



Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOGRAFSKI ODSJEK

Josip Šetka

**ANALIZA I MODELIRANJE PROMJENA
ZEMLJIŠNOGA POKROVA I NAČINA
KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA U
DONJONERETVANSKOM KRAJU OD 1990.
DO 2035.**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2025.



Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOGRAFSKI ODSJEK

Josip Šetka

**ANALIZA I MODELIRANJE PROMJENA
ZEMLJIŠNOGA POKROVA I NAČINA
KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA U
DONJONERETVANSKOM KRAJU OD 1990.
DO 2035.**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

izv. prof. dr. sc. Petra Radeljak Kaufmann
dr. sc. Luka Valožić

Zagreb, 2025.



University of Zagreb

Faculty of Science
Geography

Josip Šetka

ANALYSIS AND MODELING OF LAND USE AND LAND COVER CHANGES IN THE LOWER NERETVA REGION FROM 1990 TO 2035

DOCTORAL DISSERTATION

Mentors:

Petra Radeljak Kaufmann, PhD, Associate Professor
Luka Valožić, PhD

Zagreb, 2025

Životopis mentora

Petra Radeljak Kaufmann rođena je u Šibeniku 1984. godine. Maturirala je 2002. u XI. gimnaziji u Zagrebu i upisala studij na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, smjera prof. geografije. Diplomirala je 2007. s temom *Utjecaj turizma na održivi razvoj Nacionalnog parka „Krka”* (mentor prof. dr. sc. Dane Pejnović). Tijekom studija vršila je dužnost dopredsjednice i predsjednice Kluba studenata geografije Zagreb te studentskog predstavnika u Vijeću Geografskog odsjeka. Nagrađena je stipendijama Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa te Grada Zagreba.

Poslijediplomski doktorski studij Geografske osnove prostornog planiranja i uređenja upisala je 2008., a od studenog iste godine zaposlena je na Geografskom odsjeku kao znanstvena novakinja – asistentica u Zavodu za socijalnu geografiju. U zimskom semestru 2010./2011. u sklopu programa Erasmus boravila je na Fakultetu za prostorno planiranje Tehničkog sveučilišta u Dortmundu. Doktorirala je 2014. s temom *Metoda scenarija u prostornom planiranju: primjer Južnoga hrvatskoga primorja* (mentor prof. dr. sc. Dane Pejnović). Od 2014. radi na Geografskom odsjeku kao znanstvena novakinja – poslijedoktorandica, od 2018. kao docentica, a 2023. izabrana je na znanstveno-nastavno radno mjesto izvanredne profesorice.

Surađivala je na više domaćih i međunarodnih znanstvenih projekata: „Geografsko vrednovanje prostornih resursa ruralnih i krških područja Hrvatske“ (2008. – 2013., MZOŠ), „Primjena metode scenarija u planiranju i razvoju ruralnih područja Hrvatske“ (2014. – 2017., HRZZ), „Zadrugarstvo i regionalni razvoj: komparativna analiza Francuske i Hrvatske“ (2015. – 2016., program COGITO), „Komparativna analiza prostornog razvoja turizma u zaštićenim područjima Hrvatske i Slovenije“ (2018. – 2019., MZO i ARRS) i „The changing role of karst national parks in human-environment relations: a regional comparison“ (2017. – 2022., NKFI Mađarska) te u aplikativnim istraživanjima u projektu „European Shrinking Rural Areas: Challenges, Actions and Perspectives for Territorial Governance“ (ESPON ESCAPE, 2019. – 2020.). Od 2013. surađuje na potporama istraživanjima Sveučilišta u Zagrebu, a 2024. preuzela je voditeljstvo potpore „Indikatori suvremenog razvoja ruralnih područja Hrvatske“.

Njen znanstveni interes prvenstveno je povezan s istraživanjem specifičnih metoda i tehnika u regionalnom i prostornom planiranju (osobito metode scenarija, metode Delfi te metoda prostornih analiza); ispitivanjem suvremenih razvojnih promjena i problema, kao i percepcije (osobito) ruralnih i krških područja i mogućih smjerova njihova budućeg razvoja; te istraživanjem utjecaja zaštićenih područja u kontekstu održivog lokalnog razvoja. Objavila je 30 znanstvenih radova. Među ostalim je samostalno ili u koautorstvu objavila radove u

utjecajnim međunarodnim časopisima: Applied Geography, Geoforum, Geographical Review i TESSG – Tijdschrift voor economische en sociale geografie.

Na Geografskom odsjeku nositeljica je kolegija: Metode i tehnike u regionalnom i prostornom planiranju, Geografija Jugoistočne Europe i Geografija krša na prijediplomskom, diplomskom i integriranom studiju. Vodi seminare iz kolegija Ruralna geografija i Restrukturiranje ruralnih područja. Sunositeljica je i dvaju metodoloških predmeta u sklopu Doktorskog studija geografije: prostor, regija, okoliš, pejzaž. (Ko)mentorica je ili studijska savjetnica petoro studenata doktorskog studija.

Od 2019. do 2023. bila je članica Fakultetskog vijeća PMF-a. Od 2023. članica je Vijeća doktorskog studija, a od 2024. zamjenica voditelja doktorskog studija. Od 2023. studijska je voditeljica grane Prostorno planiranje i regionalni razvoj na diplomskom sveučilišnom studiju Geografija, smjer: istraživački te članica Povjerenstva za nastavu Geografskog odsjeka.

Redovito sudjeluje u popularizacijskim aktivnostima (poput organizacije Dana otvorenih vrata, uređenja mrežnih stranica i suradnje s Klubom studenata geografije Zagreb). Bila je koordinatorica predstavljanja Geografskog odsjeka na Smotri Sveučilišta u Zagrebu 2023. i 2024.

Članica je Hrvatskog geografskog društva. Počasna je članica Kluba studenata geografije Zagreb. U 2017. godini dobila je priznanje Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu za postignute rezultate u znanstvenom i stručnom radu.

Luka Valozić rođen je 1983. u Zagrebu. Diplomirao je na nastavničkom smjeru jednopredmetnog studija geografije na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 2007. s radom *GIS-analiza promjena naseljenosti Istarske županije od 1948. do 2001.* (mentor: prof. dr. sc. Aleksandar Toskić). Tijekom studija primao je državnu stipendiju MZOS-a.

Kao vanjski suradnik i naslovni asistent održavao je vježbe iz kolegija *Geografski informacijski sustavi* u zimskom semestru 2007/08. na Politehničkom specijalističkom diplomskom stručnom studiju Tehničkog veleučilišta u Zagrebu.

Doktorski studij geografije i zaposlenje kao znanstveni novak-asistent na Geografskom odsjeku PMF-a Sveučilišta u Zagrebu započinje 2009., na znanstvenom projektu MZOŠ-a, *Urbani sistemi u prostornom razvoju Hrvatske*, pod vodstvom prof. dr. sc. Dražena Njegača. Doktorski rad *Objektno orijentirana klasifikacija zemljišnoga pokrova pomoću multispektralnih satelitskih snimaka – primjer Grada Zagreba*, pod mentorstvom prof. dr. sc. Aleksandra Toskića, obranio je 2015. Nova znanja stjecao je boravkom na inozemnoj visokoškolskoj ustanovi, sudjelovanjem na radionicama i pohađanjem tečajeva. Radi znanstvenog usavršavanja, kao studentski stipendist Erasmus programa proveo je ljetni semestar 2009/10. na Geoinformatičkom odsjeku Sveučilišta u Potsdamu te položio niz predmeta bitnih za daljnji rad s geografskim informacijskim sustavima. Dodatno znanstveno usavršavanje ostvario je sudjelovanjem na *Ljetnoj školi daljinskih istraživanja Split 2014*, za koju je dobio financijsku potporu mladim istraživačima Znanstvenog vijeća za daljinska istraživanja HAZU. Na Geografskom odsjeku PMF-a sudjelovao je u izvođenju nastave iz predmeta na preddiplomskom i diplomskom studiju geografije, preddiplomskom i diplomskom studiju znanosti o okolišu te integriranom studiju geografije i povijesti: *Geografski informacijski sustavi*, *Analize u GIS-u*, *Povijest okoliša*, *GIS u regionalnom i prostornom planiranju*, *Geoinformatika*, *Vizualizacija prostornih podataka u GIS-u*, *Primjena računala u nastavi geografije*, *Daljinska istraživanja* te *Mobilna kartografija*.

Kao suradnik, sudjelovao je od 2014. do 2017. na uspostavnim istraživačkim projektima HRZZ, *Primjena metode scenarija u planiranju i razvoju ruralnih područja Hrvatske*, pod vodstvom prof. dr. sc. Aleksandra Lukića. Do 2017. bio je suradnik na projektima sveučilišne financijske potpore koje su se bavile geografskim analizama marginalnih područja Hrvatske (glavni istraživač A. Toskić). Za sveučilišnu potporu od 2018. prijavljen je na projektima koji istražuju indikatore suvremenog razvoja ruralnih područja Hrvatske pod vodstvom A. Lukića. Od 2009. do 2013. doprinio je svojim radom međunarodnim projektima Hrvatskog Centra za razminiranje - CTRO d.o.o. Na projektima su upotrijebljeni sustavi potpore odlučivanju u

redukciji minski sumnjivih površina u Hrvatskoj te Bosni i Hercegovini. Kao izvršitelj geoinformatičkih poslova, djelovao je u sklopu FP7 projekta *Toolbox Implementation for Removal of Anti-personnel Mines, Submunitions and UXO* (TIRAMISU), Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Od 2017. sudjelovao je na projektu *Razvoj metodologije za ocjenu hidromorfološkog stanja u stajaćicama i provedba hidromorfološkog monitoringa* za Hrvatske vode pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Ivana Čanjevca.

Radni odnos u suradničkom zvanju i radnom mjestu poslijedoktoranda na Geografskom odsjeku PMF-a započeo je 2015. Odlukom Matičnog odbora za interdisciplinarno područje, a 2017. izabran je u znanstveno zvanje znanstvenog suradnika u interdisciplinarnom području, polje geografija. Od 2019. do 2023. zaposlen je na istom odsjeku kao docent. Tijekom tog razdoblja djelovao je kao pomoćnik pročelnika za nastavu, Erasmus i ECTS koordinator, koordinator terenske nastave te studentski voditelj preddiplomskog i diplomskog studija Znanosti o okolišu za Geografski odsjek.

Dosad je bio član skupina: Vijeća prirodoslovnog područja Sveučilišta u Zagrebu (2017.), uredničkog odbora (tehnički urednik) Hrvatskog geografskog glasnika (od 2017.), lokalnog organizacijskog odbora međunarodne znanstvene konferencije ESEH 2017 *Natures in between* (2016.-17.), koordinator Geografskog odsjeka za manifestaciju *Dan i noć PMF-a (Otvoreni dan geografije)* te *GIS dan* (od 2015.), Fakultetskog vijeća PMF-a (od 2015.), Znanstvenog vijeća za daljinska istraživanja HAZU (od 2015.), državnog povjerenstva za *Natjecanje iz geografije* pri Agenciji za odgoj i obrazovanje (2011.-16.). U lipnju 2018. dodijeljena mu je dužnost tajnika Znanstvenog vijeća za daljinska istraživanja HAZU. Suradivao je s Agencijom za odgoj i obrazovanje na poslovima vezanim uz državno Natjecanje iz geografije te stručne skupove za nastavnike geografije od 2010. do 2016. godine. Prigodom Dana fakulteta (PMF) 2018. dodijeljeno mu je priznanje za postignute rezultate u znanstvenom i stručnom radu.

Uz objavljivanje znanstvenih i stručnih radova, samostalno i u koautorstvu, sudjelovao je na brojnim međunarodnim znanstvenim skupova, održao pozvana predavanja na seminarima za nastavnike geografije u organizaciji Hrvatskog geografskog društva te predavanje na Skupštini Znanstvenog vijeća za daljinska istraživanja HAZU.

Nakon rada u XV. gimnaziji tijekom školske godine 2023./24., svoju znanstvenu karijeru nastavlja 2024. kao znanstveni suradnik na Institutu za turizam u Zagrebu. Suradnik je na HRZZ projektu *Procjena utjecaja klimatskih promjena na turizam temeljen na prirodi: razvoj indeksa ranjivosti i otpornosti zaštićenih područja za upravljanje strategijama prilagodbe*, te na projektima: *Učinkovitost mjera prilagodbe i ublažavanja učinaka klimatskih*

promjena u turizmu, Aktiviranje kulturne baštine u turizmu Hrvatske te Istraživanje i planiranje održive mobilnosti i turizma.

Zahvale

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Doktorski rad

Analiza i modeliranje promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju od 1990. do 2035.

Josip Šetka

Poslijediplomski sveučilišni doktorski studij Geografija

Izvadak: Predmet istraživanja disertacije su analiza i modeliranje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju od 1990. do 2035. godine. Obradom multispektralnih snimaka Landsat izrađeni su kartografski prikazi zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta za 1990., 2005. i 2020. godinu. Struktura zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta utvrđena je hibridnim pristupom, tj. kombinacijom nenadzirane i ručne (vizualne) klasifikacije. Vrednovanje točnosti klasifikacija odrađeno je s pomoću matrice konfuzije i kappa koeficijenta. Regresijska analiza korištena je za identifikaciju ključnih čimbenika promjena, dok je metodom intervjua osigurano dublje razumijevanje lokalnih specifičnosti i dinamike promjena. Simulacijski model budućih promjena izrađen je korištenjem staničnih automata i umjetnih neuronskih mreža, implementiranih u MOLUSCE dodatku za QGIS. Rezultati predviđaju širenje šuma i travnjaka, koji će zauzimati 45 % područja, dok se očekuje blagi porast izgrađenih i poljoprivrednih površina. Udio močvara, vodenih površina i područja s oskudnom vegetacijom bit će smanjen.

162 stranica, 42 grafičkih priloga, 27 tablica, 215 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

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

Mentori: izv. prof. dr. sc. Petra Radeljak Kaufmann
dr. sc. Luka Valožić

Povjerenstvo: prof. dr. sc. Borna Fuerst Bjeliš
prof. dr. sc. Zoran Curić
izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić

Tema prihvaćena:

Rad prihvaćen: 12. lipnja 2025.

Datum i vrijeme obrane:

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska, u Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Hrvatska te na Sveučilištu u Zagrebu, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Doctoral Thesis

**Analysis and modeling of land use and land cover changes in the Lower Neretva Region
from 1990 to 2035**

Josip Šetka
Doctoral University Study of *Geography*

Abstract: The research object of this thesis is the analysis and modeling of land use and land cover changes in the Lower Neretva Region from 1990 to 2035. Multispectral image processing of Landsat data was used to create cartographic representations of land use and land cover for 1990, 2005, and 2020. The structure of land use and land cover was determined using a hybrid approach, combining unsupervised and manual (visual) classification methods. The accuracy of the classifications was assessed using a confusion matrix and kappa coefficient. Regression analysis was employed to identify key factors influencing changes, while a method of interviewing provided a deeper understanding of local specificities and the dynamics of change. The simulation model of future changes was created using cellular automata and artificial neural networks, implemented in the MOLUSCE plugin for QGIS. The results predict an expansion of forests and grasslands, which will occupy 45% of the area, while a slight increase in built-up and agricultural areas is expected. The proportion of swamps, water bodies, and sparse vegetation areas will decrease.

162 pages; 42 figures; 27 tables; 215 references; original in Croatian

Keywords: land cover, land use, remote sensing, simulation model, Lower Neretva Region

Supervisors: Petra Radeljak Kaufmann, PhD, Associate Professor
Luka Valožić, PhD

Reviewers: Borna Fuerst Bjeliš, Full Professor
Zoran Curić, Full Professor
Andrija Krtalić, PhD, Associate Professor

Thesis submitted:

Thesis accepted: 12th June 2025

Thesis defense:

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia, in National and University Library in Zagreb, Croatia and at the University of Zagreb, Croatia.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Predmet, ciljevi i svrha istraživanja	2
1.2. Temeljne hipoteze istraživanja.....	3
1.3. Prostorno-vremenski obuhvat istraživanja	3
2. TEORIJSKI OKVIR I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	9
2.1. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta	9
2.1.1. Klasifikacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta	11
2.1.2. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta	17
2.2. Daljinska istraživanja i GIS tehnologije u analizi promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta	18
2.2.1. Landsat.....	20
2.3. Modeliranje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta.....	23
2.3.1. Modeli regresije	26
2.3.2. Simulacijski modeli	28
3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	31
3.1. Pregled metodologije.....	31
3.2. Klasifikacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta	34
3.2.1. Izvori i obrada podataka	34
3.2.2. Evaluacija točnosti klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta	47
3.3. Modeliranje zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta.....	49
3.3.1. Regresijska analiza	49
3.3.2. Izrada testnog i konačnog simulacijskog modela	71
3.4. Metodološke napomene.....	73
4. ANALIZA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA U DONJONERETVANSKOM KRAJU OD 1990. DO 2020. GODINE	77
4.1. Rezultati klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta	77
4.1.1. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta 1990. godine.....	77
4.1.2. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta 2005. godine.....	80
4.1.3. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta 2020. godine.....	84
4.2. Detekcija promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta 1990. – 2020. ...	88
4.2.1. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta 1990. – 2005.	88
4.2.2. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta 2005. – 2020.	90

5. REZULTATI REGRESIJSKE ANALIZE PROMJENA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA	96
5.1. Sukcesija vegetacije	96
5.2. Degradacija vegetacije	100
5.3. Intenzifikacija poljoprivrede	103
5.4. Izgradnja – transformacija šuma i travnjaka u izgrađene površine	106
5.5. Ostale promjene.....	109
5.6. Eksplanatorna moć regresijskog modela.....	111
6. REZULTATI INTERVJUA.....	112
7. SIMULACIJSKI MODELI PROMJENA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA	116
7.1. Varijable promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta	116
7.2. Testni simulacijski model promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (1990. – 2005. – 2020.)	117
7.3. Konačni simulacijski model promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (2005. – 2020. – 2035.)	120
8. RASPRAVA	123
8.1. Evaluacija rezultata i metodologije istraživanja.....	123
8.2. Implikacije promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta	126
9. ZAKLJUČAK	130
BIBLIOGRAFIJA.....	132
Popis literature	132
Popis izvora.....	150
POPIS GRAFIČKIH PRILOGA	152
EXTENDED SUMMARY.....	156
ŽIVOTOPIS.....	161

1. UVOD

Već tisućljećima čovjek mijenja svoje okruženje. Veći dio ljudske povijesti čovjek je bio lovac i sakupljač, a otkrićem vatre započelo je prvo znatnije mijenjanje okoliša (Grigg, 1987). U kontekstu promjene zemljišnog pokrova, ali i promjene društva općenito kao prekretnica navodi se industrijska revolucija (Worster, 1994; Goldewijk i Ramankutty, 2009). Došlo je do nagla rasta svjetske populacije, nastupila je globalizacija svjetske ekonomije, a proces urbanizacije sve više je dolazio do izražaja. Zahvaljujući svim nabrojenim promjenama te novim tehnološkim postignućima, posljedice su u tolikoj mjeri značajne da se teško može govoriti o dijelovima planeta Zemlje na koje čovjek nije u nekom smislu utjecao (Lu i dr., 2004; Horvat, 2013).

Promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (eng. *land use and land cover change*) široko je prepoznata kao poveznica između društvenih procesa (ekonomskih, političkih, kulturnih) s jedne i okoliša s druge strane (Rayner i dr., 1994; Cvitanović, 2014a; Msofe i dr., 2019). Satelitske su snimke pritom bogat izvor prostornih podataka te omogućuju brz uvid u stanje i procese na Zemljinoj površini. S obzirom na kontinuirano motrenje Zemlje posljednjih pola stoljeća stvorila se osnova za analizu povijesnih promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (Longley i dr., 2005; Campbell, 2006; Valozić, 2015; Jogun i dr., 2017).

U svjetskoj geografskoj literaturi, ali i srodnim disciplinama, daljinska istraživanja i satelitske snimke već su neko vrijeme ključne u proučavanju zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, od regionalne do lokalne razine (Horvat, 2013). Radovi su često fokusirani na područja koja su u novijoj povijesti doživjela drastične promjene u prostoru kao posljedicu urbanizacije, gospodarskoga rasta i sl. Navedeno se prvenstveno odnosi na područja u Aziji, Africi i Latinskoj Americi (Xu i dr., 2000; Lambin i dr., 2003; Mundia i Aniya, 2005; Issa i Shuwaihi, 2011; Souza i dr., 2013; Nwilo i dr., 2020; Patra i Gavsker, 2021). U Europi je velik broj istraživanja zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta proveden u državama srednje i istočne Europe koje su prošle i prolaze kroz proces promjene političkoga i ekonomskoga sustava, a koji pokazuju slične obrasce promjena (Václavík i Rogan, 2009; Dannenberg i Kuemmerle, 2010; Mihai i dr., 2015; Cvitanović i dr., 2017).

Iako su promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta globalni fenomen, njihovo proučavanje na lokalnoj razini, kao što je Donjoneretvanski kraj, omogućava uvid u specifične dinamike i izazove s kojima se suočava ovo područje. S obzirom na bogatu poljoprivrednu tradiciju i specifičnu ekološku osjetljivost mikroregije, razumijevanje ovih promjena ključno je za održiv razvoj i očuvanje okoliša.

1.1. Predmet, ciljevi i svrha istraživanja

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je analiza i modeliranje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonečvanskom kraju tijekom razdoblja od 1990. do 2035. godine. Istraživanje obuhvaća utvrđivanje prostorne i vremenske dinamike promjena te analizu povezanosti tih promjena s njihovim prediktorima. Uz detaljnu analizu povijesnih promjena zemljišta, poseban naglasak stavlja se na razvoj simulacijskih modela.

Glavni cilj ovog istraživanja je utvrditi opseg i prostorni raspored promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonečvanskom kraju u razdoblju od 1990. do 2035. godine, pri čemu se istraživanje fokusira na nekoliko specifičnih aspekata.

Prvi cilj je analiza zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta za tri referentne godine – 1990., 2005. i 2020. U tu svrhu koriste se metode daljinskih istraživanja i GIS tehnologija za precizno utvrđivanje stanja zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u svakom od tih vremenskih presjeka.

Drugi cilj istraživanja odnosi se na utvrđivanje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u razdobljima 1990. – 2005. te 2005. – 2020. Ovdje je naglasak na identifikaciji i kvantifikaciji tih promjena, s posebnim fokusom na prepoznavanje ključnih procesa koji su oblikovali te promjene.

Istraživanje se također fokusira na provođenje regresijske analize kako bi se identificirali prediktori s najvećim utjecajem na promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Pomoću statističkih metoda identificiraju se ključni čimbenici povezani s promjenama te se kvantificira njihov doprinos prostornim i vremenskim varijacijama.

Osim kvantitativnih analiza, istraživanje uključuje i kvalitativnu komponentu temeljenu na polustrukturiranim intervjuima s deset stanovnika općine Kula Norinska. Razgovori sa sudionicima različitih dobnih skupina i profesija pružaju dodatne uvide u lokalni kontekst, omogućujući dublje razumijevanje percepcije promjena zemljišnog pokrova, njihovih uzroka i posljedica na život zajednice.

Konačni cilj istraživanja je razvoj testnog i konačnog simulacijskog modela promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Testni model simulira stanje zemljišnog pokrova u 2020. godini, dok završni model projicira promjene u 2035. godini.

Svrha ovog istraživanja je unaprijediti razumijevanje promjena u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta u Donjonečvanskom kraju kroz analizu povijesnih i mogućih budućih promjena. Istraživanje teži stvaranju sveobuhvatnog uvida u dinamiku promjena, identificiranju ključnih čimbenika koji utječu na te promjene te pružanju podrške u planiranju i upravljanju prostorom. Rezultati će omogućiti donošenje informiranijih odluka u lokalnim

samoupravama, doprinoseći održivom razvoju i učinkovitom upravljanju zemljišnim resursima.

1.2. Temeljne hipoteze istraživanja

Na temelju postavljenih ciljeva i dosadašnjeg poznavanja Donjoneretvanskog kraja, postavljene su sljedeće hipoteze:

H.1. Unatoč relativno maloj površini i visokoj heterogenosti Donjoneretvanskog kraja, Landsat snimke mogu se klasificirati s točnošću koja osigurava kappa koeficijent veći od 0.80.

H.2. Fizičko-geografske varijable, poput nadmorske visine, nagiba padina i ekspozicije padina, ključni su prediktori promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju zbog specifične fizionomije prostora.

H.3. Simulacijski modeli razvijeni u MOLUSCE alatu ukazuju na smanjenje močvarnih područja u Donjoneretvanskom kraju, s obzirom na poznate prijetnje poput urbanizacije, poljoprivredne ekspanzije i ugroženosti staništa.

Rezultati ispitivanja ovih hipoteza omogućit će potvrdu ili odbacivanje postavljenih pretpostavki, što će poslužiti kao temelj za poglavlje rasprave te formuliranje zaključaka istraživanja.

1.3. Prostorno-vremenski obuhvat istraživanja

Donjoneretvanski kraj obuhvaća aluvijalnu ravan rijeke Neretve i pripadajuće vapnenačko-krško područje uz njezin donji tok (Glamuzina, 1996). Krški okvir sa zapadne strane omeđen je planinom Rilić (Biokovo), dok s istočne strane dominiraju padine gore Žaba i slivanjska brda. Granica s Bosnom i Hercegovinom proteže se uz istočnu i sjevernu stranu, a od Pelješca ga dijeli Neretvanski kanal (Vidović, 2013). U prošlosti je ovo područje imalo značajnu ulogu zahvaljujući geoprometnom položaju (Faričić i Glamuzina, 2001).

Kroz povijest i u suvremenom znanstvenom diskursu dokumentirana su različita imena za ovo područje. Najraniji zabilježen naziv, koji se vezuje za Andriju Kačića-Miošića (18. stoljeće) je Neretvanska krajina, a bio je uobičajen do sredine 20. stoljeća (Vidović, 2013). Termin Donje Poneretavlje (Glamuzina 1996; Magaš 2013; Vidović, 2013) veže se uz područje uz Neretvu te se javlja u povijesnim istraživanjima Trpimira Macana, spominje u Geografiji SR Hrvatske (Friganović, 1974) te u Geografiji Hrvatske autora Damira Magaša. Donjoneretvanski kraj, najčešće je korišteno ime u suvremenoj geografskoj literaturi (Curić, 1994; Glamuzina, 1996; Faričić i Glamuzina, 2001; Marić, 2009; Vidović, 2013) te je zastupljen u Jurićevu priručniku za zavičajnu nastavu, Curićevu radu o turističkim

potencijalima i valorizaciji, Faričićevoj analizi Cornelijevih karata u *Atlante della Repubblica di Venezia*, Marićevu istraživanju prostornog planiranja Dubrovačko-neretvanske županije, kao i u Geografiji SR Hrvatske. Ostala korištena imena za ovo područje su Neretvanska blatija prema Blaškoviću iz 1948., Donjoneretvanska delta i Delta Neretve (Glamuzina, 1986) te Hrvatsko Poneretvlje prema Ragužu iz 1996. (Glamuzina, 1996).

Prema uvjetno homogenoj regionalizaciji Hrvatske, Donjoneretvanski kraj (sl. 1) čini mikrocjelinu 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).

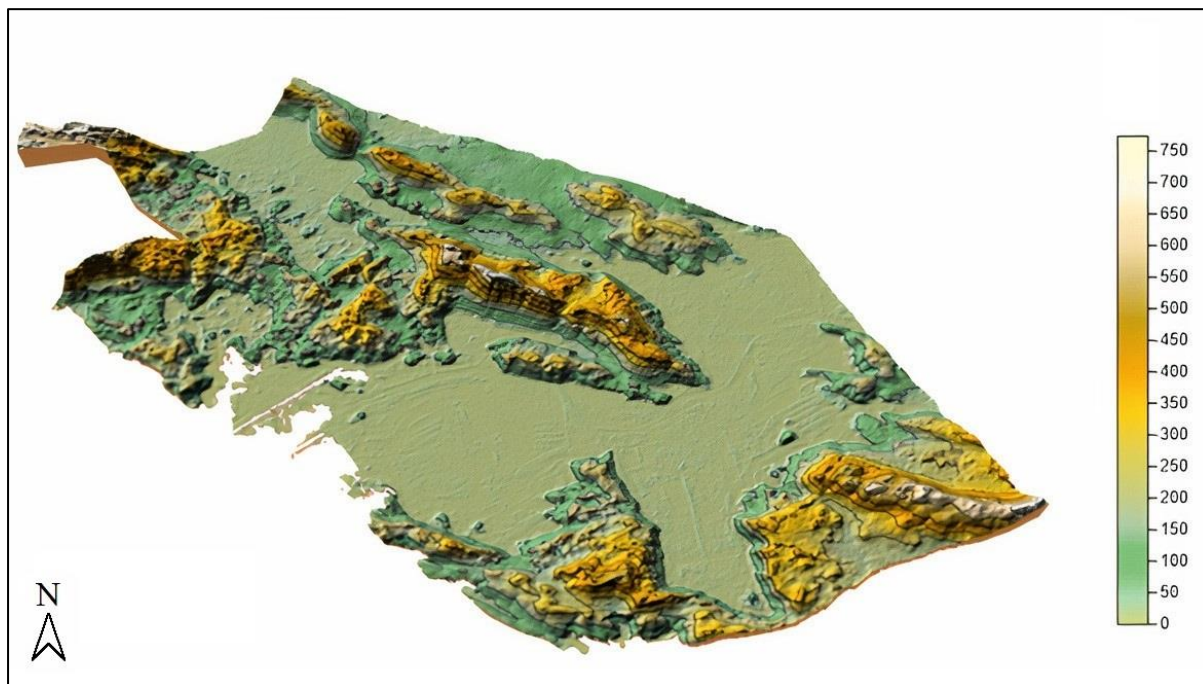


Sl. 1. Geografski smještaj i položaj Donjoneretvanskog kraja

Izvor: DARH, 2005; DGU, 2016; DGU, 2018/2019.

Reljef je pretežno oblikovan egzogenim silama, a geološki slojevi pružaju se dinarskim pravcem SZ-JI (sl. 2), okomito na tok Neretve. Prema Köppenovoj klimatskoj klasifikaciji veći dio područja pripada Csa klimi, dok manji, jugoistočni dio karakterizira Cfa klima (Šegota i

Filipčić, 2003). Područje je poznato po bioraznolikosti, osobito ptica, riba i vodozemaca, ali od sredine 20. stoljeća, s početkom melioracije područja delte, osjeti se jak antropogeni utjecaj (Koren i dr., 2012). Jačanjem turizma u priobalnom dijelu došlo je do pojačane izgradnje turističkih objekata, a izgradnja autoceste dodatno je doprinijela izmjeni pejzaža ovoga područja.



Sl. 2. Perspektivni reljefni prikaz Donjoneretvanskog kraja

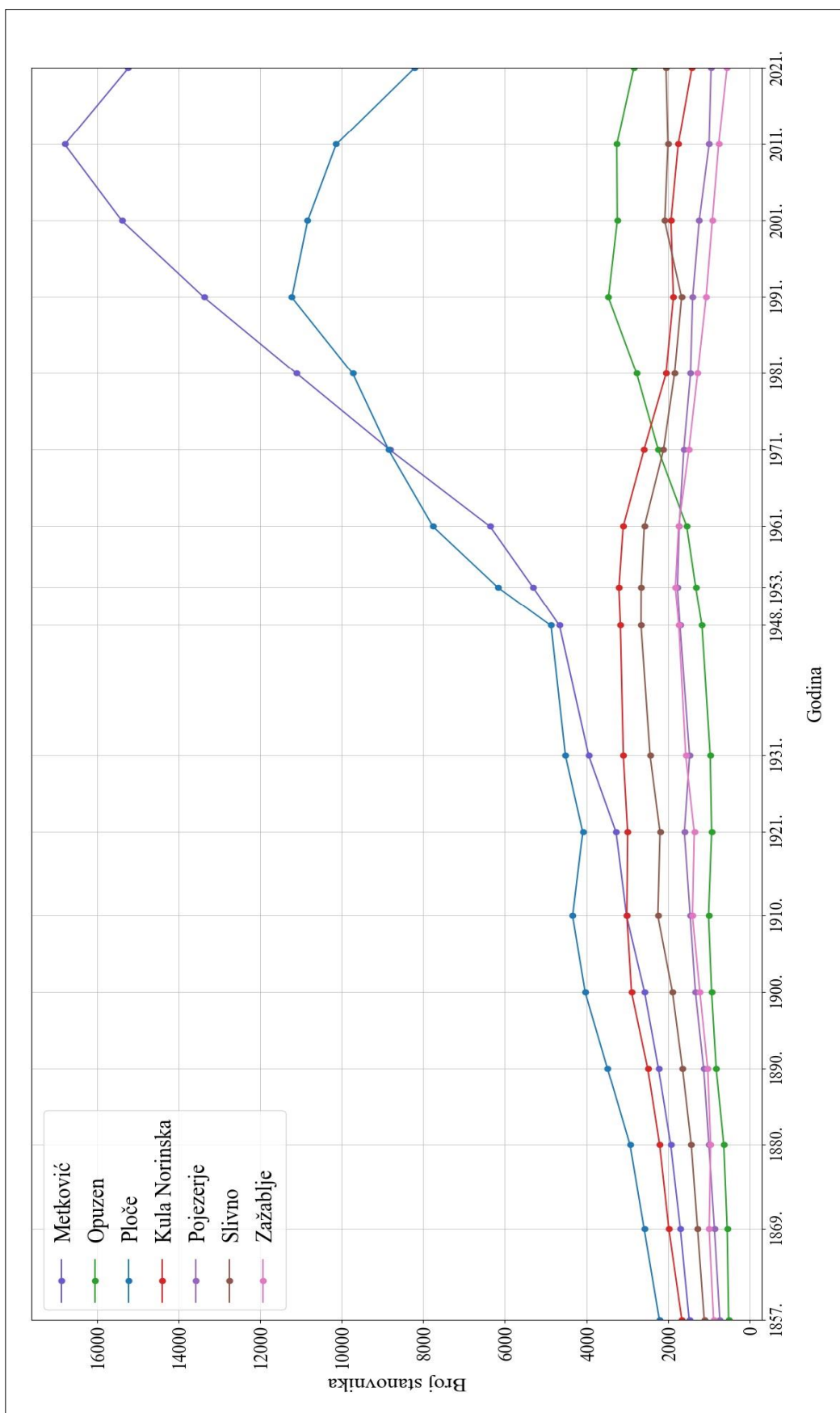
Izvor: ArcMap, Surfer 11 prema SRPJ, USGS, 2021.

