to natural vegetation were urban and suburban areas with a higher population density like Varaždin, Čakovec, and Koprivnica. A lower rate of change was also noted in the western part of Koprivnica-Križevci County.

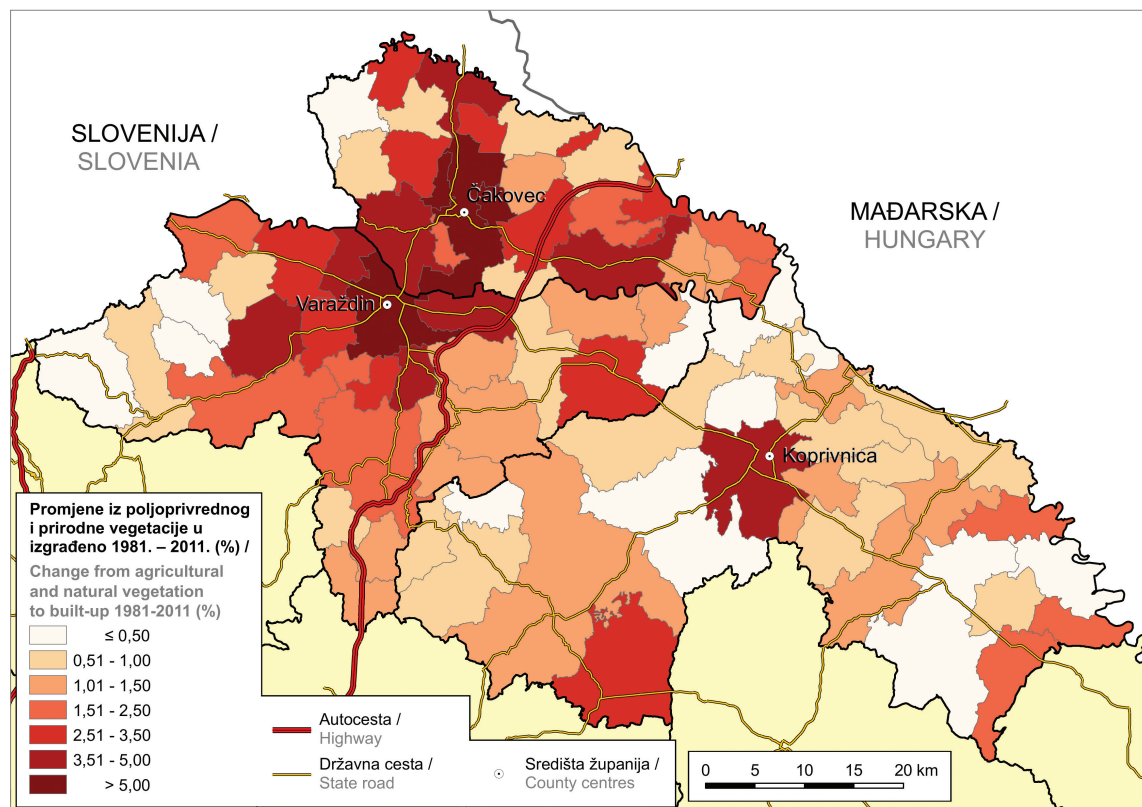
A slightly stronger change from natural vegetation to agricultural land was observed in the western part of the research area, particularly in the northern part of upper Međimurje. The municipalities of Breznica in Varaždin County, and Sveti Ivan Žabno and Đelekovec in Koprivnica-Križevci County were also distinguished (Fig. 7)

The greatest changes from agricultural and natural vegetation to built-up land were recorded in urban and suburban areas, especially in the zones close to the main road (Varaždin – Čakovec – Mursko Središće), which represents the traffic backbone of the area (Fig. 8).



Sl. 7. Udio promjena prirodne vegetacije u poljoprivredno zemljište po površini jedinica lokalne samouprave sjeverne Hrvatske 1981. – 2011. godine  
Fig. 7 Share of change from natural vegetation to agricultural land by area of local municipal units in northern Croatia 1981-2011

Izvor: prema rezultatima vlastitog istraživanja i DARH, 2005.  
Source: according to the research results and DARH, 2005



Sl. 8. Udio promjena poljoprivrednog i prirodne vegetacije u izgrađeno zemljište po površini jedinica lokalne samouprave sjeverne Hrvatske 1981. – 2011. godine

Fig. 8 Share of change from agricultural and natural vegetation to built-up land by area of local municipal units in northern Croatia 1981-2011

Izvor: prema rezultatima vlastitog istraživanja i DARH, 2005.

