

Primljeno / Received  
04-09-2022 / 2022-09-04Prihvaćeno / Accepted  
17-03-2023 / 2023-03-17Josip Šetka  
Petra Radeljak Kaufmann  
Luka Valožić

# Modeliranje promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta: primjer Donjoneretvanskoga kraja

## Modelling land use and land cover changes in the Lower Neretva Region

Simulacijsko modeliranje pokazalo se kao pouzdana metoda predviđanja zemljišnih promjena koja omogućuje bolje razumijevanje i upravljanje ljudskim utjecajem na okoliš. U radu su analizirane i modelirane promjene zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju u razdoblju od 1990. do 2035. godine. Konačni simulacijski model budućih promjena izrađen je na temelju staničnih automata i umjetnih neuronskih mreža, implementiranih u dodatku MOLUSCE za QGIS. Izrađen je i testni simulacijski model za 2020., čija je validacija pokazala visoku razinu točnosti. Ulazne varijable za konačni simulacijski model uključivale su digitalni model reljefa (DEM), nagib padina, udaljenost od vodenih površina, udaljenost od izgrađenih površina te gustoću naseljenosti po naseljima iz 2011. i 2021. Rezultati pokazuju da će se šume i travnjaci proširiti i zauzimati gotovo 45 % područja. Očekuje se da će izgrađene i poljoprivredne površine blago porasti, dok će udio močvara, vodenih površina i područja s oskudnom vegetacijom biti smanjen.

It has been shown that simulation models are reliable tools for predicting land changes, which contributes to better understanding and management of human impact on the environment. Land use and land cover changes in the Lower Neretva Region between 1990 and 2035 have been analysed and modelled in this study. The final simulation model of future changes was created based on cellular automata and artificial neural networks, implemented in the MOLUSCE plugin for QGIS. In addition, a test simulation model for 2020 was created, which showed high accuracy. Input variables for the final simulation model included a digital elevation model (DEM), slope, distance from water bodies, distance from built-up areas, and population density by settlement in 2011 and 2021. According to the results, forests and grasslands will expand and occupy almost 45% of the area. A slight increase in built-up and agricultural areas is expected, while swamps, water bodies, and sparse vegetation areas will decrease.

**Ključne riječi:** zemljišni pokrov, način korištenja zemljišta, simulacijski model, Donjoneretvanski kraj

**Key words:** land cover, land use, simulation model, Lower Neretva Region

## Uvod

Promjene zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta (engl. *land use and land cover change*) važna su tema u kontekstu globalnih klimatskih i okolišnih promjena. Te su promjene najizravnija manifestacija ljudskih aktivnosti nad površinom Zemlje, kao i veza između društvenih i ekonomskih aktivnosti s jedne te okoliša s druge strane (Liu i dr., 2014). Imaju izravan utjecaj na bioraznolikost, interakciju biosfere i atmosfere, hidrološka obilježja, život ljudi i sl. Stoga je poznavanje njihovih uzroka i posljedica od velike važnosti (Memarian i dr., 2012; Jogun i dr., 2019).

Praćenjem i analizom zemljišnih promjena generiraju se informacije o dinamici krajolika koje predstavljaju velik doprinos u poznavanju interakcije čovjeka i okoliša (Bruzzone i Bovololo, 2013). Zahvaljujući razvoju tehnologije i pojavi satelita, površina Zemlje izložena je kontinuiranom motrenju, što je stvorilo osnovu za analizu povijesnih promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta (Longley i dr., 2005; Campbell, 2006; Valožić, 2015; Jogun i dr., 2017).

Analiza promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta provedena je na brojnim primjerima diljem svijeta. Korišteni su mnogobrojni izvori prostornih podataka (satelitske snimke) unutar različitih vremenskih razdoblja, a primijenjena je i različita metodologija istraživanja (Marić i dr., 2022). Hrvatski su autori posljednjih 10-ak godina uz pomoć satelitskih snimka analizirali zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta diljem Hrvatske. Većina radova bilježi slične obrasce promjena kao što su napuštanje poljoprivrednoga zemljišta i reforestacija (Valožić i Cvitanović, 2011; Horvat, 2013; Cvitanović 2014a; 2014b; Valožić, 2014; 2015; Cvitanović i dr., 2016; Jogun, 2016; Cvitanović i dr., 2017; Jogun i dr., 2017; Šetka i dr., 2021, Hamzić, 2022a, Hamzić, 2022b). Promjene zemljišnoga pokrova, kao što su deforestacija, reforestacija i smanjenje močvara, imaju različite implikacije za socioekonomski razvoj i okoliš. Ovisno o vrsti promjene one mogu uključivati povećanje rizika od požara, smanjenje bioraznolikosti, povećanje erozije tla, povećanje rizika od poplava i druge nepovoljne učinke (Chaudhary i dr., 2015; Jajtić

## Introduction

Change in land use and land cover is an important topic in the context of global climate and environmental change. These changes represent the most direct manifestation of human activities on the Earth's surface, as well as the link between social and economic activities and the environment (Liu et al., 2014). As a result, such changes affect biodiversity, the interaction between the biosphere and the atmosphere, hydrology, and human life in general. Hence, it is essential to ascertain the causes and consequences of these changes (Memarian et al., 2012; Jogun et al., 2019).

Monitoring and analysis of land changes provide information on landscape dynamics, which is an important contribution to understanding human-environment interaction (Bruzzone and Bovololo, 2013). The development of technology and the emergence of satellites have exposed the Earth's surface to continuous observation, providing the basis for analysing historical changes in land use and land cover (Longley et al., 2005; Campbell, 2006; Valožić, 2015; Jogun et al., 2017).

The changes in land use and land cover have been analysed in a variety of studies from around the world. Numerous sources of spatial data (satellite images) in different time periods have been used and various research methods applied (Marić et al., 2022). In the last 10 years, Croatian authors have analysed land use and land cover throughout Croatia using satellite imagery. Most of the papers have recorded similar patterns of change such as agricultural land abandonment and reforestation (Valožić and Cvitanović, 2011; Horvat, 2013; Cvitanović 2014a; 2014b; Valožić, 2014; 2015; Cvitanović et al, 2016; Jogun, 2016; Cvitanović et al., 2017; Jogun et al., 2017; Šetka et al., 2021, Hamzić, 2022a, Hamzić, 2022b). Land cover changes, such as deforestation, reforestation, and swamp reduction, affect socio-economic development and the environment differently. These effects may include increased wildfire risk, reduced biodiversity, increased soil erosion, increased flooding risk, among other unfavourable effects, depending on the type of change (Chaudhary et al, 2015; Jajtić et al., 2019);

i dr., 2019; Mantero i dr., 2020; Ferreira i dr., 2022; Sugianto i dr., 2022).

Simulacijski modeli zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta jedan su od najkorisnijih alata za istraživanje uzroka i posljedica okolišnih promjena, a mogu biti kvalitetna podloga za donošenje odluka i planiranje korištenja zemljišta (Verburg i dr., 2004). Brojni znanstvenici širom svijeta rade na razvoju simulacijskih modela promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta (Han i dr., 2015; Rahman i dr., 2017; Guidigan i dr., 2019; El-Tantawi i dr., 2019; Arora i dr., 2021; Kamaraj i Rangarajan, 2022; Muhammad i dr., 2022). Većina istraživanja usredotočena je na dinamična područja u kojima se događaju značajne promjene, poput rasta stanovništva, urbanizacije i gospodarskoga razvoja (Pontius i dr., 2008). Slična istraživanja na području Hrvatske su rijetka, a ističu se izrada simulacijskoga modela za područje Požeško-slavonske županije i otoka Ošljaka (Jogun, 2016; Jogun i dr., 2019; Marić i dr., 2022). Istraživanja su utvrdila da su procesi širenja šumskih površina i sekundarne sukcesije dominantni te se taj trend može očekivati i u budućnosti.

Donjoneretvanski je kraj područje tradicionalno usmjereno na poljoprivredu, koja ima bitan utjecaj u životu lokalnoga stanovništva i predstavlja važan izvor prihoda. Recentne promjene zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta upućuju na širenje šuma i travnjaka, izgrađenih, poljoprivrednih i vodenih površina te smanjenje močvara i područja s oskudnom vegetacijom (Šetka i dr., 2021). Trend intenziviranja poljoprivrede u Donjoneretvanskom kraju može dovesti do daljnje degradacije već ugroženih močvarnih ekosustava. U kontekstu važnosti predviđanja promjena zemljišnoga pokrova za razumijevanje i upravljanje utjecajem ljudi na okoliš ovo je istraživanje usmjereno na simulaciju promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju. Glavni su ciljevi istraživanja na osnovi analiziranoga zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta za 1990., 2005. i 2020. godinu i definiranih prostornih varijabla izraditi i analizirati rezultate testnoga (2020.) i konačnoga simulacijskoga modela za 2035. godinu te ih povezati s potencijalnim implikacijama promjena.

Mantero et al., 2020; Ferreira et al., 2022; Sugianto et al., 2022).

Simulation models of land use and land cover are one of the most useful tools for studying the causes and consequences of environmental change and can be a good basis for decision-making and land use planning (Verburg et al., 2004). Numerous scientists around the world have been working to develop simulation models of land use and land cover change (Han et al., 2015; Rahman et al., 2017; Guidigan et al., 2019; El-Tantawi et al., 2019; Arora et al., 2021; Kamaraj and Rangarajan, 2022; Muhammad et al., 2022). Most research focuses on dynamic areas where significant changes are taking place, such as population growth, urbanisation, and economic development (Pontius et al., 2008). Similar research in Croatia is rare, and the creation of a simulation model for the area of Požega-Slavonia County and the island of Ošljak stand out in this regard (Jogun, 2016; Jogun et al., 2019; Marić et al., 2022). Research has found that the processes of forest expansion and secondary succession are dominant, and that this trend is likely to continue in the future.

The Lower Neretva Region is an area traditionally oriented toward agriculture, which has a significant impact on the lives of the local population and represents an important source of income. Recent changes in land use and land cover indicate an expansion of forests and grasslands, built-up, agricultural, and water surfaces, and a reduction of swamps and sparse vegetation areas (Šetka et al., 2021). The trend towards intensification of agriculture in the Lower Neretva Region could further affect the already threatened swamp ecosystems. Given the importance of predicting land cover changes for understanding and managing human impact on the environment, this research focuses on simulating land use and land cover changes in the Lower Neretva Region. The main objectives of the research are to produce and analyse the results of the test model (2020) and the final simulation model for 2035, based on analysed land use and land cover for 1990, 2005, and 2020 and defined spatial variables, and to link the results to the potential implications of the changes.

J. Šetka  
P. Radeljak  
Kaufmann  
L. Valožić

**Modeliranje  
promjena  
zemljišnoga  
pokrova i načina  
korištenja  
zemljišta: primjer  
Donjoneretvanskoga  
kraja**

Modelling land  
use and land cover  
changes in the  
Lower Neretva  
Region

## Prostorni i vremenski okvir istraživanja

Prema uvjetno homogenoj regionalizaciji Hrvatske, Donjoneretvanski kraj (sl. 1) čini mikro-cjelinu u okviru južnodalmatinskoga priobalja. Izdvaja se zbog veličine i važnosti neretvanskoga ušća. Upravo zbog rijeke Neretve formiran je kultivirani geografski sustav specifičnih prirodnih i demografsko-gospodarskih posebnosti (Magaš, 2013). Područje administrativno pripada Dubrovačko-neretvanskoj županiji i sastoji se od sedam jedinica lokalne samouprave. Izdvajaju se tri grada: Metković, Ploče i Opuzen te četiri općine: Slivno, Zažablje, Kula Norinska i Pojezerje. U okviru navedenih jedinica lokalne samouprave nalazi se

## Spatiotemporal research framework

According to the conditionally homogeneous regionalisation of Croatia, the Lower Neretva Region (Fig. 1) represents a micro-unit within the southern Dalmatian littoral. It stands out because of the size and significance of the Neretva delta. Due to the Neretva River, a cultivated geographical system with specific natural and demographic-economic characteristics was formed (Magaš, 2013). Administratively, the area belongs to Dubrovnik-Neretva County and is divided into seven local self-government units. There are three administrative cities: Metković, Ploče, and Opuzen, as well as four municipalities: Slivno, Zažablje, Kula Norinska, and Po-



Sl. 1. Geografski smještaj i položaj Donjoneretvanskog kraja

Fig. 1 Geographic location and position of the Lower Neretva Region

Izvor: Prema GIS Data (2005), 2005; DGU, 2016; DGU, 2018/2019

Source: According to: GIS Data (2005), 2005; DGU, 2016; DGU, 2018/2019

57 naselja. Površina područja iznosi 412,56 km<sup>2</sup>, a prema prvim rezultatima popisa stanovništva iz 2021. godine ima 31 364 stanovnika. Opća gustoća naseljenosti iznosi 76 stan./km<sup>2</sup>. U odnosu na prethodni popis stanovništva iz 2011. godine, kad je zabilježeno 35 799 stanovnika, došlo je do pada od 12 %. Najviše su ugrožena seoska naselja izvan područja delte u kojima su procesi starenja, depopulacije i veće migracije počeli krajem Drugoga svjetskog rata. Značajnije migracije počele su s melioracijom na području delte, kada se stanovništvo počelo preseljavati na rub aluvijalne ravni i morsko pročelje (Galić, 2011). Nastavak nepovoljnih demografskih trendova očekuje se i u daljnjem razdoblju.