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, Zračblje, Kula Norinska i Pojezerje (tab. 1). U okviru navedenih jedinica lokalne samouprave nalazi se 56 naselja. Površina područja iznosi 412,56 km², a prema rezultatima popisa stanovništva iz 2021. godine ima 31 249 stanovnika. Opća gustoća naseljenosti iznosi 76 stan./km². U odnosu na prethodni popis stanovništva iz 2011. godine, kad je zabilježeno 35 799 stanovnika, došlo je do pada od 12,7 %. 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 (sl. 3) (Galić, 2011). Nastavak nepovoljnih demografskih trendova očekuje se i u daljnjem razdoblju.

Tab. 1. Površina i broj naselja po gradovima i općinama Donjoneretvanskog kraja

JLS	Površina (km ²)	Naselja
Grad Metković	50,88	Dubravica, Glušci, Metković, Prud, Vid
Grad Opuzen	24,06	Buk Vlaka (desna obala Male Neretve), Opuzen, Pržinovac
Grad Ploče	129,57	Baćina, Banja, Komin, Peračko Blato, Plina Jezero, Ploče, Rogotin, Staševica, Šarić Struga
Općina Kula Norinska	60,82	Borovci, Desne, Krvavac, Krvavac II, Kula Norinska, Matijevići, Momići, Nova Sela, Podravnica
Općina Pojezerje	33,53	Brečići, Dubrave, Kobiljača, Mali Prolog, Otrić-Seoci, Pozla Gora
Općina Slivno	52,77	Blace, Duba, Duboka, Klek, Komarna, Kremena, Lovorje, Lučina, Mihalj, Otok, Podgradina, Pižinovac, Raba, Slivno Ravno, Trn, Tuševac, Vlaka (lijeva obala Male Neretve), Zavala
Općina Zabašlje	60,93	Badžula, Bijeli Vir, Dobranje, Mislina, Mlinište, Vidonje
Ukupno	412,56	Donjoneretvanski kraj

Izvor: Polić i dr., 2016.



Sl. 3. Kretanje broja stanovnika Donjoneeretvanskog kraja od 1857. do 2021. godine

Izvor: Python (Matplotlib) prema DZS 2005; 2011; 2021.

Vremenski okvir istraživanja obuhvatio je razdoblje od 1990. do 2035. godine. Analiza zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta se poklapa s vremenom od osamostaljenja Republike Hrvatske do 2020. godine. Pretpostavlja se da su demografske i gospodarske promjene utjecale na promjenu zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonečvanskom kraju. U kontekstu modeliranja, 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.

2. TEORIJSKI OKVIR I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

2.1. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta

U hrvatskom jeziku, termin *land* najčešće se prevodi kao *zemlja* ili *zemljište*. Ova dva termina se koriste u raznim kontekstima, što može dovesti do nejasnoća i nesporazuma u znanstvenoj komunikaciji. Kako bi se smanjio ambigvitet u raspravama o zemljišnim resursima, Organizacija za hranu i poljoprivredu (FAO) formulirala je precizniju definiciju temeljnog pojma *land*. FAO (1995) definira *zemlju* kao „karakteristično područje Zemljine površine koje sadrži sve attribute biosfere neposredno ispod ili iznad površine, uključujući klimu, tlo i reljefne oblike, površinske vode (plitka jezera i močvare), sedimentne slojeve blizu površine i s njima povezane zalihe podzemnih voda, biljnu i životinjsku populaciju, sustav ljudskih naselja i fizičke tragove prošlih i sadašnjih ljudskih aktivnosti (terasiranje, akumulacije i sustavi za navodnjavanje, prometnice, zgrade i dr.).“

Pojam zemljišta ustaljen je u hrvatskoj znanstvenoj i stručnoj terminologiji te će se koristiti kroz ovaj rad. Zemljište i njegove izvedenice često su predmet istraživanja u geografskim radovima (vidi npr. Malić, 1983; Crkvenčić, 1981; Horvat, 2013; Cvitanović, 2014a; Cvitanović, 2014b; Jogun i dr., 2017) te radovima srodnih disciplina poput geodezije i geoinformatike (Ćurković, 2011; Gašparović i dr., 2017) te agronomije (Mičević i dr., 2015; Vidaček, 2019).

Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta prijevodi su engleskih termina *land cover and land use*. Iako se ponekad koriste kao sinonimi, postoji bitna razlika (Horning, 2004; Fisher i dr., 2005).

Zemljišni pokrov označava opipljivu prostornu pojavu koja zauzima, odnosno pokriva određeni dio Zemljine površine. Posljedica je (bio)fizičkih obilježja, uglavnom povezanih s kopnenim ekosustavima. Pojednostavnjeno rečeno, zemljišni pokrov predstavlja fizički materijal na površini Zemlje koji je u izravnoj interakciji s elektromagnetskim zračenjem Sunca. Konkretni primjeri zemljišnog pokrova uključuju pojave poput šume, grmolike vegetacije, poljoprivrednih površina, prometnica, naselja i sl. Istraživanje zemljišnog pokrova bilo je većim dijelom predmet proučavanja prirodnih znanosti.

U hrvatskom jeziku, uz *zemljišni pokrov* koristi se i izraz *pokrov zemljišta*. Navedeni se pojam češće koristi u literaturi ponajviše zahvaljujući publikacijama i bazi podataka tzv. CORINE programa (engl. *Coordination of information on the environment*, krat. CORINE) koji je u nadležnosti hrvatske Agencije za zaštitu okoliša. Argumentaciju zašto koristiti termin *zemljišni pokrov* iznio je Cvitanović (2014a) u svojoj doktorskoj disertaciji (Fisher i dr., 2005; AZO, 2010; Valozić, 2015; Zhang i Li, 2022).

U metodološkom smislu, informacije o zemljišnom pokrovu vidljive su na podacima dobivenim putem daljinskih istraživanja ili putem informacija iz sekundarne statistike, poput popisa poljoprivrede. Takvi podaci zahtijevaju i terensku provjeru (Lambin i dr., 2006).

S druge strane, način korištenja zemljišta opisuje na koji način ljudi, odnosno ljudska aktivnost koristi zemljište. Proučavanje načina korištenja zemljišta bilo je pretežno u domeni sociologa, geografa i prostornih planera. Promjene u načinu korištenja zemljišta imaju veliki utjecaj na prirodne ekosustave, npr. staništa divljih životinja i prvenstveno se manifestiraju kao promjene u krajobrazu, tj. na zemljišnom pokrovu (Brown i Duh, 2004; Cvitanović, 2014a). Prema Roiću (2012), korištenje zemljišta može biti urbano (poslovno, stambeno...) te ruralno (šume, pašnjaci...). Informacije o načinu korištenja zemljišta uglavnom se dobiju terenskim radom, mada se podaci mogu pretpostaviti putem daljinskih istraživanja u određenim okolnostima (Lambin i dr., 2006).

Cvitanović (2014a) daje povijesni pregled uporabe termina *način korištenja zemljišta* i naglašava kako je pojam prisutan u hrvatskoj geografskoj znanstvenoj literaturi od sredine 20. stoljeća, ali je s vremenom doživio jezičnu transformaciju. Tako je Rogić (1956) koristio pojam *iskorišćavanje zemljišta*, a Laci (1962) *način iskorišćavanja zemljišta*. Vresk (1968) i Crkvenčić (1981) koriste termine *način iskorištavanja obradivih površina* te *iskorištavanje zemljišta*. Radovi s početka 21. stoljeća, pretežito zadarskih geografa koriste termin korištenje zemljišta (Magaš i Faričić, 2002; Čuka i Magaš, 2003; Faričić i Magaš, 2004; Magaš i dr., 2006).

Iako su se kroz prošlost pojmovi zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta odvojeno proučavali i iako su lako shvatljivi, u znanstvenoj literaturi dolazi do djelomičnog preklapanja ili čak i izjednačavanja pojmova (Cvitanović, 2014a). Stvarnost je takva da je njihov međuodnos vrlo kompleksan. Primjerice, trava je vrsta zemljišnog pokrova koja se može koristiti na više načina korištenja zemljišta, kao sportski teren, urbani park, pašnjak i sl. Paralelno s tim, rijetko kada manja homogena područja jedne namjene korištenja zemljišta imaju jednu vrstu zemljišnog pokrova. Primjer su stambeni prostori koji uglavnom uz zgrade i asfalt sadržavaju travu, drveće itd. (Fisher i dr., 2005; Marsik i dr., 2011).

Zbog neodvojivih veza između navedenih koncepata, postoji potreba za holističkim istraživanjem zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Ovaj pristup omogućuje dublje razumijevanje međudjelovanja ljudi i okoliša, što pridonosi informiranijem donošenju odluka za održivu budućnost (Al-Kindi i dr., 2023).

Interes geografa za zemljišnim pokrovom, načinom korištenja zemljišta i njihovim međusobnim interakcijama je kontinuiran. Od samih početaka, geografija je čvrsto povezana s terenskim istraživanjima, a kartiranje, analiza prostornih podataka i otkrivanje prostornih obrazaca neki su od temeljnih zadataka discipline. Spajajući prirodne i društvene aspekte, geografija je

prikladna u integraciji biofizičke dimenzije zemljišnog pokrova sa socio-ekonomskom dimenzijom načina korištenja zemljišta (Meyer i Turner, 1996).

2.1.1. Klasifikacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

Klasifikacija je postupak kojim se objekti ili pojedinci svrstavaju u određene skupine ili kategorije. U znanosti se često nastoji pojednostaviti stvarni svijet, a klasifikacija predstavlja jedan od načina za postizanje tog cilja. Osnovna pretpostavka klasifikacije je da se objekti iste kategorije mogu smatrati jedinstvenim fenomenom te se mogu izvesti opći zaključci o njihovom ponašanju, karakteristikama ili svojstvima (Comber, 2008).

U kontekstu zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, klasifikacija predstavlja znanstveno-istraživački proces sustavne i potpune podjele određenog dijela Zemljine površine u određeni broj klasa ili skupova čije se razlike baziraju na biofizičkim svojstvima promatranih objekata (Valozić, 2015), odnosno definiranoj namjeni korištenja zemljišta.

U drugoj polovici prošlog stoljeća, na međunarodnoj razini započela je intenzivna aktivnost u kontekstu bilježenja zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta kroz različite programe klasifikacije i praćenja promjena na zemljištu. U tu svrhu pokrenuti su brojni nacionalni, kontinentalni i globalni projekti (tab. 2).

Tab. 2. Klasifikacijski sustavi korišteni na nacionalnoj, kontinentalnoj i globalnoj razini

Kategorija	Sustav klasifikacije	Godina	Mjerilo	Lokacija
Nacionalna	Nacionalni sustav klasifikacije zemljišnog pokrova	1992; 2006; 2011	1:5000–1:10 000	SAD
Nacionalna	Nacionalni standard klasifikacije vegetacije SAD-a	1997	1:5000–1:10 000	SAD
Nacionalna	Klasifikacijska shema zemljišnog pokrova nacionalnog inventara šuma	1999	1:5000–1:10 000	Kanada
Nacionalna	Nacionalni institut za statistiku, geografiju i informatiku	1993; 2000	1:25 000	Meksiko
Nacionalna	Nacionalna baza podataka o korištenju zemljišta (NLUD)	2001	1:100 000	Ujedinjeno Kraljevstvo
Nacionalna	Informacijski sustav o korištenju zemljišta u Španjolskoj (SIOSE)	2000	1:25 000	Španjolska
Nacionalna	Nacionalni geodetski sustav klasifikacije	1984; 2007	1:100 000–1:125 000	Kina

Nacionalna	NRSA Sustav klasifikacije zemljišnog pokrova	2007	1:250 000	Indija
Nacionalna	Standardni sustav klasifikacije zemljišnog pokrova Južne Afrike	1996	1:100 000	Južna Afrika
Nacionalna	MapBiomass Sustav klasifikacije zemljišnog pokrova	2020	1:125 000	Brazil
Nacionalna	ALUM sustav klasifikacije	2005	1:100 000–1:125 000	Australija
Nacionalna	Klasifikacija korištenja zemljišta Novog Zelanda	1984	1:100 000–1:125 000	Novi Zeland
Kontinentalna	CORINE/Zemljišni pokrov 2006	1985–2018	1:100 000–1:125 000	Europa
Kontinentalna	AFRICOVER Sustav klasifikacije zemljišnog pokrova	1995–2002	1:100 000–1:125 000	Afrika
Kontinentalna	AARS Sustav klasifikacije zemljišnog pokrova	1999	1:100 000–1:125 000	Azija
Kontinentalna	Sustav praćenja promjena zemljišnog pokrova Sjeverne Amerike	2005	1:100 000–1:125 000	Sjeverna Amerika
Globalna	Sustav klasifikacije zemljišnog pokrova (FAO)	1996	1:100 000–1:125 000	FAO
Globalna	Nacionalni skup podataka o zemljišnom pokrovu (USGS)	1972/1976	1:100 000–1:125 000	USGS
Globalna	Međunarodni program za geosferu i biosferu (IGBP)	1996	1:100 000–1:125 000	IGBP

Izvor: Nedd i dr., 2021.

Sjedinjene Američke Države imaju Nacionalni skup podataka o zemljišnom pokrovu (engl. *U.S. National Land Cover Dataset*) (tab. 3). U Ujedinjenom Kraljevstvu ističe se tzv. *The Countryside Survey*, koji je provodio Britanski centar za ekologiju i hidrologiju (UKCEH), dok se službena Nacionalna baza podataka o korištenju zemljišta (NLUD) koristi za kartiranje na nacionalnoj razini. Za ostatak Europe značajan već istaknuti CORINE program (Fisher i dr., 2005).

Tab. 3. Klasifikacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta prema USGS-u

Razina 1		Razina 2	
Kod	Naziv	Kod	Naziv
1	Urbano ili izgrađeno zemljište	11	Stambeno
		12	Komercijalno i uslužno
		13	Industrijsko
		14	Promet, komunikacije i komunalne usluge

		15	Industrijski i komercijalni kompleks
		16	Mješovito urbano ili izgrađeno zemljište
		17	Ostalo urbano ili izgrađeno zemljište
2	Poljoprivredno zemljište	21	Poljoprivredno zemljište i pašnjaci
		22	Voćnjaci, vinogradi, rasadnici i ukrasno hortikulturno područje
		23	Zatvorena područja za hranjenje životinja
		24	Ostalo poljoprivredno zemljište
3	Pašnjak	31	Biljni pašnjak
		32	Grmlje i četinjače
		33	Mješoviti pašnjak
4	Šumsko zemljište	41	Listopadna šumska zemljišta
		42	Vazdazelena šumska zemljišta
		43	Mješovita šumska zemljišta
5	Voda	51	Rijeke i kanali
		52	Jezera
		53	Akumulacije
		54	Zaljevi i estuariji
6	Močvarno zemljište	61	Močvare s drvećem
		62	Močvare bez drveća
7	Pusto zemljište	71	Suhi slani platoi
		72	Plaže
		73	Pješčane površine osim plaža
		74	Gole izložene stijene
		75	Kamenolomi, iskopine i šljunčare
8	Tundra	81	Grmovita tundra
		82	Biljna tundra
		83	Gola tundra
		84	Vlažna tundra
		85	Mješovita tundra
9	Višegodišnji snijeg ili led	91	Višegodišnja snježna polja
		92	Ledenjaci

Izvor: Fisher i dr., 2005.

Europska komisija donijela je 1985. godine odluku o pokretanju CORINE programa, tada eksperimentalnog projekta s ciljem uspostave standardiziranih i usporedivih podataka o stanju okoliša i prirodnih resursa na razini Europske unije. U kontekstu Republike Hrvatske, CLC Hrvatska pruža digitalnu bazu podataka koja obuhvaća informacije o stanju i promjenama zemljišnog pokrova Republike Hrvatske u razdoblju od 1980. do 2018. godine. Podaci su standardizirani prema CORINE nomenklaturi i metodologiji, osiguravajući konzistentnost i homogenost na razini Europske unije. Baza sadrži informacije o pokrovu zemljišta za referentne godine 1980., 1990., 2000., 2006., 2012. i 2018., kao i o promjenama pokrova

zemljišta između tih godina. Proces izrade baze temelji se na vizualnoj interpretaciji satelitskih snimaka prema standardnoj CLC metodologiji, pružajući vektorske podatke o pokrovu zemljišta u mjerilu 1:100 000, minimalne širine poligona od 100 m te područja kartiranja od 25 ha. CLC nomenklatura uključuje različite klase pokrova zemljišta raspoređene u tri razine (tab. 4) (AZO, 2010; Haop.hr, 2018).

Tab. 4. Struktura tipova pokrova zemljišta prema CORINE programu

Razina 1		Razina 2		Razina 3	
Kod	Naziv	Kod	Naziv	Kod	Naziv
1	Čovjekom utjecane površine	11	Naseljena područja	111	Naselja (>80 % izgrađeno)
				112	Naselja (<80 % izgrađeno)
		12	Industrijske, poslovne i prometne površine	121	Industrijski ili poslovni prostori
				122	Prometnice s pripadajućim zemljištem
				123	Luke s pripadajućim zemljištem
				124	(Zračne luke) s pripadajućim zemljištem
		13	Rudokopi, odlagališta i gradilišta	131	Rudokopi
				132	Odlagališta otpada
				133	Gradilišta
		14	Umjetna, nepoljoprivredna vegetacija	141	Gradsko zelenilo
				142	Sportski i rekreacijski objekti
2	Poljoprivredne površine	21	Obradene površine	211	Oranice
				212	Navodnjavane poljoprivredne površine
				213	Rižina polja
		22	Trajni nasadi	221	Vinogradi
				222	Voćnjaci
				223	Maslinici
		23	Livade i pašnjaci	231	Livade košenice i intenzivni pašnjaci
				241	Jednogodišnji i višegodišnji usjevi
		24	Usitnjene, raznolike poljoprivredne površine	242	Mozaik različitih načina poljoprivrednoga korištenja
				243	Poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije

				244	Poljo-šumska područja
3	Šume	31	Šume	311	Bjelogorična šuma
				312	Crnogorična šuma
				313	Mješovita šuma
		32	Grmolike i travne, prirodne biljne zajednice	321	Prirodni travnjaci
				322	Grmolika vegetacija (kontinentalna - vrištine, cretovi i niske šikare)
				323	Grmolika vegetacija (mediteranska - sklerofilna)
				324	Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)
		33	Otvorene površine s malo ili bez vegetacije	331	Plaže, dine, pijesci
				332	Ogoljele površine
				333	Područja s oskudnom vegetacijom
				334	Izgorjele površine
				335	Glečeri i trajni snijeg
4	Močvarna zemljišta	41	Kopnene močvare	411	Kopnene močvare
				412	Tresetišta
		42	Primorske močvare (slane)	421	Slane močvare
				422	Solane
				423	Područja pod utjecajem plime i oseke
5	Vode	51	Kopnene vode	511	Vode tekućice
				512	Vode stajaćice
		52	Mora i oceani	521	Obalne lagune
				522	Estuarij
				523	More

Izvor: AZO, 2010.

U klasifikacijskim shemama zemljišta koje su usvojene od strane navedenih programa i mnogih drugih, evidentan je nedostatak precizne diferencijacije između zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Ova nedosljednost postaje problematična prilikom formalnog povezivanja različitih klasifikacija zemljišta, budući da su zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta suštinski različiti. Kao što je navedeno, zemljišni pokrov se utvrđuje putem neposrednog promatranja, dok korištenje zemljišta zahtijeva socio-ekonomsku interpretaciju aktivnosti koje se odvijaju na tom području (Fisher i dr., 2005).

U kontekstu klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, ključno je odrediti prikladnu metodologiju klasifikacije koja će omogućiti preciznu i pouzdanu analizu prostornih podataka. Postoji mnogo metoda klasifikacije koje se mogu primijeniti za grupiranje piksela slike u relevantne kategorije, ali ne postoji univerzalno najbolji pristup. Odabir odgovarajuće metode ovisi o dostupnim algoritmima unutar korištenog softvera za obradu slike te znanju i iskustvu s različitim metodama. U svom radu, Horning (2004) grupira metode klasifikacije u tri pristupa: automatizirani, ručni i hibridni. Važno je napomenuti da neki autori automatizirani pristup nazivaju i digitalnom klasifikacijom, što naglašava ulogu digitalnih tehnologija u automatizaciji procesa klasifikacije (Sudhakar i Rao, 2010; Alshari i Gawali, 2021).

Automatizirani pristup predstavlja dominantnu kategoriju metoda klasifikacije, tj. ima najveći broj primjenjivih metoda. Pristup je značajan po tome što koristi algoritme za dodjelu vrijednosti pikselu ili skupini piksela određene kategorije zemljišnog pokrova ili načina korištenja zemljišta. Prednosti automatizirane klasifikacije uključuju brzinu obrade cijele snimke, sposobnost korištenja više slojeva snimaka, odnosno kanala u odnosu na vizualne metode te mogućnost uključivanja dodatnih slojeva informacija kao što su nadmorska visina, nagib, ekspozicija padina i sl. (Horning, 2004).

Nadalje, postoje brojne podjele unutar automatiziranog pristupa, ali za potrebe ovog rada potrebno je navesti one najosnovnije. S obzirom na uključenost stručnjaka, metode klasifikacije se mogu podijeliti na nadzirane i nenadzirane metode (Horning, 2004; Jogun, 2016). Nadzirani tip klasifikacije (engl. *supervised classification*) podrazumijeva uključenost i znanje analitičara od samog početka, gdje se ručno odrede uzorci određene klase, a potom softver „trenira“ i klasificira ostatak scene. Nenadzirane metode klasifikacije (engl. *unsupervised classification*) prepuštaju početnu podjelu podataka u klase računalnim algoritmima, dok analiza, sinteza i korištenje tih rezultata ovisi o kasnijoj ljudskoj interpretaciji informacija (Lillesand i dr., 2004; Valozić, 2015; Jogun, 2016).

U okviru automatiziranog pristupa valja istaknuti i podjelu prema primarnoj jedinici analize. Razlikuju se metode bazirane na korištenju piksela i objekata. Tradicionalno, klasifikacija se provodila na razini pojedinačnog piksela. Algoritam analizira spektralne vrijednosti svakog piksela i dodijeli ga kategoriji zemljišnog pokrova/načina korištenja zemljišta. S druge strane, u objektno baziranoj klasifikaciji, objekti nastaju grupiranjem susjednih piksela sa sličnim karakteristikama u procesu segmentacije. Objektni pristup postiže veću preciznost same klasifikacije, naročito snimaka visoke prostorne rezolucije, ali sam izbor metode klasifikacije ovisi o raspoloživim podacima, ciljevima istraživanja i željenom nivou detalja u klasifikaciji zemljišnog pokrova (Lu i Weng, 2007; Blaschke, 2010).

Ručni, manualni ili vizualni pristup klasifikaciji zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta predstavlja tradicionalan i učinkovit način klasifikacije, posebno kada je analitičar upoznat s područjem koje se klasificira. Njegove prednosti uključuju visoku preciznost, budući da ljudski um ostaje superiorniji u prepoznavanju suptilnih značajki na snimkama. Ručna klasifikacija omogućuje fleksibilnost i rad neovisan o računalu. S druge strane, nedostaci ručne klasifikacije uključuju subjektivnost, budući da rezultati mogu varirati ovisno o individualnim sposobnostima i iskustvima analitičara, što rezultira manjom dosljednošću u usporedbi s automatiziranim metodama. Također, ručni proces klasifikacije može biti spor i dugotrajan, posebno za veća ili heterogena područja. Dugotrajno promatranje snimaka može dovesti do umora analitičara, što može utjecati na koncentraciju i preciznost klasifikacije. Osim toga, ograničenost ručne klasifikacije na samo tri spektralna kanala rezultira manjom preciznošću u odnosu na korištenje višespektralnih ili hiperspektralnih podataka (Horning, 2004; Alshari i Gawali, 2021).

Hibridni pristup klasifikaciji kombinira prednosti automatiziranih i ručnih metoda kako bi se stvorio konačni proizvod veće preciznosti od onih kreiranih samo jednom metodom. Česta je praksa da se automatsko klasificiranje upotrijebi za inicijalnu klasifikaciju, nakon čega se ručnim metodama korigiraju pogreške, odnosno pogrešno označene klase. Proces korekcije klasifikacije zahtijeva usporedbu postignute klasifikacije s izvornom satelitskom snimkom visoke prostorne rezolucije ili terenskim istraživanjem radi što preciznijeg utvrđivanja stanja (Horning, 2004).

U posljednjim godinama, primjena umjetne inteligencije (AI) i naprednih algoritama u klasifikaciji zemljišnog pokrova ima sve značajniju ulogu u znanstvenim istraživanjima. Duboko učenje (engl. *deep learning*) i strojno učenje (engl. *machine learning*) omogućuju preciznu analizu i interpretaciju složenih prostornih podataka koji se odnose na promjene u zemljištu i njegovom korištenju. Ovi pristupi ne samo da poboljšavaju točnost u klasifikaciji zemljišta, već i automatiziraju analizu velikih skupova podataka, smanjujući potrebu za ručnom obradom i subjektivnim procjenama. Napredak u razvoju modela i sve veća dostupnost satelitskih i daljinskih podataka dodatno su povećali učinkovitost i primjenu ovih metoda u znanstvenim istraživanjima i praksi (Alshari i dr., 2023; Fayaz i dr., 2024; Khan i dr., 2024; Li i dr., 2024).

2.1.2. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

Promjene zemljišnog 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 najizravniya 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 Bovolo, 2013). Zahvaljujući razvoju tehnologije i pojavi satelita, površina Zemlje izložena je kontinuiranom motrenju, što je stvorilo osnovu za analizu povijesnih promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (Longley i dr., 2005; Campbell, 2006; Valozić, 2015; Jogun i dr., 2017).

Analiza promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta provedena je na brojnim primjerima diljem svijeta. Korišteni su mnogobrojni izvori prostornih podataka (satelitske snimke) unutar različitih razdoblja, a primijenjena je i različita metodologija istraživanja (Marić i dr., 2022). Hrvatski su autori posljednjih 10-ak godina uz pomoć satelitskih snimka analizirali promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta diljem Hrvatske. Većina radova bilježi slične obrasce promjena kao što su napuštanje poljoprivrednoga zemljišta i reforestacija (Valozić i Cvitanović, 2011; Horvat, 2013; Cvitanović 2014a; 2014b; Valozić, 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 zemljišnog 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 i dr., 2019; Mantero i dr., 2020; Ferreira i dr., 2022; Sugianto i dr., 2022).

Postoje brojne metode utvrđivanja promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, a najčešća je usporedna analiza klasifikacija iz dva različita vremena (t_1 i t_2). Međutim, važno je napomenuti da je preciznost konačne karte promjena ograničena preciznošću individualnih klasifikacija za svako vrijeme. Stow i dr. (1980) su istaknuli da je ukupna preciznost detekcije promjena ustvari proizvod preciznosti klasifikacija na pojedinačnim snimkama (Mas, 1999).

2.2. Daljinska istraživanja i GIS tehnologije u analizi promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

Daljinska istraživanja (engl. *remote sensing*) predstavljaju aktivnost snimanja, promatranja i proučavanja nekog objekta, događaja ili određenog područja i njegovog sadržaja, bez izravnog doticaja, odnosno iz daljine. U geografiji, daljinska istraživanja predstavljaju vrijedan izvor prostornih podataka. Većina sustava za daljinska istraživanja primarno je usmjerena na prikupljanje podataka o Zemljinoj površini. Time istraživanja postaju iznimno vrijedna za geografe i znanstvenike iz srodnih disciplina koji se bave geoinformacijama (Jensen, 2007; Weng, 2010; Valožić, 2015).

Kao nositelj informacija u daljinskim istraživanjima, obično se koristi elektromagnetsko zračenje. S obzirom na raznolike oblike elektromagnetskog spektra, ključni uređaj za provođenje daljinskih istraživanja je senzor ili osjetnik. Senzori bilježe zračenje koje seže od vidljive svjetlosti do drugih dijelova spektra kao što su blisko i dugovalno infracrveno, mikrovalno, ultraljubičasto, X- zračenje i druga (Valožić, 2015).

Izlazni rezultat daljinskih istraživanja najčešće je snimka/slika koja predstavlja scenu koja se promatra. Nakon snimanja, potrebno je provesti daljnju analizu i interpretaciju kako bi se iz snimke izvukle korisne informacije. U užem smislu, daljinska istraživanja se mogu definirati kao znanost i tehnologija prikupljanja podatka o Zemljinoj površini koristeći senzore postavljene na zrakoplove, balone ili pak svemirske platforme poput satelita ili svemirske letjelice (Weng, 2010).

Termin „daljinska istraživanja“ prvi je put upotrijebljen u neobjavljenom radu ranih 1960-ih od strane autorice Evelyn L. Pruitt, uz asistenciju Walera H. Baileyja, članova Ureda za pomorska istraživanja (Odjel za geografiju) SAD-a (Jensen, 2007). Prvi razvoj daljinskih istraživanja bio je potaknut vojnim potrebama, a s vremenom se primjena proširila na civilnu upotrebu. Danas su daljinska istraživanja naširoko korištena u brojnim disciplinama kao što su arheologija, poljoprivreda, kartografija, građevina, meteorologija i klimatologija, šumarstvo, geologija, geografski informacijski sustavi (GIS) i brojne druge. Posljednjih godina, s pojavom snimki visoke prostorne rezolucije i naprednijim tehnikama, urbanim i srodnim primjenama, interes je dodatno porastao, kako u nabrojanim disciplinama, tako i šire (Weng, 2010).

Proučavanje Zemlje tradicionalnim metodama može biti ograničeno. Iz Campbellovog istraživanja (2006), istaknuto je da satelitske snimke dobivene daljinskim istraživanjem predstavljaju neprocjenjiv alat za proučavanje Zemljine površine. Njihova sposobnost pružanja brzog i izravnog uvida u stanja i procese na globalnoj razini čini ih idealnima za praćenje promjena zemljišnog pokrova, a u manjoj mjeri i promjena načina korištenja zemljišta. Lansiranje prvih komercijalnih satelita u Zemljinu orbitu prije više od 50 godina stvorilo je bogatu arhivu podataka koja omogućuje kontinuirano praćenje promjena na regionalnoj i

globalnoj razini. Osim toga, napredak u tehnologiji satelitskih snimaka značajno je smanjio troškove i vrijeme potrebno za provođenje istraživanja (Cvitanović, 2014a).

Geografski informacijski sustavi (GIS) značajno se oslanjaju na podatke prikupljene daljinskim istraživanjima u kontekstu analize promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Podaci se uglavnom uvoze u GIS aplikacije kao rasterske datoteke, koje površinu Zemlje prikazuju kao mrežu kvadratića (piksela). Svaki piksel u rasterskoj datoteci odgovara određenom mjerenju senzora. Kako bi se rasterske datoteke integrirale u GIS, prolaze kroz dva procesa, georeferenciranje i rektifikaciju. Georeferenciranje svakom pikselu unutar slike dodjeljuje prostorne koordinate na temelju određenog koordinatnog sustava. To zapravo govori GIS softveru gdje se na Zemlji nalazi svaki piksel. Budući da platforme senzora mogu doživjeti male pomake tijekom prikupljanja podataka, rezultirajuće snimke mogu sadržavati geometrijske deformacije. Rektifikacijom se ispravlja geometrija slike kako bi se točno prikazale lokacije u stvarnom svijetu. Za prostornu analizu većeg geografskog prostora, istraživači često koriste podatke iz više izvora, što može uključivati i različite snimke. U tom slučaju proces preciznog poravnavanja tih slika postaje ključan. Navedeni proces poravnavanja više snimaka naziva se registracija ili georegistracija (Valozić, 2015).

Važnost i uloga GIS-a već je godinama prepoznata kao vitalna u pružanju okvira za prostorne analize rezultata dobivenih daljinskim istraživanjima. Prema Wilkinsonu (1996), povezanost GIS-a i daljinskih istraživanja se mogla promatrati na tri načina. Prvi način je da daljinska istraživanja služe kao alat za prikupljanje detaljnih prostornih podataka, koji se potom integriraju u GIS u svrhu analize i vizualizacije. Nadalje, postojeći GIS podaci, odnosno slojevi, digitalne karte i baze podataka mogu se koristiti za poboljšanje točnosti klasifikacije i interpretacije podataka iz daljinskih istraživanja. Konačno, zajednička uporaba GIS-a i daljinskih istraživanja omogućuje izradu složenih modela (urbanih) područja za simulaciju različitih scenarija, pomažući pritom boljem razumijevanju kompleksnih procesa koji oblikuju gradove te pomažući u rješavanju ključnih izazova s kojima se suočavaju urbani planeri (Donnay i dr., 2001).

2.2.1. Landsat

U području daljinskih istraživanja, umjerena rezolucija igra važnu ulogu u različitim sektorima poput urbanog planiranja, poljoprivrede i šumarstva, kako na lokalnoj, tako i na globalnoj razini. Među raznim satelitima s umjerenom rezolucijom, Landsat se izdvaja kao najčešće korišten izvor podataka. Landsatova popularnost proizlazi iz nekoliko ključnih

karakteristika ovog programa. Prvo, sustavno planirano prikupljanje podataka i arhiva omogućuju globalnu pokrivenost i stalnu dostupnost informacija. Drugo, niske cijene snimanja i besplatna distribucija čine ga pristupačnim širem spektru korisnika. Nadalje, Landsat se ističe po velikoj površini pokrivanja te prostornoj rezoluciji, dovoljno dobroj za detaljnu analizu promjena na tlu koje su bitne za upravljanje određenim resursom (Powell i dr., 2007).

Program je pokrenula američka Nacionalna uprava za aeronautiku i svemir (NASA) 1967. godine kao program *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), prije nego što je preimenovan. Prvi satelit u sklopu programa, nazvan ERTS-1, lansiran je u Zemljinu orbitu prije više od pola stoljeća, 1972. godine. Ovaj pionirski satelit bio je prvi bespilotni uređaj koji je sustavno i repetitivno prikupljao multispektralne podatke o Zemljinoj površini, pružajući umjerenu rezoluciju. Do preimenovanja projekta došlo je 1975. godine, a satelit ERTS-1 postao je poznat kao Landsat 1. Ovaj korak označio je početak nove ere u praćenju i razumijevanju planeta Zemlje (Lillesand i dr., 2004; Cvitanović, 2014a).