Source: according to the research results and DARH, 2005

## Rasprava

Prema rezultatima istraživanja dominantne su promjene zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj bile porast udjela prirodne vegetacije, porast izgrađenih površina te smanjenje poljoprivrednih površina, što je u skladu s općim trendovima zabilježenim u dosadašnjim istraživanjima u Međimurskoj županiji (Horvat, 2013) i susjednoj Krapinsko-zagorskoj županiji (Cvitanović, 2014b). Prema Horvatu (2013), u Međimurskoj je županiji između 1978. i 2007. godine došlo do porasta izgradnje za 53 %, smanjenja poljoprivrednog zemljišta za 7 % i porasta površine pod šumama za 5 %. Odstupanje od rezultata ovoga istraživanja može se objasniti različitim metodama klasifikacije i različitim određivanjem klasifikacijske sheme. Slični trendovi zabilježeni su i u istraživanjima u Poljskoj (Łowicki, 2008) i Češkoj (Václavík

## Discussion

The results of the research showed that the dominant changes in land cover in northern Croatia were an increase in the share of natural vegetation, an increase in built-up land, and a decrease in agricultural land – which is in accordance with the general trends recorded in previous research in Međimurje County (Horvat, 2013) and neighbouring Krapina-Zagorje County (Cvitanović, 2014b). According to Horvat (2013), built-up land in Međimurje County increased by 53%, agricultural land decreased by 7%, and forest increased by 5% between 1978 and 2007. The deviation from the results of this study can be explained by differing methods of classification and different determinations of the classification scheme. Similar trends were also recorded in studies in Poland (Łowicki, 2008) and the Czech Republic (Václavík and Ro-

i Rogan, 2009). U karpatskoj regiji, u razdoblju između 1985. i 2010. godine, poljoprivredne površine smanjile su se za čak 27 %, šumski pokrov povećao se za 8 %, a travnjaci za 21 % (Griffiths i dr., 2013).

Više od 50 % svih promjena na istraživanom području činilo je povećanje udjela prirodne vegetacije na račun poljoprivrednih površina. Taj se proces može povezati s dominantnim socioekonomskim obilježjima sjeverne Hrvatske. Od sredine prošlog stoljeća zapošljavanjem u industrijskim ili uslužnim djelatnostima te napuštanjem poljoprivrednih zanimanja i posjeda dolazi do socijalnog prestrukturiranja stanovništva. Ipak, veliki dio ruralnog stanovništva ne napušta poljoprivredni posjed u potpunosti, već on postaje dopunski izvor egzistencije. Takav se proces definira kao djelomična deagrarizacija s mješovitim domaćinstvima sa sitnim posjedima i polikulturalnom proizvodnjom (Cvitanović, 2014b). Vresk (1972) zaključuje da i djelomično prestrukturiranje stanovništva ima utjecaj na promjene u zemljišnom pokrovu. On ističe da su ozelenjivanje oranica i smjena kultura u izravnoj vezi sa zapošljavanjem seoskog stanovništva izvan poljoprivrednih posjeda. Jednom od najizraženijih posljedica deagrarizacije smatra se pojava prirodne sukcesije na napuštenim obradivim površinama, odnosno zarastanje oranica u travnjake i šikaru te širenje šumskog pokrova (Cramer i dr., 2008). U državama istočne i srednje Europe nakon raspada socijalizma nastupa razdoblje gospodarske tranzicije, u kojem su napuštanje poljoprivrednog zemljišta i širenje šumskog pokrova dominantni procesi promjena zemljišnog pokrova (Prishchepov i dr., 2012; Griffiths i dr., 2013). Od početka 1990-ih godina i sjevernu Hrvatsku pogađa kriza i zaostajanje industrijske proizvodnje, prvenstveno tekstilne, te pad broja zaposlenih u industriji (Feletar, 2011). Dakle, o deagrarizaciji se ne može više govoriti kao industrijski uvjetovanoj. U skladu s tim, Cvitanović (2014b) ističe da od 1990-ih umjesto industrije sve važniju ulogu imaju uslužne djelatnosti i razina obrazovanja. Zarastanje obradivih površina u travnjake u Krapinsko-zagorskoj županiji tumači rastom udjela visokoobrazovanih u ukupnom stanovništvu.

gan, 2009). In the Carpathian region, agricultural land decreased by 27%, forest cover increased by 8%, and grasslands increased by 21% between 1985 and 2010 (Griffiths et al., 2013).

The increase in natural vegetation at the expense of agricultural land accounted for more than 50% of all changes in the research area. This process could be related to the dominant socio-economic characteristics of northern Croatia. Since the mid-20th century, employment in the industrial or service sectors and agricultural abandonment have led to a social restructuring of the population. However, a large part of the rural population has not left their agricultural land completely; rather they have been using it as an additional source of income. Such a process is defined as partial deagrarianisation with mixed households of small estates and polyculture production (Cvitanović, 2014b). Vresk (1972) concluded that the partial restructuring of the population had an impact on changes in land cover. He emphasised that the abandonment of arable land and crop substitution were directly related to the employment of the rural population outside agricultural holdings. It is considered that one of the most striking consequences of deagrarianisation is an occurrence of natural succession on abandoned arable land, i.e. the conversion of uncultivated fields to grassland and shrub land and the spreading of forest cover (Cramer et al., 2008). In the countries of Eastern and Central Europe, the period of economic transition which began after the collapse of socialism has been characterised by agricultural abandonment and the spreading of forests, as the dominant changes of land cover (Prishchepov et al., 2012; Griffiths et al., 2013). Since the beginning of the 1990s, northern Croatia has also been characterised by crisis and lagging industrial production, primarily textile, and a decrease in the number of employees in the industrial sector (Feletar, 2011). Therefore, we can no longer speak of deagrarianisation as industrially conditioned. Accordingly, Cvitanović (2014b) points out that, since the 1990s, services and the level of education have had an increasingly important role instead of industry. He relates the increase of natural succession in Krapina-Zagorje County with the growth in the share of highly-educated people in