Vremenski okvir istraživanja obuhvatio je razdoblje od 1990. do 2035. godine. Ishodišna godina testnoga simulacijskog modela bila je 1990., pokretačka godina bila je 2005., dok je rezultat prikazao stanje u 2020. Konačni simulacijski model za ishodišnu godinu imao je 2005., pokretačka godina bila je 2020., dok su rezultati simulirani za 2035. godinu.

## Materijali i metode

### Klasifikacija zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta

Kao osnovni izvor podataka u ovom istraživanju korištene su multispektralne snimke Landsat. Snimke su preuzete sa servisa USGS *Earthexplorer*. Zbog fenološke usklađenosti sve analizirane snimke nastale su u ljetnom dijelu godine (Cvitanović, 2014a; Jogun, 2016; Jogun i dr., 2019; Lu i dr., 2019; Guo i dr., 2021). Analizirani su setovi snimaka iz 1990., 2005. i 2020. godine. Najstariji set snimaka prikupljen je satelitom Landsat 5 (WRS putanja 188, red 30), 7. srpnja 1990. Drugi set snimaka prikupljen je satelitom Landsat 7 ETM+ (WRS putanja 188, red 30), 22. lipnja 2005., dok je set najnovijih snimaka prikupljen satelitom Landsat 8 OLI TIRS (WRS putanja 188, red 30), 9. srpnja 2020. Snimke su preuzete u GeoTIFF formatu i projicirane su u koordinatnom sustavu WGS84 UTM 33N s prostornom rezolucijom od 30 m za zajed-

jezerje. Within the local self-government units indicated above, there are 57 settlements. The area covers 412.56 km<sup>2</sup> and has a population of 31,364 according to the first results of the 2021 census. The general population density is 76 persons per square kilometre. Compared to the previous population census from 2011, when 35,799 inhabitants were recorded, there has been a decrease of 12%. The rural settlements outside the delta area are the most vulnerable in this regard, where the processes of ageing, depopulation and intense out-migration began at the end of World War II. Land reclamation in the delta area caused more significant migrations, when the population began to move to the edge of the alluvial plain and the coast (Galić, 2011). Unfortunately, negative demographic trends are likely to continue to distort the demographic picture into the foreseeable future.

The temporal frame of the research covered the period from 1990 to 2035. The test simulation model had a base year of 1990, a launch year of 2005, and a result year of 2020. For the final simulation model, the base year was 2005, the launch year was 2020, and the results were simulated for 2035.

## Materials and methods

### Land use and land cover classification

This research used multispectral Landsat images as the basic data source. The images were downloaded from the USGS *Earthexplorer* service. Due to phenological compatibility, all analysed recordings were made in summer (Cvitanović, 2014a; Jogun, 2016; Jogun et al., 2019; Lu et al., 2019; Guo et al., 2021). Datasets from 1990, 2005, and 2020 were analysed. The oldest set of images was collected by the Landsat 5 satellite (WRS path 188, line 30), on July 7, 1990. The second set of images was collected by the Landsat 7 ETM+ satellite (WRS path 188, line 30) on June 22, 2005, while the latest set was collected by the Landsat 8 OLI TIRS satellite (WRS path 188, line 30), on July 9, 2020. These images were downloaded in GeoTIFF format and projected in the WGS84 UTM 33N coordinate system, with a spatial resolution of 30 m for common chan-

ničke kanale. Sateliti Landsat 7 ETM+ i Landsat 8 OLI TIRS imaju pankromatski kanal s prostornom rezolucijom 15 m i neke druge dodatke (NASA, 2021). Zahvaljujući pankromatskom kanalu, snimke Landsat za 2005. i 2020. godinu izoštrene su da bi obrada dala bolje rezultate. Snimka Landsat 7 ETM+ prošla je kroz postupak predobrade da bi se uklonile periodične pruge karakteristične za snimke ovoga satelita.

Snimke su obrađene u ArcGIS 10.8 softveru, tj. aplikaciji ArcMap. Zbog heterogenosti terena za klasifikaciju zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta odabran je hibridni pristup, odnosno kombinacija automatskih i ručnih tehnika (Caprioli i dr, 2003; Lo i Choi, 2004; Kantakumar i Neelamsetti, 2015; Jogun, 2016; Jogun i dr., 2017; Jogun i dr., 2019; Alshari i Gawali, 2021). Definirana je klasifikacijska shema sa 6 klasa: *izgrađene površine, poljoprivredne površine, močvare, vodene površine, šume i travnjaci te područja s oskudnom vegetacijom*. Metodom nenadzirane klasifikacije izdvojene su *vodene površine, šume i travnjaci te područja s oskudnom vegetacijom*. Usprkos činjenici da je nadzirana metoda klasifikacije u pravilu pouzdanija od nenadzirane, zbog velike razlike u spektralnim svojstvima analiziranih klasa te prostorne rezolucije snimaka, u konačnici je odabrana nenadzirana metoda. *Izgrađene površine, poljoprivredne površine i močvare* izdvojene su ručno, tj. ručnom vektorizacijom rasterske (satelitske) snimke. Kriteriji uzeti u obzir prilikom vektorizacije klasa bili su poznavanje prostora, boja piksela te usporedba snimaka s referentnim stanjem (Google Earth povijesne slike). Klasa *vodenih površina* prikazuje i more, ali je ono dodano zbog bolje vizualizacije. U površinu su uračunate samo kopnene vode.

Točnost klasifikacije pokrova i načina korištenja zemljišta određena je pomoću matrice konfuzije i kapa-koeficijenta (Story i Congalton, 1986; Horvat, 2013; Cvitanović, 2014a; Cvitanović, 2014b; Jogun, 2016; Jogun i dr., 2017; Rwanga i Ndambui, 2017; Kulkarni i dr., 2020). Kao referentni podatci (*ground truth*) za 1990. korištena je Hrvatska osnovna karta (HOK) u mjerilu 1 : 5000 iz 1979. – 1989. godine, dok su za 2005. i 2020. godinu korištene satelitske snimke Google Earth Pro računalnoga programa (*Landsat/Copernicus i Maxar Technologies*). Granice

Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI TIRS satellites have a panchromatic channel with a spatial resolution of 15 m and some other additions (NASA, 2021). Landsat images for 2005 and 2020 have been sharpened using the panchromatic channel in order to provide better results when processing the images. The Landsat 7 ETM+ images were pre-processed to remove the periodic stripes that are characteristic for this satellite's imagery.

The images were processed using ArcGIS 10.8, i.e. the ArcMap application. Due to the heterogeneity of the terrain, a hybrid approach was chosen for the classification of land use and land cover, i.e. combining automatic and manual techniques (Caprioli et al., 2003; Lo and Choi, 2004; Kantakumar and Neelamsetti, 2015; Jogun, 2016; Jogun et al., 2017; Jogun et al., 2019; Alshari and Gawali, 2021). An area classification scheme was developed with six categories: *built-up areas, agricultural land, swamps, water bodies, forests and grasslands, and sparse vegetation areas*. The unsupervised classification method was used to separate *water bodies, forests and grasslands, and sparse vegetation areas*. While supervised classification is generally more reliable than unsupervised classification, the unsupervised method was ultimately chosen because of the large difference in spectral properties of the analysed classes and the spatial resolution of the recordings. *Built-up areas, agricultural land* and *swamps* were separated manually, i.e. by vectorisation of raster images (satellite images). When classifying the imagery, spatial knowledge, pixel colour, and comparisons with reference states (historical Google Earth imagery) were considered. The sea has been included in the category of water bodies for better visualisation. Calculations of water body area include only land waters.

A confusion matrix and kappa coefficient were used to determine the accuracy of land use and land cover classification (Story and Congalton, 1986; Horvat, 2013; Cvitanović, 2014a; Cvitanović, 2014b; Jogun, 2016; Jogun et al., 2017; Rwanga and Ndambui, 2017; Kulkarni et al., 2020). For 1990, reference data (*ground truth*) were derived from the Croatian Base Map (HOK) on a scale of 1:5000 from the 1979 – 1989 period, and for 2005 and 2020, from satellite images of Google Earth Pro (*Landsat/Copernicus and Maxar Technologies*). Vec-

područja definirane su uz pomoć vektorskih slojeva Središnjega registra prostornih jedinica RH (SRPJ) i Digitalnoga atlasa Republike Hrvatske (DARH) (GIS Data, 2005; DGU, 2016).

## Modeliranje zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta

Kao podloga na karti geografskoga položaja područja korišten je digitalni model reljefa prostorne rezolucije 10 metara, izrađen na temelju visinskih točaka Državne geodetske uprave. S druge strane, digitalni model reljefa prostorne rezolucije 30 metara, preuzet sa stranica Američkoga geološkog zavoda (USGS), korišten je za kreiranje prostornih varijabla testnoga i konačnoga simulacijskog modela. Statistički podatci Državnog zavoda za statistiku preuzeti su iz popisa stanovništva 1991., 2001. i 2011. godine. Korišteni su i prvi rezultati popisa stanovništva 2021. godine, tj. broj stanovnika po naseljima, u svrhu izrade karata gustoće naseljenosti koje su poslužile kao ulazne varijable za kreiranje simulacijskih modela (DZS, 1991, 2001, 2011, 2021).

Kao ulazne varijable za testni simulacijski model 1990. – 2005. – 2020. odabrani su digitalni model reljefa (DEM), nagib padina, udaljenost od vodenih površina, udaljenost od izgrađenih površina te gustoća naseljenosti po naseljima iz 1991. i 2001. Za konačni simulacijski model promjena pokrova i načina korištenja zemljišta 2005. – 2020. – 2035. umjesto gustoće naseljenosti za 1991. i 2001. odabrani su podatci iz 2011. i 2021. godine, a ostale su prostorne varijable bile identične.

Navedene varijable odabrane su na temelju procjene literature, poznavanja prostora te dostupnosti podataka. Digitalni model reljefa i nagib padina najčešće su fizičkogeografske prostorne varijable koje se koriste kao ulazni podatci za simulacijske modele zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta. Uz DEM i nagib, jedna od najkorištenijih fizičkogeografskih varijabla u znanstvenoj literaturi jest udaljenost od vodenih površina (Jogun, 2016). Društvenogeografske varijable (gustoća naseljenosti i udaljenost od izgrađenih površina) dinamične su i uglavnom se kombiniraju s nekom od fizičkogeografskih (Buğday i Erkan Buğday, 2019; Jogun i dr., 2019; Abbas i dr.,

tor layers of the Central Register of Spatial Units of the Republic of Croatia (SRPJ) and the Digital Atlas of the Republic of Croatia (DARH) (GIS Data, 2005; DGU, 2016) define area boundaries.

## Land use and land cover modelling

For the map of the geographical position of the area, a digital elevation model with a spatial resolution of 10 m based on the height points of the State Geodetic Administration was used. Additionally, a digital elevation model with a spatial resolution of 30 m obtained from the United States Geological Survey (USGS) website was used to create the spatial variables of the test and final simulation models. Statistical data from the Croatian Bureau of Statistics were obtained from the 1991, 2001, and 2011 censuses. The first results of the 2021 census, i.e. the number of inhabitants per settlement, were also used to create population density maps, which served as input variables for the creation of simulation models (CBS, 1991, 2001, 2011, 2021).