Landsat program je kroz razvoj svojih senzora poboljšao mogućnosti satelitskog promatranja Zemlje. Početni Landsat 1 *Multispectral Scanner Systems* (MSS) senzor prikupljao je podatke u vidljivom i bliskom infracrvenom spektru. Prikupljeni podaci su obično preuzorkovani na 60 metara s razinom preciznosti od 6 bita. Ovakva konfiguracija ponovljena je i na satelitima Landsat 2 i Landsat 3 (Wulder i dr., 2019).

Prva tri satelita orbitirala su Zemljinu površinu na prosječnoj visini od 900 km, sinkronizirano s kretanjem Sunca. Njihov orbitalni period iznosio je 103 minute, što je omogućavalo da svaki dan pređu preko ekvatora u 9:42 ujutro po lokalnom vremenu, koristeći prednosti jutarnje vedrine. Ova sinkronizacija s prividnim kretanjem Sunca prema zapadu, uzrokovana Zemljinom rotacijom, bila je ključna za osiguravanje konzistentnih uvjeta osvjetljenja površine tijekom različitih godišnjih doba (Lillesand i dr., 2004; Cvitanović, 2014a).

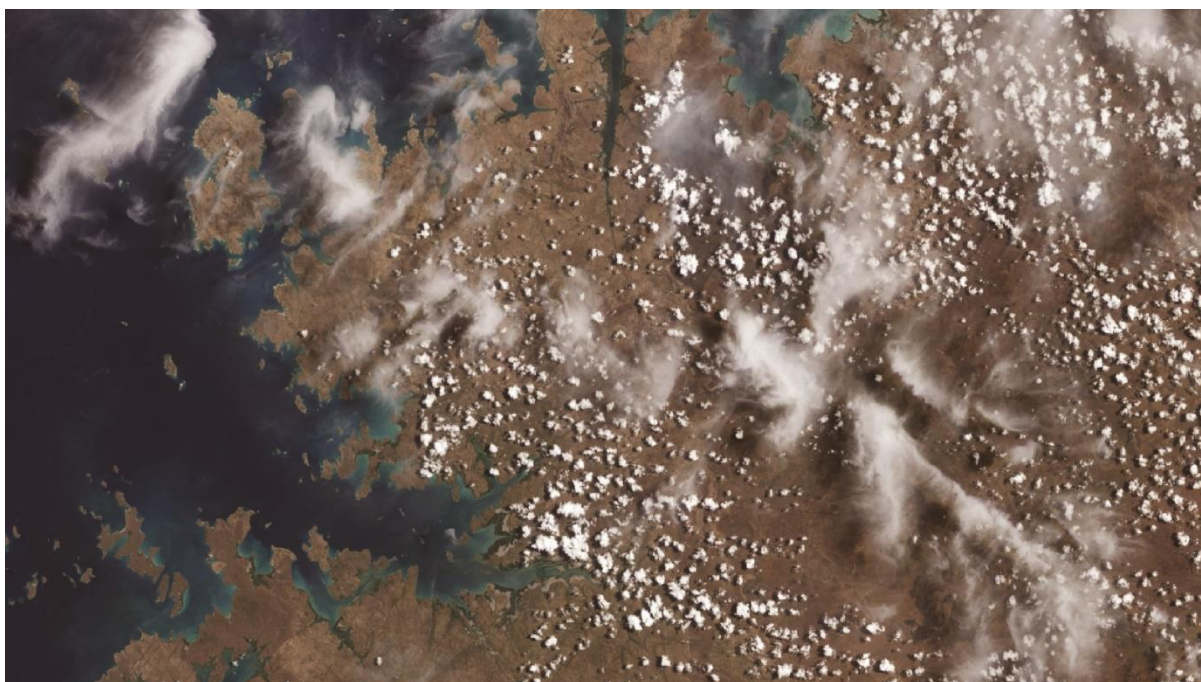
Sateliti su mogli snimati površinu Zemlje, osim područja između 82° i 90° polarne širine, svakih 18 dana. Širina svakog pojasa snimanja bila je 185 km. Snimke su katalogizirane prema lokaciji unutar *Worldwide Reference* sustava (WRS), gdje su svaka orbita i ciklus označeni kao putanja (engl. *path*), a unutar putanje snimke su podijeljene na redove (engl. *row*). Ukupno je bila 251 putanja, što odgovara broju orbita potrebnih za pokrivanje Zemlje u jednom osamnaestodnevnom ciklusu (Lillesand i dr., 2004; Cvitanović, 2014a).

S uvođenjem *Thematic Mapper* (TM) senzora na Landsat 4 i Landsat 5, broj spektralnih kanala povećan je na sedam uz kvantizaciju od 8 bita. Šest optičkih kanala imalo je prostornu rezoluciju od 30 m, što predstavlja značajno poboljšanje s obzirom na prethodno lansirane

satelite. Položaj satelita bio je na 705 km, a svaka orbita je trajala 99 minuta, dok se jedan ciklus upotpunio nakon 16 dana (Lillesand i dr., 2004; Cvitanović, 2014a; Wulder i dr., 2019).

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) na Landsatu 7 imao je uglavnom slične spektralne i prostorne karakteristike kao TM, osim dodatnog pankromatskog kanala s prostornom rezolucijom od 15 m i TIR pojasa s rezolucijom od 60 m, umjesto 120 m kao na Landsatu 4 i 5. *Operational Land Imager* (OLI) na Landsatu 8 nastavio je trend poboljšanja spektralnih pojaseva i dodavanja novih kanala, s kvantizacijom od 12 bita. Landsat 8 ima i Termalni infracrveni senzor (engl. *Thermal Infrared Sensor*) (TIRS), koji je u ranoj fazi misije imao problema sa zalutalom svjetlošću, a naknadne tehničke prilagodbe stabilizirale su njegovu učinkovitost mjerenja u orbiti. Iako TIRS značajno doprinosi sustavnom filtriranju oblaka, njegov puni potencijal za prikupljanje termalnih infracrvenih podataka bit će ostvaren kada algoritmi za atmosfersku kompenzaciju za određivanje površinske temperature postanu operativni (Wulder i dr., 2019).

Godine 2015., NASA je povjerila Svemirskom centru Goddard (GSFC) provedbu misije Landsat 9 kao prvi korak u međuinstitucionalnom programu *Sustainable Land Imaging* (SLI). S obzirom na to da se kraj operativnog vijeka Landsata 7 predviđao za ljeto 2021. zbog nedostatka goriva te zbog potrebe za održavanjem kontinuiteta promatranje Zemlje svakih osam dana, NASA je odlučila pokrenuti misiju Landsat 9 (sl. 4) gotovo identičnu kao Landsata 8. Opremljen je s dva ključna instrumenta, tj. senzora, *Operational Land Imager-2* (OLI-2) i *Thermal Infrared Sensor-2* (TIRS-2). Senzor OLI-2 je identičan OLI-u iz Landsata 8, dok je TIRS-2 poboljšán. Kao što je navedeno TIRS je imao problema s optičkim dizajnom koji je dopuštao neželjeno prodiranje vanjske svjetlosti na osjetljivu žarišnu ravninu, što je narušavalo preciznost mjerenja. Lansiranje Landsata 9 službeno je obavljeno 27. rujna 2021. godine (Wulder i dr., 2019; Showstack, 2022).



Sl. 4. Prva snimka Landsata 9 – sjeverozapadna obala Australije, 31. listopada 2021.

Izvor: Showstack, R. 2022.

2.3. Modeliranje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

Chorley i Haggett (1967) definiraju model kao pojednostavljenu apstrakciju stvarnog svijeta. Oni tvrde da je prilikom izrade modela ključno eliminirati nebitne detalje kako bi se ključni aspekti stvarnosti mogli istaknuti u generaliziranom i uočljivom obliku. Različite znanstvene discipline imaju različite potrebe za preciznošću u modeliranju. Stoga se modeli moraju prilagoditi svrsi za koju napravljeni (Šiljeg, 2013).

Modeliranje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta kroz prostorno eksplicitne tehnike omogućuje razumijevanje temeljnih procesa i istraživanje alternativnih, tj. potencijalnih budućih scenarija. Takvi modeli nastoje uspostaviti matematičke odnose između prošlih promjena korištenja zemljišta i različitih eksplanatornih varijabli kako bi predvidjeli lokacije na kojima bi moglo doći do promjena u budućnosti. Te eksplanatorne varijable su složene, mijenjaju se u prostoru i vremenu te proizlaze iz međusobnih odnosa između ljudskih aktivnosti i okoliša, kao i socioekonomskih, političkih i institucionalnih faktora (Gaur i dr., 2020; Nath i dr., 2020). Korištenjem modela, moguće je istražiti kako sustavi funkcioniraju kroz različite scenarije i vizualizirati alternativne načine korištenja zemljišta koje mogu proizaći iz političkih ili društvenih promjena. Ove sposobnosti omogućuju da modeli služe kao alat za komunikaciju i edukaciju među dionicima u procesu donošenja odluka o zemljištu. Projekcije također mogu poslužiti kao sustav ranog upozoravanja na potencijalne učinke

budućih promjena na zemljištu i identificirati ključna područja koja zahtijevaju detaljnu analizu ili političke mjere (Verburg i dr., 2008).

S napretkom tehnologije i tehnika prikupljanja podataka (satelitske snimke, platforme za velike podatke i sl.), kao i hardverske moći računala, prakse modeliranja zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta su značajno napredovale. Kao i kod drugih tehnika modeliranja, glavne faze s modeliranjem zemljišta uključuju kalibraciju, simulaciju, validaciju i predikciju. Prikupljanje podatka (povijesne snimke) predstavlja ključni korak prije modeliranja. Podaci se mogu dobiti iz satelitskih snimaka, terenskih istraživanja i različitih mrežnih portala. Prikupljeni podaci dalje se koriste za razvoj kartografskih prikaza zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta s pomoću različitih tehnika klasifikacije snimki (Gaur i Singh, 2023).

Posljednjih desetljeća, razvijali su se raznovrsni pristupi modeliranja promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta te su potaknuli autore da ih pregledaju i klasificiraju. Ovi sustavi klasifikacije obično se temelje na ključnim procesima promjene korištenja zemljišta koje model razmatra, tehnici simulacije koju model koristi ili temeljnoj teoriji koja stoji iza modela (Verburg i dr., 2008). Neke od osnovnih podjela uključuju statističke modele, modele staničnih automata (engl. *Cellular Automata* – CA), ekonomske modele, modele bazirane na agentima i hibridne modele (Gaur i Singh, 2023). Za ovaj rad najrelevantniji su statistički modeli, modeli temeljeni na staničnim automatima (CA), uključujući i integraciju s umjetnim neuronskim mrežama (ANN) te hibridni modeli, stoga će o njima biti detaljnije objašnjeno u daljnjem tekstu.

Statističko modeliranje predviđa promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta uspostavljanjem matematičkog odnosa između eksplanatornih varijabli i obrazaca njegovih promjena. Taj odnos koristi se za generiranje karata prijelaznih vrijednosti. Statistički modeli se temelje na korištenju prostorne statistike i regresije (npr. linearna i logistička regresija) te stohastičkih modela (npr. Markovljevi lanci). Često se kombiniraju s drugim modelima, kao što su stanični automati (CA) ili genetski algoritmi (Prieto-Amparán i dr., 2019; Gaur i Singh, 2023).

Ove modele karakterizira jednostavna implementacija i široka primjenjivost. Ipak, statistički modeli nisu najbolji u situacijama gdje je važno eksplicitno prikazati odluke temeljene na ljudskim faktorima (npr. percepcija poljoprivrednika o intenzifikaciji poljoprivrede) (Gaur i Singh, 2023).

Najpoznatiji koncept promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta su tzv. stanični automati (CA). Temeljni princip staničnih automata je da se promjene u korištenju zemljišta mogu objasniti trenutnim stanjem stanice i promjenama u stanjima njezinih susjeda.

Drugim riječima, temelje se na ideji da se povijesni razvoj nastavlja i da su promjene rezultat interakcije s okolinom (van Schroyensteen Lantman i dr., 2011).

Stanični automati (CA) su dinamički modeli koje su izvorno osmislili Ulam i Von Neuman 1940-ih, neovisno jedan o drugome, kako bi razvili formalni okvir za proučavanje ponašanja složenih sustava. Oni se sastoje od mnoštva identičnih, jednostavnih komponenti koje zajedno mogu pokazati složeno ponašanje, što ih čini idealnima za analizu takvih sustava (Wolfram, 1984; Moreno i dr., 2009). Klasičnu matematičku formalizaciju ove metode predstavio je Wolfram (1984), dok je Tobler (1979) zaslužan za primjenu u geografiji.

Osnovni stanični automat se sastoji od pet ključnih elemenata: 1) mrežnog prostora u kojem djeluje model, 2) stanja stanica unutar te mreže, 3) pravila prijelaza koja određuju prostorne dinamičke procese, 4) susjedstva koje utječe na središnju stanicu, 5) vremenskih koraka (Clarridge, 2009; Moreno i dr., 2009).

Posljednjih desetljeća, primjena staničnih automata pokazala se iznimno važnom u geografskim istraživanjima. Njihova sposobnost u simuliranju složenih prostorno-vremenskih procesa s relativno jednostavnim pravilima čini ih privlačnima za istraživanje različitih tema u geografiji. Najizraženija upotreba CA očituje se u geomorfologiji (npr. modeliranje erozije tla), urbanoj geografiji (modeliranje urbanog rasta) te promjenama zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (modeliranje promjena na zemljištu i simulacija budućeg stanja) (D'Ambrosio, 2001; Torrens, 2009; Xu i dr., 2023).

Stanični automati (CA) su pokazali svoju svestranost u simuliranju dinamike promjena zemljišnog pokrova, a posebno se ističu u integraciji s umjetnim neuronskim mrežama (ANN). ANN algoritam spominje se često u znanstvenoj literaturi kao važan alat u kontekstu modeliranja promjena u korištenju zemljišta (Rahman et al., 2017; El-Tantawi et al., 2019; Guidigan et al., 2019; Jogun et al., 2019; Muhammad et al., 2022), a u pravilu pokazuje najvišu točnost u usporedbi s ostalim algoritmima. Ova tehnika strojnog učenja sve se više koristi u daljinskim istraživanjima, zahvaljujući svojoj sposobnosti da kroz višeslojnu strukturu neurona simulira rad i funkcije ljudskog mozga. ANN sortira uzorke, uči iz pokušaja i pogrešaka te identificira kompleksne veze u podacima (Jogun i dr., 2019; Talukdar i dr., 2020).

Treća skupina relevantna za ovo istraživanje su hibridni modeli. Kao što sam naziv kaže, cilj hibridnih modela je kombinirati prednosti postojećih modela. S obzirom na to da svaki model ima svoje prednosti i nedostatke, hibridni modeli su razvijeni kako bi prevladali te ograničavajuće čimbenike. Hibridni modeli imaju prednost u stvaranju novih pristupa, odnosno metodologija koje preciznije reflektiraju stvarne procese. Međutim, složenost ovih modela predstavlja izazov u procesima kalibracije i validacije (Gaur i Singh, 2023). U

kontekstu promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, razne metode se često kombiniraju kako bi se postigla veća preciznost. Jedan takav pristup je integracija modela regresije (statističko modeliranje) sa staničnim automatima (CA), kako bi se simulirale buduće promjena u korištenju zemljišta (López, 2014; Ku, 2016).

2.3.1. Modeli regresije

Danas se u istraživanjima promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta najčešće koriste induktivni modeli, a unutar njih modeli regresije zauzimaju dominantnu ulogu. Njihova snaga leži u statistički značajnim poveznicama, odnosno statističkoj korelaciji između promjena na zemljištu i niza varijabli koje ih objašnjavaju. Ove varijable, poznate su i kao „eksplanatorne“, a mogu biti brojne i raznovrsne. Popularnost induktivnog pristupa u modeliranju promjena zemljišnog pokrova proizlazi iz nedostatka jedinstvene, sveobuhvatne teorije koja bi objasnila sve aspekte ove složene problematike. Razvoj takve teorije otežava kompleksnost uzročnih faktora, koji se razlikuju u vremenu, prostoru i na različitim organizacijskim razinama. Ovi faktori mogu djelovati direktno ili indirektno i proučavati se unutar raznih znanstvenih disciplina, kao što su ekologija, ekonomija, sociologija ili geografija (Verburg i dr., 2008).

Regresijska analiza je složeniji pristup proučavanju odnosa između zavisnih i nezavisnih varijabli. U kontekstu analize promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, zavisna varijabla (y) predstavlja opažene promjene na zemljištu, a ovisi o nizu nezavisnih varijabli $x_1, \dots, x_p$ gdje je $p \geq 1$. Ipak, zavisna varijabla y nije samo funkcija nezavisnih varijabli, već je pod utjecajem i drugih varijabli koje nisu dostupne ili nisu uključene u analizu. Nadalje, regresijska analiza služi i za procjenu važnosti odabranih varijabli u predviđanju promjena. Smanjenje broja varijabli u modelu postiže se metodom stupnjevite regresije unazad (engl. *backward stepwise regression*). Ova metoda započinje s uključivanjem svih nezavisnih varijabli u model, a zatim se u svakom koraku eliminira ona koja najmanje doprinosi predikciji. Na kraju procesa, u modelu ostaju samo one varijable čije bi isključivanje značajno smanjilo njegovu prediktivnu snagu (George i Mallery, 1999; Rogerson, 2001; Reimann i dr., 2008, prema Cvitanović, 2014a). S druge strane, metoda stupnjevite regresije unaprijed (engl. *forward stepwise regression*) započinje s praznim modelom i dodaje varijable jednu po jednu, birajući u svakom koraku onu koja najviše poboljšava model. Kada dodavanje novih varijabli više ne dovodi do značajnog poboljšanja, proces se zaustavlja. Kombinirana metoda stupnjevite regresije (engl. *stepwise regression*) kombinira ove dvije metode. Tako se

omogućuje dodavanje ili uklanjanje varijabli tijekom cijelog procesa, čime se osigurava fleksibilnost u modeliranju i mogućnost preispitivanja važnosti varijabli u kasnijim fazama analize (Hayes, 2022).

U samoj analizi rezultata, najčešće se izračuna *varijanca procjene kriterijske varijable* (R^2) i naziva se *koeficijentom determinacije*. On služi kao mjera efikasnosti i uspješnosti regresijskog modela, tj. objašnjava koliko je varijance zavisnih varijabli objašnjeno varijancom nezavisnih (Reimann i dr., 2008, prema Cvitanović, 2014a).

U geografiji i srodnim disciplinama postoji raznolikost tipova regresijskih modela koji se koriste za analizu i predviđanje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Jedan od temeljnih tipova regresijskih modela koji se primjenjuju u geografskim istraživanjima je linearna regresija (Cvitanović, 2014a; Jahanifar i dr., 2018; Li i dr, 2020). Ovaj model analizira linearnu vezu između zavisne varijable (y) i jedne ili više nezavisnih varijabli (x). Zavisna varijabla treba biti kontinuirana, dok nezavisne varijable mogu biti kontinuirane, binarne ili kategoričke. Prilikom procjene odnosa između dvije kontinuirane varijable, prvi korak je kreiranje grafa raspršenja (engl. *scatter plot*). Njime se utvrđuje je li odnos između varijabli linearan ili nelinearan (Schneider i dr., 2010).

Drugi važan tip regresijskog modela je logistička regresija, koja se često primjenjuje kada je zavisna varijabla binarna ili kategorička (Castro i Carvalho Ferreira, 2023). Ovaj model omogućuje analizu vjerojatnosti pojave ili odsustva određenih fenomena, kao što su promjene u vrsti zemljišnog pokrova ili urbanizacija određenih područja (Millington i dr., 2007; Nong i Du, 2011).

Geografski ponderirana regresija (GWR) još je jedan značajan oblik regresijskog modela koji često nalazi primjenu u istraživanju promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. GWR predstavlja metodu prostorne analize koja omogućuje lokalnu procjenu odnosa između varijabli, a u geografsku literaturu uvedena je 1996. godine. Ova metoda omogućuje analizu prostorno promjenjivih odnosa između zavisnih i nezavisnih varijabli unutar lokalnog konteksta, primjenjujući učinak udaljenosti kako bi se bolje razumjela i predvidjela prostorna dinamika (Páez i Wheeler, 2009; Buramuge i dr., 2023).

Analiza promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u regresijskom modeliranju zahtijeva pažljiv odabir nezavisnih varijabli, budući da te varijable igraju ključnu ulogu u razumijevanju kompleksnih prostornih procesa. U geografskih radovima, prostorne varijable se obično dijele na fizičko-geografske i društveno-geografske, dok se u srodnim disciplinama često klasificiraju kao biofizičke, društvene, ekonomske i sl. Iako postoji skup često korištenih prostornih varijabli, specifičan odabir može varirati ovisno o dostupnosti

podataka, stručnom znanju istraživača o proučavanom prostoru te dinamičnosti prostornih i vremenskih promjena (Millington i dr., 2007; Cvitanović, 2014a).

Neke od najčešće korištenih fizičko-geografskih varijabli su nadmorska visina (digitalni model reljefa), nagib padina, ekspozicija padina, temperatura i padaline (Cvitanović 2014a; Jogun, 2016; Li i dr., 2020; Zhai i dr., 2020; Allan i dr., 2022). S druge strane, najčešće korištene društveno-geografske nezavisne varijable u modeliranju su povezane sa stanovništvom (broj stanovnika, gustoća stanovništva, starenje stanovništva). U ovoj kategoriji ističu se varijable vezane uz obrazovanje i zaposlenost. Budući da su društvene varijable dinamične, uglavnom se kombiniraju s nekom od fizičko-geografskih (Serneels i Lambin, 2001; Buğday i Erkan Buğday, 2019; Jogun i dr., 2019; Abbas i dr., 2021; Alam i dr., 2021; Baig i dr., 2022; Khan i Sudheer, 2022; Muhammad i dr., 2022). U zasebnu kategoriju često se izdvajaju i varijable udaljenosti (engl. *proximity variables*). Varijable udaljenosti temelje se na konceptu blizine, što znači da su područja koja su bliža prevladavajućim kategorijama zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta sklonija prelasku u druge kategorije. Varijable udaljenosti uključuju blizinu cesta, vodenih površina, gradova, željezničkih mreža i sličnih struktura (Gaur i Singh, 2023).

2.3.2. Simulacijski modeli

Simulacijski modeli zemljišnog 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 zemljišnog 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 simulacijskog 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. Uz navedene radove, valja istaknuti i doktorsku disertaciju „Metoda scenarija u prostornom planiranju: primjer Južnoga hrvatskoga primorja“ (Radeljak, 2014) u kojoj je naglasak stavljen na izradu i analizu kvalitativnih scenarija budućeg prostornog razvoja navedenog područja. Također, valja istaći i

interdisciplinarni projekt CRORURIS, kojem je glavni cilj bio oblikovanje varijantnih scenarija razvoja ruralnih područja Hrvatske u 2030.

Zahvaljujući Međunarodnom programu za geosferu i biosferu (engl. *International Geosphere-Biosphere Program*) (IGBP), njihovom programu *Land Use and Land Cover Change* (LULC) te Međunarodnom programu ljudskih dimenzija o globalnim promjenama okoliša (engl. *International Human Dimensions Programme*) (IHDP), od kraja prošlog stoljeća do danas, nastali su brojni simulacijski modeli s ciljem boljeg shvaćanja dinamike cijelog sustava (Brown i dr., 2012).

Koncepti, odnosno pristupi relevantni za ovaj rad detaljnije su opisani u poglavlju o modeliranju promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Svi opisani pristupi imaju svoje prednosti i nedostatke. Integracija različitih metoda može dovesti do boljih rezultata, a takvi modeli se nazivaju hibridnim. Benenson i Torrens (2004) sugeriraju naziv *geosimulacija* za kompleksnu paradigmu integriranih modela koji simuliraju prostorne procese (Verburg i dr., 2004; Manson, 2009; Yang i dr., 2012; Tayyebi, 2013, prema Jogun, 2016).

U procesu simulacijskog modeliranja važnu ulogu igraju procesi kalibracije i validacije. Prema definicijama, kalibracija je „procjena i prilagodba parametara i uvjeta modela kako bi se poboljšalo slaganje između izlaznog rezultata modela i stvarnih podataka“. S druge strane, validacija je „demonstracija da model unutar svoje domene primjene posjeduje zadovoljavajuću razinu točnosti konzistentnu s namjeravanom primjenom modela“ (Rykiel, 1996, prema Jogun, 2016).

U procesu kalibracije, parametri modela kao što su tranzicijski potencijali u modelima staničnih automata (CA) ili težine u modelima baziranim na umjetnim neuronskim mrežama (ANN), sustavno se prilagođavaju kako bi simulacija što preciznije reproducirala stvarne promjene koje su se dogodile u poznatim vremenskim razdobljima. Ovaj iterativni proces uključuje usporedbu simuliranih promjena s dokumentiranim podacima iz prošlosti te podešavanje parametara modela dok se ne postigne zadovoljavajuća razina preciznosti. Cilj kalibracije je razviti model koji vjerno može replicirati povijesne promjene zemljišnog pokrova, osiguravajući da su parametri modela ispravno postavljeni za daljnje simulacije i analize (van Vliet, 2013).

Validacija se postiže procjenom točnosti modela u trećem vremenskom koraku, odnosno radi se usporedbu simuliranih i referentnih podataka za ciljano razdoblje. Kada postoji dovoljno podataka, idealno je provesti neovisnu validaciju modela, što podrazumijeva da se podaci korišteni za korak validacije nisu prethodno koristili u kalibraciji (van Vliet, 2013; Jogun, 2016).

Danas postoje brojna softverska rješenja razvijena tijekom godina kako bi omogućila simulaciju zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta te su postala ključni alati u području prostornog planiranja i upravljanja resursima. Neka od najkorištenijih i najistaknutijih softverskih rješenja su: MOLUSCE za QGIS, CLUE (Clue, Clue-s, Dyna-CLUE, CLUE Scanner), *Land Transformation Model* (LTM), GEOMOD2, SLEUTH, *UrbanSim*, IMAGE, CORMAS, ILUMASS, LUMOS, MOLAND, CA_MARKOV, DINAMICA, LCM, LANDIS-II, TerrME itd. (van Schroyen Lantman i dr., 2011; Carneiro i dr., 2013; Mas i dr., 2014; MOLUSCE, 2018; Kafy i dr., 2021).

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

3.1. Pregled metodologije

Ovo istraživanje je metodološki strukturirano u tri glavna dijela (sl. 5), tj. aspekta: 1) analiza zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, 2) regresijska analiza u kombinaciji s intervjuima, 3) razvoj testnog i provedba konačnog simulacijskog modela. Ovaj pristup omogućava temeljitu analizu i razumijevanje promjena u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta te pomaže u identifikaciji uzročnih veza i predviđanju budućih promjena.

Prvi dio istraživanja usmjeren je na detaljnu analizu promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju, koristeći Landsat satelitske snimke prikupljene za razdoblja 1990., 2005. i 2020. godine. Prije analize, snimke su prošle predobradu radi uklanjanja periodičnih pruga (Landsat 7 ETM+) i poboljšanja oštrote slike (Landsat 7 ETM+ i Landsat 8 OLI TIRS), što je olakšalo njihovu daljnju obradu. Klasifikacija snimki omogućuje precizno kvantificiranje promjena u pejzažu tijekom istraživanih razdoblja.

U obradi podataka korišten je hibridni pristup, koji kombinira *Iso Cluster* nenadziranu klasifikaciju s ručnom (vizualnom) metodom za detaljnu klasifikaciju zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Na temelju ovog pristupa dobivene su tri karte zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju za 1990., 2005. i 2020. godinu.

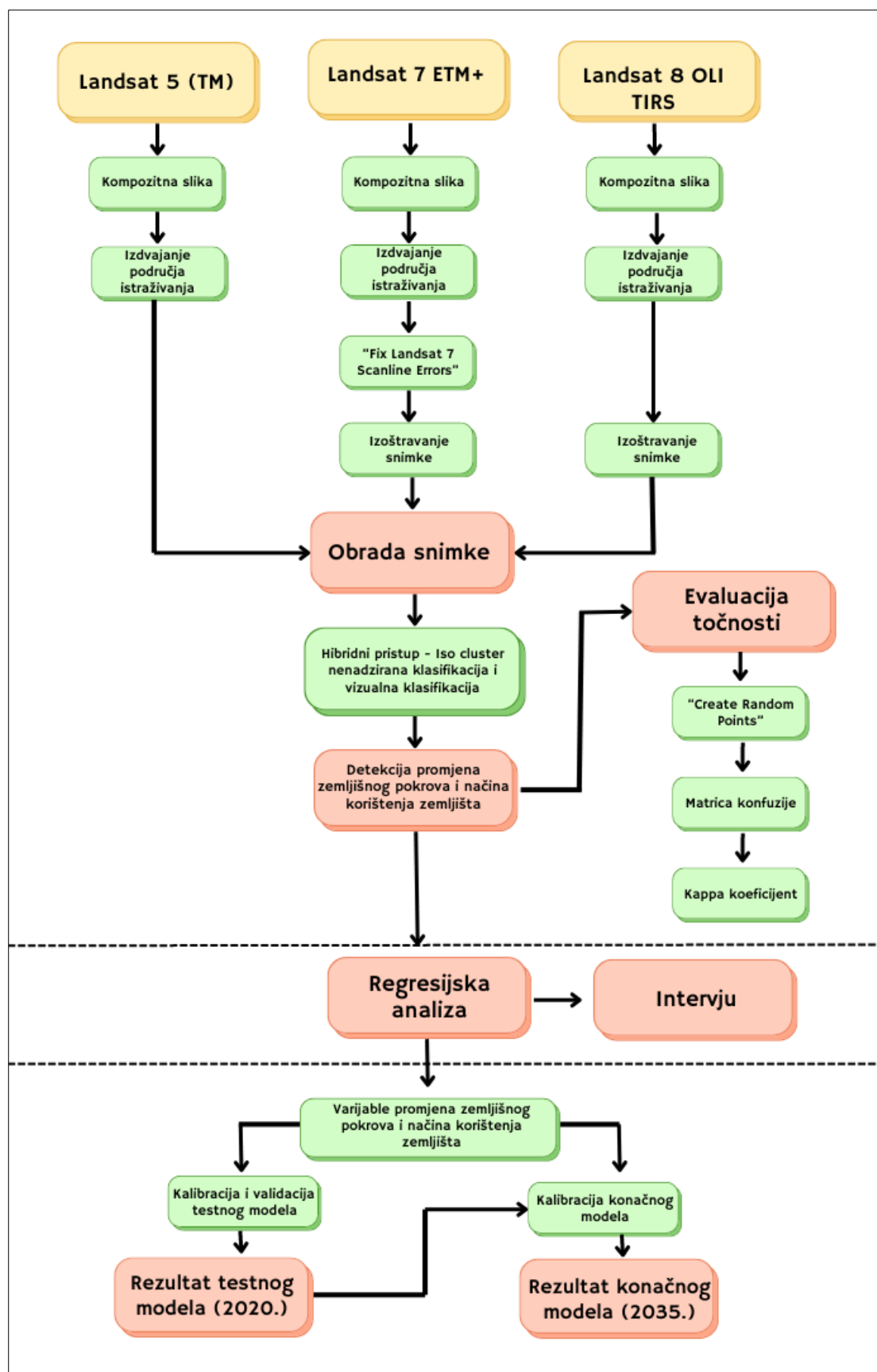
Evaluacija točnosti klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta provedena je uz pomoć matrice konfuzije i kappa koeficijenta, najčešće korištenih metoda za izračun točnosti klasifikacije satelitskih snimaka (Story i Congalton, 1986; Horvat, 2013; Jogun, 2016; Jogun i dr., 2017; Kulkarni i dr., 2020).

Detekcija promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta obuhvaća izradu dviju prijelaznih karata za razdoblja od 1990. do 2005. te od 2005. do 2020. godine, čime se dublje razumijeva dinamika zemljišnih promjena u tom području.

Drugi dio istraživanja fokusiran je na regresijsku analizu kako bi se utvrdile prediktorske varijable s najvećim utjecajem na promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Ovaj dio istraživanja koristi statističke metode za identifikaciju ključnih čimbenika koji utječu na promjene te za kvantifikaciju njihovog utjecaja. Detaljnije informacije o pristupu regresijskoj analizi bit će pružene u kasnijim dijelovima metodologije. Statističko modeliranje bit će dodatno obogaćeno polustrukturiranim intervjuima s deset stanovnika općine Kula Norinska. Ovi kvalitativni uvidi omogućit će dublje razumijevanje lokalnih specifičnosti i konteksta promjena zemljišnog pokrova.

Završni dio istraživanja usmjeren je na razvoj testnog i konačnog simulacijskog modela zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Testni model dizajniran je za simulaciju

stanja zemljišnog pokrova u 2020. godini, dok konačni model služi za projiciranje budućeg stanja u 2035. godini. Ovaj pristup omogućuje dublju analizu dinamike promjena te predviđanje mogućih scenarija u budućnosti. Kroz temeljitu kalibraciju i validaciju, model se optimizira kako bi pružio pouzdane rezultate nužne za sveobuhvatno razumijevanje i efikasno planiranje upravljanja zemljištem, uzimajući u obzir promjene u okolišu i društvene potrebe.



Sl. 5. Metodološka shema istraživanja

Izvor: Prema rezultatima istraživanja

3.2. Klasifikacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

3.2.1. Izvori i obrada podataka

Glavni izvor podataka u analizi zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju bile su multispektralne snimke Landsat. Preuzete su s *Earthexplorera*, servisa Agencije za geologiju Sjedinjenih Američkih Država (USGS). Zbog usklađenosti fenologije sve preuzete snimke nastale su u ljetnom dijelu godine (Cvitanović, 2014a; Jogun, 2016; Lu i dr., 2019). Fenološka usklađenost omogućuje bolju interpretaciju i analizu promjena u zemljišnom pokrovu tijekom istraživanih razdoblja.

U teorijskom dijelu istraživanja su ukratko navedene osnovne karakteristike generacija satelita Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ i Landsat 8 OLI TIRS, međutim, u ovom poglavlju će biti detaljno opisane njihove specifičnosti, uključujući senzore, spektralne karakteristike i prostorne rezolucije. Te informacije su ključne za preciznu klasifikaciju zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju.

Landsat 5 TM, lansiran od strane NASA-e 1. ožujka 1984. godine, predstavljao je ključnu komponentu programa Landsat, usmjerenog na sustavno praćenje Zemljine površine. Iako je prvotno bio projektiran za radni vijek od tri godine, ovaj satelit bio je u funkciji gotovo 29 godina, čime je postavio Guinnessov rekord za najdugovječniji satelit za promatranje Zemlje. S orbitom na visini od 705 km, Landsat 5 je kružio u sunčevoj sinkronoj orbiti s inklinacijom od 98,2 stupnja, obavljajući četrnaest orbita dnevno s ciklusom ponavljanja od 16 dana.