T. Jogun, K. Pavlek,  
T. Belić, S. Buhin,  
N. Malesić

**Promjene  
zemljišnog  
pokrova u sjevernoj  
Hrvatskoj od 1981.  
do 2011. godine**

**Land cover  
changes in  
northern Croatia  
from 1981 to 2011**

Mlado visokoobrazovano stanovništvo osigurava viša primanja pa se manje zapošljava u poljoprivredi te stoga rastom udjela visokoobrazovanog stanovništva dolazi do tranzicije iz djelomične u potpunu deagrarizaciju.

Najveći porast udjela prirodne vegetacije zabilježen je u visinskoj zoni od 200 do 300 m nadmorske visine te u razredima od 2 do 12° nagiba padine. Širenje prirodne vegetacije na račun poljoprivrednih površina ponajviše je povezano s izraženom deagrarizacijom, ali i depopulacijom i starenjem stanovništva u naseljima viših nadmorskih visina i zonama većeg nagiba. Prometna izoliranost, izrazita fragmentiranost poljoprivrednog zemljišta uslijed nasljeđivanja i erozija tla često su ograničavajući faktori za ostvarivanje dostatnih prihoda za život lokalnog stanovništva. U novije doba neusklađenost katastarske i vlasničke strukture onemogućuje okrupnjavanje zemljišta što potpomaže njihovo napuštanje. Fragmentiranost i mala površina posjeda pospješuje širenje prirodne vegetacije, odnosno proces prirodne sukcesije ili reforestacije (Cvitanović i dr., 2016). Istraživanje u Slovačkoj pokazalo je da česte promjene vlasničke strukture zemljišta, poljoprivredna intenzifikacija i deforestacija uzrokuju povećanu eroziju tla u brežuljkastim i planinskim područjima. Neprimjerenom upravljanje zemljištem dovodi do gubitka plodnog tla što kasnije utječe na napuštanje poljoprivrednih površina i reforestaciju (Cebecauer i Hofierka, 2008). Povećanje udjela prirodne vegetacije u nižim i zaravnjenim zonama najviše je zabilježeno u prostoru poloja rijeke Drave, što je sukladno rezultatima istraživanju u Krapinsko-zagorskoj županiji (Cvitanović i dr., 2016). Na polojima je plodnost tla smanjena zbog zamočvarenosti i češćih plavljenja. U poloju rijeke Drave nalaze se također posebni rezervat Crni Jarki, šuma Repaš i Regionalni park Mura-Drava, u kojima su dodatnom zaštitom prostora povećane šumske površine.

Najviše stope promjena prirodne vegetacije u poljoprivredno zemljištu zabilježene su u brežuljkastoj zoni od 200 do 300 m blago nagnutih padina. Iako je to ista zona u kojoj su bile najintenzivnije promjene poljoprivrednog u prirodnu vegetaciju, izgledno je da je istovremeno dolazilo

the total population. Young and highly-educated people have a higher income, so they are less often employed in agriculture. Thus, the increase in the share of the highly-educated population leads to a transition from partial to full deagrarianisation.

The biggest increase in the share of natural vegetation was recorded in the elevation zone ranging from 200 to 300 m, and in the slope zone from 2 to 12°. The expansion of natural vegetation at the expense of agricultural land has mostly been associated with pronounced deagrarianisation, but also with depopulation and population ageing in settlements in the higher elevations zones with steeper slopes. Traffic isolation, distinct fragmentation of agricultural land through inheritance, and soil erosion have been common limiting factors for the realisation of sufficient income for the livelihood of the local population. Recently, inconsistency in cadastral and ownership structures has prevented land consolidation and supported the process of land abandonment. Fragmentation and the small area of plots enhanced the spread of natural vegetation, i.e. the process of natural succession or reforestation (Cvitanović et al., 2016). Research in Slovakia showed that frequent changes in the ownership structure of the land, agricultural intensification, and deforestation caused increased erosion in hilly and mountainous areas. Inappropriate land management led to a loss of fertile soil which later caused the abandonment of agricultural land and reforestation (Cebecauer and Hofierka, 2008). The increase in natural vegetation in the lowlands was mostly recorded in the floodplain area of the river Drava, which is in accordance with the results of research in Krapina-Zagorje County (Cvitanović et al., 2016). Soil fertility in the floodplains decreased due to the occurrence of marshes and frequent flooding. Furthermore, in the Special (forest) Reserve "Crni Jarki", the Repaš Forest, and the Regional Park Mura-Drava (which are situated in the floodplain of the river Drava), forest areas increased due to additional protection of the space.