The digital elevation model (DEM), slope, distance from water bodies, distance from built-up areas, and population density by settlement from 1991 and 2001 were selected as input variables for the 1990 – 2005 – 2020 test simulation model. For the final simulation model of land use and land cover changes (2005 – 2020 – 2035), population density data from 2011 and 2021 were selected instead of data for 1991 and 2001, while the other spatial variables were identical.

The variables were selected based on literature review, area knowledge and data availability. Digital elevation model and slope are the most used spatial variables in land use and land cover simulation models. Aside from DEM and slope, one of the most used physical-geographical variables in scientific research is distance from water bodies (Jogun, 2016). Socio-geographical variables (population density and distance from built-up areas) are dynamic and are usually combined with some of the physical-geographical variables (Buğday and Erkan Buğday, 2019; Jogun et al., 2019; Abbas et al., 2021; Alam et al., 2021; Baig et al.,

J. Šetka  
P. Radeljak  
Kaufmann  
L. Valožić

**Modeliranje  
promjena  
zemljišnoga  
pokrova i načina  
korištenja  
zemljišta: primjer  
Donjonecretvanskoga  
kraja**

**Modelling land  
use and land cover  
changes in the  
Lower Neretva  
Region**

2021; Alam i dr., 2021; Baig i dr., 2022; Khan i Sudheer, 2022; Muhammad i dr., 2022).

Simulacijski modeli promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta izrađeni su na temelju staničnih automata i umjetnih neuronskih mreža, implementiranih u dodatku MOLUSCE (*Modules for Land Use Change Evaluation*) za QGIS. Riječ je o dodatku koji pruža skup algoritama za simulaciju promjena zemljišnoga pokrova kao što su umjetne neuronske mreže (ANN), logistička regresija (LR), težina dokaza (WoE) i multikriterijsko vrednovanje (MCE) (MOLUSCE, 2018).

ANN algoritam izabran je na temelju proučene literature (Rahman i dr., 2017; El-Tantawi i dr., 2019; Guidigan i dr., 2019; Jogun i dr., 2019; Alam i dr., 2021; Chetry i Surawar, 2021; Kamaraj i Rangarajan, 2022; Muhammad i dr., 2022), a u pravilu pokazuje najvišu točnost u usporedbi s ostalim algoritmima. Nadalje, ANN je tehnika strojnoga učenja koja se sve više koristi u daljinskim istraživanjima, a sastoji se od više slojeva i neurona koji simuliraju rad i funkcije ljudskoga mozga. Zahvaljujući toj sposobnosti, sortiraju uzorke i uče iz pokušaja i pogrešaka te tako identificiraju veze u podacima (Jogun i dr., 2019; Talukdar i dr., 2020).

Stanični automati (CA) temelje se na principu interakcije susjednih piksela. Integrirani su u MOLUSCE gdje kao ulaz prihvaćaju raster početnoga stanja zemljišnoga pokrova, raster prostorne varijable i model, tj. tranzicijski potencijal (rezultat rada ANN algoritma). Model računa tranzicijski potencijal promjena, a simulator stvara izlazni rezultat (raster) najvjerojatnijih promjena. U tom rasteru simulator traži piksele s najvećom vjerojatnosti promjene te potom mijenja kategorije piksela (kategorija zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta) (Jogun i dr., 2019).

MOLUSCE se sastoji od pet osnovnih modula. U prvom, tzv. *input*-modulu, korisnik kao ulazne podatke dodaje raster karte zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta te prostorne varijable. Svi ulazni podatci moraju imati istu prostornu rezoluciju, mjerilo i kartografsku projekciju. U drugom modulu analiziraju se prostorne promjene između dvaju razdoblja te se izrađuju prijelazne matrice i karte promjene

2022; Khan and Sudheer, 2022; Muhammad et al., 2022).

Based on cellular automata and artificial neural networks implemented in the MOLUSCE (*Modules for Land Use Change Evaluation*) add-on for QGIS, simulation models of land use and land cover change were developed. The add-on provides a set of land cover change simulation algorithms, including artificial neural networks (ANNs), logistic regression (LR), weight of evidence (WoE), and multi-criteria evaluation (MCE) (MOLUSCE, 2018).

Based on the literature review (Rahman et al., 2017; El-Tantawi et al., 2019; Guidigan et al., 2019; Jogun et al., 2019; Alam et al., 2021; Chetry and Surawar, 2021; Kamaraj and Rangarajan, 2022; Muhammad et al., 2022), ANNs were selected as the algorithm which generally displayed the highest accuracy compared to other algorithms. Furthermore, ANNs are a machine learning technique that is increasingly used in remote sensing. They consist of several layers and neurons that simulate the work and functions of the human brain. In this way, they sort samples and identify connections in data by learning from trial and error (Jogun et al., 2019; Talukdar et al., 2020).

The concept of cellular automata (CA) is based on the interaction between neighbouring pixels. CA are integrated into MOLUSCE, where they accept as inputs the raster of the initial state of the land cover, the raster of spatial variables, and the model, namely the transition potential (as a result of the ANN algorithm). The model calculates the transition potential of changes, and the simulator produces an output result (raster) indicating the changes most likely to occur. In this raster, the simulator searches for pixels with the highest probability of change and then changes the pixel categories (land use and land cover category) (Jogun et al., 2019).

MOLUSCE consists of five basic modules. In the first module (*Input* module), the user adds raster maps of land use and land cover as well as spatial variables as input data. All input data must have the same spatial resolution, scale and map projection. Land cover changes between two time periods are analysed in the second module, and tran-



zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta. U trećem modulu korisnik odabire jedan od spomenutih algoritama koji se koriste za modeliranje tranzicijskoga potencijala promjena korištenja zemljišnoga pokrova. Slijedi modul simulacije u kojem se dobiva izlazni rezultat, odnosno karta simulacije zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta. Peta funkcionalnost može se opisati kao podmodul za evaluaciju točnosti simuliranih modela pomoću kapa-statistike u odnosu na referentne podatke (MOLUSCE, 2018).

## Rezultati istraživanja

### Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta 1990. – 2020.

Strukturom zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju u 1990., 2005. i 2020. godini (sl. 2) dominirale su *šume i travnjaci te površine s oskudnom vegetacijom*. Navedene kategorije zauzimale su nešto manje od dvije trećine ukupne površine područja istraživanja, a najzastupljenije su u brežuljkasto-brdskim dijelovima. U nižim zonama, tj. u aluvijalnoj ravni, dominiraju *poljoprivredne površine i močvare*. Najmanjim udjelom u ukupnoj površini zastupljene su *izgrađene i vodene površine*.

Najznačajnije promjene zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju od 1990. do 2005. bile su smanjenje *područja s oskudnom vegetacijom* te širenje *šuma i travnjaka*. S druge strane, razdoblje od 2005. do 2020. godine obilježeno je daljnjim širenjem *izgrađenih i poljoprivrednih površina* (sl. 3), uz koje povećanje bilježe i *vodne površine*. Nadalje, treba istaknuti značajno smanjenje površine *močvara* te, za razliku od prethodnoga razdoblja, smanjenje površina *šuma i travnjaka* (tab. 1).

Evaluacijom točnosti svih modela uz pomoć matrice konfuzije i kapa-koeficijenta dobiveni su zadovoljavajući rezultati. Sve klasifikacije pokazale su ukupnu točnost veću od 85 %, dok je kapa-koeficijent za sva tri slučaja bio iznad 0,81, odnosno podudaranje klasificiranih i referentnih podataka bilo je na visokoj razini.

sition matrices and maps are created to show land use and land cover changes over time. In the third module, the user selects an algorithm to model the transition potential of land cover changes. Next, a simulation module produces an output result, i.e. a map of simulated land use and land cover. The fifth functionality can be described as a sub-module for evaluating the accuracy of simulated models using Kappa statistics in relation to reference data (MOLUSCE, 2018).

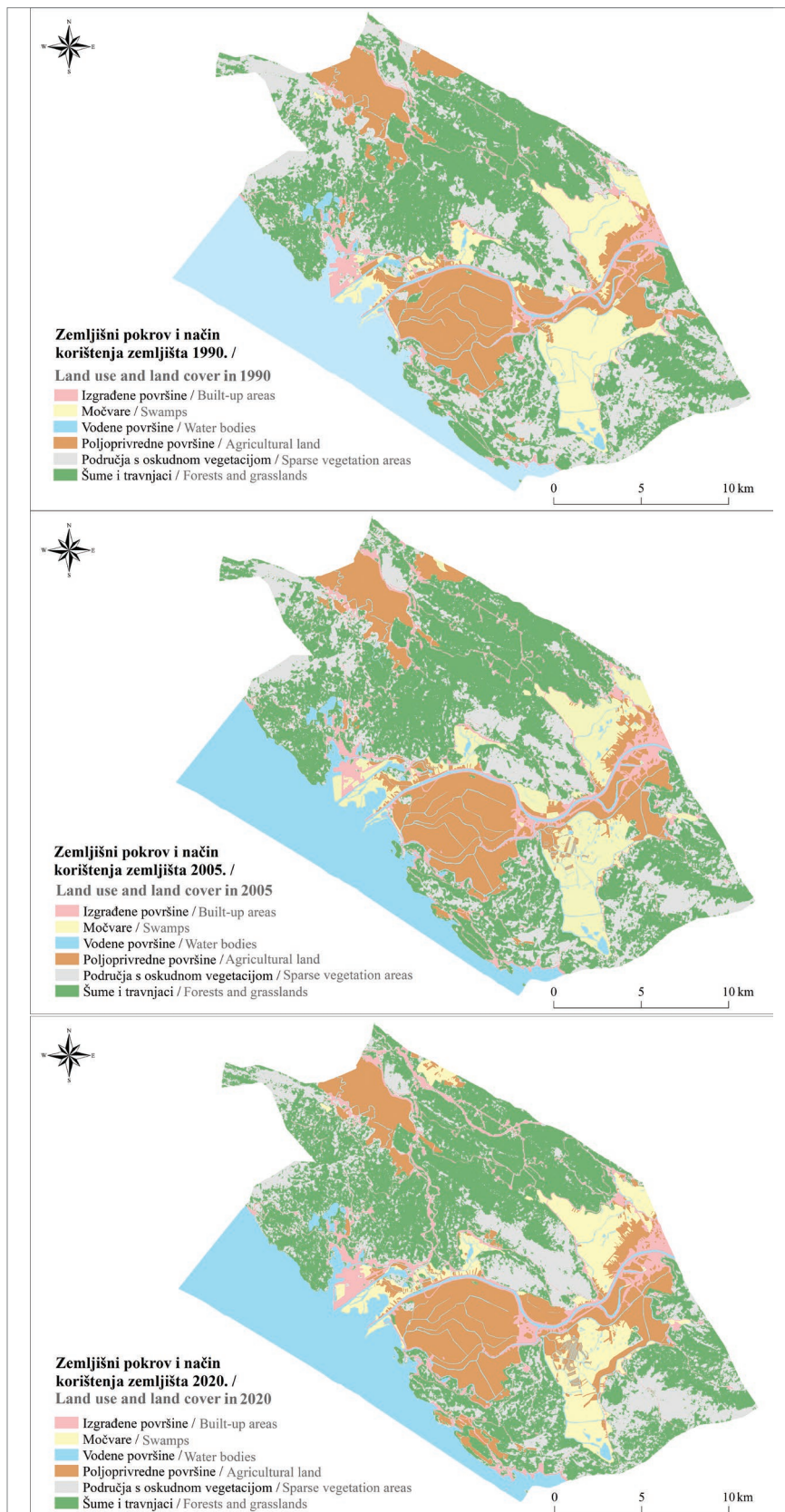
## Results

### Land use and land cover 1990 – 2020

The structure of land use and land cover in the Lower Neretva Region in 1990, 2005, and 2020 (Fig. 2) was dominated by *forests and grasslands* as well as *sparse vegetation areas*. These two categories occupied slightly less than two-thirds of the total area and were most widespread in the hilly areas. The lower zones, i.e. the alluvial plain, were dominated by *agricultural land* and *swamps*. *Built-up areas* and *water bodies* were the categories with the smallest shares of the total area.