Opremljen s dva ključna instrumenta - *Multispectral Scanner* (MSS) i *Thematic Mapper* (TM). MSS je prestao prikupljati podatke unutar Sjedinjenih Američkih Država 1992. godine, dok je globalno prikupljanje podataka završeno 1999. godine. TM je bio glavni senzor sve do kvara u studenom 2011. godine, nakon čega je MSS ponovno aktiviran i nastavio s prikupljanjem podataka do početka 2013. godine.

Tijekom svog radnog vijeka, Landsat 5 suočio se s brojnim tehničkim izazovima, uključujući kvar primarnog i rezervnog TDRSS odašiljača, što je ograničilo prijenos podataka izvan dometa američkih zemaljskih prijemnih antena. Unatoč ovim izazovima, satelit je uspješno dostavio ogromnu količinu visokokvalitetnih podataka, koji su našli široku primjenu u znanstvenim istraživanjima i praktičnim primjenama, uključujući praćenje klimatskih promjena i optimizaciju poljoprivredne proizvodnje.

Privatizacija programa Landsat, inicirana Zakonom o komercijalizaciji daljinskog istraživanja zemlje iz 1984. godine, donijela je dodatne izazove. NOAA je prenijela operativnu

kontrolu na Earth Observation Satellite Company (EOSAT), što je rezultiralo značajnim povećanjem cijena podataka i ograničenjem pristupa istima. Ova komercijalizacija izazvala je nezadovoljstvo među korisnicima podataka, što je na kraju dovelo do povratka operativne kontrole nad satelitom pod upravu vlade 2001. godine.

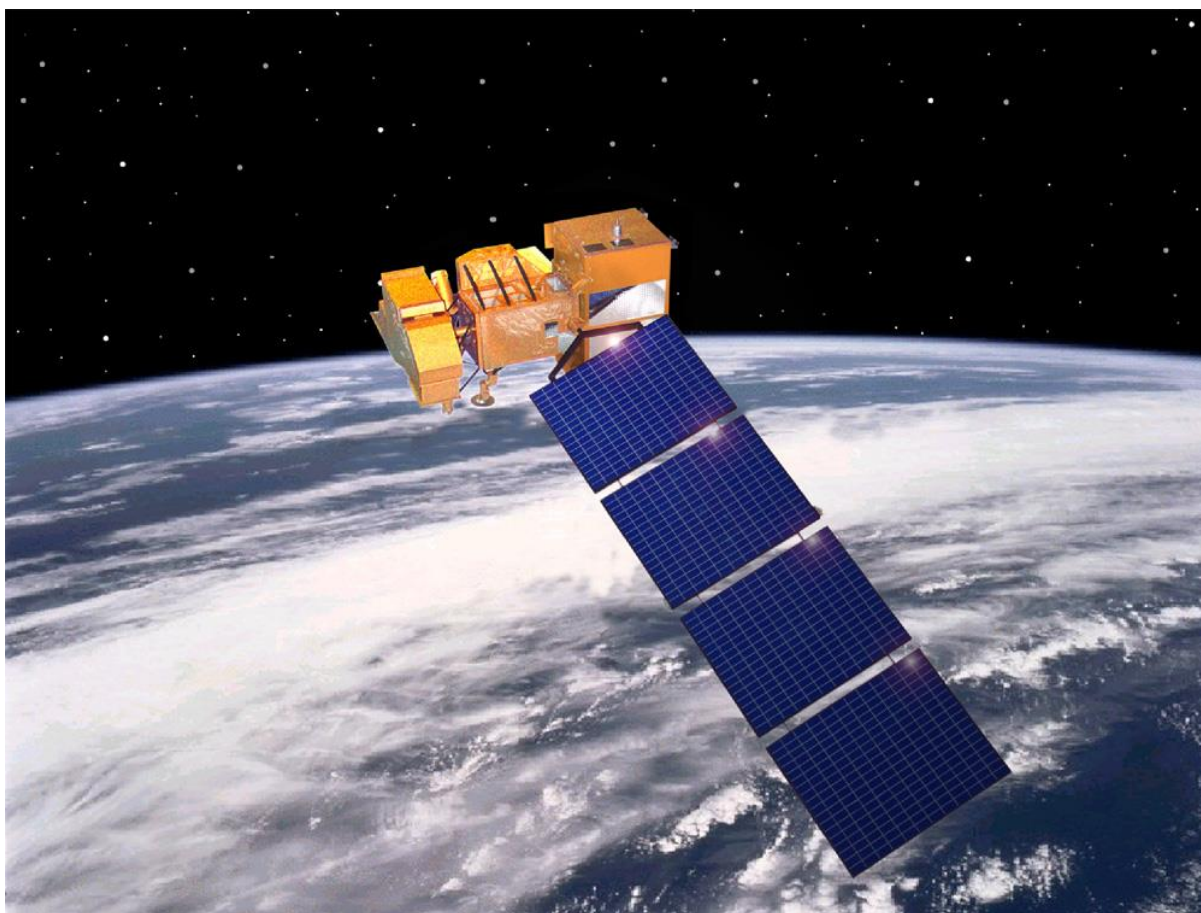
Landsat 5 je službeno prestao s radom 2013. godine nakon kvara redundantnog žiroskopa, ključnog za održavanje stabilne orijentacije satelita. Usprkos brojnim preprekama, njegov dugotrajan radni vijek i značajan doprinos znanstvenoj zajednici ostavili su trajan utjecaj, pružajući neprocjenjive podatke za unaprjeđenje razumijevanja i upravljanja Zemljinim resursima. Kako bi se bolje razumjele tehničke karakteristike i mogućnosti ovog satelita, u nastavku su prikazane specifične valne duljine, opsezi i prostorna rezolucija pojedinih kanala *Thematic Mappera* (tab. 5) (NASA, 2021; USGS, 2024a).

Tab. 5. Kanali, valne duljine, opseg i prostorna rezolucija satelitskih snimaka Landsat 5 TM

Kanal	Valna duljina (µm)	Opseg	Prostorna rezolucija (m)
Kanal 1	0,45 – 0,52	Plavo-zelena	30
Kanal 2	0,52 – 0,60	Zelena	30
Kanal 3	0,63 – 0,69	Crvena	30
Kanal 4	0,76 – 0,90	Bliski IR	30
Kanal 5	1,55 – 1,75	Srednji IR	30
Kanal 6	10,40 – 12,50	Termalni IR	120
Kanal 7	2,08 – 2,35	Srednji IR	30

Izvor: USGS, 2024b

Landsat 7 (sl. 6), lansiran 15. travnja 1999. godine, donio je značajna poboljšanja u Landsat program uvođenjem instrumenta *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+). Ovaj instrument, nadograđena verzija *Thematic Mappera* koji se koristio na Landsat 4 i 5 satelitima, omogućio je preciznije i sveobuhvatnije praćenje Zemljine površine.



Sl. 6. Landsat 7 ETM+

Izvor: NASA, 2021.

ETM+ sadržavao je osam spektralnih kanala, uključujući pankromatski kanal s prostornom rezolucijom od 15 metara i termalni infracrveni kanal s prostornom rezolucijom od 60 metara, što je značajno poboljšanje u odnosu na prethodne verzije. Osim toga, Landsat 7 je uspostavio visoke standarde kalibracije, s radiometrijskom točnošću boljom od 5 %, što ga je učinilo pouzdanim izvorom podataka za globalne promatračke misije. Bio je smješten na visini od 705 km u sunčevoj sinkronoj orbiti s inklinacijom od 98,2 stupnja te je obavljao četrnaest orbita dnevno s ciklusom od 16 dana.

Jedan od ključnih trenutaka misije Landsat 7 dogodio se 31. svibnja 2003. godine kada je došlo do kvara *Scan Line Correctora* (SLC). Bez ovog ključnog dijela, podaci su pokazivali praznine u obliku cik-cak uzorka duž satelitske orbite. Unatoč izazovima, ETM+ je i dalje akvizirao podatke s visokom preciznošću, čime je omogućeno kontinuirano praćenje promjena na Zemljinoj površini.

Pored toga, Landsat 7 je postao besplatno dostupan javnosti od listopada 2008. godine, što je značajno povećalo broj korisnika i širinu primjene podataka. Ova inicijativa je poduprla

razvoj novih znanstvenih istraživanja i aplikacija u području geoinformatike i okolišnih studija. Operativan je bio do travnja 2022. godine, kada su zbog problema s baterijama prekinute aktivnosti prikupljanja podataka. Za bolje razumijevanje tehničkih karakteristika i mogućnosti Landsata 7 ETM+, u nastavku su prikazane specifične valne duljine, opsezi i prostorna rezolucija pojedinih kanala Landsata 7 (tab. 6) (NASA, 2021; USGS, 2024c).

Tab. 6. Kanali, valne duljine, opseg i prostorna rezolucija satelitskih snimaka Landsat 7 ETM+

Kanal	Valna duljina (µm)	Opseg	Prostorna rezolucija (m)
Kanal 1	0,45 – 0,52	Plava	30
Kanal 2	0,52 – 0,60	Zelena	30
Kanal 3	0,63 – 0,69	Crvena	30
Kanal 4	0,77 – 0,90	Bliski IR	30
Kanal 5	1,55 – 1,75	Srednji IR	30
Kanal 6	10,40 – 12,50	Termalni IR	60
Kanal 7	2,09 – 2,35	Srednji IR	30
Kanal 8	0.52 - 0.92	Vidljivi, bliski IR	15

Izvor: USGS, 2024d

Lansiran 11. veljače 2013. godine, Landsat 8 nastavlja dugogodišnju tradiciju Landsat programa u preciznom praćenju Zemljine površine. Ovaj satelit, smješten u sunčevoj sinkronoj orbiti na visini od 705 km, opremljen je s dva napredna znanstvena instrumenta *Operational Land Imager* (OLI) i *Thermal Infrared Sensor* (TIRS).

Landsat 8 je rezultat suradnje između NASA-e i USGS-a. NASA je vodila dizajn, izgradnju, lansiranje i početnu kalibraciju satelita, dok je USGS preuzeo upravljanje rutinskim operacijama od 30. svibnja 2013. godine. USGS je također odgovoran za kalibraciju nakon lansiranja, generiranje proizvoda s podacima i njihovo arhiviranje u *Earth Resources Observation and Science* (EROS) centru.

OLI senzor koristi naprednu *push-broom* tehnologiju, uključujući teleskop s četiri ogledala i 12-bitnu kvantizaciju, čime se prikupljaju podaci u vidljivom, bliskom infracrvenom i kratkovalnom infracrvenom spektru, kao i u pankromatskom kanalu. Ovaj senzor dodaje dva nova spektralna pojasa, jedan za detekciju cirus oblaka i drugi za promatranje obalnih područja, čime se značajno poboljšala preciznost i kvaliteta podataka.

TIRS senzor, koji primjenjuje naprednu tehnologiju kvantne fizike za detekciju topline, bilježi podatke u dva uska spektralna pojasa u termalnom području. Ti podaci se zatim

kombiniraju s OLI podacima kako bi se stvorili radiometrijski, geometrijski i terenski korigirani 12-bitni proizvodi. Landsat 8 redovito prikuplja oko 725 scena dnevno, što pruža veće šanse za snimanje scena bez oblaka na globalnoj razini.

Satelit ima 16-dnevni ciklus ponavljanja i prelazi ekvator u 10:00 sati +/- 15 minuta, osiguravajući konzistentno snimanje površine Zemlje. Veličina svake scene iznosi 185 km poprečno i 180 km uzduž staze, s nominalnom visinom satelita od 705 km. Kartografska točnost podataka je 12 metara ili bolja, što uključuje kompenzaciju za terenske efekte. Tab. 7 prikazuje specifične valne duljine, opsege i prostornu rezoluciju pojedinih kanala Landsat 8 OLI TIRS satelita (NASA, 2021, USGS, 2024e).

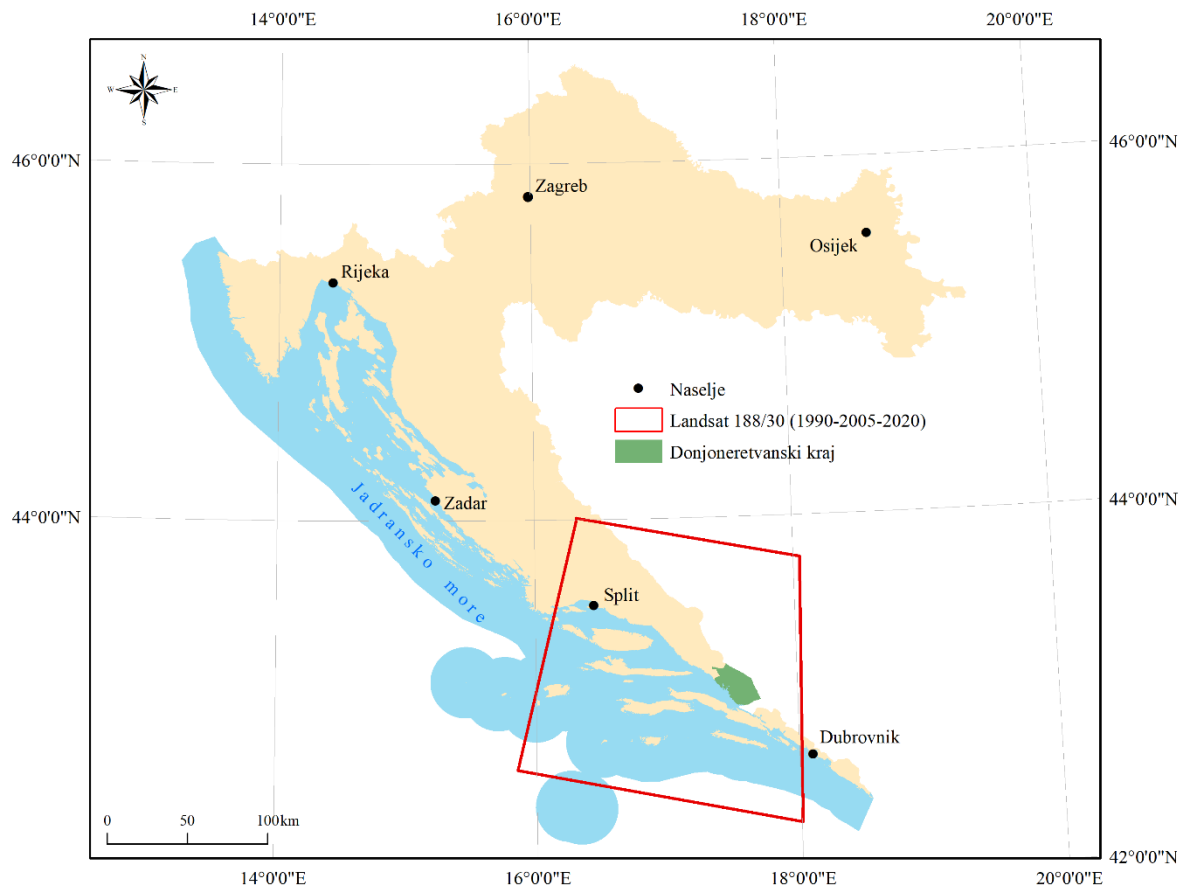
Tab. 7. Kanali, valne duljine, opseg i prostorna rezolucija satelitskih snimaka Landsat 8 OLI TIRS

Kanal	Valna duljina (μm)	Opseg	Prostorna rezolucija (m)
Kanal 1	0,43 - 0,45	Obalni / Aerosolni	30
Kanal 2	0,45 - 0,51	Plavi	30
Kanal 3	0,53 - 0,59	Zeleni	30
Kanal 4	0,64 - 0,67	Crveni	30
Kanal 5	0,85 - 0,88	Bliski infracrveni (NIR)	30
Kanal 6	1,57 - 1,65	Kratkovalni infracrveni (SWIR)	30
Kanal 7	2,11 - 2,29	Kratkovalni infracrveni (SWIR)	30
Kanal 8	0,50 - 0,68	Pankromatski	15
Kanal 9	1,36 - 1,38	Cirus	30
Kanal 10	10,60 - 11,19	Dugovalni infracrveni (TIRS)	100
Kanal 11	11,50 - 12,51	Dugovalni infracrveni (TIRS)	100

Izvor: USGS, 2024f

Prvi set snimaka za analizu zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonevotvanskom kraju prikupljen je 7. srpnja 1990. satelitom Landsat 5 TM (WRS putanja 188, red 30). Drugi set snimaka nastao je 22. lipnja 2005. (WRS putanja 188, red 30), a prikupljen je satelitom Landsat 7 ETM+, dok su najnovije snimke prikupljene 9. srpnja 2020. satelitom Landsat 8 OLI TIRS (WRS putanja 188, red 30). Sve su snimke preuzete u GeoTIFF formatu, a projicirane su u koordinatnom sustavu WGS84 UTM 33N. Prostorna rezolucija snimaka je 30 m za zajedničke kanale koje posjeduju sva 3 satelita. Landsat 7 ETM+ i Landsat 8 OLI TIRS posjeduju pankromatski kanal rezolucije 15 m te neke druge dodatke (Valozić i Cvitanović, 2011; Cvitanović, 2014b; NASA, 2021). Navedena prostorna rezolucija čini ih

pogodnima za regionalne i mikroregionalne analize zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Odabir Landsat satelita za prikupljanje podataka proveden je radi održavanja konzistentnosti kroz istražena razdoblja, što omogućuje pouzdanu interpretaciju promjena na istraživanom području. Radi boljeg pregleda područja istraživanja, priložena je karta koja prikazuje područje obuhvaćeno Landsat satelitskim snimkama, iz koje je kasnije izdvojeno područje Donjonegetvanskog kraja za detaljniju analizu (sl. 7).



Sl. 7. Prostorni obuhvat Landsat satelitskih snimaka (1990., 2005., 2020.)

Izvor: NASA, 2021.

Izdvajanje područja obavljeno je s pomoću alata „Clip“ (*Data Management*) unutar *ArcToolboxa* u *ArcMapu*. Alat „Clip“ koristi se za izdvajanje dijela rasterskog skupa podataka prema definiranom opsegu. Ovaj alat omogućuje precizno izrezivanje dijela slike na temelju pravokutnog okvira ili granica drugog sloja. Izlazni podaci mogu se spremati u različite formate, a postojeće rasterske ili vektorske slojeve moguće je koristiti kao referencu za izrezivanje (ESRI, 2021b).

Za navedene snimke s 15-metarskim pankromatskim kanalom izvršeno je izoštravanje snimaka da bi se olakšao sam postupak njihove obrade (sl. 8). „Izoštravanje (engl. *pansharpening*) satelitskih snimaka predstavlja proces spajanja pankromatskih snimaka visoke rezolucije s multispektralnim snimcima manje rezolucije, pri čemu se generira jedinstveni multispektralni snimak, čija rezolucija odgovara rezoluciji pankromatskog snimka“ (Belfiore i dr., 2016, prema Domazetović, 2021). Izoštravanje je izvedeno pomoću alata „*Create Pan-sharpened Raster Dataset*“ unutar *ArcToolboxa* u ArcMapu. Ovaj alat kombinira visokorezolucijski pankromatski raster s niskorezolucijskim višespektralnim rasterom kako bi stvorio visokorezolucijski višespektralni raster za vizualnu analizu. Samo se područja koja se potpuno preklapaju obrađuju ovim alatom. Izlaz se može spremiti u razne formate, a algoritmi za izoštravanje mogu se prilagoditi prema potrebi (ESRI, 2021a).



Sl. 8. Kompozitna snimka prije i poslije izoštravanja – Landsat 8 OLI TIRS (Opuzen)

Izvor: USGS, 2021.

Na snimci Landsat 7 ETM+ izvršena je korekcija zbog periodičnih pruga koje su nastale zbog kvara na *Scan Line Correctoru* (SLC) na satelitu (sl. 9). Kvar na SLC-u uzrokovao je pojavu crnih linija na snimci (NASA, 2021). Za rješavanje ovog problema korišten je *Landsat toolbox* s alatom *Fix Landsat 7 Scanline Errors*.



Sl. 9. Periodične pruge nastale zbog kvara na Scan Line Correctoru (SLC) (Landsat 7 ETM+)

Izvor: USGS, 2021.

Obrada snimaka odrađena je u ArcGIS 10.8 softveru, odnosno aplikaciji ArcMap. Pri određivanju strukture zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta korišten je hibridni pristup (Caprioli i dr, 2003; Lo i Choi, 2004; Kantakumar i Neelamsetti, 2015; Jogun, 2016; Jogun i dr., 2017). Donjoneretvanski kraj fizionomski gledano izrazito je heterogeno područje. Zbog nedovoljne spektralne odvojivosti klase šuma, travnjaka, dijela poljoprivrednoga zemljišta i močvara kombinirala se *Iso Cluster* nenadzirana i ručna (vizualna) metoda. Hibridna metoda kombinira prednosti automatske i ručne metode te tako daje bolje rezultate nego da se koristila samo jedna metoda (Horning, 2004).

Iso Cluster nenadzirana klasifikacija koristi kombinaciju funkcionalnosti *Iso Cluster* i *Maximum Likelihood Classification* alata. Izlazni rezultat metode je raster koji je klasificiran u različite spektralne klase. Kod nenadzirane klasifikacije, algoritam grupira piksele u spektralne klase na temelju njihove spektralne sličnosti. Prednost korištenja ovakvog pristupa je smanjenje ljudske pogreške jer računalo vrši grupiranje u spektralne klase umjesto ljudskog operatera. Dodatno, nije potrebno prethodno poznavanje terena radi definiranja kategorija korištenja zemljišta unaprijed, što omogućuje identifikaciju svih potencijalno jedinstvenih kategorija. Izazov se pojavljuje jer spektralne klase koje se dobiju računalnim grupiranjem ne odgovaraju uvijek precizno kategorijama zemljišta na karti ili u stvarnom svijetu (Richards i Jia, 1998; Campbell, 2006, prema Cvitanović, 2014a). Korištenje hibridne metode omogućilo je precizniju identifikaciju i bolje razdvajanje klasa, što je rezultiralo pouzdanijim kartografskim prikazom zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta.

Tab. 8 prikazuje klasifikacijsku shemu zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, uključujući detaljne opise svake klase sa specifičnim kategorijama. Klasifikacijska shema sastoji se od 6 klasa *izgrađene površine*, *poljoprivredne površine*, *močvare*, *vodene površine*, *šume i travnjaci* te *područje s oskudnom vegetacijom*.

Tab. 8. Klasifikacijska shema zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

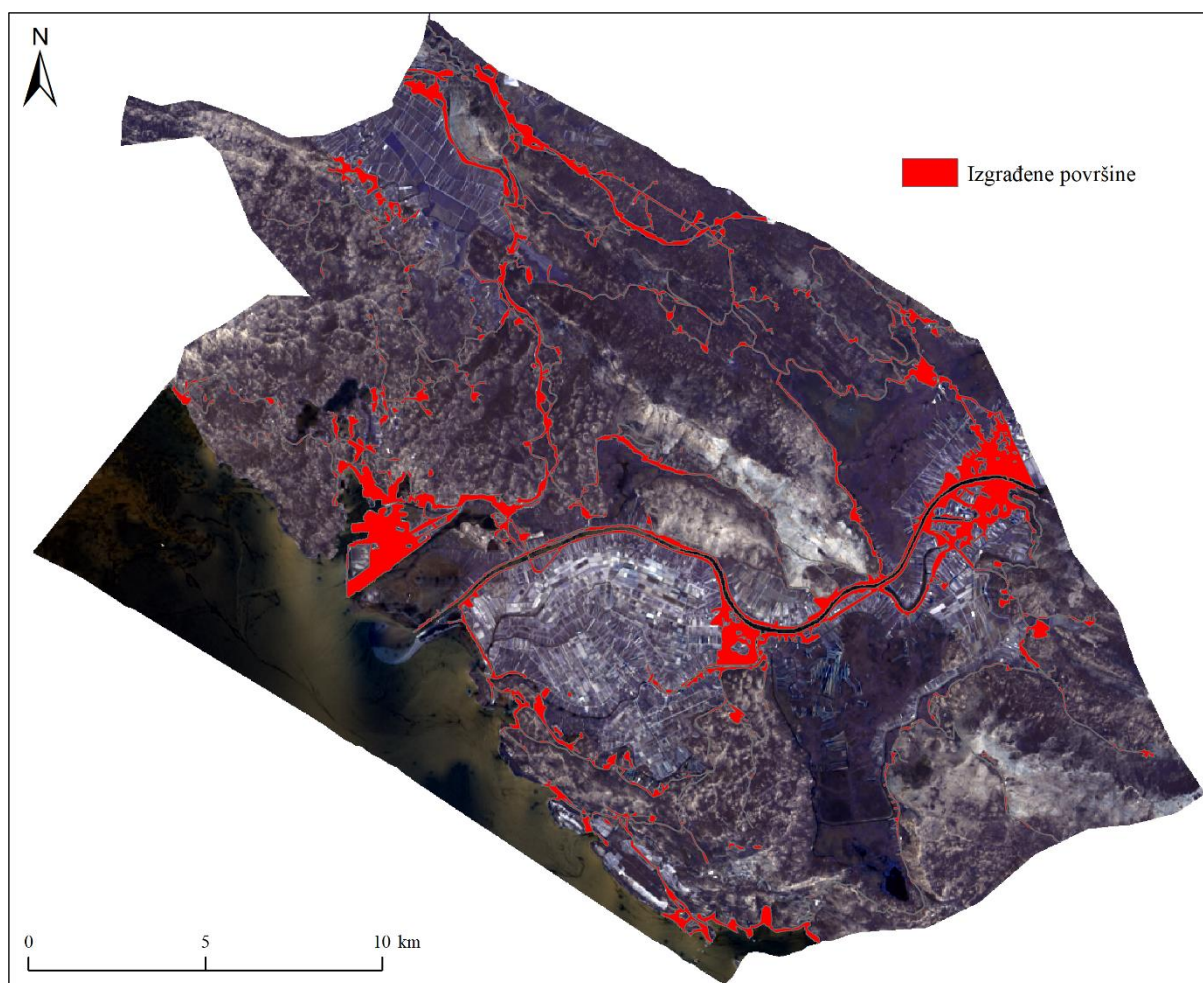
Klasa zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta	Detalji klase
Izgrađene površine	Urbana, ruralna naselja, prometnice, kamenolom
Poljoprivredne površine	Voćnjaci, povrtnjaci, vinogradi, oranice
Močvare	Prirodne močvare
Vodne površine	Rijeke, jezera, potoci, mrtvaje, poljoprivredni kanali
Šume i travnjaci	Prirodni travnjaci, šume, grmolike šume
Područje s oskudnom vegetacijom	Kamenjari i reljefne uzvisine s rijetkom ili nepostojećom vegetacijom

Izvor: prema rezultatima istraživanja

Klasa šuma spojena je s travnjacima zbog činjenice da u Donjonevskom kraju među njima ne postoji jasna distinkcija. Travnjaci nemaju klasičnu ulogu pašnjaka, a u ovom kraju pretežno se radi o suhim brdskim travama, izmiješanim s grmolikom vegetacijom ili šumom. Važno je napomenuti da korišteni satelitski snimci imaju ograničenu prostornu rezoluciju, što može utjecati na preciznost klasifikacije vegetacijskih tipova. Ograničena prostorna rezolucija snimaka može otežati identifikaciju manjih vegetacijskih struktura kao što su pojedinačna stabla ili sitnije travnate površine unutar šumskih područja. To može rezultirati

poteškoćama u preciznom razlikovanju šuma od travnjaka i definiranju njihovih granica. Stoga, zbog ograničenja u prostornoj rezoluciji te obilježja Donjoneretvanskog kraja, *šume i travnjaci* su analizirani kao jedinstvena klasa. Klase *vodenih površina, šuma i travnjaka* te *područja s oskudnom vegetacijom* izdvojena su nenadziranom metodom klasifikacije, dok su *izgrađene površine, poljoprivredne površine i močvare* izdvojene 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).

Izgrađene površine, prema definiciji, obuhvaćaju sve površine stvorene ljudskim djelovanjem koje su povezane s infrastrukturom, komercijalnim i stambenim namjenama. Na prostornoj rezoluciji Landsat satelitskih snimaka, izgrađene površine definiraju se kao pikseli koji uključuju umjetne površine, čak i ako te površine ne dominiraju unutar piksela (Potapov i dr., 2022). U brojnim znanstvenim istraživanjima odlučeno je spojiti sve izgrađene površine u jednu klasu zbog ograničenja prostorne rezolucije. Konsolidacija izgrađenih površina u jednu klasu olakšava proces klasifikacije i smanjuje složenost analize zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. U područjima kao što je Donjoneretvanski kraj, gdje postoji visoka heterogenost i miješano korištenje zemljišta, spajanje svih izgrađenih površina u jednu klasu pojednostavljuje analizu i interpretaciju satelitskih snimaka. Ovaj pristup smanjuje pogreške koje mogu nastati zbog ograničenja prostorne rezolucije i omogućuje jasniju vizualizaciju i razumijevanje raspodjele izgrađenih površina (sl. 10) (Cvitanović, 2014a; Jogun, 2016; Hassan i dr., 2016; Siddique i dr., 2020; Potapov i dr., 2022).



Sl. 10. Ručna vektorizacija izgrađenih površina u Donjonevskom kraju na temelju Landsat satelitskih snimaka (2020.)

Izvor: USGS, 2021.

Iako je klasa *vodenih površina* izdvojena nenadziranom metodom, nadopunjena je ručno zbog očitih pogrešaka koje su se dogodile prilikom automatske klasifikacije. Također, bitno je naglasiti da u izračun udjela *vodenih površina* prilikom klasifikacije nije uključeno more, već samo voda s kopna. Morski dio je prikazan na kartama isključivo zbog bolje vizualizacije. Unatoč općoj prednosti nadziranih metoda zbog veće pouzdanosti, u ovom je slučaju primijenjena nenadzirana klasifikacija jer su se pojedine klase, poput *šuma i travnjaka*, jasno spektralno razlikovale od *površina s oskudnom vegetacijom*. Dodatni razlog bila je i prostorna rezolucija satelitskih snimaka Landsat, koja je odgovarala ovakvom pristupu (sl. 11). U svrhu poboljšanja vizualizacije na sl. 10., dodan je i sloj *izgrađenih površina*. Vektorski slojevi korišteni radi definiranja granica područja istraživanja preuzeti su iz Digitalnog atlasa Republike Hrvatske (DARH) te Središnjega registra prostornih jedinica RH (SRPJ) (GIS Data, 2005; DGU, 2016).



Sl. 11. Slojevi šuma i travnjaka i područja s oskudnom vegetacijom izdvojeni nenadziranom Iso cluster klasifikacijom na temelju Landsat satelitskih snimaka (2020.) – Rujnica i Orlovac

Izvor: USGS, 2021.

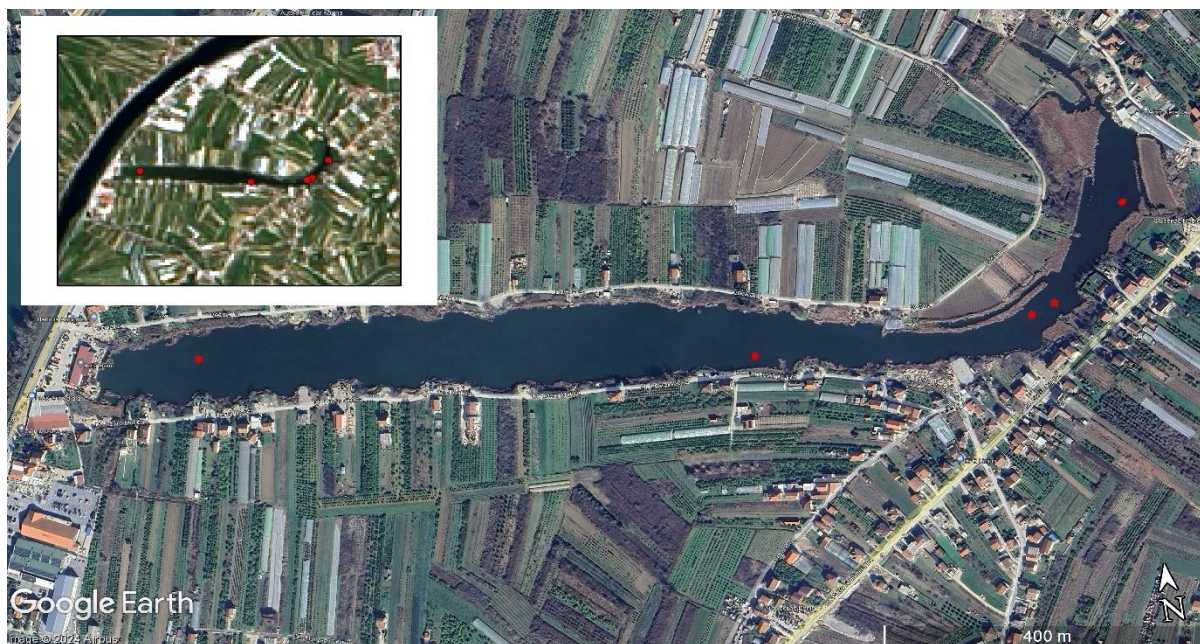
S druge strane, kod detekcije promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta postoji nekoliko metoda usporedbe klasificiranih rezultata, a najjednostavnija je usporedba klasificiranih karata za dva različita vremenska perioda. Važno je napomenuti da točnost ove metode ovisi o preciznosti pojedinačnih klasifikacija svake karte (Mas, 1999, prema Jogun, 2016). U ovom istraživanju korišten je alat *Clip* u ArcMapu kako bi se utvrdile promjene za razdoblja od 1990. do 2005. te od 2005. do 2020. godine. Sve klase zemljišnog pokrova analizirane su međusobnom usporedbom kako bi se precizno identificirali prijelazi između svih mogućih kombinacija klasa. Tako je dobivena matrica prijelaza koja omogućuje detaljnu analizu promjena, a također su izrađeni i kartografski prikazi tih promjena. Na kartama su prikazane samo najrelevantnije promjene, izbjegavajući one koje su mogle nastati kao rezultat statističke pogreške u klasifikaciji.