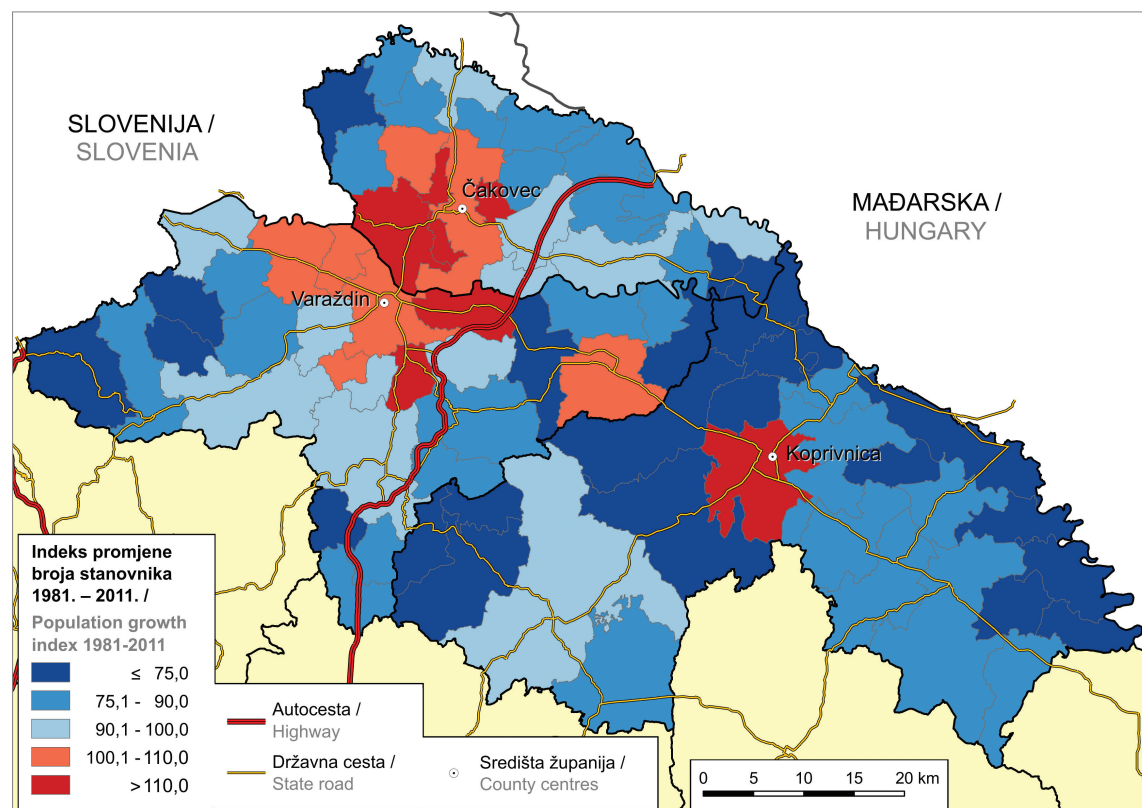
The highest rates of change from natural vegetation to agricultural were noted in the hilly zone ranging from 200 to 300 m with mild slopes. Although this is the same area where the most intense land cover change from agricultural to natural vegetation also took place, it is likely that the expansion

i do suprotnog procesa – proširivanja poljoprivrednih površina. No, taj je proces ipak bio slabijeg intenziteta, a u obzir treba uzeti i moguću pogrešku u klasifikaciji zbog velike fragmentiranosti zemljišta. Također, udio promjena zemljišnog pokrova po razredima nadmorske visine i nagiba prikazao je generaliziranu sliku za cijelo istraživano područje. Za objašnjavanje regionalnih varijabilnosti promjena potrebna je dublja analiza na razini jedinica lokalne samouprave.

U istraživanom su području rast gustoće naseljenosti između 1981. i 2011. godine zabilježili jedino visoko urbanizirani upravni gradovi Čakovec, Varaždin, Koprivnica i Ludbreg te okolica Varaždina i Čakovca (sl. 9). Te su jedinice ujedno zabilježile i najveći porast udjela izgrađenih površina i najmanji porast udjela prirodne vegetacije. Naime, posljednja dva desetljeća jača proces suburbanizacije čime je naglašena atraktivnost okolice

of agricultural land was also taking place simultaneously. However, this process had a lower intensity, and the possibility of error in the classification due to high fragmentation of land should be taken into account. Moreover, the share of land cover changes by classes of elevation and slope showed a generalised picture for the entire research area. To explain the regional variability of changes, a deeper analysis at the level of local governments is required.