The most important changes in land use and land cover in the Lower Neretva Region between 1990 and 2005 were the decrease of *sparse vegetation areas* and the expansion of *forests and grasslands*. The period from 2005 to 2020, on the other hand, was characterised by an expansion of *built-up areas and agricultural land* (Fig. 3), accompanied by an increase in water bodies. Furthermore, it is noteworthy that there has been a significant reduction in swamps, and unlike in the previous period, there has been a decrease in forests and grasslands (Tab. 1). The proportion of *water bodies* has relatively increased, but the change in absolute terms, i.e. at the level of the whole area, is small.

Satisfactory results were obtained by evaluating the accuracy of all models using a confusion matrix and kappa coefficient. In all three cases, the classification accuracy was over 85%, with a kappa coefficient of over 0.81, indicating high agreement between classified and reference data.



Sl. 2. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 1990., 2005. i 2020. godine

Fig. 2 Land use and land cover in the Lower Neretva Region in 1990, 2005 and 2020

Izvori: Šetka i dr., (2021)  
Source: Šetka et al., (2021)

Tab. 1. Promjene zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta Donjoneretvanskog kraja 1990. – 2005. – 2020.  
Tab. 1 Land use and land cover changes in the Lower Neretva Region 1990–2005–2020

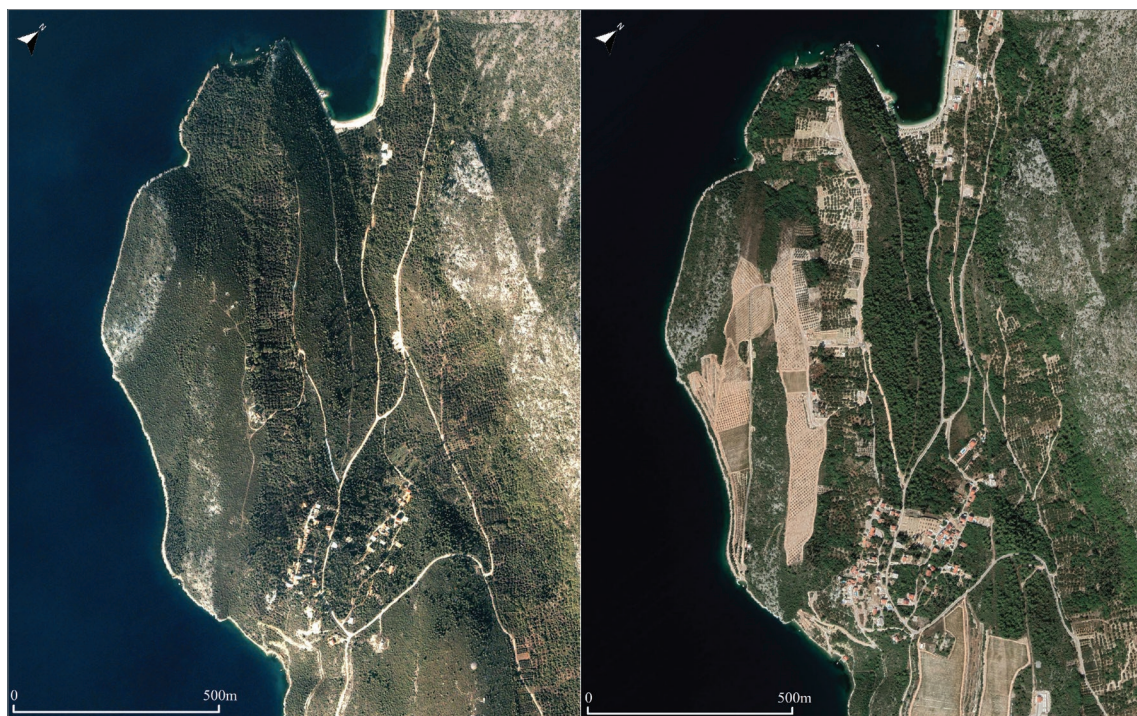
	1990		2005		2020		Δ 1990 – 2005		Δ 2005 – 2020	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	p.b/p.p*	ha	p.b/p.p*
izgrađene površine / built-up areas	2.393	5,8	2.740	6,6	3.177	7,7	347	0,8	437	1,1
močvare / swamps	4.497	10,9	4.374	10,6	3.919	9,5	-123	-0,3	-455	-1,1
vodene površine / water bodies	1.155	2,8	1.283	3,1	1.527	3,7	98	0,3	244	0,6
poljoprivredne površine / agricultural land	6.972	16,9	7.093	17,2	7.261	17,6	121	0,3	168	0,4
područja s oskudnom vegetacijom / sparse vegetation areas	9.901	24	8.191	19,9	8.210	19,9	-1.710	-4,1	19	0,0
šume i travnjaci / forests and grasslands	16.337	39,6	17.574	42,6	17.162	41,6	1.237	3,0	-412	-1,0

Izvor: Obrada podataka sa stranice EarthExplorer; Jogun i dr., (2019)  
Source: Derived from the EarthExplorer data; Jogun et al, (2019)

\*Postotni bod / Percentage point

**Modeliranje  
promjena  
zemljišnoga  
pokrova i načina  
korištenja  
zemljišta: primjer  
Donjoneretvanskoga  
kraja**

Modelling land  
use and land cover  
changes in the  
Lower Neretva  
Region



Sl. 3. Promjene zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 2001. – 2021. godine (općina Slivno)  
Fig. 3 Land use and land cover changes in the Lower Neretva Region 2001–2021 (Slivno Municipality)

Izvor: Google Earth Pro  
Source: Google Earth Pro

Ukupna točnost klasifikacije za 1990. godinu bila je 89,7 %, a kapa-koeficijent iznosio je 0,86. Sve klase zabilježile su točnost od 80 % i više. Model iz 2005. godine pokazao je ukupnu točnost 86,3 %, dok je kapa-koeficijent iznosio 0,82. Nešto slabiji rezultati ne iznenađuju zbog činjenice da je snimka Landsat 7 ETM+ prošla kroz postupak predobrade u kojoj su joj uklonjene periodične pruge. Klasificirani model iz 2020. pokazao je točnost od 88,2 %, a kapa-koeficijent bio je 0,84 (Šetka i dr., 2021).

### Varijable promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta

Za ulazne varijable testnoga simulacijskog modela odabrani su digitalni model reljefa (DEM), nagib padina, udaljenost od izgrađenih i vodenih površina te gustoća naseljenosti u 1991. i 2001. godini. Za konačni simulacijski model promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta umjesto gustoće naseljenosti za 1991. i 2001. godinu korišteni su podaci iz 2011. i 2021. godine (sl. 4).

Digitalni model reljefa Donjoneeretvanskoga kraja (sl. 4a) upućuje na smjer pružanja slojeva u dinarskom pravcu SZ-JI, okomito na tok rijeke Neretve. Prema rezultatima, najviši vrh područja iznosi 735 m, dok prosječna nadmorska visina promatranoga područja iznosi 131,8 m. Nagib padina (sl. 4b) kao druga fizičkogeografska varijabla izvedena je iz DEM-a. Područja uz Neretvu i pritoke imaju nagib 0 – 10°, dok na Rujnici i podgradinsko-slivanjskim brdima prevladavaju nagibi viših vrijednosti. Udaljenost od vodenih površina (sl. 4f) upućuje na gustu mrežu vodenih tokova u aluvijalnoj ravni. Područja nižih vrijednosti poklapaju se s područjima niže nadmorske visine i nižih vrijednosti nagiba.

Gustoća naseljenosti u 2011. (sl. 4c) i 2021. (sl. 4d) godini pokazuje slične obrasce. Najgušće naseljena područja su gradovi Metković, Ploče i Opuzen, njihova uža okolica te turistički razvijena naselja općine Slivno. Naselja u zaobalju i na višim nadmorskim visinama imaju najnižu gustoću naseljenosti. Karta udaljenosti od izgrađenih površina (sl. 4e) pokazuje da je područje relativno dobro pokriveno cestovnom mrežom i da samo najviši dijelovi brda Rujnica i podgradinsko-slivanjskih brda

The overall classification accuracy for 1990 was 89.7% and the kappa coefficient was 0.86. All classes had an accuracy of 80% or more. The 2005 model showed an overall accuracy of 86.3%, while the kappa coefficient was 0.82. The slightly weaker results are not surprising, as the Landsat 7 ETM+ image was subjected to pre-processing that removed periodic stripes. The classified model from 2020 showed an accuracy of 88.2% and the kappa coefficient was 0.84 (Šetka et al., 2021).

### Land use and land cover change variables

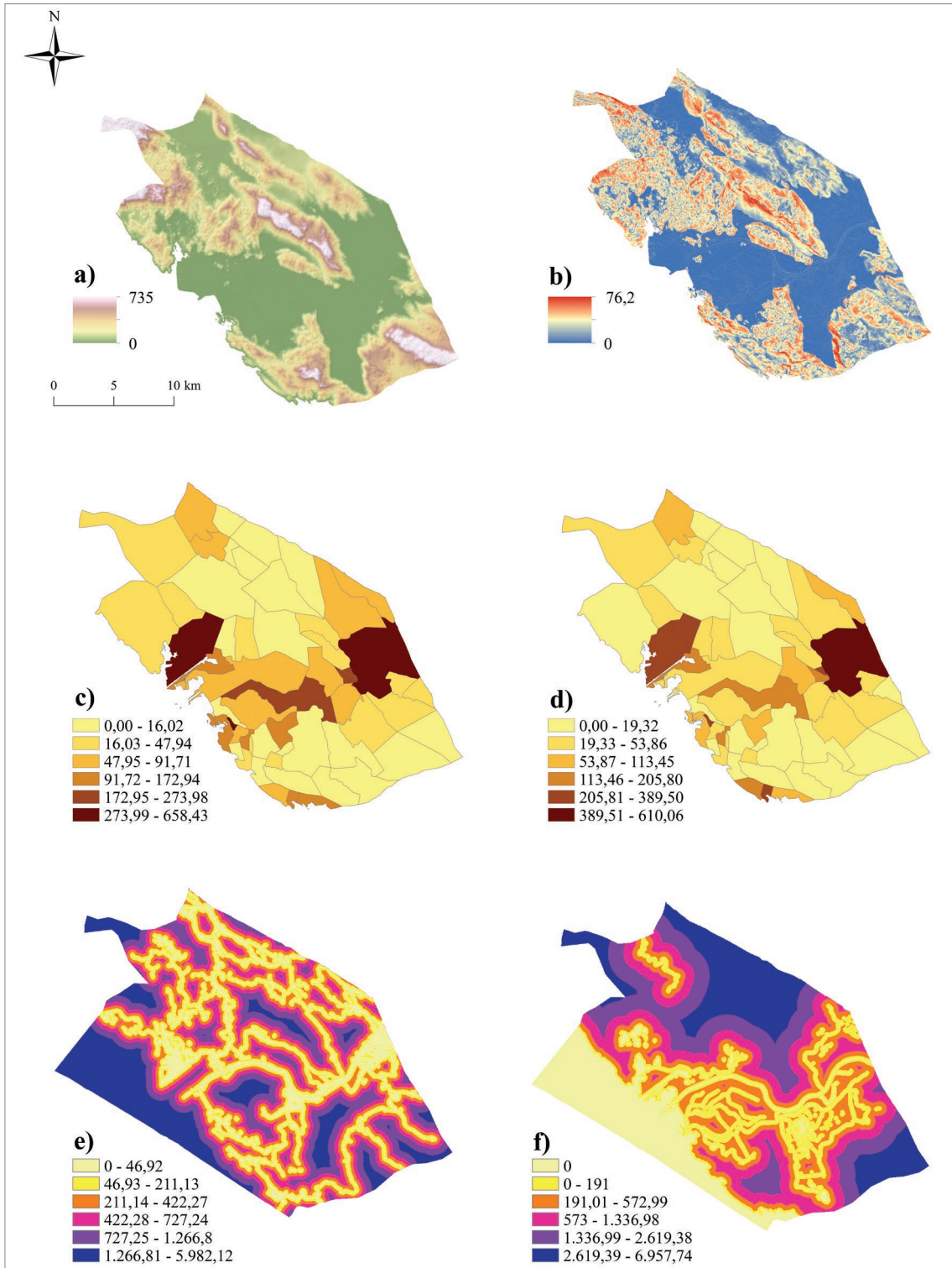
Digital elevation model (DEM), slope, distance from built-up areas, distance from water bodies, and population density in 1991 and 2001 were selected as the input variables of the test simulation model. For the final simulation model of land use and land cover changes, the data for population density in 2011 and 2021 were used instead of the data for 1991 and 2001 (Fig. 4).