3.2.2. Evaluacija točnosti klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

Evaluacija točnosti klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta provedena je uz pomoć matrice konfuzije i kappa koeficijenta, najčešće korištenih metoda za izračun točnosti klasifikacije satelitskih snimaka (Story i Congalton, 1986; Horvat, 2013; Jogun, 2016; Jogun i dr., 2017; Kulkarni i dr., 2020). Uzorci za testiranje točnosti klasifikacija generirani su unutar aplikacije ArcMap, uz pomoć alata *Create Random Points*. Ovaj alat omogućuje generiranje slučajnih točaka unutar zadanog područja, koje može biti definirano kao poligon, linija, točka ili pravokutni okvir. Broj točaka može biti unaprijed određen ili specificiran za svaku jedinicu unutar definiranog područja. Minimalna udaljenost između točaka može biti specificirana kao fiksna mjera ili kao vrijednost iz polja (ESRI, 2021c). U slučaju ovog istraživanja, generiranje slučajnih točaka je odrađeno na razini poligona koji predstavlja klasu zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta.

Klasa *vodenih površina* u promatranom je razdoblju zauzimala između 2,8 % (1990.) i 3,7 % (2020.) površine cijeloga područja te je njoj, s obzirom na mali udio u ukupnoj površini, dodijeljeno 25 slučajnih točaka. Ostalim klasama proporcionalno udjelu dodavalo se više točaka. Tako je ukupni broj testnih točaka za 1990. godinu iznosio 893, za 2005. godinu 804, dok je za 2020. godinu iznosio 676. Metoda je odabrana pretežito zbog heterogenosti prostora. Valja napomenuti da bi stratificirani uzorci mogli biti metodološki superiorniji od korištenih ako skup poligona razdvaja heterogenu scenu na unutarnje homogene, no to na primjeru Donjoneretvanskoga kraja nije slučaj.

Sloj slučajno generiranih točaka konvertiran je korištenjem alata *Layer to KML (Conversion)*, što je omogućilo njihovu validaciju u programu Google Earth Pro. Ovaj postupak omogućio je precizno provjeravanje točnosti slučajno odabranih točaka, pružajući pouzdan izvor podataka za analizu. Primjer validacije za *vodene površine* prikazan je na sl. 12. Ova metoda validacije omogućuje vizualnu provjeru položaja i distribucije točaka, osiguravajući dodatnu potvrdu točnosti klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta.



Sl. 12. Evaluacija točnosti klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta – vodene površine (mrtvaja u Metkoviću)

Izvor: USGS, 2021; Google Earth Pro

Matrica konfuzije ili matrica pogrešaka nastaje usporedbom referentnih (*ground truth*) i klasificiranih podataka (Valožić, 2014; Dagnachew i dr., 2020). Thomlinson i dr. (1999) postavljaju ciljanu točnost klasifikacije na 85 %, s uvjetom da ni jedna klasa ne bude ispod 70 %. Riječ je naravno o željenoj točnosti, rezultati su u praksi, osobito kod starijih radova dosta niži, pa su tako karte nastale u okviru Međunarodnoga programa za geosferu i biosferu (IGBP) ostvarile prosječnu točnost od 66,9 % (Foody, 2002; Cvitanović, 2014a). U literaturi se često uz matricu konfuzije kao dodatni pokazatelj računa i kappa koeficijent. Navedeni pokazatelj računa se iz tablice matrice konfuzije formulom

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

„Očekivano” u ovoj formuli označuje procijenjeni doprinos slučajnosti u opaženom udjelu točnosti. Predloženo je da se rezultati tumače na idući način: vrijednosti ≤ 0 upućuju da

točnost ne postoji, 0,01 – 0,2 da je točnost neznatna, 0,21 – 0,4 da je točnost osjetna, 0,41 – 0,6 upućuju na umjereno točnu klasifikaciju, 0,61 – 0,8 na visoku točnost te 0,81 – 1,00 na vrlo visoku točnost klasifikacije (McHugh, 2012; Cvitanović, 2014a; Valozić, 2015).

Što je vremenski okvir analize duži, to je manja vjerojatnost da će referentni podatci biti u potpunosti vremenski kompatibilni s klasificiranima. Kao izvor *ground truth* podataka za 1990. godinu korištena je hrvatska osnovna karta (HOK) u mjerilu 1 : 5000 iz 1979. – 1989. godine.

Kao referentni podatci za klasifikaciju zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju za 2005. i 2020. godinu korištene su satelitske snimke dostupne putem računalnoga programa Google Earth Pro. Za 2005. godinu odabrane su tzv. povijesne snimke iz 2001./2002. godine te 2008. godine, a njihovom međusobnom usporedbom i uvidom u snimku Landsat donosila se odluka o točnosti klasifikacije. Klase su se često jednostavno prepoznale i sa same snimke Landsat, a primjer odabira između snimke iz 2001. i 2008. dogodio se prilikom evaluacije zemljišta u Poduzetničkoj zoni Opuzen. Snimka iz 2001. godine prikazivala je močvarno zemljište, dok se na snimci Landsat jasno vidjelo da se radi o izgrađenoj površini. Uvidom u snimku iz 2008. zaključilo se da su prvi objekti u zoni već bili izgrađeni te se to područje označilo kao izgrađena površina.

3.3. Modeliranje zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

3.3.1. Regresijska analiza

Regresijska analiza provedena je koristeći IBM SPSS Statistics 26. SPSS (engl. *Statistical Package for the Social Sciences*) naširoko je korišten u društvenim i prirodnim znanostima za obradu podataka, analizu i vizualizaciju. U analizi je primijenjena višestruka linearna regresija kako bi se ispitali odnosi između zavisne varijable, odnosno promjena na zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta te više nezavisnih varijabli (Hayes, 2024).

Za analizu je korišten uzorak od 56 naselja unutar Donjoneretvanskog kraja. Odabir naselja, umjesto većih administrativnih jedinica poput gradova i općina, omogućava detaljniji uvid u specifične lokalne varijacije i čimbenike koji mogu biti izgubljeni u širem pristupu. Analizom naselja dobivaju se precizniji uvidi u lokalne promjene u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta, što je važno za razumijevanje specifičnih uvjeta u ruralnim područjima. Premali uzorak, poput analize na razini samo sedam gradova ili općina, mogao bi rezultirati smanjenom preciznošću i stabilnošću regresijskog modela, zbog smanjenja varijacije unutar analiziranih jedinica. Ovo je posebno relevantno u kontekstu *problema promjenjive*

veličine prostornih jedinica (MAUP), koji ističe kako promjena u veličini ili granicama prostornih jedinica može značajno utjecati na rezultate analize (Jogun, 2016). U ovom slučaju, veći broj manjih jedinica poput naselja omogućuje bolje razumijevanje lokalnih specifičnosti i varijacija, dok bi analiza na razini većih jedinica mogla prikriti bitne lokalne detalje i varijacije.

Prvi korak u statističkoj analizi bio je odabir relevantnih nezavisnih varijabli (regresora). Varijable su odabrane na temelju proučene literature, odnosno na temelju najčešće korištenih varijabli u sličnim istraživanjima, poznavanja prostora te dostupnosti podataka. Digitalni model reljefa prostorne rezolucije 30 metara, preuzet sa stranica Američkoga geološkog zavoda (USGS), korišten je za kreiranje fizičko-geografskih varijabli. U analizu su uključene tri ključne varijable: nadmorska visina, nagib padina i ekspozicija padina. Varijabla nadmorske visine razdvojena je na intervale do 50 metara, od 50 do 200 metara, od 200 do 400 metara i preko 400 metara. Nagib padina klasificiran je u nekoliko razreda: tereni s nagibom od 0° do 2° (ravnice), tereni s nagibom od 2° do 5° (blago nagnuti tereni), tereni s nagibom od 5° do 12° (nagnuti tereni), tereni s nagibom od 12° do 24° (značajno nagnuti tereni) te tereni s nagibom većim od 24° (veoma strmi tereni, strmci i litice) (Cvitanović, 2014a). Varijabla ekspozicije padina kategorizirana je prema stranama svijeta, uz dodatak razreda za zaravnjene površine.

Prikaz rezultata za fizičko-geografske varijable, uključujući nadmorsku visinu, nagib padina i ekspoziciju padina, dostupan je u tab. 9., 10. i 11. Ove tablice sadrže statističke podatke za svako naselje, pružajući uvid u distribuciju i karakteristike varijabli unutar promatranog područja. Uz navedeno, odabrane varijable kartografski su prikazane na slikama 13., 14. i 15.

Tab. 9. Fizičko-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (1. dio) – nadmorska visina

Naselje	Udio nadmorske visine do 50 m (%)	Udio nadmorske visine od 50 do 200 m (%)	Udio nadmorske visine od 200 do 400 m (%)	Udio nadmorske visine preko 400 m (%)
Baćina	26,96	43,42	19,97	9,65
Badžula	49,86	12,99	37,15	0
Banja	35,97	41,45	22,58	0
Bijeli Vir	43,73	38,35	15,75	2,17
Blace	47,48	45,46	7,06	0
Borovci	15,57	50,92	25,64	7,87
Brečići	10,67	52,06	24,08	13,19
Buk-Vlakadio	100	0	0	0
Buk-Vlakadio (Vlaka)	96,31	3,69	0	0
Desne	28,13	25,78	22,8	23,29
Dobranje	0	5,94	62,35	31,71
Duba	20,73	60,83	18,44	0
Duboka	30,91	52,43	16,66	0
Dubrave	5,69	54,92	38,18	1,21
Dubravica	52,35	43,9	3,75	0
Glušci	51,5	44,97	3,53	0
Klek	31,15	54,03	14,82	0
Kobiljača	75,95	19,24	4,58	0,23
Komarna	18,54	68,13	13,33	0
Komin	85,67	7,27	7,06	0
Kremena	20,14	48,9	30,96	0
Krvavac	26,79	47,17	18,31	7,73
Krvavac II	100	0	0	0
Kula Norinska	54,22	29,18	16,13	0,47
Lovorje	23,38	75,94	0,68	0
Lučina	41,27	35,78	22,95	0
Mali Prolog	43,67	40,51	14,33	1,49
Matijevići	59,73	37,56	2,71	0
Metković	94,41	4,69	0,9	0
Mihalj	55,25	30,84	13,91	0
Mislina	70,51	6,84	22,63	0,02
Mlinište	64,64	17,81	12,99	4,56
Momići	15,36	19,7	38,76	26,18
Nova Sela	13,63	76,84	9,53	0
Opuzen	100	0	0	0

Otok	72,16	21,88	5,96	0
Otrić-Seoci	50,15	21,7	26,18	1,97
Peračko Blato	11,57	48,55	39,17	0,71
Pižinovac	57,89	42,11	0	0
Plina Jezero	34,12	41,07	21,5	3,31
Ploče	44,63	38,43	16,82	0,12
Podgradina	19,04	44,53	32,84	3,59
Podrurnica	15,16	21,44	58,98	4,42
Pozla Gora	11,2	67,76	18,2	2,84
Prud	56,86	30,95	12,19	0
Pržinovac	100	0	0	0
Raba	21,26	68,47	10,27	0
Rogotin	90,21	9,59	0,2	0
Slivno Ravno	0,08	19,87	68,93	11,12
Staševica	27,9	31,73	23,17	17,2
Šarić Struga	10,24	47,46	42,21	0,09
Trn	86,77	13,23	0	0
Tuštovac	82,73	10,86	6,41	0
Vid	51,04	24,42	24,54	0
Vidonje	0	13,33	54,15	32,52
Zavala	8,51	31,12	54,29	6,08

Izvor: USGS, 2021.

Tab. 10. Fizičko-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (2. dio) – nagib padina

Naselje	Udio nagiba padina od 0 do 2° (%)	Udio nagiba padina od 2 do 5° (%)	Udio nagiba padina od 5 do 12° (%)	Udio nagiba padina od 12 do 24° (%)	Udio nagiba padina preko 24° (%)
Baćina	7,15	5,67	13,20	38,00	36,00
Badžula	39,59	7,41	10,29	21,76	20,95
Banja	10,79	7,40	10,61	37,17	34,02
Bijeli Vir	26,31	7,87	15,41	34,08	16,34
Blace	8,12	2,19	9,64	38,37	41,68
Borovci	4,75	11,15	20,21	36,42	27,47
Brečići	2,20	4,78	14,60	32,39	46,03
Buk-Vlaka-dio	82,72	15,29	1,99	0,00	0,00
Buk-Vlaka-dio (Vlaka)	74,18	9,28	3,72	8,49	4,33
Desne	11,59	5,77	10,9	33,04	38,70
Dobranje	1,82	6,43	24,65	40,46	26,64
Duba	0,65	2,14	7,81	39,06	50,34
Duboka	0,38	1,88	8,18	49,59	39,97
Dubrave	2,48	7,60	15,77	44,91	29,24

Dubravica	5,93	8,76	28,4	40,98	15,93
Glušci	16,29	13,7	18,86	33,74	17,41
Klek	0,57	2,54	9,29	44,17	43,43
Kobiljača	55,58	13,31	5,05	9,65	16,41
Komarna	0,57	4,09	21,38	50,95	23,01
Komin	72,01	6,34	3,97	9,12	8,56
Krema	0,66	4,59	19,87	48,88	26,00
Krvavac	12,79	4,56	13,24	40,40	29,01
Krvavac II	77,86	20,05	2,09	0,00	0,00
Kula Norinska	22,29	10,56	13,95	35,65	17,55
Lovorje	4,99	7,88	25,59	38,70	22,84
Lučina	6,15	3,04	7,88	30,78	52,15
Mali Prolog	23,66	15,30	16,46	20,03	24,54
Matijevići	14,73	10,73	5,76	48,72	20,06
Metković	75,69	13,54	3,23	5,66	1,88
Mihalj	20,30	7,01	12,88	25,95	33,86
Mislina	56,90	14,25	7,82	9,08	11,95
Mlinište	42,13	14,48	6,33	19,86	17,20
Momići	4,65	4,62	9,70	44,44	36,59
Nova Sela	17,76	24,48	27,92	26,94	2,90
Opuzen	85,04	11,38	3,49	0,09	0,00
Otok	42,40	16,47	6,18	15,84	19,11
Otrić-Seoci	39,21	8,63	7,19	22,82	22,15
Peračko Blato	2,62	4,77	14,66	52,83	25,12
Pižinovac	13,72	9,11	9,00	43,20	24,97
Plina Jezero	9,94	11,68	15,43	35,20	27,75
Ploče	24,06	8,54	10,36	35,86	21,17
Podgradina	10,82	4,52	9,92	40,09	34,65
Podravnica	5,04	6,04	14,19	37,15	37,58
Pozla Gora	16,79	27,19	20,51	23,19	12,32
Prud	36,25	13,08	22,22	24,96	3,49
Pržinovac	78,90	19,47	1,56	0,03	0,04
Raba	1,97	5,80	17,87	51,05	23,31
Rogotin	53,4	14,79	5,73	13,69	12,39
Slivno Ravno	0,92	4,4	19,11	47,34	28,23
Stasevica	16,02	8,31	14,14	31,62	29,91
Šarić Struga	5,24	5,91	10,10	50,81	27,94
Tm	33,78	14,17	4,61	19,91	27,53
Tuštovac	57,05	11,66	4,43	11,26	15,6
Vid	36,73	7,77	18,43	32,47	4,60
Vidonje	2,31	10,25	30,55	41,51	15,38
Zavala	2,36	2,00	8,60	40,40	46,64

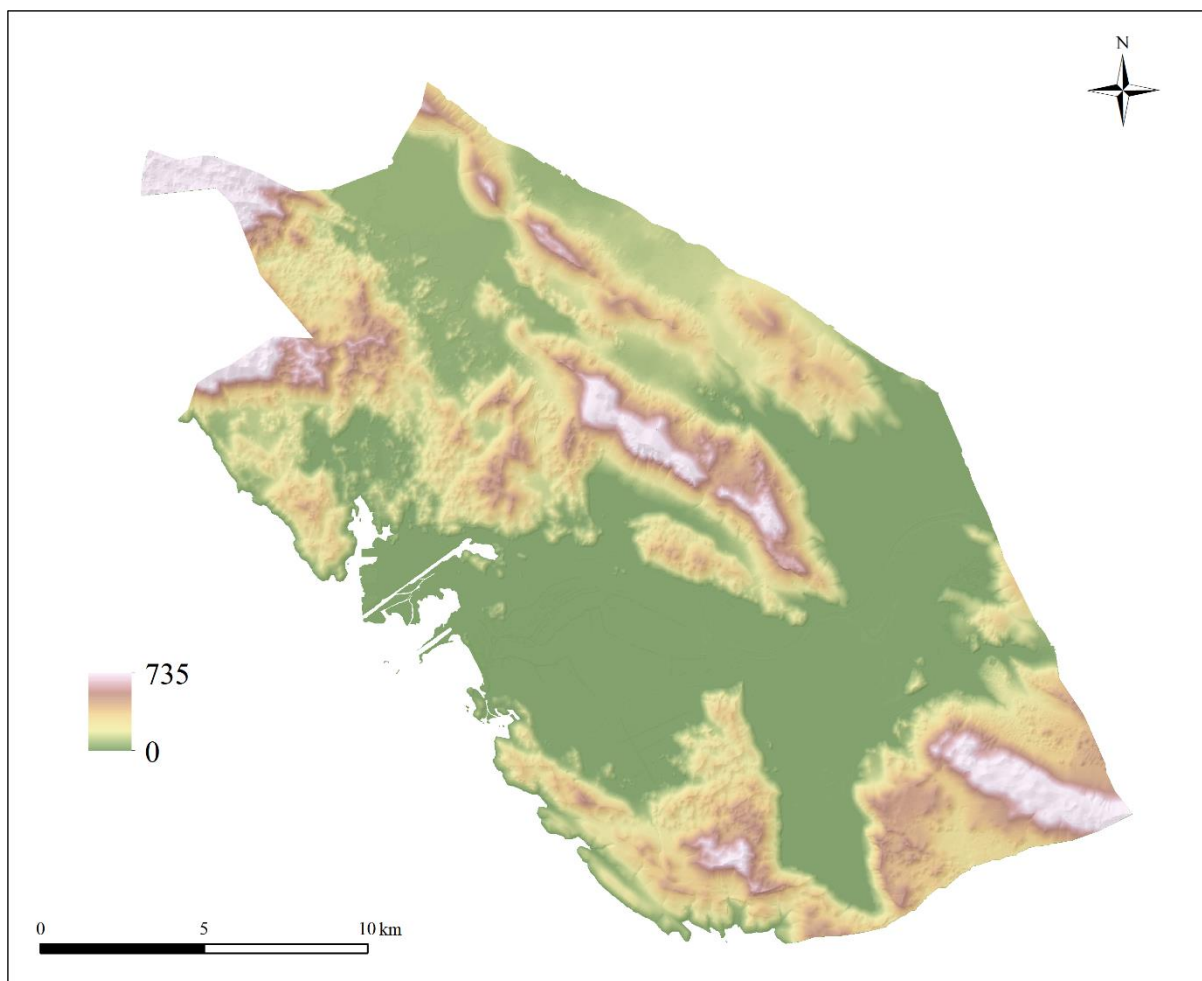
Izvor: USGS, 2021.

Tab. 11. Fizičko-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (3. dio) – ekspozicija padina

Naselje	Zaravn jeno (%)	S (%)	SI (%)	I (%)	JI (%)	J (%)	JZ (%)	Z (%)	SZ (%)
Baćina	6,02	6,14	9,76	13,66	12,7 3	17,39	16,17	10,54	7,59
Badžula	36,83	7,24	6,19	7,14	6,49	4,80	9,16	15,22	6,92
Banja	8,32	5,20	8,12	15,53	15,5 4	10,82	16,04	13,52	6,91
Bijeli Vir	23,26	21,44	14,36	4,29	2,59	2,08	9,58	9,03	13,37
Blace	7,51	12,94	14,47	4,47	4,42	7,39	26,39	15,40	7,01
Borovci	3,02	17,87	30,37	9,06	5,22	13,35	13,04	3,69	4,38
Brečići	1,40	4,51	3,35	5,82	6,27	13,38	49,50	10,73	5,04
Buk-Vlaka- dio	74,58	2,86	3,85	2,26	3,45	2,90	3,74	2,56	3,80
Buk-Vlaka- dio (Vlaka)	68,48	3,86	2,78	1,54	3,46	3,08	4,94	5,62	6,24
Desne	9,23	9,19	13,17	4,88	4,74	18,38	29,96	6,11	4,34
Dobranje	0,78	29,45	23,62	5,55	4,67	5,66	9,88	8,67	11,72
Duba	0,32	4,23	5,75	7,99	7,85	13,60	42,57	14,49	3,20
Duboka	0,18	0,26	8,16	7,02	14,5 6	38,73	20,14	10,67	0,28
Dubrave	1,51	5,73	6,48	5,60	5,15	20,61	34,11	15,06	5,75
Dubravica	4,19	17,71	7,81	5,19	5,12	11,46	18,78	16,58	13,16
Glušci	12,34	16,26	8,10	7,18	14,7 9	19,81	9,88	6,49	5,15
Klek	0,22	1,03	1,70	7,88	17,0 6	27,02	22,96	17,43	4,70
Kobiljača	49,37	3,36	3,60	1,99	2,41	5,42	19,31	10,00	4,54
Komarna	0,14	1,91	13,66	1,55	4,63	19,07	49,31	8,63	1,10
Komin	67,43	3,28	3,10	2,36	3,58	6,04	6,99	3,67	3,55
Kremena	0,22	5,36	10,30	5,40	4,79	17,80	36,59	14,52	5,02
Krvavac	11,19	3,19	7,68	5,43	7,49	21,26	28,20	12,84	2,72
Krvavac II	66,48	3,45	4,06	3,15	5,39	3,52	4,89	3,41	5,65
Kula Norinska	18,39	2,67	1,91	13,01	17,7 5	25,17	14,52	2,48	4,10
Lovorje	3,27	21,85	25,27	4,55	5,32	5,18	6,00	15,26	13,30
Lučina	4,99	8,50	48,48	25,69	5,06	1,86	1,86	2,02	1,94
Mali Prolog	19,28	12,01	22,07	25,11	6,61	1,83	2,61	3,38	7,10
Matijevići	11,33	1,20	36,73	43,09	2,20	0,40	2,65	1,83	0,57
Metković	65,64	3,83	3,75	2,52	4,55	3,78	5,41	5,24	5,28
Mihalj	17,46	24,28	28,31	2,67	2,68	2,94	5,29	10,11	6,26
Mislina	51,62	8,02	4,91	4,16	4,71	5,15	7,88	7,25	6,30
Mlinište	35,32	10,25	6,31	3,84	5,09	3,66	6,98	13,17	15,38
Momići	3,05	11,67	39,85	26,47	5,55	3,58	1,84	2,88	5,11
Nova Sela	12,23	8,86	12,00	8,19	5,66	7,96	20,46	13,17	10,87

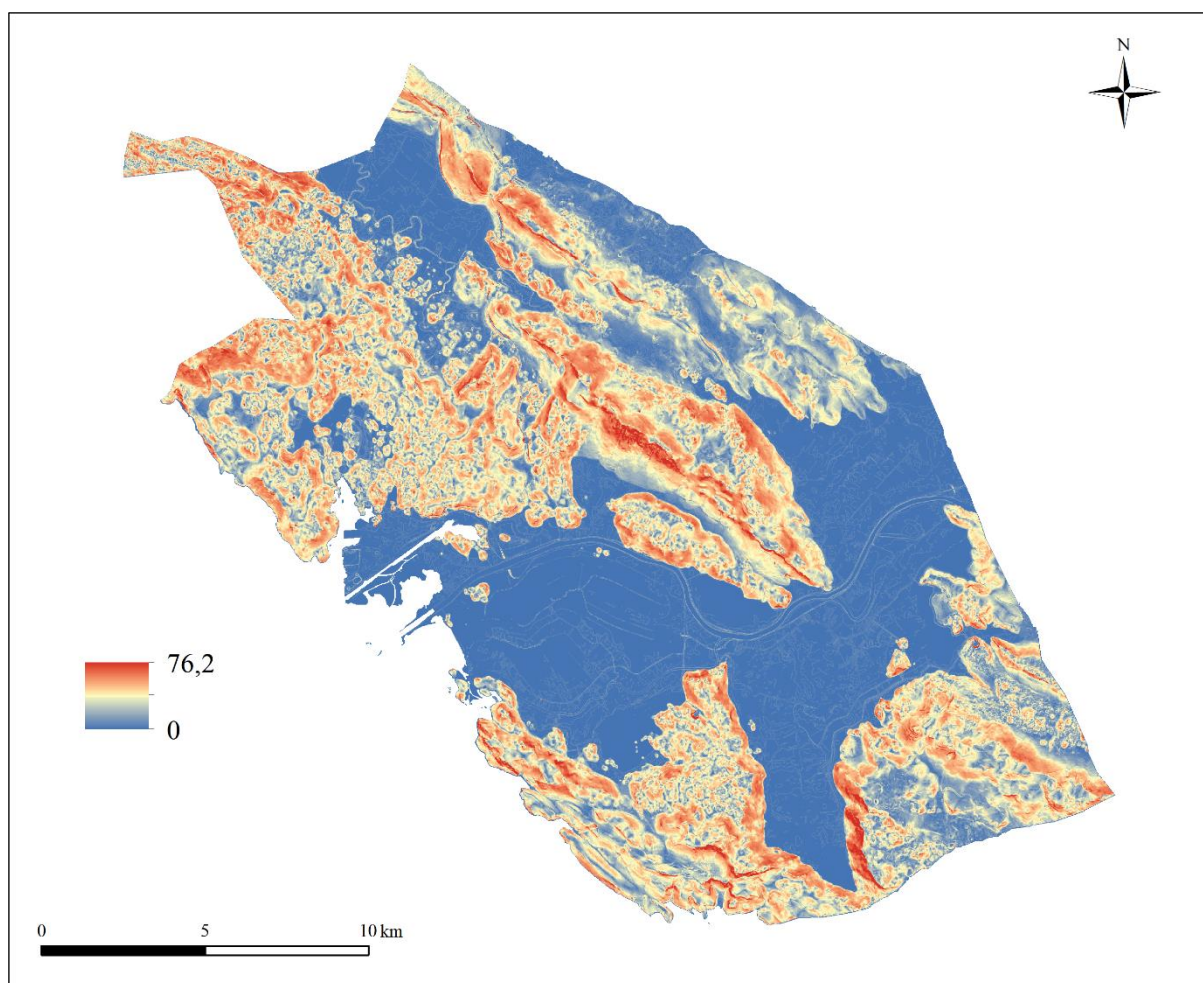
Opuzen	79,43	3,07	2,91	1,76	2,28	3,08	2,95	1,85	2,67
Otok	33,84	11,18	22,81	7,17	4,94	4,72	5,19	4,41	5,74
Otrić-Seoci	35,36	3,76	10,85	7,72	3,18	10,12	16,61	10,51	1,89
Peračko Blato	1,70	4,40	9,53	12,73	13,14	17,19	18,76	15,10	7,45
Pižinovac	9,12	24,50	6,15	2,75	3,03	3,11	11,01	11,05	29,28
Plina Jezero	7,04	11,83	14,38	12,32	8,20	7,82	12,92	13,79	11,70
Ploče	20,50	6,92	6,51	8,61	9,56	11,26	12,45	13,12	11,07
Podgradina	9,13	15,59	14,60	14,71	6,09	6,23	9,94	11,68	12,03
Podravnica	3,24	10,61	34,53	23,80	7,70	2,97	2,93	5,19	9,03
Pozla Gora	11,11	17,93	34,95	9,25	3,56	3,40	5,29	4,80	9,71
Prud	32,34	7,92	29,63	9,69	4,11	4,58	6,21	2,24	3,28
Pržinovac	67,28	3,14	4,64	3,64	5,17	2,86	4,06	3,43	5,78
Raba	1,01	4,51	13,90	2,15	5,04	18,21	40,30	10,59	4,29
Rogotin	44,62	5,48	6,19	5,26	7,54	9,44	11,55	5,61	4,31
Slivno Ravno	0,45	11,70	12,19	5,75	6,04	15,53	26,64	13,56	8,14
Stoševica	13,53	11,22	16,28	11,35	9,73	11,81	9,49	8,19	8,40
Šarić Struga	3,26	4,06	13,73	26,02	20,88	16,74	8,44	4,14	2,73
Trn	25,40	2,92	32,04	23,72	3,66	2,63	4,02	3,34	2,27
Tuševac	50,95	10,99	15,39	4,48	4,05	3,46	2,76	3,19	4,73
Vid	33,67	4,29	10,08	10,69	7,18	11,08	13,36	6,52	3,13
Vidonje	0,97	5,37	8,00	9,62	11,91	22,08	24,55	11,39	6,13
Zavala	1,92	21,92	21,85	20,19	10,67	7,63	5,60	5,59	4,62

Izvor: USGS, 2021.



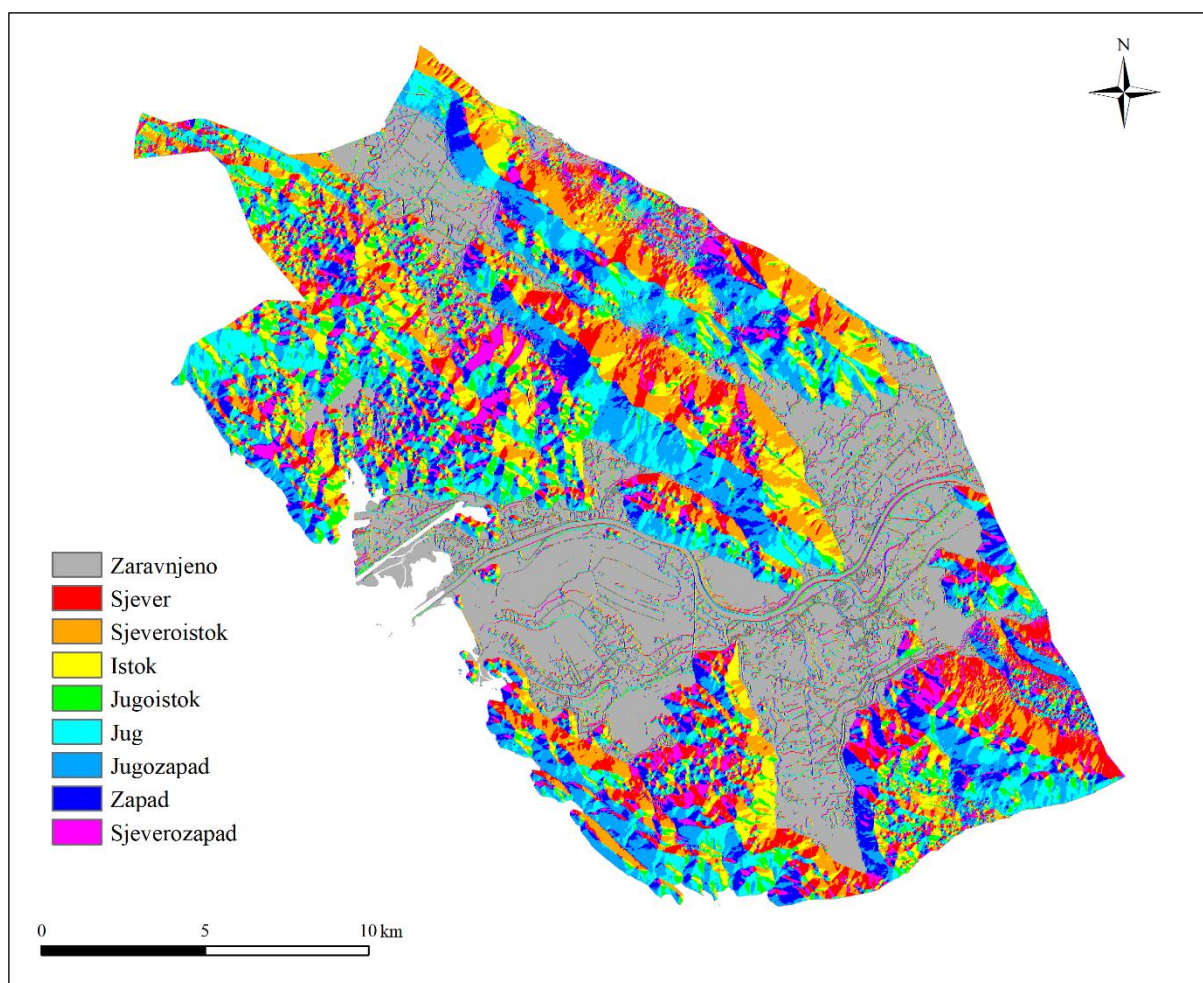
Sl. 13. Nadmorska visina (m) u Donjoneštvanskom kraju

Izvor: USGS, 2021; DGU, 2016.



Sl. 14. Nagib padina (°) u Donjoneeretvanskom kraju

Izvor: USGS, 2021; DGU, 2016.



Sl. 15. Ekspozicija padina u Donjonevranjskom kraju

Izvor: USGS, 2021; DGU, 2016.

Statistički podatci Državnog zavoda za statistiku preuzeti su iz popisa stanovništva 2011. i 2021. godine, a korišteni su u svrhu analize društveno-geografskih varijabli (DZS, 2011, 2021). U analizu su uključeni podatci o broju stanovnika i gustoći naseljenosti za 2011. i 2021. godinu. Dodatno su uzeti u obzir indeks starenja (2011./2021.), koji prikazuje omjer broja osoba starijih od 60 godina u odnosu na broj osoba u dobi od 0 do 19 godina, pri čemu vrijednost indeksa veća od 40,0 ukazuje na starenje stanovništva (Wertheimer-Baletić, 1999), kao i udio starog stanovništva za navedene godine kako bi se stekao sveobuhvatan uvid u demografske promjene i strukturu stanovništva (DZS, 2011). Društveno-geografske varijable su prikazane u tab. 12. i 13., na razini naselja, kao i kartografski (sl. 16 i 17), čime se dobiva uvid u osnovne demografske karakteristike i promjene u strukturi stanovništva.