In the research area, an increase in population density between 1981 and 2011 was recorded only in the highly-urbanised administrative cities of Čakovec, Varaždin, Koprivnica, and Ludbreg and the surroundings of Varaždin and Čakovec (Fig. 9). These units also recorded the largest increase in the share of construction and the lowest increase in the share of natural vegetation (Fig. 9). During the last two decades, the process of suburbanisation has been strengthening. The attractiveness of the city surround-



Sl. 9. Indeks promjene broja stanovnika u sjevernoj Hrvatskoj 1981. – 2011. godine

Fig. 9 Population growth index in northern Croatia between 1981 and 2011

Izvor: Popis stanovništva 1981., Popis stanovništva 2011., Državni zavod za statistiku, Zagreb; DARH, 2005.

Source: Population census 1981, Population census 2011, Croatian Bureau of Statistics, Zagreb; DARH, 2005

gradova za stanovanje, kako zbog nižih troškova i dobre prometne povezanosti s urbanim središtem tako i zbog bolje kvalitete života. Širenje izgrađenih područja potaknuto je i decentralizacijom industrije i funkcija pri čemu važnu ulogu ima izgradnja poslovnih i industrijskih zona te druge *greenfield* investicije (Cini i Varga, 2009). Budući da su svi urbani centri smješteni u nizinama, udio povećanja izgrađenih površina opadao je s povećanjem nadmorske visine i nagiba.

## Zaključak

Predstavljeni rezultati istraživanja pokazali su da je u sjevernoj Hrvatskoj između 1981. i 2011. godine došlo do značajnih promjena zemljišnog pokrova, točnije na 13,8 % površine. Upotrebom metode nadzirane klasifikacije Landsatovih satelitskih snimaka omogućena je detekcija navedenih promjena zemljišnog pokrova s visokom pouzdanošću.

Od zabilježenih tipova promjena u apsolutnim iznosima najznačajnije su se pokazale promjene iz poljoprivrednog zemljišta u prirodnu vegetaciju, koje su vjerojatno bile posljedica sekundarne sukcesije zbog napuštanja poljoprivrednog zemljišta. Ako se promotri relativno povećanje, osim prirodne vegetacije, važan porast uočen je i u kategoriji izgrađenog zemljišta pod utjecajem (sub)urbanizacije. Određene zakonitosti potvrđene su analizom promjena zemljišnog pokrova s obzirom na reljefna obilježja područja. Naime, porastom nadmorske visine i nagiba padina smanjivao se proces širenja izgrađenog zemljišta jer se većina urbanih naselja nalazi u nizinskim područjima. S druge strane, promjene iz poljoprivrednog zemljišta u prirodnu vegetaciju bile su najizraženije u razredu nadmorske visine 200 – 300 m i nagibima od 2 do 12° nakon čega su počinjale opadati. Navedeni odnosi potkrepljuju ulogu prirodno-geografskih faktora u promjenama zemljišnog pokrova.

Iako ovo istraživanje nije ponudilo empirijske dokaze o uzroku promjena zemljišnog pokrova i socioekonomskih obilježja područja, prostorni trendovi sugerirali su postojanje dvaju paralelnih procesa uvjetovanih divergentnim kretanjima. Proces prirodne sukcesije odvijao se u područjima s izraže-

ings for housing has become highlighted due to lower costs, good transport connections to urban centres, and better quality of life. The expansion of built-up areas has also been prompted by the decentralisation of industry and functions, along with the important role of the new industrial and business zones and other “greenfield” investments (Cini and Varga, 2009). Since all urban centres are located in the lowlands, the share of the increase in built-up land decreased with the increase of elevation and slope.

## Conclusion

The results of this research showed significant changes in land cover in northern Croatia in the observed period, i.e. on 13.8% of the research area. A highly reliable detection of these land cover changes was enabled using the method of supervised classification of Landsat satellite images.

From the recorded types of changes, in absolute terms, the most significant was the change from agricultural land to natural vegetation, which was probably a consequence of secondary succession due to the abandonment of agricultural land. If we consider the relative increase, in addition to natural vegetation, an important increase has been observed in the class of built-up land under the influence of (sub)urbanisation. Certain regularities were confirmed by analysing changes in land cover compared to the relief characteristics of the area. The increase in altitude and slope reduced the expansion process of built-up land, because most of the urban settlements were located in the lowland areas. On the other hand, the change from agricultural land to natural vegetation was most pronounced in the altitude class ranging from 200 to 300 m and the slope class ranging from 2 to 12°, it begins to decline thereafter. These relationships support the role of physical-geographical factors in land cover changes.