The digital elevation model of the Lower Neretva Region (Fig. 4a) indicates the direction of the geological layers in the typical Dinaric direction: NW-SE, perpendicular to the course of the Neretva River. According to the results, the highest elevation of the area is 735 m, whereas the average elevation of the observed area is 131.8 m. The slope (Fig. 4b) as another physical-geographical variable is derived from DEM. The areas along the Neretva and its tributaries have a slope of 0–10°, while in Rujnica and the podgradinsko-slivanjska hills, slopes with higher values prevail. The distance from water bodies (Fig. 4f) indicates a dense network of watercourses in the alluvial plain. Areas with lower values coincide with areas with lower elevation and slope values.

Population densities in 2011 (Fig. 4c) and 2021 (Fig. 4d) show similar patterns. The most densely populated areas are the cities of Metković, Ploče and Opuzen, their immediate surroundings and the more touristically developed settlements of the Municipality of Slivno. The lowest values are found in villages in the hinterland and at higher altitudes. Based on the map of distance from built-up areas (Fig. 4e), it can be seen that the road network covers most of the area, with the highest parts of the Rujni-

**Modeliranje  
promjena  
zemljišnoga  
pokrova i načina  
korištenja  
zemljišta: primjer  
Donjoneretvanskoga  
kraja**

Modelling land  
use and land cover  
changes in the  
Lower Neretva  
Region



Sl. 4. Varijable promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta 2005. – 2020. – 2035.: a) Digitalni model reljefa (DEM) (m), b) nagib padina (°), c) gustoća naseljenosti 2011. (stan./km<sup>2</sup>), d) gustoća naseljenosti 2021. (stan./km<sup>2</sup>), e) udaljenost od izgrađenih površina (m), f) udaljenost od vodenih površina (m)  
Fig. 4 Land use and land cover change variables 2005 – 2020 – 2035: a) Digital elevation model (DEM) (m), b) slope (°), c) population density in 2011 (people per sq. km), d) population density in 2021 (people per sq. km), e) distance from built-up areas (m), f) distance from water bodies (m)

Izvor / Source: GIS Data, (2005); DZS, (2011); DGU, (2016); DZS, (2021); USGS, (2021)

bilježe više vrijednosti, tj. veću udaljenost od izgrađenoga područja.

### Testni simulacijski model promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta (1990. – 2005. – 2020.)

Na temelju rezultata analize zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta za 1990. i 2005. godinu i prostornih varijabla projiciran je testni simulacijski model promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta za 2020. godinu (sl. 5). Usporedbom simuliranoga i referentnoga modela dobiven je rezultat validacije, izražen u obliku kapa-statistike (tab. 2).

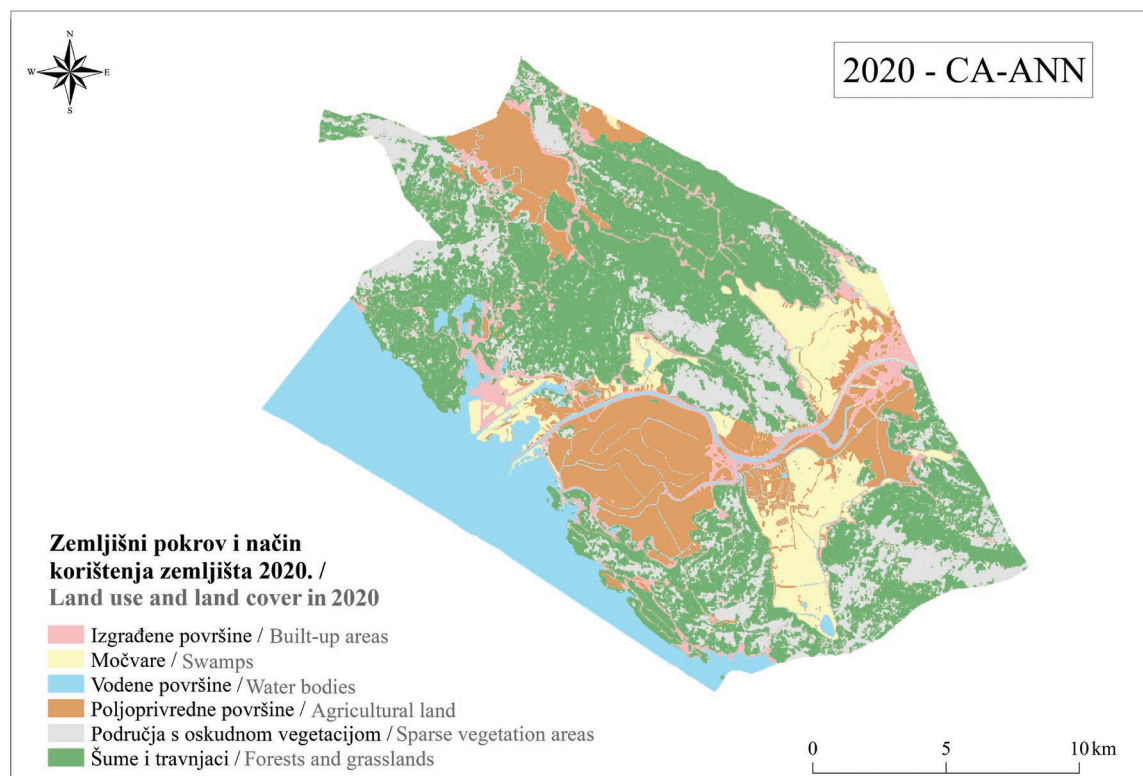
Ukupna točnost CA-ANN modela za 2020. godinu bila je 86 %, dok je kapa-koeficijent iznosio 0,82. U kvantitativnom smislu najveća preciznost izmjerena je na klasi *poljoprivrednih površina* gdje

ca and podgradinsko-slivanjska hills recording higher values, i.e. a greater distance from built-up areas.

### Test simulation model of land use and land cover changes (1990 – 2005 – 2020)

Based on the results of the analysis of land use and land cover for 1990 and 2005 and spatial variables, a test simulation model of changes in land use and land cover for 2020 was projected (Fig. 5). By comparing the simulated and reference models, the validation result was obtained in the form of a kappa statistic (Tab. 2).

The overall accuracy of the CA-ANN model for 2020 was 86%, while the kappa coefficient was 0.82. In quantitative terms, the highest accuracy was measured in the *agricultural land* class, where the difference



Sl. 5. CA-ANN simulacija zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju za 2020.

Fig. 5 CA-ANN simulation of land use and land cover in the Lower Neretva Region in 2020

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)

Source: According to the research results; GIS Data (2005)

Tab. 2. Referentni i simulirani zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju u 2020.  
Tab. 2 Reference and simulated land use and land cover in the Lower Neretva Region in 2020

	2020		CA-ANN 2020		Točnost / Accuracy	Kapa-vrijednost / Kappa value
	ha	%	ha	%		
izgrađene površine / built-up areas	3.177	7,7	2.990	7,2	86 %	0,82
močvare / swamps	3.919	9,5	4.339	10,5		
vodne površine / water bodies	1.527	3,7	969	2,4		
poljoprivredne površine / agricultural land	7.261	17,6	7.258	17,6		
područja s oskudnom vegetacijom / sparse vegetation areas	8.210	19,9	7.226	17,5		
šume i travnjaci / forests and grasslands	17.162	41,6	18.474	44,8		

Izvor: Obrada podataka sa stranice EarthExplorer  
Source: Derived from the EarthExplorer data

je razlika bila svega 3 ha. Lokacijski gledano, algoritam nije najbolje predvidio širenje klase, što se najbolje manifestira na južnom dijelu delte, između područja grada Opuzena i jezera Kutli. Što se tiče ostalih klasa valja istaknuti da je ANN predvidio daljnju ekspanziju *šuma i travnjaka*, što se prema referentnim podacima za 2020. nije dogodilo. S druge strane, došlo je do znatno većega smanjenja *močvara* nego što je projicirano u simulaciji. S obzirom na fizionomsku heterogenost Donjoneretvanskoga kraja i prostornu rezoluciju analiziranih snimaka Landsat rezultati testne simulacije su zadovoljavajući.

### Konačni simulacijski model promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta (2005. – 2020. – 2035.)

Konačni simulacijski model promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta (sl. 6) izrađen je na temelju rezultata za 2005. i 2020. godinu te prije navedenih prostornih varijabla: digitalnoga modela reljefa, nagiba padina, udaljenosti od izgrađenih površina, udaljenosti od vodenih površina, gustoće naseljenosti po naseljima za 2011. i 2021. godinu.

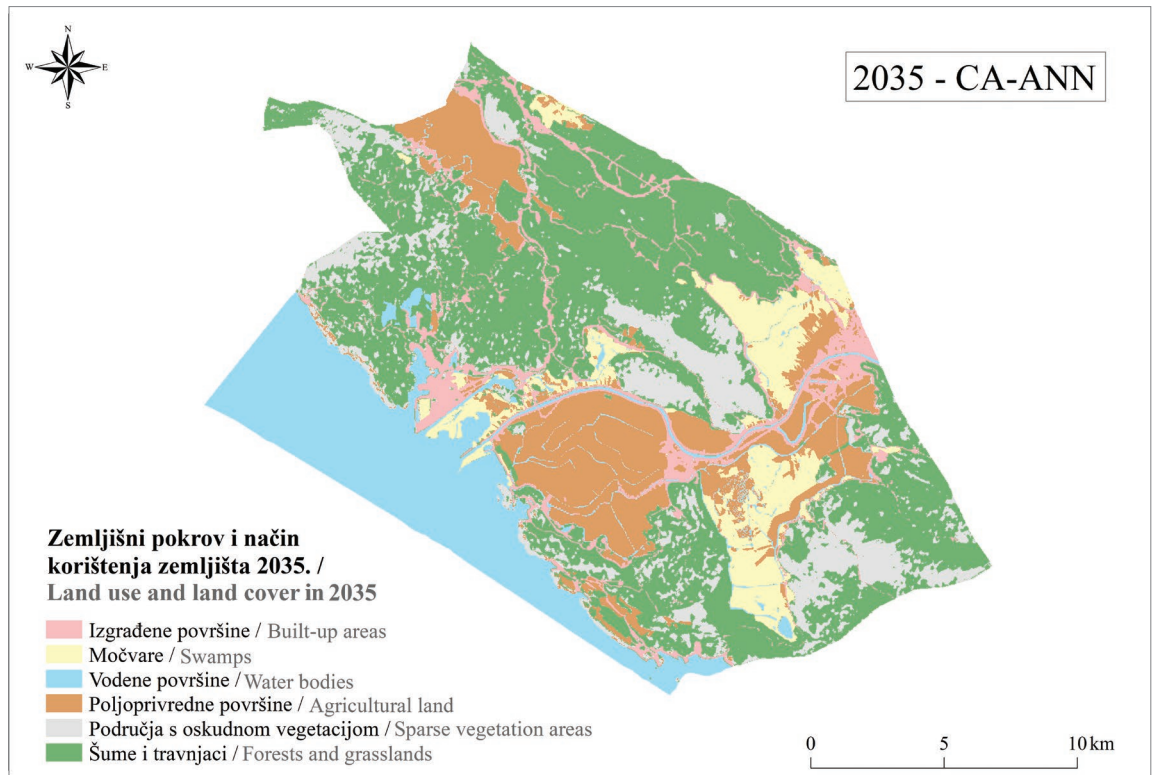
was only 3 ha. In terms of location, the algorithm did not do so well in predicting the spread of the class. This is especially visible in the southern part of the delta, between the area of Opuzen and Kutli Lake. As for other classes, it should be noted that the ANN predicted further expansion of *forests and grasslands*, which did not take place according to the 2020 reference data. Moreover, there was a significantly greater reduction in *swamps* than predicted in the simulation. Considering the physiognomic heterogeneity of the Lower Neretva Region and the spatial resolution of the analysed Landsat images, however, the results of the test simulation are satisfactory.

### Final simulation model of land use and land cover changes (2005 – 2020 – 2035)

The final simulation model of land use and land cover changes (Fig. 6) was developed based on the results for 2005 and 2020 and the previously-mentioned spatial variables: digital elevation model; slope; distance from built-up areas; distance from water bodies; population density by settlement in 2011 and 2021.

Modeliranje promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta: primjer Donjoneretvanskoga kraja

Modelling land use and land cover changes in the Lower Neretva Region



Sl. 6. CA-ANN simulacija zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju za 2035.