Tab. 12. Društveno-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (1. dio) – broj i gustoća naseljenosti

Naselje	Površina naselja (km ²)	Stanovništvo 2011. godine	Stanovništvo 2021. godine	Gustoća naseljenosti 2011. godine (stan./km ²)	Gustoća naseljenosti 2021. godine (stan./km ²)
Baćina	27,10	572	512	21,11	18,9
Badžula	8,56	73	56	8,52	6,54
Banja	5,50	173	153	31,44	27,81
Bijeli Vir	8,69	292	201	33,59	23,12
Blace	2,84	317	278	111,71	97,97
Borovci	13,21	23	29	1,74	2,2
Brečići	1,44	0	0	0	0
Buk-Vlaka-dio	9,00	492	460	54,66	51,1
Buk-Vlaka-dio (Vlaka)	4,10	294	277	71,65	67,51
Desne	14,80	90	111	6,08	7,5
Dobranje	9,30	6	5	0,65	0,54
Duba	1,07	4	4	3,74	3,74
Duboka	0,94	128	272	135,46	287,86
Dubrave	4,51	0	0	0	0
Dubravica	2,69	90	73	33,49	27,17
Glušci	2,98	76	53	25,51	17,79
Klek	2,28	230	176	100,72	77,07
Kobiljača	4,60	241	205	52,39	44,56
Komarna	2,31	167	303	72,27	131,12
Komin	19,75	1243	944	62,93	47,79
Kremena	1,43	56	29	39,19	20,3
Krvavac	6,28	577	428	91,9	68,17
Krvavac II	5,00	334	277	66,81	55,41
Kula Norinska	1,01	250	209	246,43	206,01
Lovorje	1,42	67	59	47,35	41,69
Lučina	0,38	15	10	39,89	26,6
Mali Prolog	3,96	31	9	7,83	2,27
Matijevići	0,35	98	89	280	254,29
Metković	23,25	15329	14062	659,32	604,82
Mihalj	0,95	156	121	163,99	127,19
Mislina	9,52	50	26	5,25	2,73
Mlinište	11,09	335	253	30,2	22,81
Momići	4,27	205	161	47,99	37,69
Nova Sela	11,21	36	32	3,21	2,85
Opuzen	12,95	2729	2366	210,72	182,69
Otok	1,22	70	48	57,55	39,46

Otrić-Seoci	10,62	657	701	61,84	65,99
Peračko Blato	6,90	288	248	41,75	35,95
Pižinovac	0,84	2	1	2,39	1,2
Plina Jezero	22,32	44	38	1,97	1,7
Ploče	14,08	6013	4748	427,18	337,31
Podgradina	14,15	227	202	16,04	14,27
Podravnica	4,62	135	110	29,22	23,81
Pozla Gora	8,38	62	55	7,4	6,56
Prud	6,09	497	464	81,61	76,19
Pržinovac	2,08	33	25	15,85	12
Raba	2,45	10	8	4,08	3,26
Rogotin	3,84	665	581	173,1	151,24
Slivno Ravno	5,70	2	1	0,35	0,18
Staševica	26,05	902	809	34,63	31,06
Šarić Struga	3,91	235	190	60,08	48,58
Trn	0,34	189	132	558,18	389,84
Tuštovac	4,03	64	47	15,87	11,66
Vid	15,82	796	697	50,33	44,07
Vidonje	13,70	1	2	0,07	0,15
Zavala	6,27	1	0	0,16	0

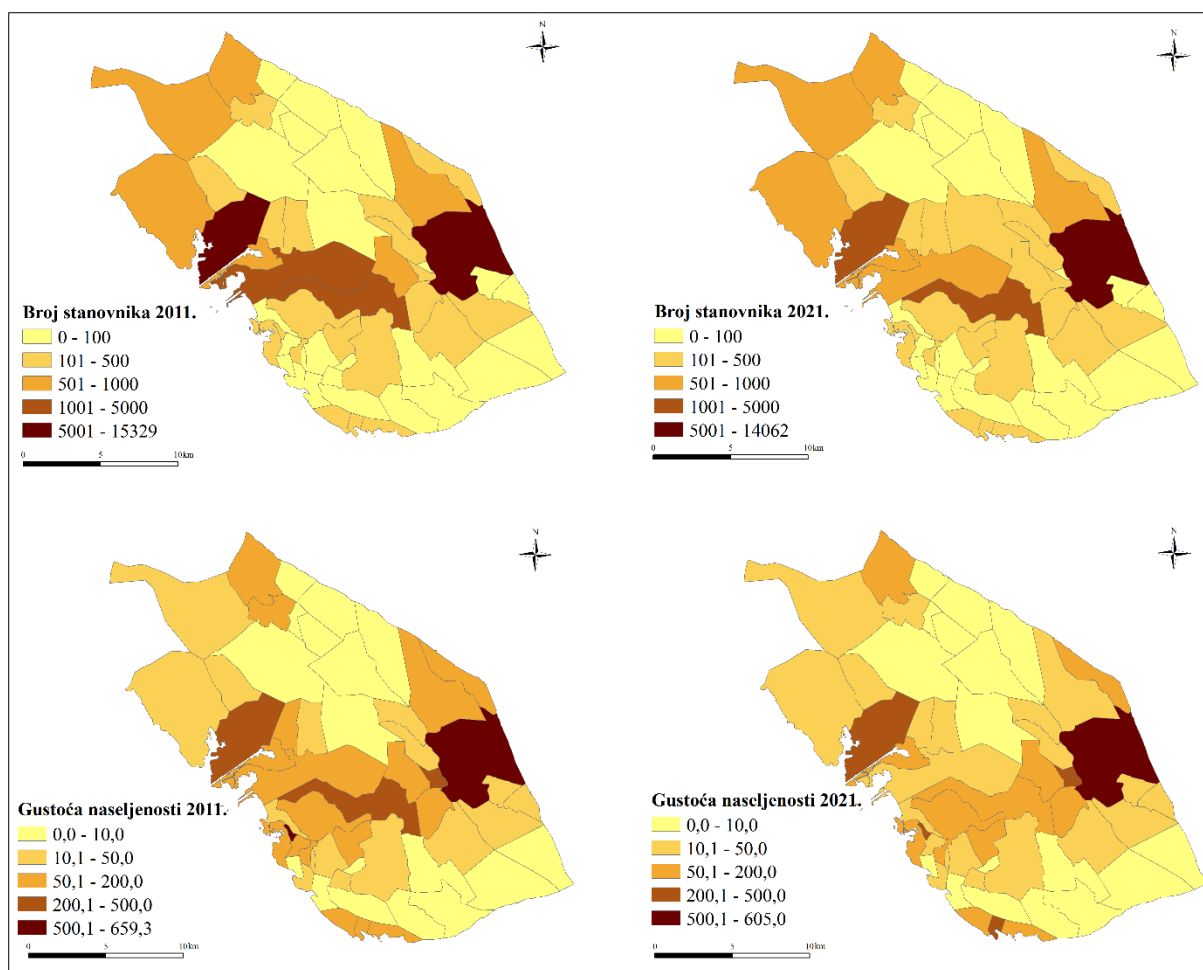
Izvor: DZS, 2011; DZS, 2021.

Tab. 13. Društveno-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (2. dio) – udio starog stanovništva i indeks starenja

Naselje	Udio starog stanovništva 2011. godine (%)	Udio starog stanovništva 2021. godine (%)	Indeks starenja 2011. godine	Indeks starenja 2021. godine
Baćina	21,33	23,78	106,09	138,63
Badžula	16,44	23,21	66,67	300,00
Banja	16,76	22,22	78,38	103,03
Bijeli Vir	19,18	27,86	104,76	169,70
Blace	21,45	26,98	79,07	174,41
Borovci	43,48	13,79	1000,00	133,33
Brečići	0,00	0,00	0,00	0,00
Buk-Vlaka-dio	18,03	27,02	90,83	139,56
Buk-Vlaka-dio (Vlaka)	20,12	19,86	79,10	96,49
Desne	25,56	23,42	123,53	123,81
Dobranje	33,33	40,00	0,00	0,00
Duba	0,00	50,00	0,00	0,00
Duboka	26,56	14,71	113,33	333,33
Dubrave	0,00	0,00	0,00	0,00
Dubravica	13,33	13,70	37,50	45,45
Glušci	17,11	18,87	108,33	100,00
Klek	28,70	33,52	160,98	218,52
Kobiljača	22,41	23,23	101,89	104,55
Komarna	19,76	13,53	94,29	195,24
Komin	15,77	24,23	88,26	120,63
Kremena	23,21	62,07	92,86	0,00
Krvavac	15,60	21,02	57,69	123,29
Krvavac II	16,47	20,93	63,95	138,10
Kula Norinska	18,40	30,14	85,19	203,23
Lovorje	11,94	5,08	42,11	25,00
Lučina	46,67	40,00	900,00	200,00
Mali Prolog	38,71	40,00	240,00	0,00
Matijevići	18,37	20,22	60,00	78,26
Metković	13,22	18,09	103,13	76,51
Mihalj	25,00	23,97	121,88	207,14
Mislina	30,00	23,08	150,00	600,00
Mlinište	21,49	23,32	88,89	120,41
Momići	15,12	16,77	57,41	96,43
Nova Sela	27,78	18,75	125,00	120,00
Opuzen	15,87	23,78	68,30	93,58
Otok	15,71	27,08	64,71	162,50

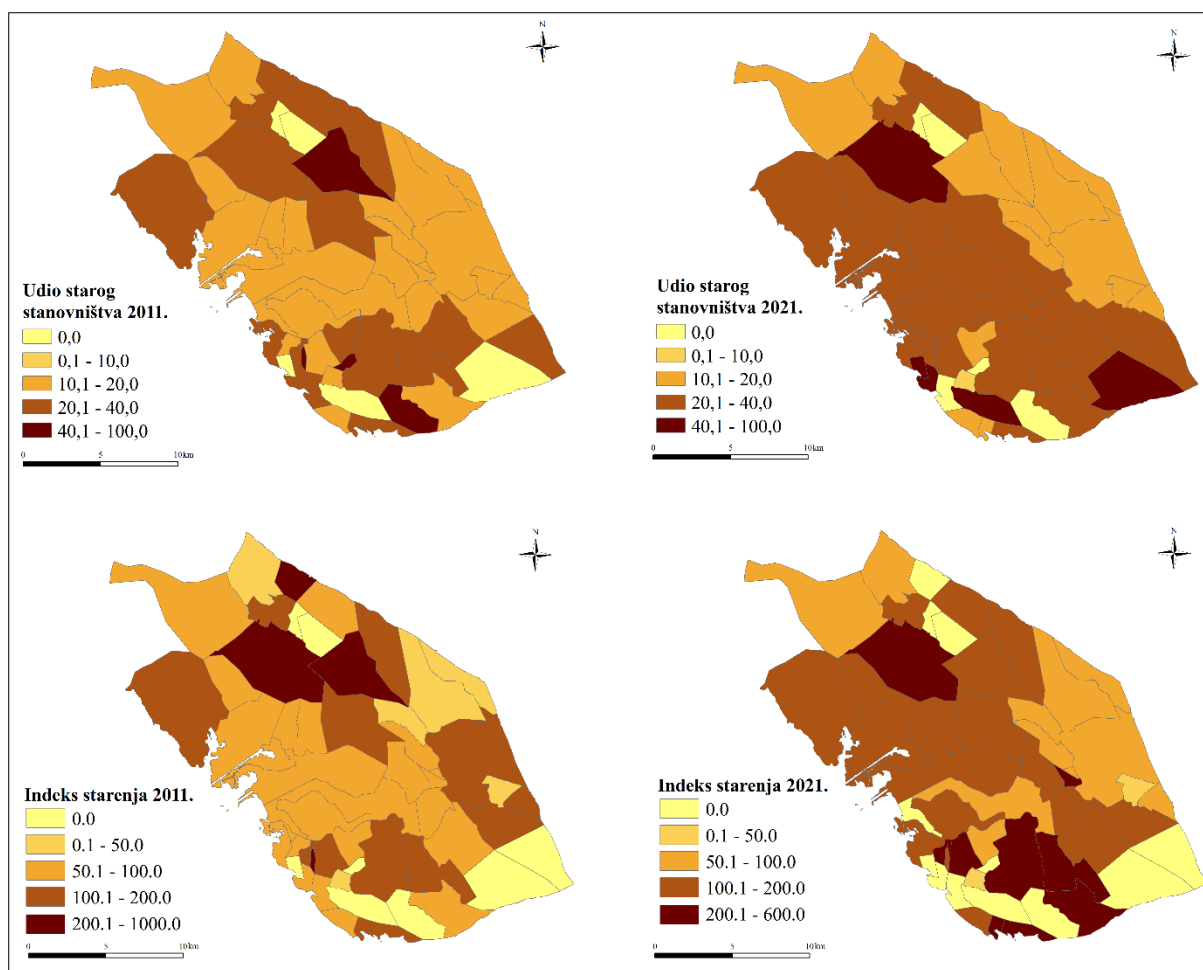
Otrić-Seoci	12,79	19,59	48,84	97,12
Peračko Blato	15,63	28,93	78,95	150,00
Pižinovac	50,00	0,00	0,00	0,00
Plina Jezero	20,45	40,63	225,00	260,00
Ploče	14,25	23,63	62,97	128,12
Podgradina	23,35	29,70	155,88	230,77
Podravnica	13,33	20,00	46,15	81,48
Pozla Gora	22,58	21,74	73,68	142,86
Prud	12,68	15,63	41,45	77,78
Pržinovac	12,12	38,46	100,00	0,00
Raba	30,00	0,00	75,00	0,00
Rogotin	19,70	25,26	88,51	145,00
Slivno Ravno	0,00	100,00	0,00	0,00
Staševica	16,96	19,95	68,61	85,08
Šarić Struga	18,72	26,29	95,65	188,89
Trn	22,75	28,79	97,73	180,95
Tuševac	17,19	31,91	122,22	375,00
Vid	13,07	14,78	44,64	64,56
Vidonje	0,00	50,00	0,00	0,00
Zavala	100,00	0,00	0,00	0,00

Izvor: DZS, 2011; DZS, 2021.



Sl. 16. Broj stanovnika i gustoća naseljenosti (stan/km²) u Donjonevskom kraju 2011./2021.

Izvor: DGU, 2016; DZS, 2011; DZS, 2021



Sl. 17. Udio starog stanovništva (%) i indeks starenja u Donjoneštvanskom kraju 2011./2021.

Izvor: DGU, 2016; DZS, 2011; DZS, 2021

Varijable udaljenosti koje su uzete u obzir u analizi uključuju udaljenost od izgrađenih površina i udaljenost od vodenih površina. Razvrstane su u sljedeće intervale: udaljenost do 50 metara, od 50 do 200 metara, od 200 do 500 metara i preko 500 metara. Numeričke vrijednosti u tab. 14. i 15. predstavljaju postotak udjela u svakom naselju. Kartografski prikaz varijabli udaljenosti prikazan je na sl. 18.

Tab. 14. Varijable udaljenosti korištene u regresijskoj analizi (1. dio) – udaljenost od izgrađenih površina

Naselje	Udaljenost od izgrađenih površina do 50 m (%)	Udaljenost od izgrađenih površina od 50 do 200 m (%)	Udaljenost od izgrađenih površina od 200 do 500 m (%)	Udaljenost od izgrađenih površina preko 500 m (%)
Baćina	9,89	17,45	22,77	49,89
Badžula	3,74	10,97	23,35	61,94
Banja	9,54	23,17	45,89	21,40
Bijeli Vir	9,70	17,05	28,87	44,38
Blace	30,88	43,96	24,51	0,65
Borovci	11,52	23,15	32,58	32,75
Brečići	5,30	15,04	48,09	31,57
Buk-Vlaka-dio	8,14	7,11	13,38	71,37
Buk-Vlaka-dio (Vlaka)	12,66	27,80	41,35	18,19
Desne	7,39	14,02	24,48	54,11
Dobranje	3,93	11,48	25,25	59,34
Duba	4,71	19,66	66,55	9,08
Duboka	15,97	28,33	36,22	19,48
Dubrave	8,70	20,35	43,49	27,46
Dubravica	20,53	31,43	27,72	20,32
Glušci	12,08	24,98	38,54	24,40
Klek	22,10	28,41	35,16	14,33
Kobiljača	18,41	20,62	22,99	37,98
Komarna	26,50	21,82	33,37	18,31
Komin	15,12	16,40	24,29	44,19
Kremena	25,51	30,81	34,91	8,77
Krvavac	22,15	28,42	25,04	24,39
Krvavac II	9,67	11,40	17,60	61,33
Kula Norinska	42,79	30,78	23,31	3,12
Lovorje	23,50	48,92	27,58	0,00
Lučina	27,76	30,12	40,47	1,65
Mali Prolog	22,38	18,61	27,38	31,63
Matijevići	23,71	39,95	36,34	0,00
Metković	35,97	19,93	21,58	22,52
Mihalj	20,80	38,75	20,32	20,13
Mislina	3,18	7,27	13,47	76,08
Mlinište	8,11	17,32	26,46	48,11
Momići	9,48	15,48	28,43	46,61
Nova Sela	16,52	28,93	34,00	20,55
Opuzen	21,13	12,97	17,92	47,98
Otok	21,33	25,46	43,17	10,04

Otrić-Seoci	25,39	27,55	26,72	20,34
Peračko Blato	20,69	39,06	37,02	3,23
Pižinovac	26,26	51,24	22,50	0,00
Plina Jezero	14,98	26,28	34,00	24,74
Ploče	29,08	19,26	21,17	30,49
Podgradina	6,63	14,84	31,90	46,63
Podravnica	8,99	19,47	31,87	39,67
Pozla Gora	20,61	30,08	28,97	20,34
Prud	18,05	30,53	32,70	18,72
Pržinovac	5,79	18,42	40,55	35,24
Raba	24,24	37,04	34,83	3,89
Rogotin	29,30	26,49	30,18	14,03
Slivno Ravno	7,38	18,62	41,54	32,46
Staševica	8,73	15,91	25,69	49,67
Šarić Struga	26,78	37,08	30,85	5,29
Tm	15,79	29,47	54,74	0,00
Tuštovac	11,04	20,55	28,07	40,34
Vid	15,57	25,80	33,42	25,21
Vidonje	3,15	8,28	16,43	72,14
Zavala	6,12	18,31	33,01	42,56

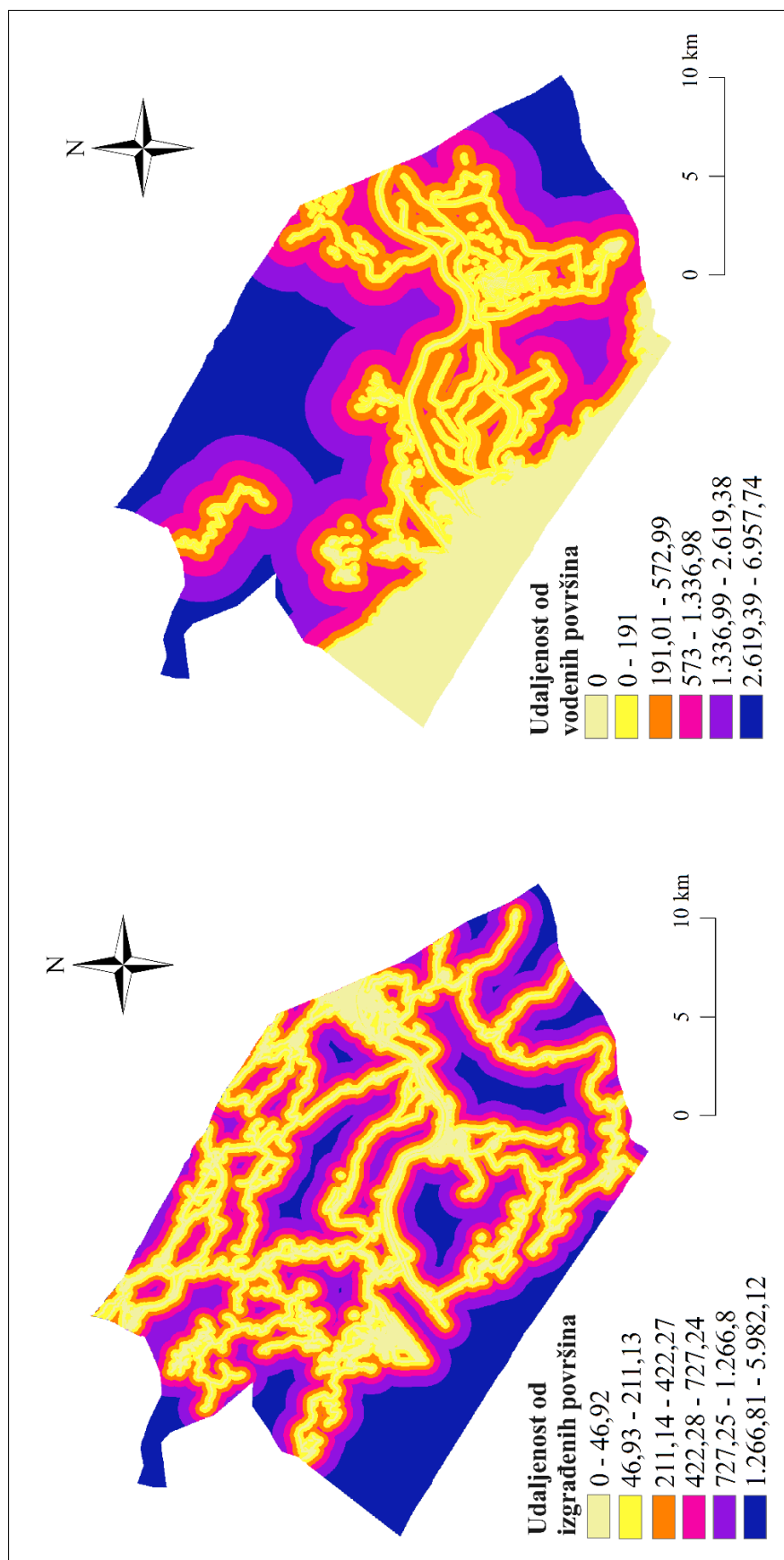
Izvor: USGS, 2021.

Tab. 15. Varijable udaljenosti korištene u regresijskoj analizi (2. dio) – udaljenost od vodenih površina

Naselje	Udaljenost od vodenih površina do 50 m (%)	Udaljenost od vodenih površina od 50 do 200 m (%)	Udaljenost od vodenih površina od 200 do 500 m (%)	Udaljenost od vodenih površina preko 500 m (%)
Baćina	8,06	13,47	20,66	57,81
Badžula	12,91	20,80	23,46	57,17
Banja	4,02	12,04	27,00	56,94
Bijeli Vir	7,09	18,29	30,55	44,07
Blace	14,30	39,58	36,28	9,84
Borovci	0,00	0,00	0,00	100,00
Brečići	0,00	0,00	0,00	100,00
Buk-Vlaka-dio	20,76	43,32	31,61	5,31
Buk-Vlaka-dio (Vlaka)	7,74	21,51	35,99	34,76
Desne	6,36	9,42	10,14	74,08
Dobranje	0,00	0,00	0,00	100,00
Duba	3,19	17,13	48,03	31,65
Duboka	8,46	25,00	35,93	30,61
Dubrave	0,00	0,00	0,00	100,00
Dubravica	9,67	16,35	27,66	46,32
Glušci	1,51	9,38	22,50	66,61
Klek	5,97	22,92	44,46	26,65
Kobiljača	3,38	7,91	14,12	74,59
Komarna	2,34	18,06	31,22	48,38
Komin	17,64	31,39	37,99	12,98
Kremena	2,76	14,91	28,52	53,81
Krvavac	4,21	4,33	9,04	82,42
Krvavac II	30,38	49,32	20,30	0,00
Kula Norinska	17,61	19,20	30,53	32,66
Lovorje	1,97	6,79	21,02	70,22
Lučina	10,90	32,30	34,38	22,42
Mali Prolog	0,00	0,00	0,00	100,00
Matijevići	18,60	37,98	38,50	4,92
Metković	11,73	26,95	37,38	23,94
Mihalj	14,11	27,28	39,51	19,10
Mislina	18,02	29,03	24,51	28,44
Mlinište	9,98	31,22	26,60	32,20
Momići	3,19	6,87	14,85	75,09
Nova Sela	0,00	0,00	0,00	100,00
Opuzen	20,84	33,14	28,21	17,81
Otok	25,15	39,50	22,63	12,72

Otrić-Seoci	0,24	0,52	2,28	96,96
Peračko Blato	0,36	3,25	12,29	84,10
Pižinovac	3,00	23,58	54,13	19,29
Plina Jezero	1,12	3,08	6,75	89,05
Ploče	6,84	15,71	25,96	51,49
Podgradina	6,66	12,26	13,39	67,69
Podravnica	1,98	3,73	8,05	86,24
Pozla Gora	0,00	0,00	0,00	100,00
Prud	8,13	26,99	19,05	45,83
Pržinovac	23,14	46,79	29,81	0,26
Raba	1,32	12,46	25,85	60,37
Rogotin	21,40	44,33	32,11	2,16
Slivno Ravno	0,00	0,00	0,00	100,00
Staševica	2,63	6,33	9,20	81,84
Šarić Struga	2,13	4,96	9,35	83,56
Trn	46,40	51,73	1,87	0,00
Tuštevac	12,80	32,37	42,76	12,07
Vid	4,16	10,82	17,89	67,13
Vidonje	0,00	0,00	0,00	100,00
Zavala	2,24	7,11	21,72	68,93

Izvor: USGS, 2021.



Sl. 18. Udaljenost od izgrađenih i vodenih površina (m) u Donjoneretvanskom kraju 2020.

Izvor: DGU, 2016; USGS, 2021.

Nakon definiranja i pripreme nezavisnih varijabli, sljedeći ključan korak u procesu regresijske analize je izrada korelacijske matrice. Ova analiza omogućava identifikaciju visoke korelacije među varijablama, što je od esencijalne važnosti za osiguranje valjanosti regresijskog modela.

Koeficijenti korelacije izračunati su uz pomoć Pearsonovog koeficijenta korelacije u SPSS programu. Pearsonov koeficijent korelacije (r) predstavlja najčešće korišteni mjerni alat za ocjenu linearne korelacije između dviju varijabli. Ovaj koeficijent, koji se kreće u rasponu od -1 do 1 , kvantificira intenzitet i smjer odnosa između promatranih varijabli. Računa se prema izrazu:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2] + [\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}}$$

Pearsonov koeficijent korelacije označen je slovom r , x_i i y_i predstavljaju vrijednosti i -tog elementa x i y za određeni član, dok $\bar{x}$ i $\bar{y}$ označavaju aritmetičke sredine tih varijabli (Mukaka, 2012). U tab. 16. prikazana je interpretacija koeficijenata korelacije prema sljedećim rasponima:

Tab. 16. Interpretacija koeficijenta korelacija

Koeficijent korelacije (r)	Interpretacija koeficijenta korelacije
0,00 - 0,199	Vrlo niska
0,20 - 0,399	Niska
0,40 - 0,599	Srednja
0,60 - 0,799	Snažna
0,80 - 1,000	Veoma snažna

Izvor: Putra i dr., 2018.

Ova interpretacija pomaže u identifikaciji varijabli koje imaju visoke korelacije ($r > 0,8$) s drugim varijablama. U cilju smanjenja multikolinearnosti, visoko korelirane varijable eliminirane su iz daljnje regresijske analize.

Prilikom provođenja postupka ispitivanja korelacije, iz inicijalnog modela eliminiran je sljedeći skup nezavisnih varijabli: udio nadmorske visine do 50 m, udio nagiba padina u rasponu od $0-2^\circ$ i $12-24^\circ$, udio naselja udaljen od izgrađenih površina između 50 i 200 m, te udio naselja udaljen od vodenih površina do 50 m i od 50 do 200 m. Ove varijable su uklonjene

zbog njihove visoke korelacije s jednom ili više preostalih nezavisnih varijabli, što je moglo dovesti do redundantnosti u modelu.

Za regresijsku analizu korištena je metoda stupnjevite (*stepwise*) regresije, koja omogućuje sustavno uključivanje i isključivanje nezavisnih varijabli (prediktora) u svrhu optimizacije modela i poboljšanja njegove preciznosti. Ova metoda pruža strukturirani pristup odabiru varijabli, osiguravajući da u konačnom modelu ostanu samo one varijable koje značajno doprinose objašnjenju varijance zavisnih varijabli. Proces obuhvaća automatsko dodavanje i uklanjanje varijabli temeljeno na njihovoj statističkoj značajnosti i njihovom doprinosu prilagodbi modela (Hayes, 2022).

Ovaj pristup omogućuje modelu da se fokusira na varijable koje imaju značajan utjecaj, istovremeno eliminirajući one koje ne doprinose dovoljno ili uzrokuju multikolinearnost. U okviru ove analize, preostale nezavisne varijable su se kombinirale s relevantnim promjenama na zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta, koje su korištene kao zavisne varijable.

Detaljna statistička analiza bit će prikazana u poglavlju rezultata. Uz koeficijent determinacije (R^2) i nestandardizirane koeficijente B, koji služe kao ključni pokazatelji uspješnosti regresijskog modela, bit će prikazane i vrijednosti faktora inflacije varijance (VIF). Ova dodatna mjera koristi se za procjenu multikolinearnosti među nezavisnim varijablama, pružajući uvid u to koliko je varijanca regresijskog modela povećana zbog međusobne korelacije prediktora.

Vrijednosti VIF-a pružaju jasnu sliku stupnja multikolinearnosti: VIF od 1 ukazuje na odsutnost korelacije između određene prediktorske varijable i ostalih varijabli u modelu, dok vrijednosti između 1 i 5 sugeriraju umjerenu korelaciju, koja obično ne zahtijeva dodatne intervencije. Vrijednosti iznad 5 ukazuju na potencijalno ozbiljnu korelaciju koja može učiniti procjene koeficijenata i p-vrijednosti nepouzdanim. Ovim pristupom osigurava se da u modelu ostanu samo one nezavisne varijable koje ne pokazuju značajnu međusobnu korelaciju, čime se poboljšava preciznost i stabilnost rezultata regresijske analize (Bobbitt, 2020).

3.3.2. Izrada testnog i konačnog simulacijskog modela

Simulacijski modeli promjena zemljišnog 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 zemljišnog pokrova kao što su umjetne neuronske

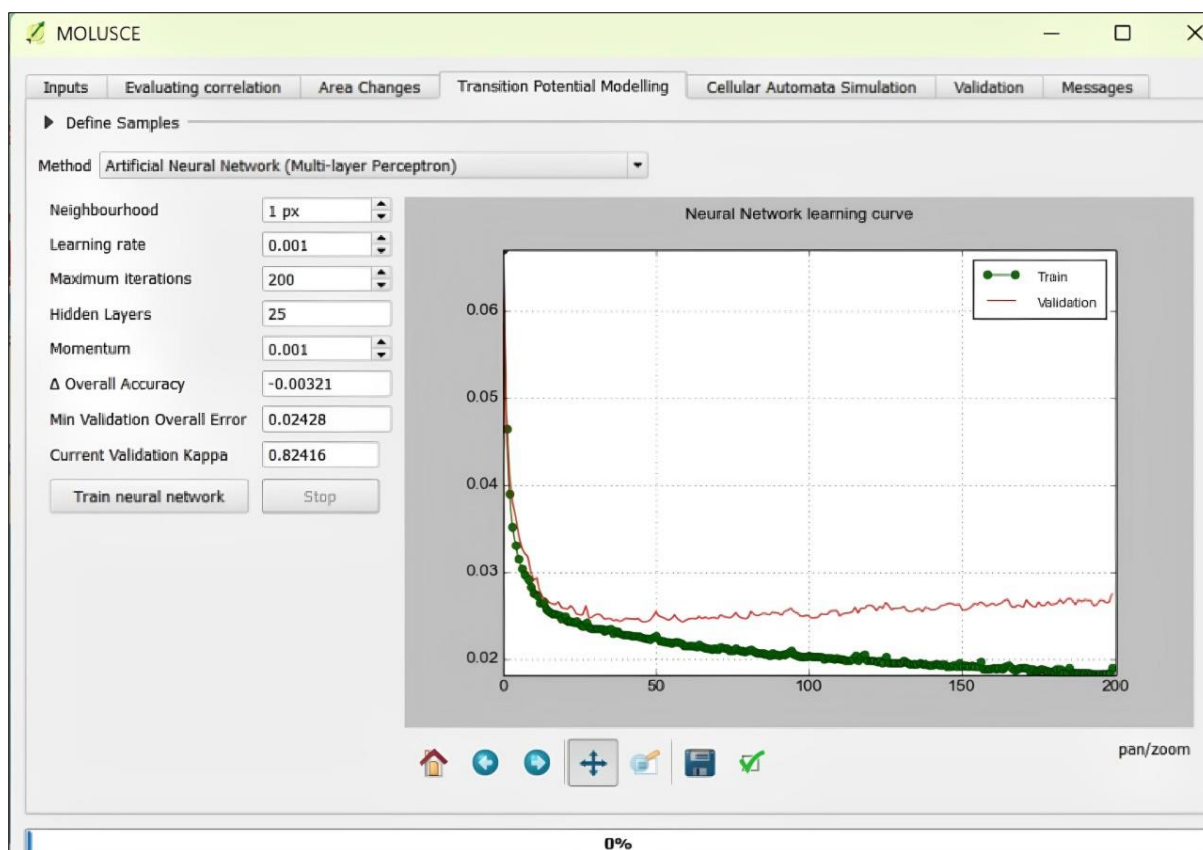
mreže (ANN), logistička regresija (LR), težina dokaza (WoE) i multikriterijsko vrednovanje (MCE) (MOLUSCE, 2018).

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; Chettry i Surawar, 2021; Kamaraj i Rangarajan, 2022; Muhammad i dr., 2022), a u pravilu pokazuje najvišu razinu točnosti u usporedbi s ostalim algoritmima.

Stanični automati (CA) temelje se na principu interakcije susjednih piksela. Integrirani su u MOLUSCE gdje kao ulaz prihvaćaju raster početnoga stanja zemljišnog 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 zemljišnog 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 zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta te prostorne varijable. Svi ulazni podatci moraju imati istu prostornu rezoluciju, mjerilo i kartografsku projekciju. U slučaju ovog istraživanja za testni simulacijski model, ishodišna godina bila je 1990., pokretačka godina 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. Rezultati regresijske analize identificirali su najjače prediktore koji će biti korišteni kao ulazne varijable za simulacijske modele.

U drugom modulu analiziraju se prostorne promjene između dvaju razdoblja te se izrađuju prijelazne matrice i karte promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. U trećem modulu korisnik odabire jedan od dostupnih algoritama za modeliranje tranzicijskog potencijala, a za ovu analizu, kao što je navedeno, odabran je algoritam umjetnih neuronskih mreža (ANN). Primjer je prikazan na sl. 19.



Sl. 19. Primjer kalibracije modela korištenjem umjetnih neureonskih mreža (ANN) u MOLUSCE dodatku za QGIS

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; QGIS

Slijedi modul simulacije u kojem se dobiva izlazni rezultat, odnosno karta simulacije zemljišnog 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). Ova evaluacija je provedena za testni simulacijski model kako bi se utvrdila preciznost modela. Tako dobiveni rezultati omogućuju bolje razumijevanje i predviđanje budućih promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, pružajući uvid u očekivanu točnost simulacijskih projekcija.

3.4. Metodološke napomene

U početnoj fazi istraživanja predviđeno je korištenje faktorske analize kao dijela statističkog modeliranja s ciljem opisivanja povezanosti između velikog broja varijabli s pomoću manjeg broja neopservabilnih slučajnih varijabli, poznatih kao faktori. Također, planirano je i provođenje anketnog istraživanja kućanstava Donjonegetvanskog kraja radi dopune rezultata dobivenih kombinacijom daljinskih istraživanja i statističkog modeliranja.