Although this research provided no empirical evidence of causality between changes in land cover and the socio-economic characteristics of the area, spatial trends suggested two parallel processes conditioned by divergent directions. The process of natural succession took place in areas with significant



nom depopulacijom, deagrariacijom i napuštanjem poljoprivrednog zemljišta. Istodobno se stanovništvo s toga prostora doseljavalo u gradska središta i njihovu okolicu, potičući proces urbanizacije. Time se izrazito povećavao udio izgrađenog zemljišta, mijenjajući kulturni pejzaž okolnih ruralnih naselja. Ako se ovakvi demografski procesi nastave, može se pretpostaviti da će ruralna područja doći u opasnost od izumiranja što će za posljedicu imati jačanje daljnje polarizacije između ruralne periferije i urbanih centara.

Zahvaljujemo našoj mentorici doc. dr. sc. Dubravki Spevec i sumentoru dr. sc. Mateu Gašparoviću na susretljivosti, strpljivosti i pomoći pri izradi ovoga rada. Također zahvaljujemo Antoniji Bilandžiji i Nini Vilušić Grabovčić na pomoći pri prevođenju teksta na engleski jezik.

depopulation, deagrarianisation, and agricultural abandonment. At the same time, the population of this area moved into urban centres and their surroundings, encouraging a process of urbanisation. This markedly increased the share of built-up land, changing the cultural landscape of surrounding rural settlements. If these demographic processes continue, rural areas will be at risk of extinction, which would result in further strengthening of the polarisation between the rural periphery and urban centres.

We are grateful to our mentor Dubravka Spevec, Ph.D., and our co-mentor Mateo Gašparović, Ph.D., for their kindness, patience, and aid in preparing this paper. We would also like to thank Antonia Bilandžija and Nina Vilušić Grabovčić for their English translation and language editing.

- Alcantara, C., Kuemmerle, T., Baumann, M., Bragina, E., Griffiths, P., Hostert, P., Knorn, J., Mueller, D., Prishchepovs, A., Schierhorn, F., Sieber, A., Radeloff, V., 2013: Mapping the extent of abandoned farmland in Central and Eastern Europe using MODIS time series satellite data, *Environmental Research Letters* 8 (3), 38–47, DOI: 10.1088/1748-9326/8/3/035035.
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., Witmer, R. E., 1976: A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data, *Geological Survey Professional Paper* 964, 1–41.
- Baumann, M., Ozdogan, M., Kuemmerle, T., Wendland, K. J., Esipova, E., Radeloff, V. C., 2012: Using the Landsat record to detect forest-cover changes during and after the collapse of the Soviet Union in the temperate zone of European Russia, *Remote Sensing of Environment* 124, 174–184, DOI: 10.1016/j.rse.2012.05.001.
- Brown, D. G., Goovaerts, P., Burnicki, A., Li, M.-Y., 2002: Stochastic Simulation of Land-Cover Change Using Geostatistics and Generalized Additive Models, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 68 (10), 1051–1061.
- Brown, D. G., Duh, J. D., 2004: Spatial simulation for translating from land use to land cover, *International Journal of Geographical Information Science* 18 (1), 35–60, DOI: 0.1080/13658810310001620906.
- Campbell, J. B., 2006: *Introduction to Remote Sensing*, The Guilford Press.
- Cebecauer, T., Hofierka, J., 2008: The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia, *Geomorphology* 98 (3–4), 187–198, DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.12.035.
- Cini, V., Varga, D., 2009: Poslovne zone – bitni elementi gospodarskog razvoja Varaždinske županije, *Ekonomski vjesnik* 22 (1), 63–76.
- Cramer, V., Hobbs, R., Standish, R., 2008: What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly, *Trends in Ecology & Evolution* 23 (2), 104–112, DOI: 10.1016/j.tree.2007.10.005.
- 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., 1982: Pojava ugara i neobrađenih oranica i promjene brojnosti stanovništva SR Hrvatske u posljednjih dvadeset godina, *Geografski glasnik* 44 (1), 3–21.
- Cvitanović, M., 2014a: Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1991. do 2011., *Hrvatski geografski glasnik* 76 (1), 41–59.
- Cvitanović, M., 2014b: *Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1978. do 2011. godine*, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb.
- Cvitanović, M., Blackburn, G. A., Jepsen, M. R., 2016: Characteristics and drivers of forest cover change in the post-socialist era in Croatia: evidence from a mixed-methods approach, *Regional Environmental Change* 16 (1), 1–13, DOI: 10.1007/s10113-016-0928-0.
- Dewan, A. M., Yamaguchi, Y., 2009: Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization, *Applied Geography* 29 (3), 390–401, DOI: 10.1016/j.apgeog.2008.12.005.
- Durbešić, A., 2012: *Promjene pejzaža južne padine Svilaje – GIS pristup*, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb.