Fig. 6 CA-ANN simulation of land use and land cover in the Lower Neretva Region in 2035

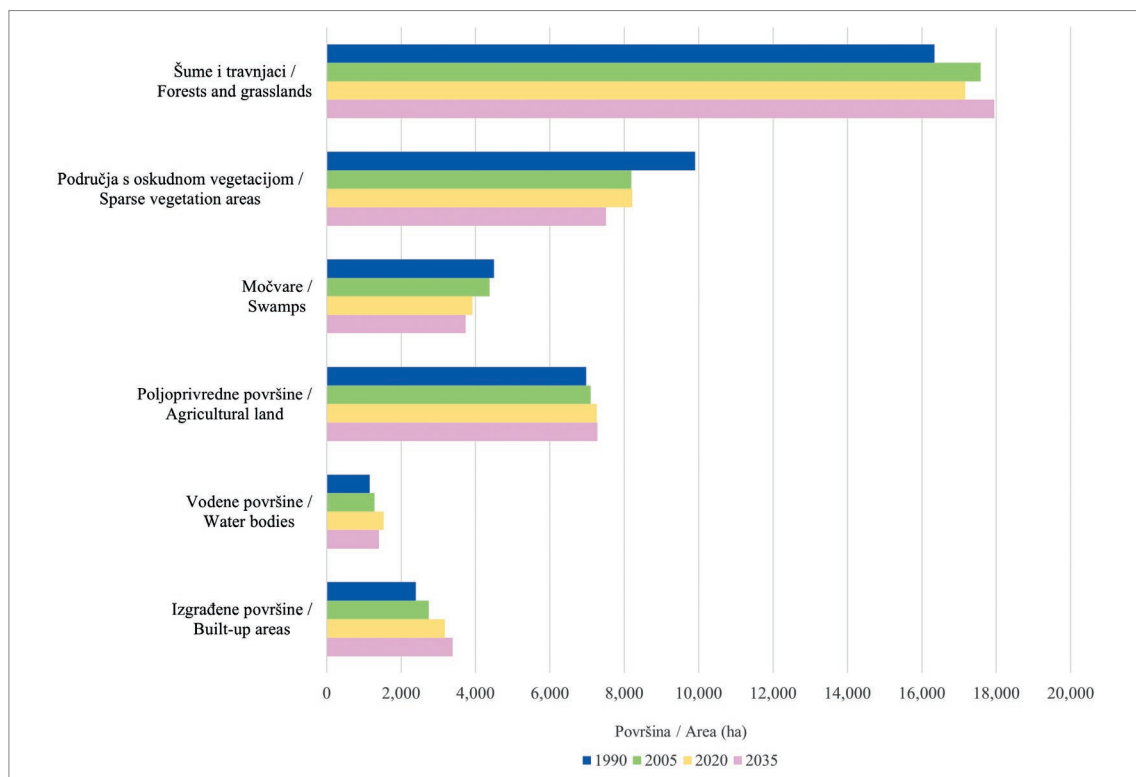
Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data, (2005)

Source: According to the research results; GIS Data, (2005)

Prema CA-ANN modelu, *šume i travnjaci* bi do 2035. godine trebali zauzimati gotovo 18 tisuća hektara, tj. 43,9 % udjela promatranoga područja. Predviđeno je značajnije smanjenje *područja s oskudnom vegetacijom* (-8,5 %), tj. prostirala bi se na 7.509 ha. *Močvare* bi se prema projekciji smanjile za 4,7 %, odnosno zauzimale bi površinu od 3.733 ha. U nepunih pola stoljeća udio močvara bi se mogao smanjiti za 17 %, što predstavlja potencijalnu opasnost za floru i faunu Donjoneeretvanskog kraja. *Poljoprivredne površine* bi trebale doživjeti neznatno povećanje, dok bi se *izgrađene površine* mogle proširiti za 6,7 % (3.389 ha) (sl. 7).

The CA-ANN model predicts that *forests and grasslands* will cover almost 18 thousand ha by 2035, or 43.9% of the observed area. The *sparse vegetation areas* are predicted to decrease by 8.5%, to 7,509 ha. According to the projection, *swamps* would decrease by 4.7%, coming to occupy an area of 3,733 ha. In less than half a century, *swamps* in the Lower Neretva Region could decline by 17%, posing a threat to flora and fauna. A slight increase in *agricultural land* is expected, while *built-up areas* could expand by 6.7% (3,389 ha) (Fig. 7).





Sl. 7. Promjene zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 1990. – 2005. – 2020. – 2035.

Fig. 7 Land use and land cover changes in the Lower Neretva Region 1990–2005–2020–2035

Izvor: Prema rezultatima istraživanja

Source: According to the research results

## Rasprava

Noviji radovi koji proučavaju kvantitativne simulacijske modele promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta uglavnom su orijentirani na dinamična područja Azije i Afrike. Neizbježno je uspoređivati točnost klasifikacija u različitim radovima jer se razlikuju po više parametara, primjerice korištenoj metodi klasifikacije pokrova (nadzirana, nenadzirana, objektna), namjeni (struktura zemljišnoga pokrova, promjene, simulacijsko modeliranje), klasifikacijskoj shemi (broj klasa) i sl. (Jogun, 2016). Kao što vrijedi za točnost klasifikacijskih shema, usporedbe točnosti između različitih simulacijskih modela jesu relativne. Istraživanja su pokazala da veću točnost imaju dihotomni simulacijski modeli (npr. urbano/neurbano) nego modeli sa složenijom klasifikacijskom shemom. Modeli zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u ovom istraživanju imaju šest klasa što ih svrstava u kategoriju složenijih

## Discussion

Recent papers dealing with quantitative simulation models of land use and land cover change have mainly focused on Asia and Africa. Comparisons of classification accuracy across different studies are inappropriate since they differ in multiple variables, such as land cover classification method used (supervised, unsupervised, object), purpose (land cover structure and its changes, simulation modelling), classification scheme (number of classes), etc. (Jogun, 2016). Similarly to comparisons of classification schemes, comparisons of accuracy between simulation models are relative as well. It has been shown that dichotomous simulation models (e.g. urban/non-urban) are more accurate than models with a more complex classification scheme. The land use and land cover models in this study have six classes, which places them in the category of more complex models (Pontius et

modela (Pontius i dr., 2004; Verburg i dr., 2004; Pontius i dr., 2008; Jogun, 2016; Jogun i dr., 2019).

Kao algoritam za predviđanje promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta korišten je ANN. Svega nekolicina autora odlučila je koristiti ostale algoritme poput logističke regresije (Jogun, 2016; Baidya i dr., 2021), ponajviše zbog višeslojnoga karaktera ANN-a i pouzdanosti koju je pokazao u dosadašnjim istraživanjima.

U pogledu korištenih izvora podataka rezultati ovoga istraživanja u skladu su s drugim istraživanjima koja su se koristila snimkama Landsat na regionalnoj razini (Han i dr., 2015; El-Tantawi i dr., 2019; Arora i dr., 2021; Kamaraj i Rangarajan, 2022; Muhammad i dr., 2022) i mikroregionalnoj razini (Rahman i dr., 2017). U kontekstu ranijih istraživanja provedenih u Hrvatskoj (Jogun, 2016; Jogun i dr., 2019) ovo istraživanje potvrđuje da su snimke Landsat pogodne za istraživanja na regionalnoj i mikroregionalnoj razini (Afrin i dr., 2019), dok su za manja područja, poput manjih otoka, pogodniji podatci iz katastra, zračnih snimaka, terenskoga istraživanja i UAV fotogrametrije (Marić i dr., 2022).

Globalni trendovi promjena zemljišnoga pokrova kategoriziraju se često u dvije osnovne skupine: intenzifikaciju (urbanizacija, razvoj poljoprivrede) i ekstenzifikaciju (napuštanje zemljišta, aforestacija) (Antrop, 2005). Evaluacija rezultata konačnoga simulacijskog modela promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta upućuje na to da će se dosadašnji dominantni procesi, tj. širenje *izgrađenih površina* te *šuma i travnjaka* nastaviti u budućnosti. Reforestacija i sekundarna sukcesija mogu dovesti do povećanja rizika od požara (Jajtić i dr., 2019; Mantero i dr., 2020), a uz učestale požare močvarnih staništa štete naposljetku mogu biti neprocjenjive. Požari općenito doprinose smanjenju bioraznolikosti staništa i vrsta, često ugrožavaju gospodarske i stambene objekte, a degradirani krajobraz nije privlačan turistima i posjetiteljima (Javna ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode Dubrovačko-neretvanske županije, 2016).

Ovaj je prostor u analiziranom razdoblju bilježio i rast *poljoprivrednih površina*, poglavito u dijelu aluvijalne ravni rijeke Neretve i njezinih pritoka, a blago širenje predviđa se i do 2035. godine. Suvre-

al., 2004; Verburg et al., 2004; Pontius et al., 2008; Jogun, 2016; Jogun et al., 2019).

ANN was used as the algorithm for predicting land use and land cover changes. It is very rare for authors to use other algorithms, such as logistic regression (Jogun, 2016; Baidya et al., 2021), for this purpose due to its multiple layers and the reliability it has demonstrated in previous studies.

In terms of the data sources used, the results of this study are consistent with other studies that have used Landsat imagery at the regional level (Han et al., 2015; El-Tantawi et al., 2019; Arora et al., 2021; Kamaraj and Rangarajan, 2022; Muhammad et al., 2022) and at the microregional level (Rahman et al., 2017). In the context of previous studies conducted in Croatia (Jogun, 2016; Jogun et al., 2019), this study confirms that Landsat imagery is suitable for research at both regional and microregional scales (Afrin et al., 2019), while for smaller areas, such as smaller islands, data from cadastres, aerial photography, field research, and UAV photogrammetry are more appropriate (Marić et al., 2022).

Global trends in land cover change are often classified into two basic groups: intensification (urbanisation, agricultural development) and extensification (land abandonment, afforestation) (Antrop, 2005). Based on the results of the final simulation model of land use and land cover changes, it appears that the previously dominant processes, i.e. the expansion of *built-up areas* and of *forests and grasslands*, will continue in the future. Reforestation and secondary succession can lead to an increased risk of wildfires (Jajtić et al., 2019; Mantero et al., 2020), and with frequent wildfires in wetland habitats, the damage can ultimately be immense. Generally, wildfires contribute to a reduction in habitat and species biodiversity, and often threaten economic and residential properties; and degraded landscapes are not attractive to tourists and visitors (Public Institution for Management of Protected Natural Areas of Dubrovnik-Neretva County, 2016).

The alluvial plain of the Neretva River and its tributaries experienced significant growth of *agricultural land* during the study period, and a slight

meni razvoj poljoprivrede ovoga područja posljedica je masovnoga zatvaranja tvorničkih poduzeća početkom 1990-ih (Cvitanović i dr., 2017; Glamuzina, 2014/2015). S obzirom na malene izgleda za reindustrijalizaciju i orijentaciju stanovništva prema poljoprivredi povećan je pritisak na obradivo tlo, koji se manifestirao u obliku ograničenih melioracija *močvara bez odobrenja lokalne vlasti*. Degradacija *močvara* dovela je do smanjenja ribljega i ptičjega fonda, a neke vrste, poput jegulje, gotovo su izumrle. Očuvanju močvarnih staništa moglo bi pridonijeti jačanje organske poljoprivrede, zabrana lova i ribolova, kao i ograničenja u građevinskom sektoru (Glamuzina, 2014/2015).

Iako u radu nisu analizirani sami uzroci promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta, korištene prostorne varijable mogu se dovesti u vezu s razvojnim procesima važnima za ovo područje. Utjecaj nadmorske visine i nagiba padina najbolje se manifestira u brežuljkasto-brdskom dijelu Donjone-retvanskoga kraja koji obilježava zarastanje površina u travnjake i šume. Slični trendovi, temeljeni na varijablama nadmorske visine i nagiba padina, uočeni su i u drugim dijelovima Hrvatske (Cvitanović i dr., 2016), dok neki autori (Jogun i dr., 2017) ovakve trendove povezuju s prometnom povezanošću. U kontekstu ovoga slučaja područja više nadmorske visine i nagiba padina udaljenija su i slabije povezana s urbanim središtima. Ta su područja također udaljenija od vodenih površina, a gustoća naseljenosti tih naselja izrazito je niska. S druge strane, navedene fizičkogeografske varijable povoljno utječu na povećanje poljoprivrednoga zemljišta u uskom priobalnom pojasu općine Slivno. Zahvaljujući turizmu stvorio se prostor i za jačanje suplementarnih gospodarskih djelatnosti (Brščić, 2010). Uz riječne tokove (niska nadmorska visina, niže vrijednosti nagiba padina) najveća je gustoća naseljenosti, a upravo na tom području predviđa se i daljnje širenje *poljoprivrednih površina*. Rast *izgrađenih površina* može se povezati s područjima veće gustoće naseljenosti i manjoj udaljenosti od izgrađenih površina (gradovi i uski priobalni pojas) (Marušić, 2017).