Međutim, tijekom razvoja istraživanja, nakon detaljne analize prikupljenih podataka i preliminarnih rezultata, odlučeno je izostaviti navedene metode iz daljnjeg rada.

Faktorska analiza prvotno je bila predviđena kao metoda koja bi omogućila smanjenje broja međusobno povezanih varijabli te identifikaciju ključnih latentnih varijabli koje stoje iza opaženih podataka. Očekivalo se da će ova metoda pomoći u sintezi velikog broja fizičkogeografskih i sociogeografskih varijabli u manji broj faktora, što bi olakšalo interpretaciju rezultata. Međutim, tijekom analize podataka, utvrđeno je da regresijska analiza pruža dovoljno pouzdane rezultate u identifikaciji i vrednovanju značajnih varijabli koje utječu na promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. To potvrđuju brojna istraživanja iz geografije kojima je u fokusu bilo modeliranje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (Cvitanović, 2014a; Cvitanović, 2014b; Bernales i dr., 2016; Jahanifar i dr., 2018; Li i dr., 2020).

Regresijski modeli omogućili su jasnije razumijevanje linearnih odnosa između nezavisnih varijabli (prediktora) i zavisnih varijabli (promjena zemljišnog pokrova), čime je postignut jedan od glavnih ciljeva istraživanja bez potrebe za dodatnom složenošću koju bi uvođenje faktorske analize donijelo.

Anketno istraživanje među lokalnim stanovništvom na razini kućanstava imalo je za cilj prikupiti podatke o potencijalnim budućim promjenama na njihovim zemljišnim parcelama. Ova anketa trebala je pružiti dodatne uvide koji bi nadopunili rezultate regresijskog modeliranja, omogućujući bolje razumijevanje uzroka i objašnjenje promjena u načinu korištenja zemljišta. Također je bila zamišljena kao sredstvo za identificiranje specifičnih promjena, kao što su zamjene kultura unutar poljoprivrednih površina (npr. prelazak iz oranica u voćnjake). Međutim, tijekom analize prikupljenih podataka i preliminarnih rezultata, metodološki pristup je revidiran iz nekoliko ključnih razloga. Informacije o načinu korištenja zemljišta najčešće se prikupljaju terenskim radom, premda je u određenim situacijama moguće dobiti podatke i putem daljinskih istraživanja (Lambin i dr., 2006). Ovo ukazuje na to da je način korištenja zemljišta moguće istražiti anketnim istraživanjem, što pruža detaljniji i izravniji uvid u lokalne prakse i planove stanovništva. Tako se mogu prikupiti relevantni i kontekstualizirani podaci koje daljinska istraživanja možda ne bi mogla u potpunosti obuhvatiti.

Ipak, tijekom razvoja istraživanja, pokazalo se da se relativno malo promjena događa na poljoprivrednim površinama, što je smanjilo očekivanu vrijednost i relevantnost anketnog istraživanja za cjelokupnu studiju. Široka definicija *poljoprivrednog zemljišta* koja obuhvaća razne tipove površina, od golog uzoranog tla do voćnjaka i povrtnjaka, nije omogućila precizno

razlikovanje različitih načina korištenja zemljišta, što je dodatno umanjilo korisnost ankete. Osim toga, rezultati ankete ne bi mogli biti kartografski vizualizirani niti integrirani u simulacijske modele zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, što bi dodatno ograničilo njihovu primjenjivost u istraživačkom okviru.

Kao rezultat, anketno istraživanje je isključeno iz metodološkog okvira. Studije koje se bave promjenama u načinu korištenja zemljišta često obuhvaćaju znatno veće udjele obradivih površina (Cvitanović, 2014a; Hassan i dr., 2016; Daba i You, 2022; Opiyo i dr., 2022; Fikadu i Olika, 2023; Edosa i Nagasa, 2024). Iako se područje istraživanja tradicionalno smatra poljoprivredno razvijenim, najveći dio kultiviranog zemljišta nalazi se u aluvijalnoj ravni rijeke Neretve i njezinih rukavaca. Ovo istraživanje, međutim, obuhvaća šire područje koje uključuje i krški okvir.

Za dublje razumijevanje specifičnih promjena u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta, anketno istraživanje moglo bi biti vrlo korisno u analizi studije slučaja poput Grada Opuzena, gdje je poljoprivredno zemljište prevladavajuća klasa zemljišnog pokrova. Provedbom anketa među lokalnim stanovnicima moguće je prikupiti detaljne podatke o promjenama u poljoprivredi, uključujući varijacije u vrstama kultura i intenzitetu korištenja zemljišta. Takvi podaci omogućavaju preciznije predviđanje budućih promjena i poboljšavaju razumijevanje lokalnih trendova razvoja, što može doprinositi razvoju učinkovitijih strategija za upravljanje zemljištem.

Daljnja analiza pokazala je da klasifikacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta korištena u radu u većoj mjeri odražava fizičke karakteristike zemljišta nego konkretne funkcije njegova korištenja. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta predstavljaju konceptualno povezane kategorije u većini suvremenih istraživanja, budući da promjene u jednom aspektu najčešće impliciraju promjene i u drugom. Stoga je naslov rada odabran da reflektira ovu međusobnu povezanost i holistički pristup analizi promjena u okolišu.

Kako bi se istraživanju pružila dodatna dimenzija i omogućilo dublje razumijevanje uzroka i posljedica promjena na zemljišnom pokrovu, odlučeno je provesti polustrukturirane intervju s deset stanovnika općine Kula Norinska. Ovo područje je doživjelo značajne promjene, uključujući procese sukcesije i degradacije vegetacije, što je imalo vidljive posljedice na lokalni okoliš. Polustrukturirani intervju odabran je kao metoda istraživanja jer omogućava tematski vođen razgovor, pri čemu se pitanja prilagođavaju kontekstu i iskustvima pojedinog ispitanika, čime se dobiva dublji uvid u percepcije i stavove lokalnog stanovništva.

Polustrukturirani intervju provedeni su od 13. do 17. ožujka 2025. godine. Intervjui su, uz pristanak sudionika, snimani te su naknadno transkribirani, pri čemu su izdvojeni

najrelevantniji iskazi za analizu. Ukupno je osam intervjua provedeno uživo, dok su dva realizirana putem telefonskog razgovora.

Sugovornici intervjua bili su stanovnici u dobi od 31 do 91 godine, s prosječnom dobi od 62 godine. Uzorak je formiran s ciljem obuhvaćanja ispitanika koji su mogli svjedočiti promjenama zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, s naglaskom na razdoblje od 2005. do 2020. godine. Sukladno tome, odabrano je pet umirovljenika, čime se djelomično reflektira i demografska struktura općine, s obzirom na visoki udio starijeg stanovništva. Ukupno je intervjuirano sedam muškaraca i tri žene. U analizi rezultata, citati ispitanika bit će navođeni u formatu (spol/dob/zanimanje/naselje), čime se osigurava anonimnost sudionika uz zadržavanje relevantnih kontekstualnih informacija.

Protokol intervjua obuhvaćao je nekoliko tematskih područja, uključujući: opću percepciju promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, uzroke tih promjena, njihov utjecaj na okoliš, gospodarstvo i svakodnevni život, kao i djelovanje lokalne vlasti u kontekstu tih promjena. Također, u intervjuima su razmatrane mogućnosti budućeg razvoja i prilagodbe na promjene u okolišu.

Ova kvalitativna metoda istraživanja dopunit će kvantitativne nalaze dobivene regresijskom analizom, pružajući širi kontekst za interpretaciju rezultata i omogućujući izradu sveobuhvatnijeg modela promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju.

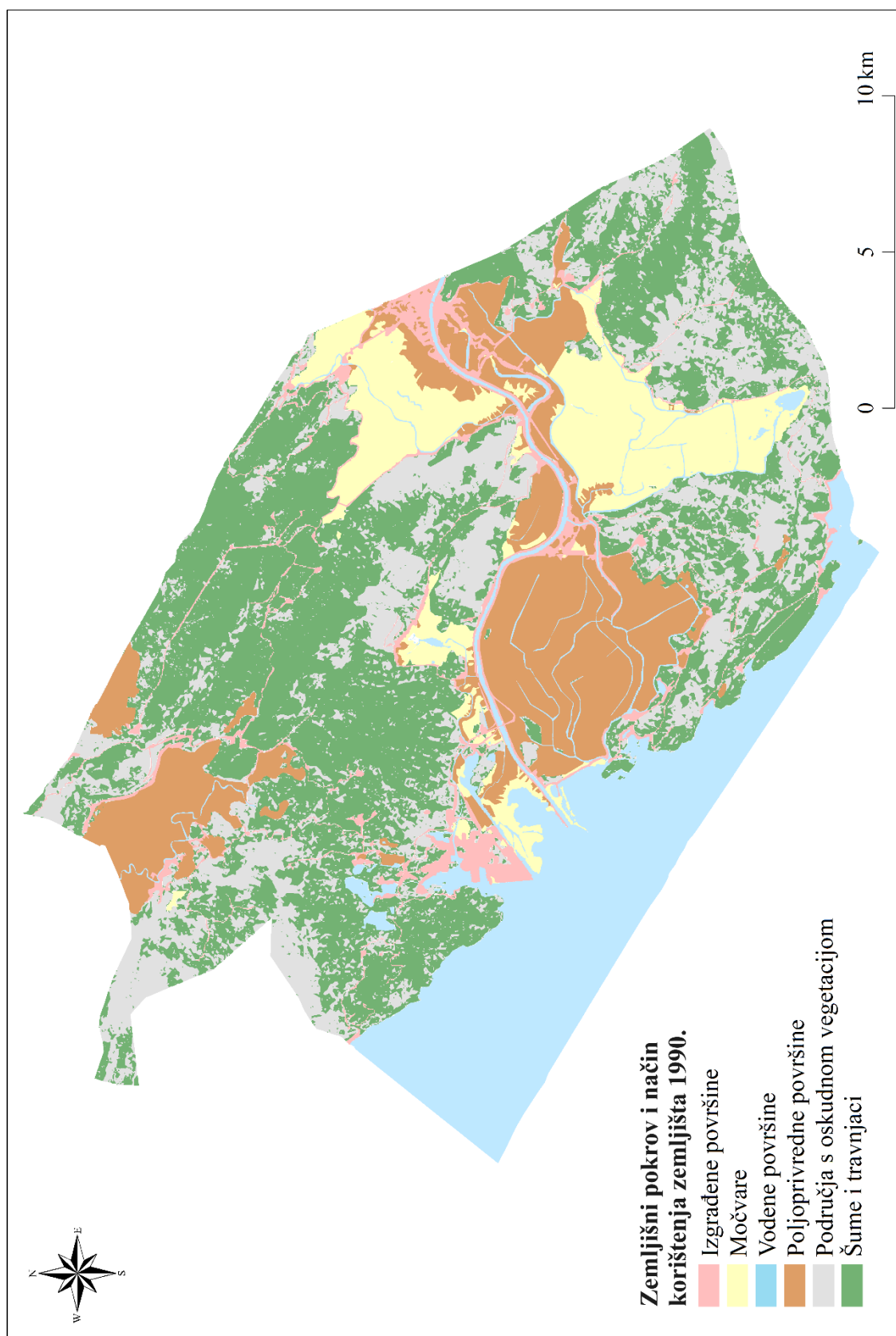
4. ANALIZA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA U DONJONERETVANSKOM KRAJU OD 1990. DO 2020. GODINE

4.1. Rezultati klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

4.1.1. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta 1990. godine

Struktura zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 1990. godine (sl. 20) upućuje na to da su klase *šuma i travnjaka* te *područja s oskudnom vegetacijom* najdominantnije. *Šume i travnjaci* zauzimali su 39,6 % ukupne površine, tj. 16.337 ha, dok su *područja s oskudnom vegetacijom* obuhvatila 24 % površine, odnosno 9.901 ha. Ove dvije klase dominiraju u brežuljkasto-brdskim područjima izvan aluvijalne ravni, gdje se pretežito nalaze poljoprivredne površine i močvare. *Poljoprivredne površine* prostirale su se na 6.972 ha ili 16,9 % površine, dok su *močvare* zauzimale 4.497 ha (10,9 %). Klasa *izgrađenih površina* obuhvatila je 5,8 % udjela površine promatranoga područja, tj. 2.393 ha, dok su najmanji dio činile *vodene površine* s 2,8 %, odnosno 1.155 ha.

Ukupna točnost klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta za 1990. godinu u Donjoneretvanskom kraju iznosi 89,7 %, dok je vrijednost kappa koeficijenta 0,86. Sve klase klasificirane su s 80 % i više. *Vodene površine* imale su najniži postotak točnosti (80 %), a navedeno se objašnjava činjenicom velikoga broja uskih kanala i rukavaca rijeke Neretve koje je nemoguće najpreciznije klasificirati na snimci prostorne rezolucije 30 m (tab. 17).



Sl. 20. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjonevretvanskom kraju 1990. godine

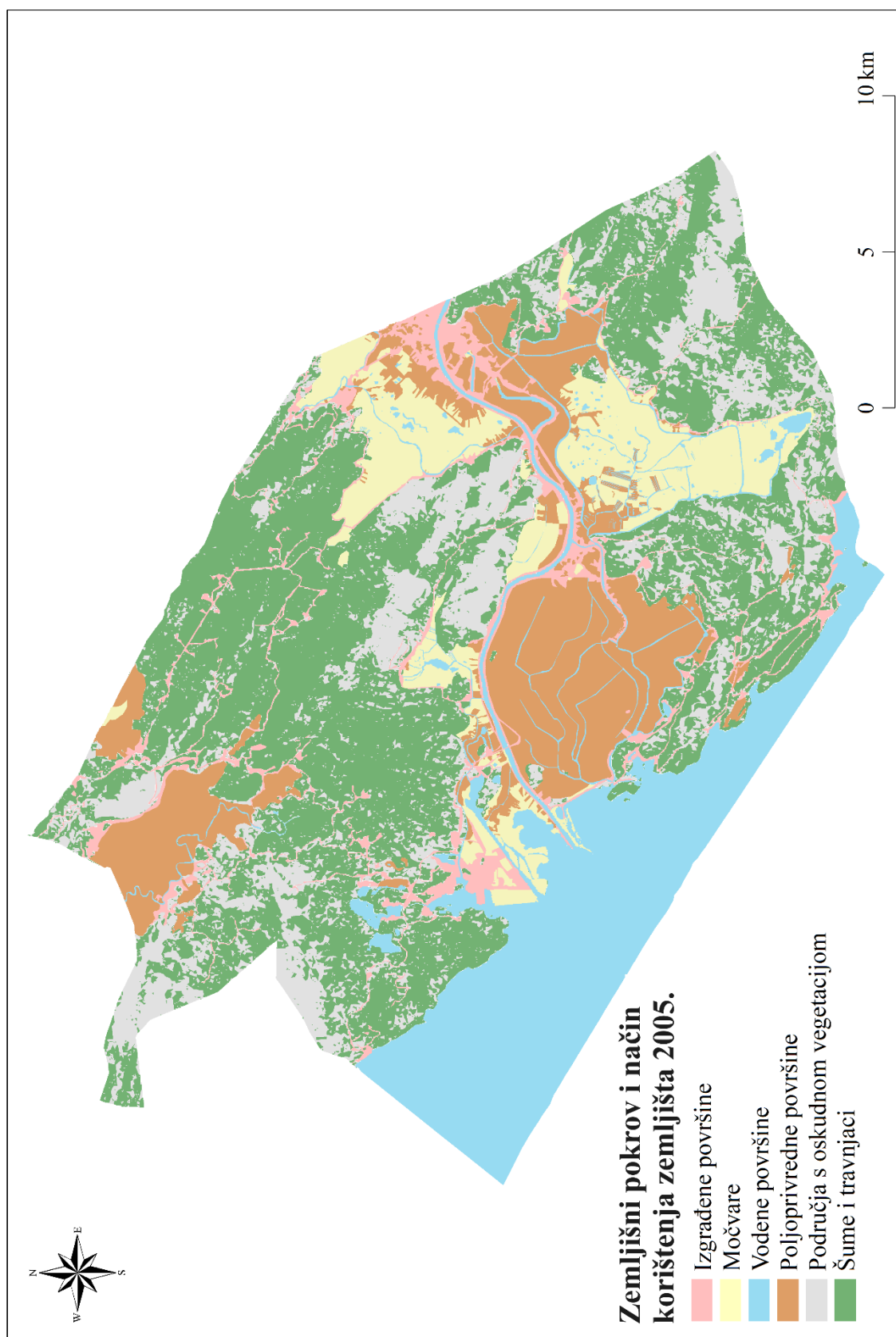
Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)

Tab. 17. Matrica konfuzije klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju za 1990. godinu

	Referentni podaci								
	Izgrađene površine	Močvare	Vodne površine	Poljoprivredne površine	Područja s oskudnom vegetacijom	Šume i travnjaci	Ukupno		
Klasificirani podaci	Izgrađene površine	44	2	1	3	0	2	52	84,62 %
	Močvare	0	88	3	5	0	1	97	90,72 %
	Vodne površine	0	3	20	2	0	0	25	80,00 %
	Poljoprivredne površine	5	4	5	134	0	3	151	88,74 %
	Područja s oskudnom vegetacijom	2	0	0	1	188	23	214	87,85%
	Šume i travnjaci	1	5	1	5	15	327	354	92,37%
	Ukupno	52	102	30	150	203	356	893	
Ukupna točnost 89,7% Kappa koef. 0,86									
Proizvodna točnost (%)									

4.1.2. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta 2005. godine

Prema klasificiranoj satelitskoj snimci iz 2005. godine (sl. 21) kategorija *šuma i travnjaka* proširila se na 17.574 ha (42,6 %), dok su se istovremeno *područja s oskudnom vegetacijom* smanjila na 8.191 ha (19,9 %). Udio poljoprivrednoga zemljišta djelomično je porastao te je 2005. godine iznosio 17,2 % ili 7.093 ha. Smanjen je udio močvarnih površina i iznosio je 4.374 ha (10,6 %). Poljoprivredne su se površine uglavnom i širile na štetu močvara iako je došlo i do obrnuta procesa, tj. dio poljoprivrednih površina obrastao je u močvarnu vegetaciju (sl. 22). Udio *izgrađenih površina* porastao je na 2.740 ha (6,6 %), uglavnom na rubnim dijelovima gradskih naselja, manje u obalnom području općine Slivno. Zabilježen je i blagi rast udjela *vodenih površina*, s 2,8 na 3,1 % (1.283 ha).



Sl. 21. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjonevretvanskom kraju 2005. godine

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)



Sl. 22. Zarastanje zapuštenih poljoprivrednih parcela u močvarnu vegetaciju

Fotografirao: J. Šetka, 25. 3. 2021.

Ukupna točnost klasifikacije iznosila je 86,3 %, a kappa koeficijent bio je 0,82 (tab. 18). Kategorija *izgrađenih površina* imala je najnižu razinu točnosti (77,36 %). Razlog leži u ručnom izdvajanju klase, pri čemu je otežavajući čimbenik činjenica da je riječ o području u kojem prevladavaju obiteljske kuće, uz koje se često nalaze vrtovi ili voćnjaci koji se klasificiraju kao poljoprivredno zemljište ili travnjak. Zbog maloga udjela u ukupnoj površini ne utječe u većoj mjeri na cjelokupnu točnost klasifikacije.

Tab. 18. Matrica konfuzije klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju za 2005. godinu

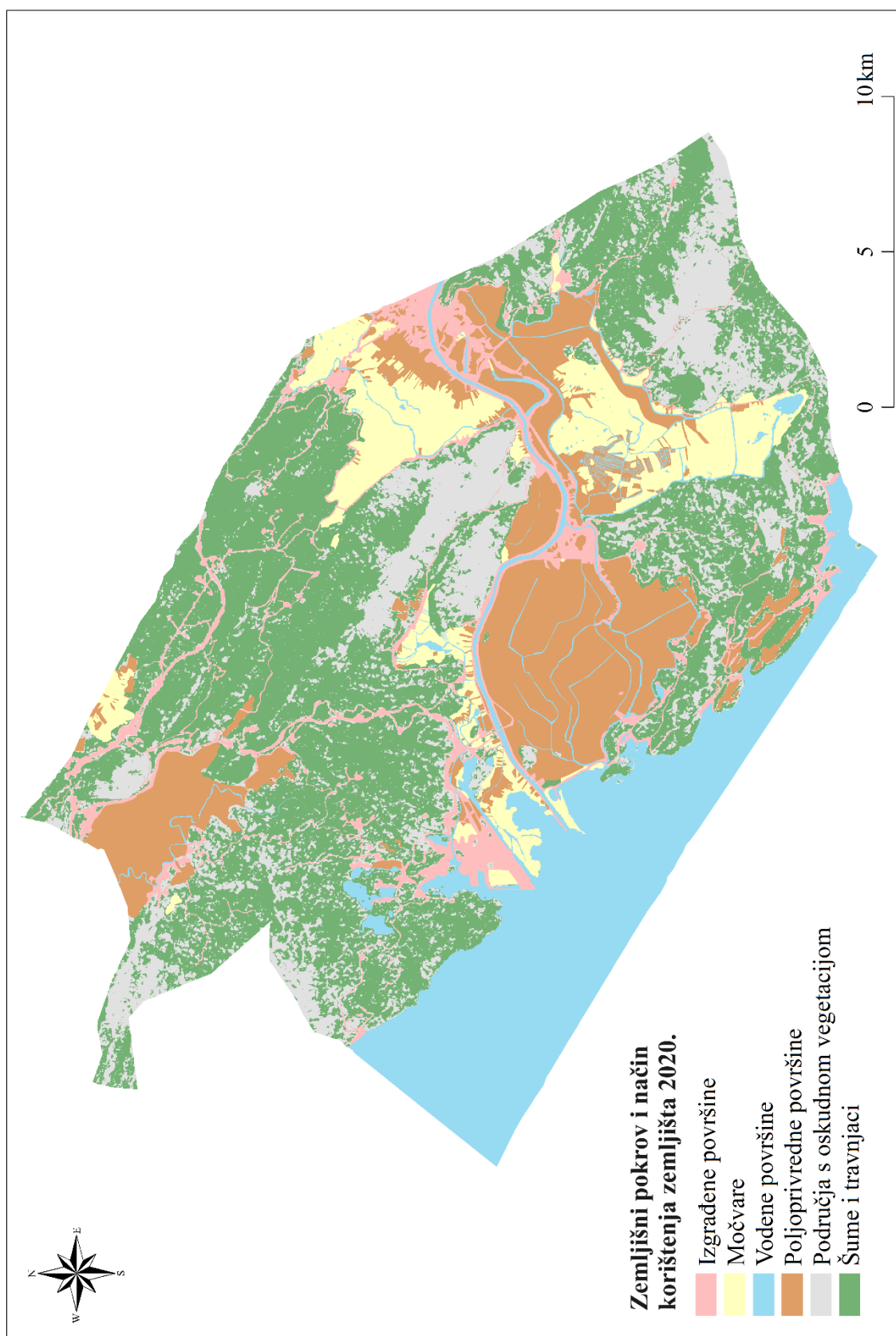
Klasificirani podaci	Referentni podaci							Korisnička točnost (%)	
	Izgrađene površine	Močvare	Vodene površine	Poljoprivredne površine	Područja s oskudnom vegetacijom	Šume i travnjaci	Ukupno		
Izgrađene površine	41	4	1	7	0	0	53	77,3 6%	
Močvare	0	80	1	4	0	0	85	94,1 2%	
Vodene površine	0	1	22	2	0	0	25	88,0 0%	
Poljoprivredne površine	0	9	7	118	1	3	138	85,5 1%	
Područja s oskudnom vegetacijom	2	1	0	1	133	23	160	83,12%	
Šume i travnjaci	4	2	2	3	32	300	34	87,46%	
Ukupno	47	97	33	135	166	326	804		
	87,23%	82,47%	66,67%	87,41%	80,12%	92,02%			
Proizvodna točnost (%)									

Ukupna točnost 86,3%
Kappa koef. 0,82

4.1.3. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta 2020. godine

Klasificirana satelitska snimka iz 2020. godine (sl. 23) pokazala je da je udio *šume i travnjaka* smanjen za 1 postotni bod u odnosu na 2005., odnosno iznosi 41,6 % (17.162 ha). Udio *područja s oskudnom vegetacijom* ostao je na 19,9 % (8.210 ha). Proces poljoprivredne intenzifikacije nastavljen je do 2020. te je udio *poljoprivrednih površina* iznosio 17,6 % (7.261 ha). Udio *močvara* nastavio je opadati do 2020. te je iznosio 9,5 % (3.919 ha) (sl. 24). *Izgrađene površine* proširene su na 3.177 ha (7,7 %).

Ukupna točnost klasifikacije za 2020. godinu iznosila je 88,2 %, a kappa koeficijent bio je 0,84. Kao i na primjeru 2005. klasa *izgrađenih površina* imala je najmanju zabilježenu točnost, odnosno iznosila je 73,08 %. Ostale klase imale su više od 80 % točnosti (tab. 19). Sve tri klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta odrađene su s točnosti većom od 85 %, a kappa koeficijent je u svim slučajevima bio preko 0,81, tj. točnost klasifikacije vrlo je visoka. Uzevši u obzir heterogenost prostora i karakteristike satelitskih snimaka, klasifikacije su dale zadovoljavajuće rezultate.



Sl. 23. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju 2020. godine

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)



Sl. 24. Pogled na močvarno zemljište. Utvrda Brštanik, općina Slivno

Fotografirao: J. Šetka, 3. 8. 2024.

Tab. 19. Matrica konfuzije klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonevrtvanskom kraju za 2020. godinu

Klasificirani podaci	Referentni podaci						
	Izgrađene površine	Močvare	Vodene površine	Poljoprivredne površine	Područja s oskudnom vegetacijom	Šume i travnjaci	Ukupno
Izgrađene površine	38	0	0	4	1	9	52
Močvare	0	59	0	2	0	3	64
Vodene površine	0	0	21	4	0	0	25
Poljoprivredne površine	0	5	3	109	0	2	119
Područja s oskudnom vegetacijom	0	3	0	2	109	21	135
Šume i travnjaci	0	1	1	1	18	260	281
Ukupno	38	68	25	122	128	295	676
Ukupna točnost 88,2% Kappa koef. 0,84	100,00%	86,76%	84,00%	89,34%	85,16%	88,14%	
Proizvodna točnost (%)							
Korisnička točnost (%)							
							73,08%
							92,19%
							84,00%
							91,60%
							80,74%
							92,52%

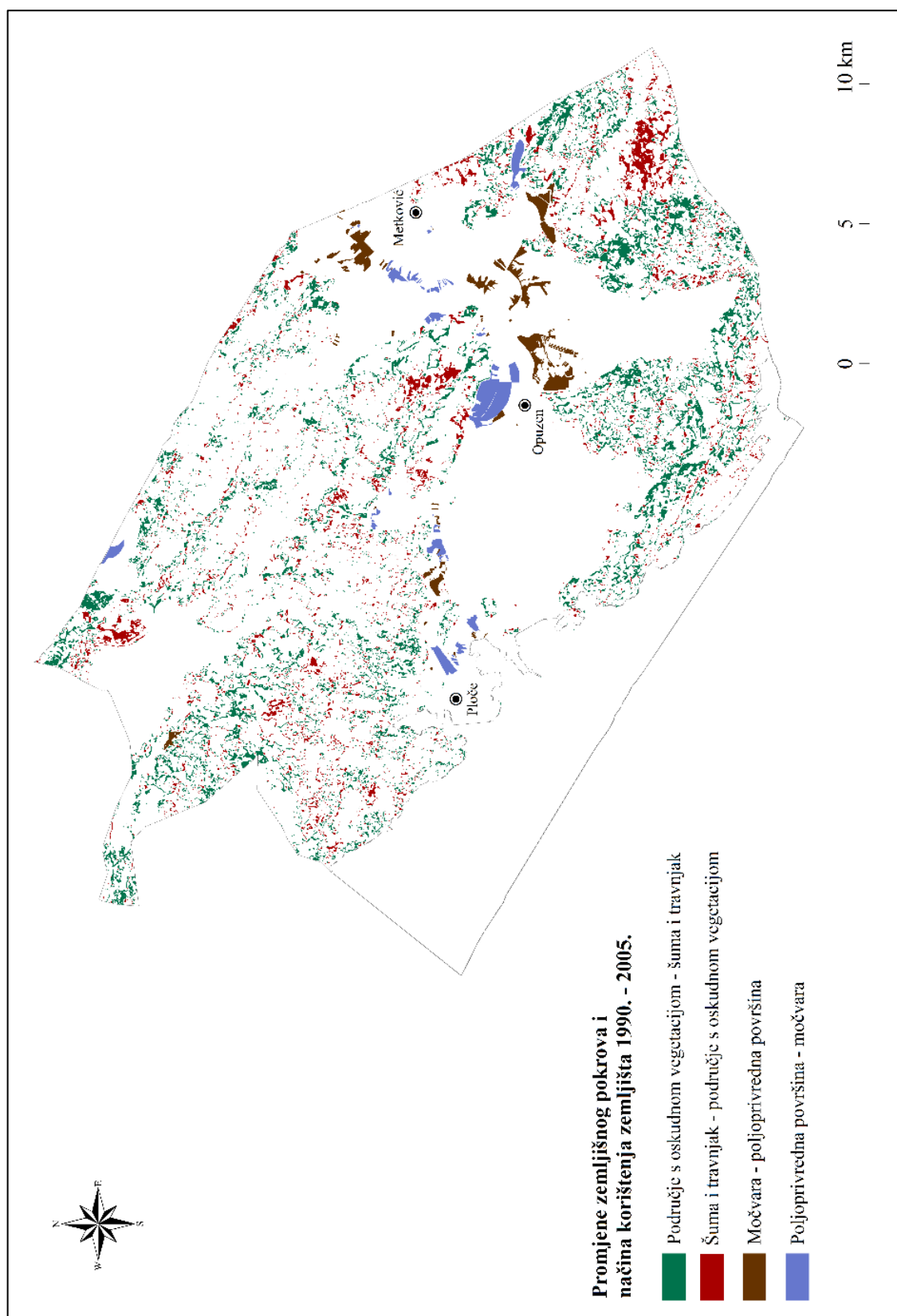
4.2. Detekcija promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta 1990. – 2020.

4.2.1. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta 1990. – 2005.

Od izrađenih kartografskih prikaza zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta 1990. – 2020., izvedene su karte promjena za razdoblja 1990. – 2005. i 2005. – 2020. Kartografski prikazi nastali su tako da se svaka klasa iz 1990./2005. godine pojedinačno uspoređivala sa svakom klasom iz 2005./2020. Tako je za svaku kartu promjene nastalo po 30 klasa, odnosno vrsta promjena. Radi preglednosti, na karti su prikazane samo četiri najznačajnije promjene.

U prvom promatranom razdoblju 1990. – 2005. (sl. 25) promjena se dogodila na 69,3 km² (6.930 ha), što čini 16,8 % udjela površine Donjoneeretvanskog kraja. Ove promjene u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta odražavaju značajne transformacije u krajoliku i odgovaraju na različite prirodne i antropogene faktore koji su djelovali tijekom tog vremena. Od ukupno 30 kartiranih promjena njih 7 utjecalo je na 82,8 % promjene (tab. 20).

Najznačajnije promjene uključivale su transformaciju *područja s oskudnom vegetacijom* u *šume i travnjake*, što ukazuje na proces sukcesije ili povećanje aktivnosti upravljanja šumama i travnjacima. Obrnuti proces, pretvaranje *šuma i travnjaka* u *područja s oskudnom vegetacijom*, također je zabilježen i sugerira degradaciju vegetacije ili promjene u načinu korištenja zemljišta koje su mogle biti rezultat intenzivnijeg iskorištavanja prirodnih resursa ili posljedica šumskih požara. Treća značajna promjena odnosi se na pretvaranje *močvara* u *poljoprivredne površine*. Ova transformacija je od iznimnog interesa jer ukazuje na snažan antropogeni pritisak na prirodne ekosustave, pri čemu su močvare, koje su vitalna staništa za brojne biljne i životinjske vrste, preobražene u poljoprivredno zemljište radi povećanja obradivih površina. Takve promjene mogu imati dugoročne ekološke posljedice, uključujući smanjenje bioraznolikosti i promjene u hidrološkim režimima. Više o potencijalnim uzrocima tih promjena i njihovim posljedicama bit će obrađeno u poglavlju rasprave.



Sl. 25. Glavne promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonegetvanskom kraju 1990. – 2005. godine

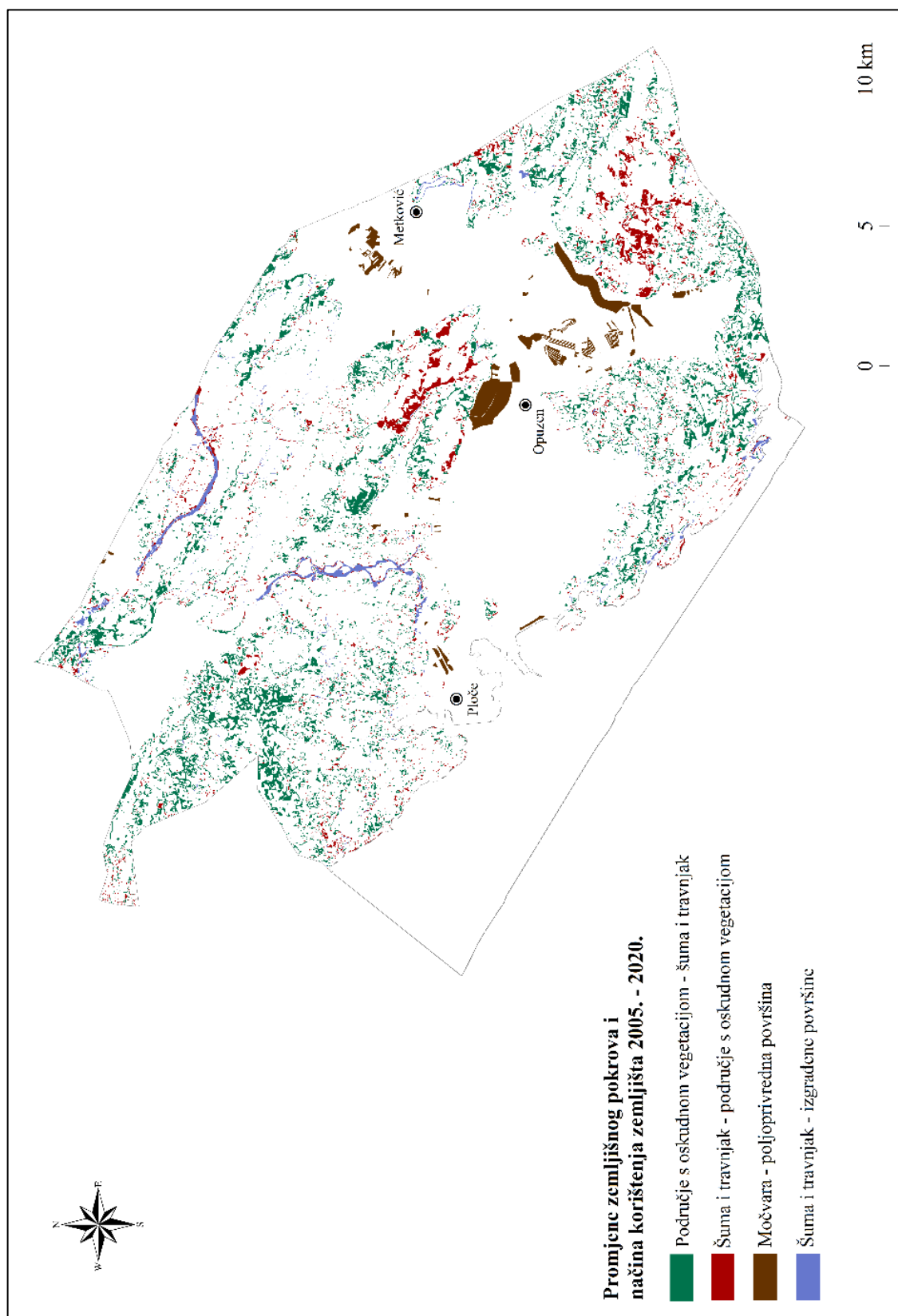
Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)

Tab. 20. Procesi promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta Donjoneštvanskog kraja od 1990. do 2005.