T. Jogun, K. Pavlek,  
T. Belić, S. Buhin,  
N. Malesić

**Promjene  
zemljišnog  
pokrova u sjevernoj  
Hrvatskoj od 1981.  
do 2011. godine**

Land cover  
changes in  
northern Croatia  
from 1981 to 2011

**Zahvala  
Acknowledgement**

**Literatura  
Literature**

- Feletar, D., 2013: Geografsko-demografske značajke regionalnog parka Mura–Drava, *Podravina: časopis za multidisciplinarna istraživanja* 12 (2), 5–21.
- Feletar, P., Franolić, I., Dugina, M., 2010: Strategijski razvoj i utjecaj prometa na prijevoznu potražnju u Varaždinskoj županiji, *Podravina: časopis za multidisciplinarna istraživanja* 9 (17), 138–152.
- Feletar, P., 2011: Industrija Podravine – od manufakture do deindustrijalizacije (glavne etape i procesi), *Podravina: časopis za multidisciplinarna istraživanja* 10 (2), 115–162.
- Fukushima, T., Takahashi, M., Matsushita, B., Okanishi, Y., 2007: Land use/cover change and its drivers: A case in the watershed of Lake Kasumigaura, Japan, *Landscape and Ecological Engineering* 3 (1), 21–31, DOI: 10.1007/s11355-006-0008-6.
- Fürst-Bjeliš, B., Lozić, S., Cvitanović, M., Durbešić, A., 2011: Promjene okoliša središnjeg dijela Dalmatinske zagore od 18. stoljeća, u: *Zagora između stočarsko-ratarske tradicije te procesa litoralizacije i globalizacije* (ur. Matas, M., Faričić, J.), Sveučilište u Zadru, Kulturni sabor Zagore, Ogranak Matice hrvatske Split, 117–130.
- Griffiths, P., Müller, D., Kuemmerle, T., Hostert, P., 2013: Agricultural land change in the Carpathian ecoregion after the breakdown of socialism and expansion of the European Union, *Environmental Research Letters* 8 (4), DOI: 10.1088/1748-9326/8/4/045024.
- Horvat, Z., 2013: Using Landsat Satellite Imagery to Determine Land Use/Land Cover Changes in Međimurje County, Croatia, *Hrvatski geografski glasnik* 75 (2), 5–28.
- Jenerette, G. D., Wu, J., 2001: Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona – Phoenix region, USA, *Landscape Ecology* 16, 611–626, DOI: 10.1023/A:1013170528551.
- Jiang, Y., Liu, J., Cui, Q., An, X. H., Wu, C. X., 2011.: Land use/land cover change and driving force analysis in Xishuangbanna Region in 1986–2008, *Frontiers of Earth Science* 5 (3), 288–293, DOI: 10.1007/s11707-011-0180-3.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., Lepers, E., 2003: Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions, *Annual Review of Environment and Resources* 28, 205–241, DOI: 10.1146/annurev.energ.28.050302.105459.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipmann, J. W., 2008: *Remote Sensing and Image Interpretation, Sixth Edition*, John Wiley and Sons, USA.
- López-Carr, D., Burgdorfer, J., 2013: Deforestation Drivers: Population, Migration, and Tropical Land Use, *Environment* 55 (1), 3–11, DOI: 10.1080/00139157.2013.748385.
- Łowicki, D., 2008: Land use changes in Poland during transformation, Case study of Wielkopolska region, *Landscape and Urban Planning* 87 (4), 279–288, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2008.06.010.
- Malić, A., 1983: Regionalne razlike i promjene površina kategorije iskorištavanja poljoprivrednog zemljišta SR Hrvatske, *Geografski glasnik* 45 (1), 55–72.
- McCauley, J. D., Engel, B. A., 1995: Comparison of Scene Segmentations: SMAP, ECHO and Maximum Likelihood, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 33 (6), 1313–1316, DOI: 10.1109/36.477185.
- Manson, S. M., 2009: Simulation, in: *International Encyclopedia of Human Geography* (eds. Kitchin, R., Thrift, N.), Elsevier, Oxford (10), 132–137.
- Prishchepov, A. V., Radeloff, V. C., Baumann, M., Kuemmerle, T., Müller, D., 2012: Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe, *Environmental Research Letters* 7, 1–3, DOI: 10.1088/1748-9326/7/2/024021.
- Rey Benayas, J. M., Martins, A., Nicolau, J. M., Schulz, J. J., 2007: Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences, *CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources* 57 (2), 1–14, DOI: 10.1079/PAV-SNNR20072057.
- Rogić, V., 1957: Velebitska primorska padina, *Geografski glasnik* 19 (1), 61–100.
- Rogić, V., 1958: Velebitska primorska padina, *Geografski glasnik* 20 (1), 53–110.
- Spevec, D., 2009: Starenje stanovništva Varaždinske županije od 1961. do 2001., *Migracijske i etničke teme* 25 (1–2), 125–152.
- Spevec, D., 2011: *Prostorne značajke demografskih resursa i potencijala Krapinsko-zagorske, Varaždinske i Međimurske županije*, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb.
- Story, M., Congalton, R. G., 1986: Accuracy assessment: a user's perspective, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 52, 397–399.
- Václavík, T., Rogan, J., 2009: Identifying Trends in Land Use/Land Cover Changes in the Context of Post-Socialist Transformation in Central Europe: A Case Study of the Greater Olomouc Region, Czech Republic, *GIScience & Remote Sensing* 46 (1), 54–76, DOI: 10.2747/1548-1603.46.1.54.
- Valozić, L., Cvitanović, M., 2011: Mapping the Forest Change: Using Landsat Imagery in Forest Transition Analysis within the Medvednica Protected Area, *Hrvatski geografski glasnik* 73 (1), 245–255.
- Valozić, L., 2014: Klasifikacija zemljišnog pokriva urbanog i periurbanog prostora pomoću objektno orijentirane analize multispektralnih snimaka, *Hrvatski geografski glasnik* 76 (2), 27–38.
- Valozić, L., 2015: *Objektno orijentirana klasifikacija zemljišnoga pokriva pomoću multispektralnih satelitskih snimaka – primjer Grada Zagreba*, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb.
- Viera, A. J., Garrett, 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.
- Vresk, M., 1972: Socijalni ugar i drugi oblici napuštanja agrarne aktivnosti kao posljedica emigracije i socijalnog diferenciranja stanovništva, *Geografski glasnik* 34 (1), 79–89.
- Vresk, M., 1982–1983: Neka obilježja urbanizacije SRH 1981. godine, *Radovi Geografskog odsjeka* 17–18, 39–53.
- Vresk, M., 1988: Dnevna pokretljivost zaposlenih i urbanizacija Varaždinske regije, *Radovi Geografskog odsjeka* 23, 35–42.