Sustavi zemljišnoga pokrova i načini korištenja zemljišta vrlo su složeni i nepredvidivi, a simulacijski su modeli u početnoj fazi razvoja pa postoje mnoge prepreke koje još treba razmotriti i riješiti (Wang i

expansion is predicted until 2035. The modern development of agriculture in this area is a result of the widespread closure of factories and industrial facilities in the early 1990s. As the prospects for reindustrialisation were (and still are) very small, the population turned to agriculture. This led to increased pressure on arable land, which manifested in the form of limited drainage of wetlands without the approval of local authorities. The degradation of swamps has led to a decline in fish and bird populations, and some species, such as eel, are nearly extinct. To preserve swamp habitats, farmers should use new forms of agriculture (organic farming), hunting and fishing should be banned, and restrictions should be introduced in the construction sector (Glamuzina, 2014/2015).

Despite not analysing the causes of land use and land cover changes, the spatial variables used in this paper can be related to development processes important for this area. In the hilly Lower Neretva Region, where grasslands and forests have overgrown the land, altitude and slope have the most prominent influence. Similar trends, based on variables such as altitude and slope, have also been observed in other parts of Croatia (Cvitanović et al., 2016), while some authors (Jogun et al., 2017) associate such trends with transportation connectivity. In the context of this case, higher-altitude and steeper-slope areas are more distant and less connected to urban centres. Moreover, these areas are located farther away from water bodies, and their population density is extremely low. In contrast, the aforementioned physical-geographical variables contribute to the expansion of agricultural land in the narrow coastal strip of the Municipality of Slivno. Tourism has opened up new opportunities for the development of additional economic activities. The highest population density is found along the river courses (low elevation, lower slope values), and *agricultural land* is expected to continue to expand in this area. The increase in *built-up areas* can be attributed to areas with higher population density and closer proximity to existing built-up areas (cities and the narrow coastal strip) (Marušić, 2017).

Land use and land cover systems are complex and unpredictable, and simulation models are still

dr., 2012). Ulazni podatci za simulacijski model su kartografski prikazi koji variraju kvalitetom i preciznosti i samim time utječu na točnost simulacije. Važnu ulogu igraju i prostorne varijable koje su podložne promjenama u vremenu. Točnost simulacije zemljišnoga pokrova povezana je i s prostorom na koji se promjene odnose. Većina simulacijskih modela primijenjena je u izrazito dinamičnim područjima zemalja u razvoju ili najrazvijenijih zemalja. Zabilježene promjene zemljišnoga pokrova bile su velike i linearne, što je omogućilo simulacijskom modelu da uspješnije modelira njihove promjene u budućnosti, pod uvjetom da će se ti trendovi nastaviti. Međutim, u područjima s manje linearnim promjenama zemljišnoga pokrova simulacijski model može biti manje točan (Jogun, 2016). Neka od zapaženih ograničenja dodatka MOLUSCE jesu to što je nekompatibilan s novijim verzijama QGIS-a, ograničen u veličini podataka koje može analizirati, ne podržava vektorski tip podataka te nije ažuriran od 2017. godine (MOLUSCE, 2018).

## Zaključak

Multispektralne snimke Landsat analizirane su hibridnom metodom klasifikacije i ostvareni su rezultati s preko 85 % točnosti za svaku snimku. U promatranom 30-godišnjem razdoblju klase *šuma i travnjaka* te *izgrađenih površina* zabilježile su najveći rast. Zarastanje površina u *šume i travnjake* događa se dominantno u brežuljkasto-brdskom dijelu Donjoneeretvanskoga kraja. Ta područja karakteriziraju negativni trendovi i procesi poput depopulacije i deagrarizacije. Cijelo analizirano razdoblje obilježeno je i konstantnim širenjem *poljoprivrednih površina*, što upućuje na intenzifikaciju ove djelatnosti u užem području delte Neretve. S druge strane, najveći gubitci zabilježeni su na klasi *površina s oskudnom vegetacijom* (-17 %) i *močvara* (-13 %).

Konačni simulacijski model projicirao je da će se postojeći trendovi nastaviti. *Šume i travnjaci* bi do 2035. godine trebali zauzimati gotovo 45 % područja, dok bi *područja s oskudnom vegetacijom* pala na 18 %. U tom kontekstu povećan je rizik od šumskih požara karakterističan za ljetni dio godine. Ova situacija zahtijeva pažljivo planiranje i upravljanje šumama da bi se smanjio rizik od požara. Predviđeno je i daljnje smanjenje močvarnih staništa što može imati dugoroč-

in the early stages of development, with many challenges yet to be considered and addressed (Wang et al., 2012). Input data for simulation models are maps that vary in quality and precision, affecting the accuracy of the simulation. Time-dependent spatial variables are also important. The accuracy of land cover simulation also depends on the area where the changes are applied. Most simulation models have been applied in highly dynamic areas of developing or highly-developed countries. The land cover changes recorded were large and linear, allowing the simulation model to more successfully model future changes, assuming that these trends will continue. However, in areas with less linear land cover changes, the simulation model may be less accurate (Jogun, 2016). Some of the observed limitations of the MOLUSCE plugin include incompatibility with newer versions of QGIS, limitations in the quantity of data that can be analysed, a lack of vector data support, and the fact that it was last updated in 2017 (MOLUSCE, 2018).

## Conclusion

Multispectral Landsat images were analysed using a hybrid classification method, and results were obtained with over 85% accuracy for each image. During the observed 30-year period, *forest and grasslands* and *built-up areas* recorded the largest growth. Reforestation dominates the hilly areas of the Lower Neretva Region. These areas are characterised by negative tendencies and processes such as depopulation and deagrarisation. A constant expansion of *agricultural land* was observed throughout the study period, indicating an intensification of this activity in the Neretva Delta area. On the other hand, the greatest losses were recorded in *sparse vegetation areas* (-17%) and *swamps* (-13%).

In the final simulation model, existing trends are assumed to continue. It is projected that *forests and grasslands* will occupy nearly 45% of the area by 2035, while *sparse vegetation areas* will decrease to 18%. In this context, there is an increased risk of forest fires, which are typical of the summer season. This situation requires careful planning and management of forests to reduce the risk of fire. Further decline of swamps is to be expected, which may have long-

ne posljedice na bioraznolikost, odnosno floru i faunu ovoga kraja. Prema dobivenim rezultatima *izgrađene površine* bi se trebale proširiti na 8,2 %, što u nepunih pola stoljeća analize čini rast za više od 40 %. Stoga je potrebno pažljivo planirati i upravljati izgradnjom da bi se smanjili negativni utjecaji na okoliš i da bi se osigurala dugoročna održivost.

Budući da se CA-ANN simulacijski model pokazao kao jedna od najučinkovitijih metoda za simulaciju heterogenoga pejzaža, ova bi analiza zacijelo pomogla jedinicama lokalne samouprave Donjoneeretvanskoga kraja u prilagođavanju zona prostornoga uređenja potencijalnim promjenama, ali i u učinkovitijem korištenju raspoloživih prostornih resursa.

term consequences for biodiversity, i.e. for the flora and fauna of the region. According to the results, the *built-up area* is expected to increase to 8.2%, which is an increase of more than 40% in less than half a century. Therefore, careful planning and management of construction is required to reduce negative impacts on the environment and ensure long-term sustainability.

Given the proven effectiveness of the CA-ANN models for simulating heterogeneous landscapes, this analysis would be of great help to the local self-government units of the Lower Neretva Region in adapting spatial planning zones to possible changes and maximising the use of existing spatial resources.

- Abbas, Z., Yang, G., Zhong, Y., Zhao, Y., 2021: Spatiotemporal Change Analysis and Future Scenario of LULC Using the CA-ANN Approach: A Case Study of the Greater Bay Area, China, *Land* 10 (6), 584, DOI: 10.3390/land10060584.
- Afrin, S., Gupta, A., Farjad, B., Ahmed, M. R., Achari, G., Hassan, Q., 2019: Development of Land-Use/Land-Cover Maps Using Landsat-8 and MODIS Data, and Their Integration for Hydro-Ecological Applications, *Sensors* 19 (22), 4891, DOI: 10.3390/s19224891.
- Alam, N., Saha, S., Gupta, S., Chakraborty, S., 2021: Prediction modelling of riverine landscape dynamics in the context of sustainable management of floodplain: a Geospatial approach, *Annals of GIS* 27 (3), 299–314, DOI: 10.1080/19475683.2020.1870558.
- Alshari, E. A., Gawali, B. W., 2021: Development of classification system for LULC using remote sensing and GIS, *Global Transitions Proceedings* 2 (1), 8–17, DOI: 10.1016/j.gltp.2021.01.002.
- Antrop, M., 2005: Why landscapes of the past are important for the future, *Landscape and Urban Planning* 70, 21–34, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2003.10.002.
- Arora, A., Pandey, M., Mishra, V. N., Kumar, R., Rai, P. K., Costache, R., Punia, M., Di, L., 2021: Comparative evaluation of geospatial scenario-based land change simulation models using landscape metrics, *Ecological Indicators* 128, 107810, DOI: 10.1016/j.ecoind.2021.107810.
- Baidya, D., Sarkar, A., Mondal, A., Mitra, D., 2021: Application of Cellular Automata (CA) for Predicting Urban Growth and Disappearance of Vegetation and Waterbodies, in: *Proceedings of Research and Applications in Artificial Intelligence. Advances in Intelligent Systems and Computing* (eds. Pan, I., Mukherjee, A., Piuri, V.), Springer, Singapur, 49–61, DOI: 10.1007/978-981-16-1543-6\_5.
- Baig, M.F., Mustafa, M.R.U., Baig, I., Takaijudin, H.B., Zeshan, M.T., 2022: Assessment of Land Use Land Cover Changes and Future Predictions Using CA-ANN Simulation for Selangor, Malaysia. *Water* 14 (3), 402, DOI: 10.3390/w14030402.
- Bruzzone, L., Bovolo, F., 2013: A Novel Framework for the Design of Change-Detection Systems for Very-High-Resolution Remote Sensing Images, in: *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* (ed. Setti, G.), Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE, Jogjakarta, Indonesia, 101 (3), 609–630.
- Buğday, E., Erkan Buğday, S., 2019: Modeling and simulating land use/cover change using artificial neural network from remotely sensing data, *CERNE* 25 (2), 246–254, DOI: 10.1590/01047760201925022634.
- Campbell, J. B., 2006: *Introduction to Remote Sensing*, The Guilford Press.
- Caprioli, M., Leone, A., Ripa, M. N., Tarantino, E., 2003: A hybrid land cover classification of landsat 7 etm+ data for an efficient vegetation mapping, *Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens* 57, 451–460.
- Chetty, V., Surawar, M., 2021: Delineating Urban Growth Boundary Using Remote sensing, ANN-MLP and CA model: A Case Study of Thiruvananthapuram Urban Agglomeration, India, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 49, 2437–2450, DOI: 10.1007/s12524-021-01401-x.
- Cvitanović, M., 2014a: *Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1978. do 2011. godine*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.
- Cvitanović, M., 2014b: Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1991. do 2011., *Hrvatski geografski glasnik* 76 (1), 41–59, DOI: 10.21861/HGG.2014.76.01.03.
- 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.
- Cvitanović, M., Lučev, I., Fuerst-Bjeliš, B., Slavuj Borčić, L., Horvat, S., Valozić, L., 2017: Analyzing post-socialist grassland conversion in a traditional agricultural landscape - Case study Croatia, *Journal of Rural Studies* 51, 53–63, DOI: 10.1016/j.jrurstud.2017.01.008.
- El-Tantawi, A. M., Bao, A., Chang, C., Liu, Y., 2019: Monitoring and predicting land use/cover changes in the Aksu-Tarim River Basin, Xinjiang-China (1990–2030), *Environmental Monitoring & Assessment* 191 (8), 480, DOI: 10.1007/s10661-019-7478-0.
- Ferreira, C. S. S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., Kalantari,

J. Šetka  
P. Radelj  
Kaufmann  
L. Valozić

**Modeliranje  
promjena  
zemljišnog  
pokrova i načina  
korištenja  
zemljišta: primjer  
Donjoneeretvanskoga  
kraja**

**Modelling land  
use and land cover  
changes in the  
Lower Neretva  
Region**

## Literatura References

- Z., 2022: Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences, *Science of The Total Environment* 805, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150106.
- Galić, J., 2011: Regionalizacija Donjone-retvanske delte, *Naše more* 58 (1-2), 39-46.
- Glamuzina, N., 2018: Problemi upravljanja prirodnim resursima u donjone-retvanskoj delti, *Acta Geographica Croatica* 41/42 (1), 51-57.
- Guidigan, M.L.G., Sanou, C.L., Ragatoa, D.S., Fafa, C. O., Mishra, V. N., 2019: Assessing Land Use/Land Cover Dynamic and Its Impact in Benin Republic Using Land Change Model and CCI-LC Products, *Earth Systems and Environment* 3 (1), 127-137, DOI: 10.1007/s41748-018-0083-5.
- Guo, Y., Fu, H. F., Chen, S., Bryant, C. R., Li, X., Senthilnath, J., Sun, H., Wang, S., Wu, Z., de Beurs, K., 2021: Integrating spectral and textural information for identifying the tasseling date of summer maize using UAV based RGB images, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 102, 102435, DOI: 10.1016/j.jag.2021.102435.
- Hamzić, M., 2022a: Landscape Development Trends of Central Lika in Interrelation to Demographic Inter-Census Changes, *Kartografija i geoinformacije* 21 (37), 34-58.
- Hamzić, M., 2022b: Prostorna analiza demografskih kretanja i promjena krajovala ludbreške Podravine – primjena integriranog modela, *Podravina* 21 (42), 155-167.
- Han, H., Yang, C., Song, J., 2015: Scenario Simulation and the Prediction of Land Use and Land Cover Change in Beijing, China, *Sustainability* 7, 4260-4279, DOI: 10.3390/su7044260.
- Horvat, Z., 2013: Using Landsat Satellite Imagery to Determine Land Use/Land Cover Changes in Medimurje County, Croatia, *Hrvatski geografski glasnik* 75 (2), 5-28, DOI: 10.21861/HGG.2013.75.02.01.
- Jajčić, K., Galijan, V., Žafran, I., Cvitanović, M., 2019: Analysing wildfire occurrence through a mixed-method approach: a case study from the Croatian Mediterranean, *Erdkunde* 73 (4), 323-341, DOI: 10.3112/erdkunde.2019.04.05
- Jogun, T., 2016: *Simulacijski model promjene zemljišnog pokrova u Požeško-slavonskoj županiji*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.
- Jogun, T., Lukić, A., Gašparović, M., 2019: Simulacijski model promjena zemljišnog pokrova u postsocijalističkom perifernom ruralnom području: Požeško-slavonska županija, Hrvatska, *Hrvatski geografski glasnik* 81 (1), 31-59, DOI: 10.21861/HGG.2019.81.01.02.
- Jogun, T., Pavlek, K., Belić, T., Buhin, S., Malešić, N., 2017: Promjene zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj od 1981. do 2011. godine, *Hrvatski geografski glasnik* 79 (1), 33-59, DOI: 10.21861/HGG.2017.79.01.02.
- Kamaraj, M., Rangarajan, S., 2022: Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin, *Environmental Science and Pollution Research* 29, 86337-86348, DOI: 10.1007/s11356-021-17904-6.
- Kantakumar, N. L., Neelamsetti, P., 2015: Multi-temporal land use classification using hybrid approach, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 18 (2), 289-295, DOI: 10.1016/j.ejrs.2015.09.003.
- Khan, A., Sudheer, M., 2022: Machine learning-based monitoring and modeling for spatio-temporal urban growth of Islamabad, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 25 (2), 541-550, DOI: 10.1016/j.ejrs.2022.03.012.
- Kulkarni, A., Chong, D., Batarseh, F. A., 2020: Foundations of data imbalance and solutions for a data democracy, in: *Data Democracy: At the nexus of artificial intelligence, software development, and knowledge engineering, 1<sup>st</sup> Edition* (eds. Batarseh, F. A., Yang, R.), Academic Press, 83-106, DOI: 10.1016/B978-0-12-818366-3.00005-8.
- Liu, J., Kuang, W., Zhang, Z., Xu, X., Qin, Y., Ning, J., Zhou, W., Zhang, S., Li, R., Yan, C., Wu, S., Shi, X., Jiang, N., Yu, D., Pan, X., Chi, W., 2014: Spatiotemporal Characteristics, Patterns, and Causes of Land-Use Changes in China since the Late 1980s, *Journal of Geographical Sciences* 24, 195-210, DOI: 10.1007/s11442-014-1082-6.
- Lo, C. P., Choi, J., 2004: A hybrid approach to urban land use/cover mapping using Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETMz) images, *International Journal of Remote Sensing* 25 (14), 2687-2700, DOI: 10.1080/01431160310001618428.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D. J., Rhind, D. W., 2005: *Geographic information systems and science*, Wiley, Chichester.
- Lu, Y., Wu, P., Ma, X., Li, X., 2019: Detection and prediction of land use/land cover change using spatiotemporal data fusion and the Cellular Automata-Markov model, *Environmental Monitoring and Assessment* 191 (2), 68, DOI: 10.1007/s10661-019-7200-2.
- Magaš, D., 2013: *Geografija Hrvatske*, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Meridijani, Zadar, Samobor.
- Mantero, G., Morresi, D., Marzano, R., Motta, R., Mladenoff, D. J., & Garbarino, M., 2020: The influence of land abandonment on forest disturbance regimes: a global review, *Landscape Ecology* 35(12), 2723-2744, DOI:10.1007/s10980-020-01147-w.
- Marić, I., Panda, L., Faričić, J., Šiljeg, A., Domazetović, F., Marelić, T., 2022: Long-Term Assessment of Spatio-Temporal Landuse/Landcover Changes (LUCCs) of Ošljak Island (Croatia) Using Multi-Temporal Data—Invasion of Aleppo Pine, *Land* 11 (5), 620, DOI: 10.3390/land11050620.
- Marušić, D., 2017: Utjecaj litoralizacije na suvremene promjene okoliša srednjodalmatinskog priobalja, doktorska disertacija, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju
- Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J. B., Sung, C. T. B., Sood, A. M., Abbaspour, K., 2012: Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia, *Journal of Geographic Information System* 4, 542-554, DOI: 10.4236/jgis.2012.46059.
- Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F., Gwiazdzinski, L., 2022: Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of Future Land Use and Land Cover Changes Using QGIS MOLUSCE Plugin and Remote Sensing Big Data: A Case Study of Linyi, China, *Land* 11 (3), 1-24, DOI: 10.3390/land11030419.
- Pontius, R. G., Boersma, W., Castella, J.-C., Clarke, K., De Nijs, T., Dietzel, C., Duan, Z., Fotsing, E., Goldstein, N., Kok, K., Koomen, E., Lippitt, C. D., Mcconnell, W., Sood, A. M., Pijanowski, B., Pithadia, S., Sweeney, S., Trung, T. N., Veldkamp, A. T., Verburg, P. H., 2008: Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change, *Annals of Regional Science* 42 (1), 11-37, DOI: 10.1007/s00168-007-0138-2.
- Pontius, R. G., Huffaker, D., Denman, K., 2004: Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models, *Ecological Modelling* 179 (4), 445-461, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010.

- Rahman, M., Tabassum, F., Rasheduzzaman, M., Humayra, S., Lina, S., Jannatul, F., Syed, U., Islam, Z. A., 2017: Temporal dynamics of land use/land cover change and its prediction using CA-ANN model for southwestern coastal Bangladesh, *Environmental Monitoring & Assessment* 189 (11), 1–18, DOI: 10.1007/s10661-017-6272-0.
- Rwanga, S. S., Ndambuki, J. M., 2017: Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS, *International Journal of Geosciences* 8 (4), 611–622, DOI: 10.4236/ijg.2017.84033.
- Story, M., Congalton, R. G., 1986: Accuracy assessment: a user's perspective, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 52 (3), 397–399.
- Sugianto, S., Deli, A., Miswar, E., Rusdi, M., Irham, M., 2022: The Effect of Land Use and Land Cover Changes on Flood Occurrence in Teunom Watershed, Aceh Jaya, *Land* 11 (8), 1271, DOI: 10.3390/land11081271
- Šetka, J., Radeljak Kaufmann, P., Valozić, L., 2021: Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju od 1990. do 2020. godine, *Hrvatski geografski glasnik* 83 (2), 7–31, DOI: 10.21861/HGG.2021.83.02.01.
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y., Rahman, A., 2020: Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations – A Review, *Remote Sensing* 12 (7), 1135, DOI: 10.3390/rs12071135.
- 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, DOI: 10.21861/hgg.2011.73.01.16.
- Valozić, L., 2014: Klasifikacija zemljišnog pokrova urbanog i periurbanog prostora pomoću objektno orijentirane analize multispektralnih snimaka, *Hrvatski geografski glasnik* 76 (2), 27–38, DOI: 10.21861/HGG.2014.76.02.02.
- Valozić, L., 2015: *Objektno orijentirana klasifikacija zemljišnoga pokrova pomoću multispektralnih satelitskih snimaka – primjer Grada Zagreba*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.
- Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., Veldkamp, A., 2004: Land use change modelling: current practice and research priorities, *GeoJournal* 61, 309–324, DOI: 10.1007/s10708-004-4946-y.
- Wang, S. Q., Zheng, X. Q., Zang, X. B., 2012: Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model, *Procedia Environmental Sciences* 13, 1238–1245.

- Državna geodetska uprava (DGU), 2016: Središnji registar prostornih jedinica RH (SRPJ) (GIS shapefileovi), Zagreb.
- Državna geodetska uprava (DGU), 2018/2019: Digitalni model reljefa (DMR), Zagreb.
- DZS, 1991: Popis stanovništva 1991, Državni zavod za statistiku, <http://www.dzs.hr/> (8. 5. 2022.)
- DZS, 2001: Popis stanovništva 2001, Državni zavod za statistiku, <http://www.dzs.hr/> (8. 5. 2022.)
- DZS, 2011: Popis stanovništva 2011, Državni zavod za statistiku, <http://www.dzs.hr/> (8. 5. 2022.)
- DZS, 2021: Prvi rezultati popisa stanovništva 2021, Državni zavod za statistiku, <http://www.dzs.hr/> (8. 5. 2022.)
- Geological Survey (USGS), <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/> (27.2.2021.)
- GIS Data, 2005: Digitalni atlas Republike Hrvatske (DARH), GIS Data, Zagreb.
- Google Earth Pro, 7.3.4.8642 (64-bit) (8. 8. 2022.)
- MOLUSCE, 2018: MOLUSCE Modules for Land Use Change Evaluation, <https://github.com/nextgis/molusce> (9.5.2022.)
- NASA, 2021: The Landsat program, <http://landsat.gsfc.nasa.gov> (9.6.2021.)
- U.S. Geological Survey (USGS), 2021: Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS), U.S. Geological Survey (USGS), <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/> (27. 2. 2021.)

Josip Šetka josipset@gmail.com  
mag. geogr., SysKit d.o.o., Pavlečićeva ul. 1,  
10 000 Zagreb, Hrvatska

Petra Radeljak Kaufmann radeljak@geog.pmf.hr  
doc. dr. sc, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Marulićev trg 19/II,  
10 000 Zagreb, Hrvatska

Luka Valozić lvalozi@geog.pmf.hr  
doc. dr. sc, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Marulićev trg 19/II,  
10 000 Zagreb, Hrvatska

J. Šetka  
P. Radeljak  
Kaufmann  
L. Valozić

**Modeliranje  
promjena  
zemljišnoga  
pokrova i načina  
korištenja  
zemljišta: primjer  
Donjoneeretvanskoga  
kraja**

**Modelling land  
use and land cover  
changes in the  
Lower Neretva  
Region**

**Izvori  
Sources**

**Autori  
Authors**