*Digitalni atlas Republike Hrvatske (DARH)*, GIS Data, Zagreb, 2005.

*EarthExplorer*, U.S. Geological Survey (USGS), <http://earthexplorer.usgs.gov> (18. 4. 2016.)

*EU-DEM*, European Environmental Agency, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem#tab-european-data> (18. 4. 2016.)

*Frequently Asked Questions about the Landsat Missions*, U.S. Geological Survey (USGS), [http://landsat.usgs.gov/band\\_designations\\_landsat\\_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php) (18. 4. 2016.)

*Hrvatska osnovna karta u mjerilu 1 : 5000*, Geoportal Državne geodetske uprave, <https://geoportal.dgu.hr/metadateeditor/apps/metadateui/print.html?uuid=21cededd-5101-4f28-ad57-f08fcf7c491a&currTab=simple&hl=hrv> (19. 4. 2016.)

*Popis stanovništva, domaćinstava i stanova 1981. godine, Stanovništvo po naseljima, općinama i zajednicama općina, Dokumentacija 553*, Republički zavod za statistiku SR Hrvatske, Zagreb, 1984.

*Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011. godine, Stanovništvo prema starosti i spolu po naseljima*, Državni zavod za statistiku, Zagreb, <http://www.dzs.hr> (17. 4. 2016.)

*WMS DOF5*, Državna geodetska uprava, <http://geoportal.dgu.hr/wms?layers=DOF> (18. 4. 2016.)

*WMS HOK5*, Državna geodetska uprava, <http://geoportal.dgu.hr/wms?layers=HOK> (18. 4. 2016.)

*WMS TK25*, Državna geodetska uprava, <http://geoportal.dgu.hr/wms?layers=TK25> (18. 4. 2016.)

*WMS TK100*, Državna geodetska uprava, <http://geoportal.dgu.hr/services/tk/wms> (18. 4. 2016.)

T. Jogun, K. Pavlek,  
T. Belić, S. Buhin,  
N. Malesić

**Promjene  
zemljišnog  
pokrova u sjevernoj  
Hrvatskoj od 1981.  
do 2011. godine**

Land cover  
changes in  
northern Croatia  
from 1981 to 2011

**Izvori  
Sources**

Tomislav Jogun [tjogun1@hotmail.com](mailto:tjogun1@hotmail.com)  
mag. geogr., mag. ing. geod. et geoinf., Toranj 34,  
34330 Velika, Hrvatska

Katarina Pavlek [katarina.pavlek@student.geog.pmf.hr](mailto:katarina.pavlek@student.geog.pmf.hr)  
univ. bacc. geogr., Aleja pomoraca 17,  
10020 Zagreb, Hrvatska

Tomislav Belić [tbvertroue@gmail.com](mailto:tbvertroue@gmail.com)  
univ. bacc. geogr., Glavna 23,  
40323 Prelog, Hrvatska

Smiljan Buhin [smiljan.buhin@student.geog.pmf.hr](mailto:smiljan.buhin@student.geog.pmf.hr)  
mag. geogr., Vladimira nazora 12, Gojanec,  
42205 Vidovec, Hrvatska

Nino Malesić [ninomalesic@gmail.com](mailto:ninomalesic@gmail.com)  
mag. geogr., mag. educ. geogr., Šetaliste I. G. Kovačića 291,  
51000 Rijeka, Hrvatska

**Autori  
Authors**