Promjena	Površina (km ²)	Površina (ha)	Udio promjene (%)
Područje s oskudnom vegetacijom – šuma i travnjak	29,3	2.930	42,3
Šuma i travnjak – područje s oskudnom vegetacijom	13,6	1.360	19,6
Močvara – poljoprivredna površina	5,0	500	7,2
Poljoprivredna površina – močvara	4,1	410	5,9
Poljoprivredna površina – izgrađena površina	2,3	230	3,3
Močvara – vodena površina	1,8	180	2,6
Šuma i travnjak – poljoprivredna površina	1,3	130	1,9
Ostale promjene	11,9	1.190	17,2

4.2.2. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta 2005. – 2020.

U promatranom razdoblju 2005. – 2020. (sl. 26) promjene su obuhvatile 64,4 km² (6.440 ha), što iznosi 15,6 % ukupne površine Donjoneštvanskoga kraja. Od ukupno 30 kartiranih promjena njih 7 utjecalo je na 85,8 % promjene (tab. 21). Najznačajnija promjena bila je prijelaz iz *šuma i travnjaka* u *područja s oskudnom vegetacijom* (degradacija vegetacije), dok je obrnuti proces, tj. prelazak iz *područja s oskudnom vegetacijom* u *šume i travnjake* (sukcesija vegetacije) ovaj put bio druga najzastupljenija promjena. Kao i u slučaju promjena 1990. – 2005. prijelaz iz *močvara* u *poljoprivredne površine* (intenzifikacija poljoprivrede) bio je treći prema udjelu promjene. Potrebno je istaknuti i transformacije šumskih i oskudno obraslih površina u izgrađene (izgradnja autoceste i prilaznih cesta za Pelješki most) (sl. 27) te šumskoga zemljišta u poljoprivredno, naročito u području općine Slivno (sl. 28).



Sl. 26. Glavne promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonevranjskom kraju 2005. – 2020. godine

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)

Tab. 21. Procesi promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta Donjoneeretvanskog kraja od 2005. do 2020.

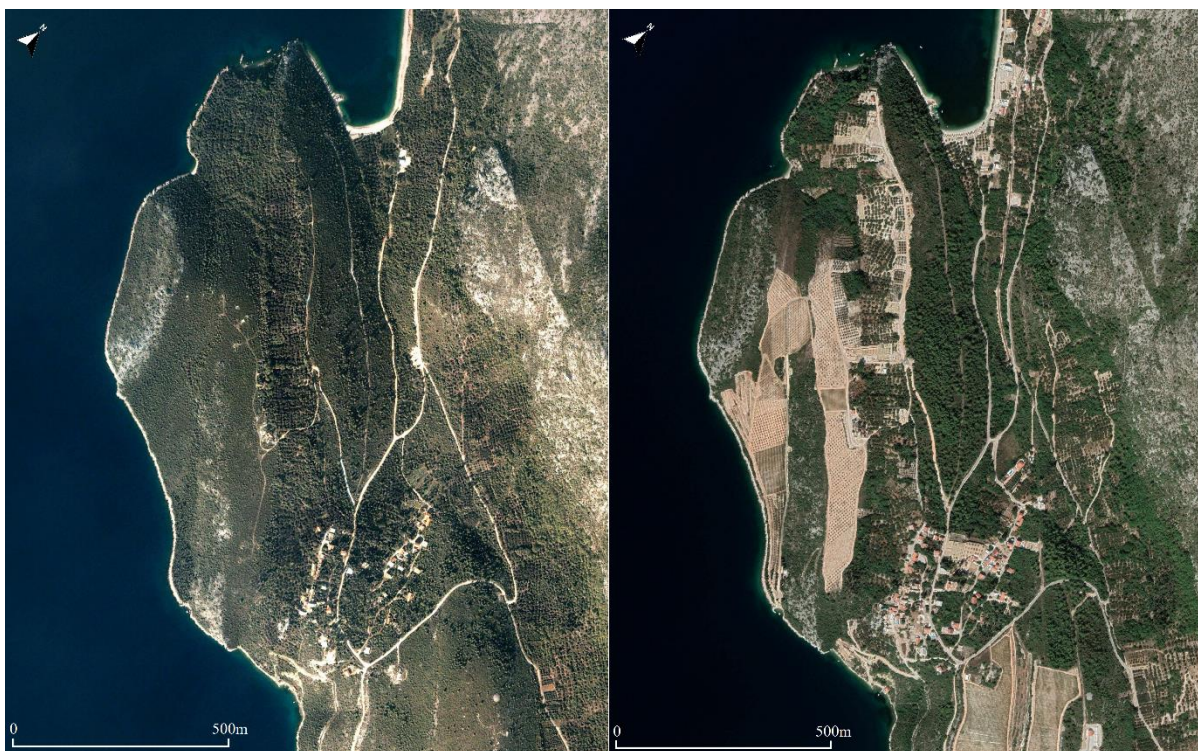
Promjena	Površina (km ²)	Površina (ha)	Udio promjene (%)
Šuma i travnjak – područje s oskudnom vegetacijom	20,6	2.060	31,9
Područje s oskudnom vegetacijom – šuma i travnjak	19,8	1.980	30,7
Močvara – poljoprivredna površina	5,8	580	9,0
Šuma i travnjak – izgrađena površina	3,3	330	5,1
Poljoprivredna površina – močvara	2,6	260	4,0
Šuma i travnjak – poljoprivredna površina	1,7	170	2,6
Područje s oskudnom vegetacijom – izgrađena površina	1,6	160	2,5
Ostale promjene	9,0	900	14,2

Izvor: Prema rezultatima istraživanja



Sl. 27. Pogled na Pelješki most

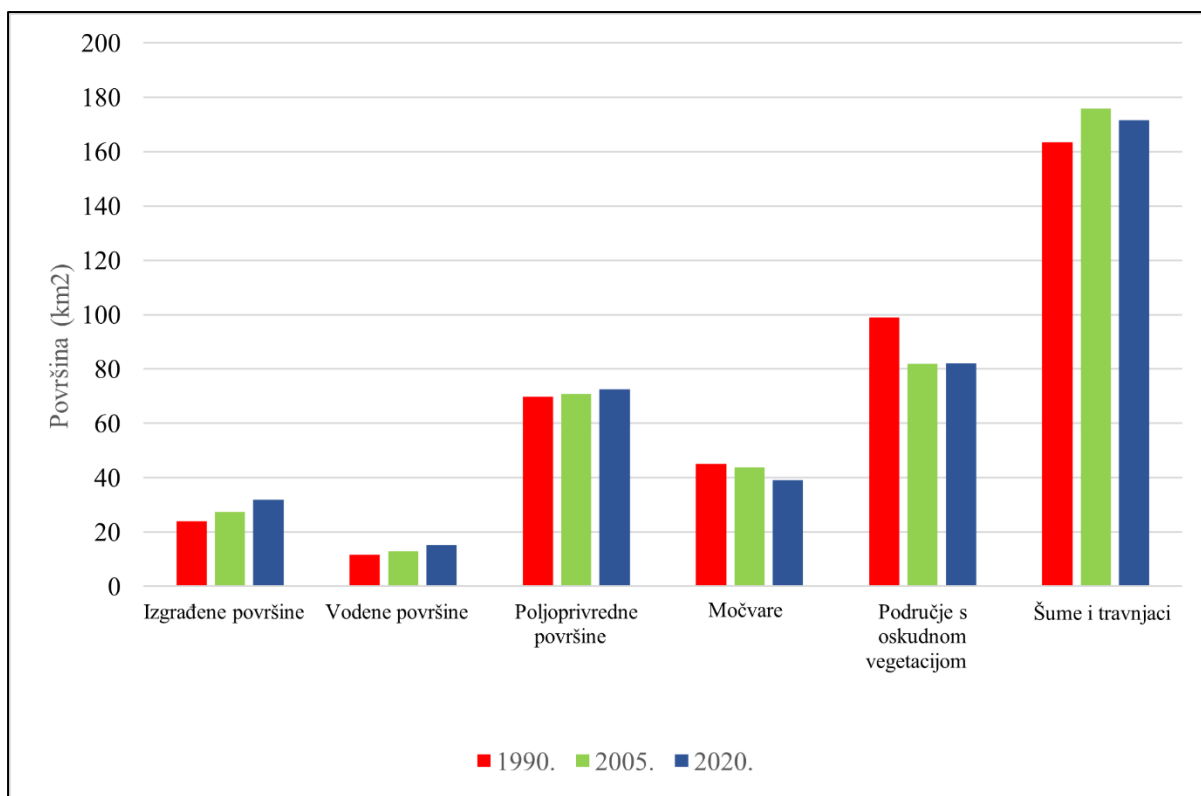
Fotografirao: J. Šetka, 28. 7. 2022.



Sl. 28. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 2008. – 2019. godine (općina Slivno)

Izvor: Google Earth Pro

Kada se u obzir uzme cijelo promatrano razdoblje 1990. – 2020., klasa *šuma i travnjaka* proširena je za 8,25 km² (825 ha), što je ujedno i najveći rast jedne klase na ovom području. *Izgrađene površine* bilježe nešto manji rast, ali s obzirom na ukupnu površinu rast je značajniji i iznosio je 7,84 km² (784 ha). Kategorija *područja s oskudnom vegetacijom* zabilježila je znatno smanjenje površine, čak 16,91 km². Grafički prikaz promjena zemljišnih klasa prikazan je na sl. 29, dok su numeričke vrijednosti navedene u tab. 22.



Sl. 29. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonečevskom kraju 1990. – 2005. – 2020.

Izvor: Prema rezultatima istraživanja

Tab. 22. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta Donjonečvanskog kraja 1990. – 2005. – 2020.

	1990.		2005.		2020.		Δ 1990. – 2005.		Δ 2005. – 2020.	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	p. b	ha	p. b
Izgrađene površine	2.393	5,8	2.740	6,6	3.177	7,7	347	0,8	437	1,1
Močvare	4.497	10,9	4.374	10,6	3.919	9,5	-123	-0,3	-455	-1,1
Vodene površine	1.155	2,8	1.283	3,1	1.527	3,7	98	0,3	244	0,6
Poljoprivredne površine	6.972	16,9	7.093	17,2	7.261	17,6	121	0,3	168	0,4
Područja s oskudnom vegetacijom	9.901	24	8.191	19,9	8.210	19,9	-1.710	-4,1	19	0,0
Šume i travnjaci	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

*Postotni bod

5. REZULTATI REGRESIJSKE ANALIZE PROMJENA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA

U okviru istraživanja provedena je stupnjevita (*stepwise*) regresijska analiza kako bi se detaljno istražili ključni procesi promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Rezultati analize kategorizirani su prema najdominantnijim procesima promjena.

Među njima se ističu sukcesija vegetacije, koja podrazumijeva prijelaz iz *područja s oskudnom vegetacijom* u *šume i travnjake* te degradacija vegetacije, koja se očituje kao transformacija *šuma i travnjaka* u *područja s oskudnom vegetacijom* (Hamzić i Fuerst-Bjeliš, 2021). Ova dva procesa igraju ključnu ulogu u oblikovanju trenutnog stanja zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, te su stoga od posebnog interesa za razumijevanje promjena u okolišu.

Poljoprivredna intenzifikacija razmatrana je kroz proces pretvaranja *močvara* u *poljoprivredne površine*, što odražava povećanje poljoprivrednih aktivnosti i intenzifikaciju korištenja zemljišta.

Izgradnja, koja uključuje transformaciju *šuma i travnjaka* u *izgrađene površine*, analizirana je kako bi se razumio utjecaj urbanizacije i infrastrukturnog razvoja na zemljišni pokrov.

5.1. Sukcesija vegetacije

Nakon izvođenja stupnjevite regresijske analize u inicijalnom modelu, koji je uključivao sve relevantne nezavisne varijable osim navedenih visoko koreliranih, identificirani su najznačajniji prediktori promjena. U okviru ovog modela, ključne varijable koje su se istaknule su **ekspozicija padina (zaravnjeno)**, **udio nadmorske visine od 50 do 200 m** te **udio nagiba padina između 5 i 12°**. Navedene varijable objašnjavaju 66,6 % ukupne varijance promjene, prema prilagođenom R^2 .

Nestandardizirani B-koeficijent za varijablu ekspozicija padina (zaravnjeno) je negativan i iznosi -0,075. Koeficijent sugerira da područja sa zaravnjenom ekspozicijom padina imaju manju vjerojatnost za sukcesiju vegetacije. Drugim riječima, zaravnjene površine manje su pogodne za prirodni proces regeneracije *šuma i travnjaka*. Vrijednost VIF-a iznosi 2,599 što ukazuje na prihvatljivu razinu multikolinearnosti, što znači da ova varijabla nema značajnu linearnu povezanost s ostalim varijablama u modelu.

Za nezavisnu varijablu nadmorske visine od 50 do 200 m, nestandardizirani koeficijent B je iznosio -0,034, što kao i u slučaju ekspozicije padina znači da zbog određenih uvjeta navedena visina nije pogodna za proces sukcesije vegetacije. Vrijednost VIF-a iznosila je

2,278, što ponovno ukazuje na činjenicu da nema problematične razine multikolinearnosti među varijablama.

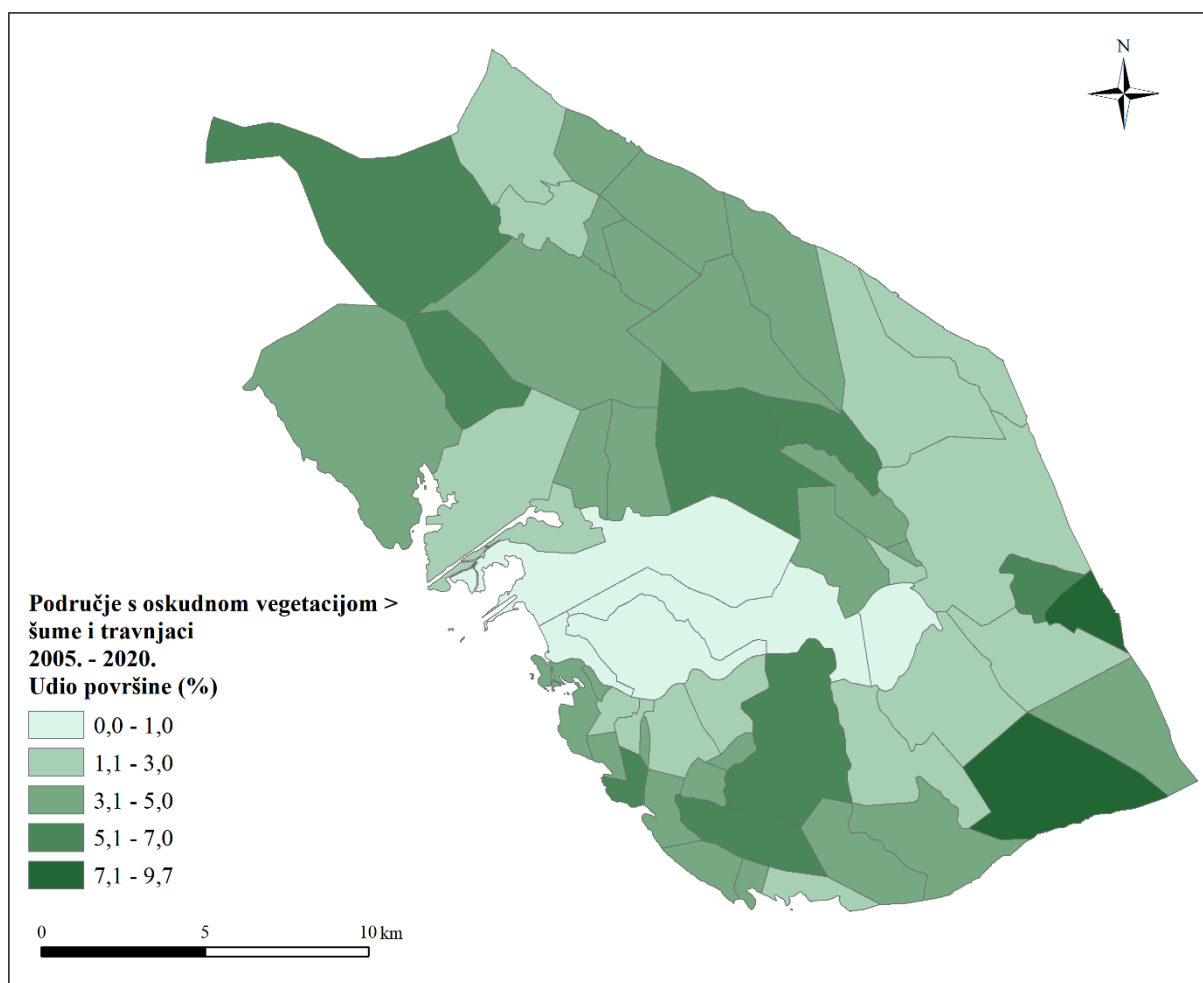
U slučaju posljednjeg značajnog prediktora u ovom modelu, tj. nagiba padina od 5 do 12°, nestandardizirani koeficijent B je pozitivan i iznosi 0,066 i implicira da su područja s ovim nagibom padina sklonija sukcesiji vegetacije. VIF je imao vrijednost od 1,670, što također ukazuje na nisku multikolinearnost. Vrijedi istaknuti da se za proces sukcesije vegetacije nijedna društveno-geografska varijabla kao ni varijabla udaljenosti nije pokazala statistički značajnom. Vrijednosti ovih prediktora sažete su i prikazane u tab. 23.

Tab. 23. Nestandardizirani B-koeficijent i VIF za prediktore promjena područja s oskudnom vegetacijom u šume i travnjake

Prediktor	B-koeficijent	VIF
Ekspozicija padina (zaravnjeno)	-0,075	2,599
Udio nadmorska visine od 50 do 200 m	-0,034	2,278
Udio nagiba padina 5–12°	0,066	1,670

Izvor: Prema rezultatima istraživanja

Sukcesija vegetacije u najvećoj mjeri zahvatila je manja ruralna naselja izvan aluvijalne ravni, koja karakteriziraju negativni demografski trendovi. Među tim naseljima ističu se Desne, Staševica, Podrurnica, Vidonje i Glušci, gdje su procesi sukcesije posebno izraženi. Kartografski prikaz ove promjene vidljiv je na sl. 30, dok su primjeri sukcesije vegetacije zabilježeni putem terenskog istraživanja i satelitskih snimaka, prikazani na sl. 31 i 32.



Sl. 30. Sukcesija vegetacije po naseljima 2005. – 2020. godine

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)



Sl. 31. Sukcesija vegetacije. Naselje Desne (općina Kula Norinska)

Fotografirao: J. Šetka, 2. 8. 2024.



Sl. 32. Sukcesija vegetacije. Naselje Staševica 2002. (gornji prikaz) - 2020. (donji prikaz)

Izvor: Google Earth Pro

5.2. Degradacija vegetacije

Nakon provođenja stupnjevite regresijske analize u modelu gdje je zavisnu varijablu predstavljao prijelaz iz *šuma i travnjaka* u *područja s oskudnom vegetacijom*, kao najznačajniji prediktori identificirani su **ekspozicija padina (zaravnjeno)**, **ekspozicija padina (sjever)**,

udio nadmorske visine preko 400 m te udaljenost od vodenih površina preko 500 m. Prilagođeni R^2 iznosio je 0,479, odnosno navedene varijable objašnjavaju 47,9 % ukupne varijance promjene.

Nestandardizirani B-koeficijent za varijablu ekspozicija padina (zaravnjeno) iznosi -0,082, što ukazuje na negativnu povezanost između zaravnjenih površina i degradacije vegetacije. To znači da su zaravnjene površine manje sklone prijelazu iz šuma i travnjaka u područja s oskudnom vegetacijom. VIF od 1,5 sugerira da nema značajne multikolinearnosti s ostalim varijablama.

Varijabla ekspozicija padina (sjever) također pokazuje negativan B-koeficijent od -0,116, što implicira da sjeverno orijentirane padine imaju manju sklonost prema degradaciji vegetacije. VIF vrijednost od 1,143 dodatno potvrđuje da multikolinearnost nije problematična u ovom slučaju.

Udio nadmorske visine preko 400 m pokazao je pozitivan B-koeficijent od 0,185, što sugerira da su viša područja sklonija degradaciji vegetacije. VIF vrijednost od 1,347 ukazuje na nisku razinu multikolinearnosti među varijablama.

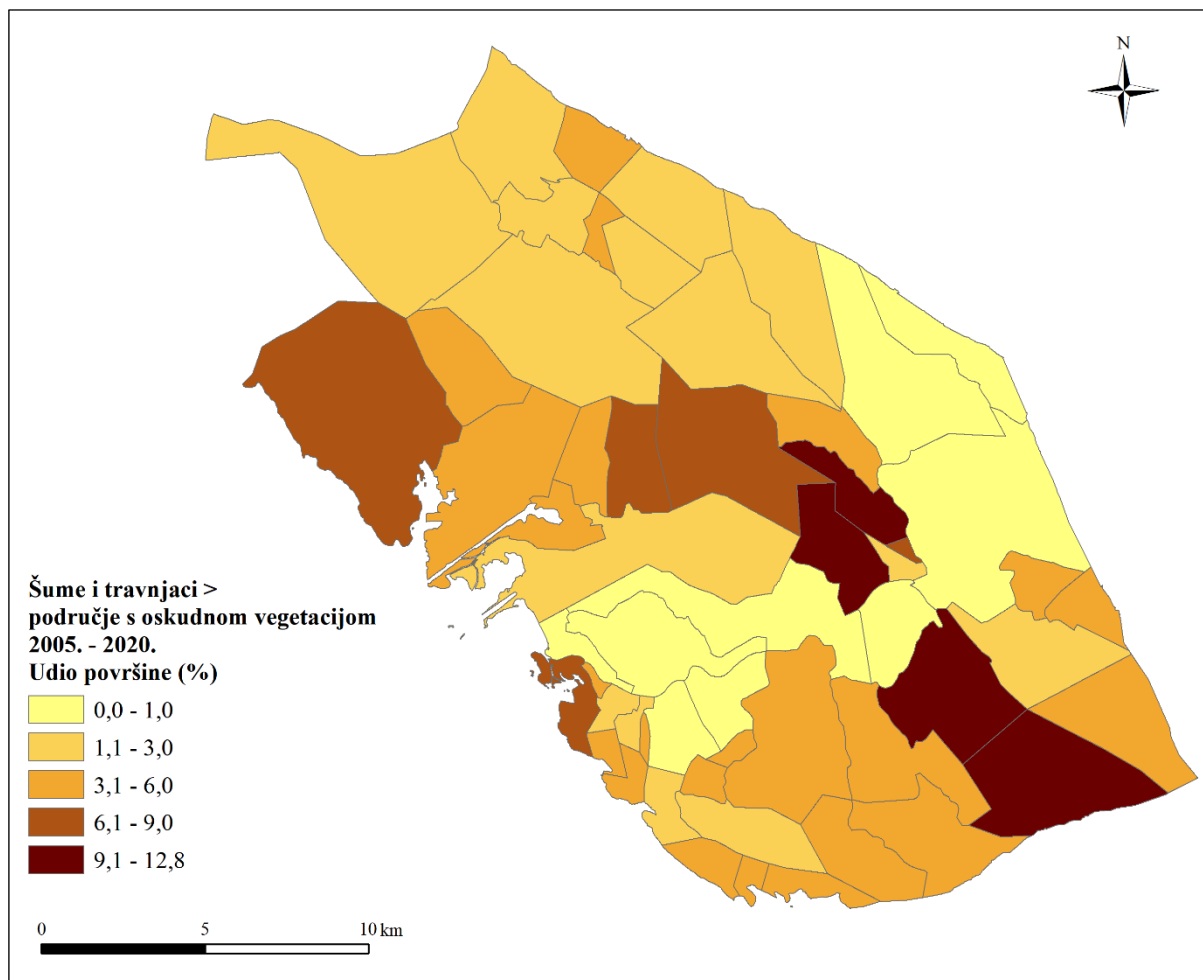
Konačno, udaljenost od vodenih površina preko 500 m ima negativan B-koeficijent od -0,033, što sugerira da su najudaljenija područja od vodenih površina manje sklona degradaciji vegetacije. Iako je VIF vrijednost 1,679 nešto viša, ona i dalje ne upućuje na značajan problem multikolinearnosti. Sažetak vrijednosti ovih prediktora prikazan je u tablici 24.

Tab. 24. Nestandardizirani B-koeficijent i VIF za prediktore promjena šuma i travnjaka u područja s oskudnom vegetacijom

Prediktor	B-koeficijent	VIF
Ekspozicija padina (zaravnjeno)	-0,082	1,5
Ekspozicija padina (sjever)	-0,116	1,143
Udio nadmorske visine preko 400 m	0,185	1,347
Udaljenost od vodenih površina preko 500 m	-0,033	1,679

Izvor: Prema rezultatima istraživanja

Degradacija vegetacije najizraženija je u dijelovima naselja koja obuhvaćaju brdo Rujnicu, kao što su Krvavac, Desne i Banja, te u najvišim dijelovima podgradinsko-slivanjskih brda, uključujući naselja Vidonje i Mlinište. Kartografski prikaz ovih promjena dostupan je na sl. 33, dok je primjer degradacije vegetacije zabilježen na sl. 34.



Sl. 33. Degradacija vegetacije po naseljima 2005. – 2020. godine

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)



Sl. 34. Degradacija vegetacije (općina Kula Norinska)

Fotografirao: J. Šetka, 2. 8. 2024.

5.3. Intenzifikacija poljoprivrede

Nakon provedbe stupnjevite regresijske analize u modelu u kojem je zavisna varijabla bila transformacija močvara u poljoprivredno zemljište, preostale su varijable **ekspozicija padina (zaravnjeno)** i **udaljenost od izgrađenih površina preko 500 m**. Prilagođeni R^2 za ovaj model iznosi 0,321, što znači da navedene varijable objašnjavaju 32,1 % ukupne varijance promjene močvara u poljoprivredno zemljište.

Nestandardizirani B-koeficijent za ekspoziciju padina (zaravnjeno) iznosi 0,048, što sugerira da povećanje udjela zaravnjene ekspozicije padina može doprinijeti većoj vjerojatnosti transformacije močvara u poljoprivredno zemljište. S obzirom na vrijednost VIF-a od 1,136, koja ukazuje na nisku razinu multikolinearnosti, ova varijabla ima stabilan utjecaj u modelu.

Za udaljenost od izgrađenih površina preko 500 m, nestandardizirani B-koeficijent od 0,032 sugerira da veća udaljenost od izgrađenih područja može povećati vjerojatnost intenzifikacije poljoprivredne aktivnosti. Ista vrijednost VIF-a od 1,136 za ovu varijablu

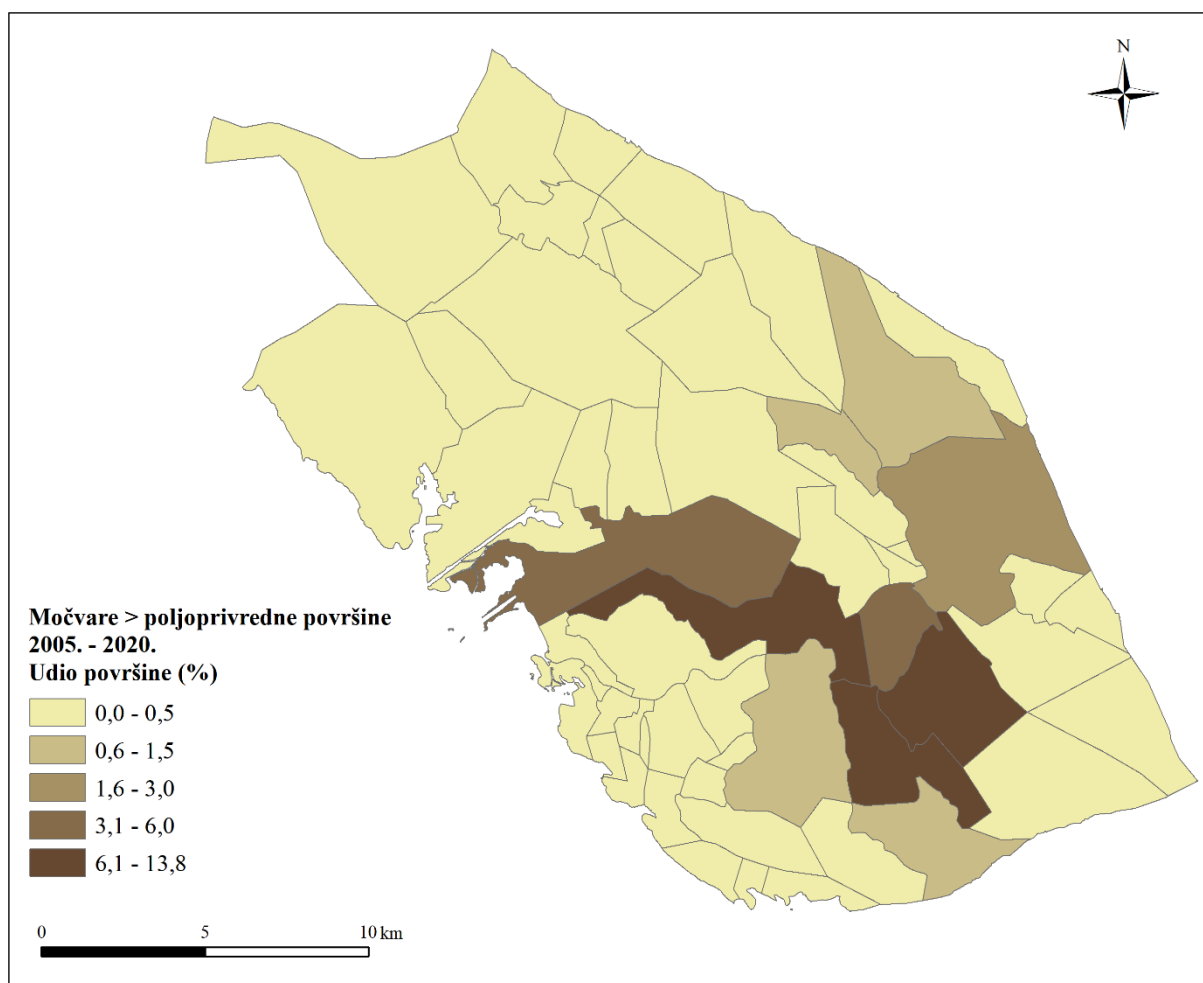
potvrđuje da nema značajne multikolinearnosti i da oba prediktora imaju važnu ulogu u procesu transformacije močvara u poljoprivredno zemljište. Navedene vrijednosti prediktora navedene su i u tab. 25.

Tab. 25. Nestandardizirani B-koeficijent i VIF za prediktore promjena močvara u poljoprivredne površine

Prediktor	B-koeficijent	VIF
Ekspozicija padina (zaravnjeno)	0,048	1,136
Udaljenost od izgrađenih površina preko 500 m	0,032	1,136

Izvor: Prema rezultatima istraživanja

Transformacija močvara u poljoprivredne površine najizraženija je u naseljima unutar aluvijalne ravni rijeke Neretve. Najveći obuhvat ove promjene zabilježen je u naseljima Opuzen, Komin, Mlinište, Mislina, Krvavac II i Metković. Kartografski prikaz tih promjena prikazan je na sl. 35, dok su na sl. 36 prikazane zemljišne parcele nastale melioracijom močvara.



Sl. 35. Intenzifikacija poljoprivrede po naseljima 2005. – 2020. godine

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)



Sl. 36. Zemljišne parcele nastale melioracijom močvare. Utvrda Brštanik, općina Slivno

Fotografirao: J. Šetka, 3. 8. 2024.

5.4. Izgradnja – transformacija šuma i travnjaka u izgrađene površine

Provedbom stupnjevite regresijske analize, s ciljem identifikacije ključnih prediktora transformacije *šuma i travnjaka u izgrađene površine*, dvije varijable su se pokazale statistički značajnima: **ekspozicija padina prema jugoistoku i udio nadmorske visine u rasponu od 50 do 200 metara**. Prilagođeni koeficijent determinacije (R^2) iznosi 0,321, što implicira da ove varijable zajedno objašnjavaju 32,1 % ukupne varijance u procesu preobrazbe prirodnih staništa u izgrađene površine.

Ekspozicija padina prema jugoistoku pokazala je pozitivan utjecaj na transformaciju *šuma i travnjaka u izgrađene površine*, s nestandardiziranim B-koeficijentom od 0,144. Ovo sugerira da područja s jugoistočnom ekspozicijom imaju veću vjerojatnost za izgradnju, što može biti povezano s povoljnijim klimatskim uvjetima, boljom osunčanošću i optimalnijim uvjetima za gradnju i ljudske aktivnosti.

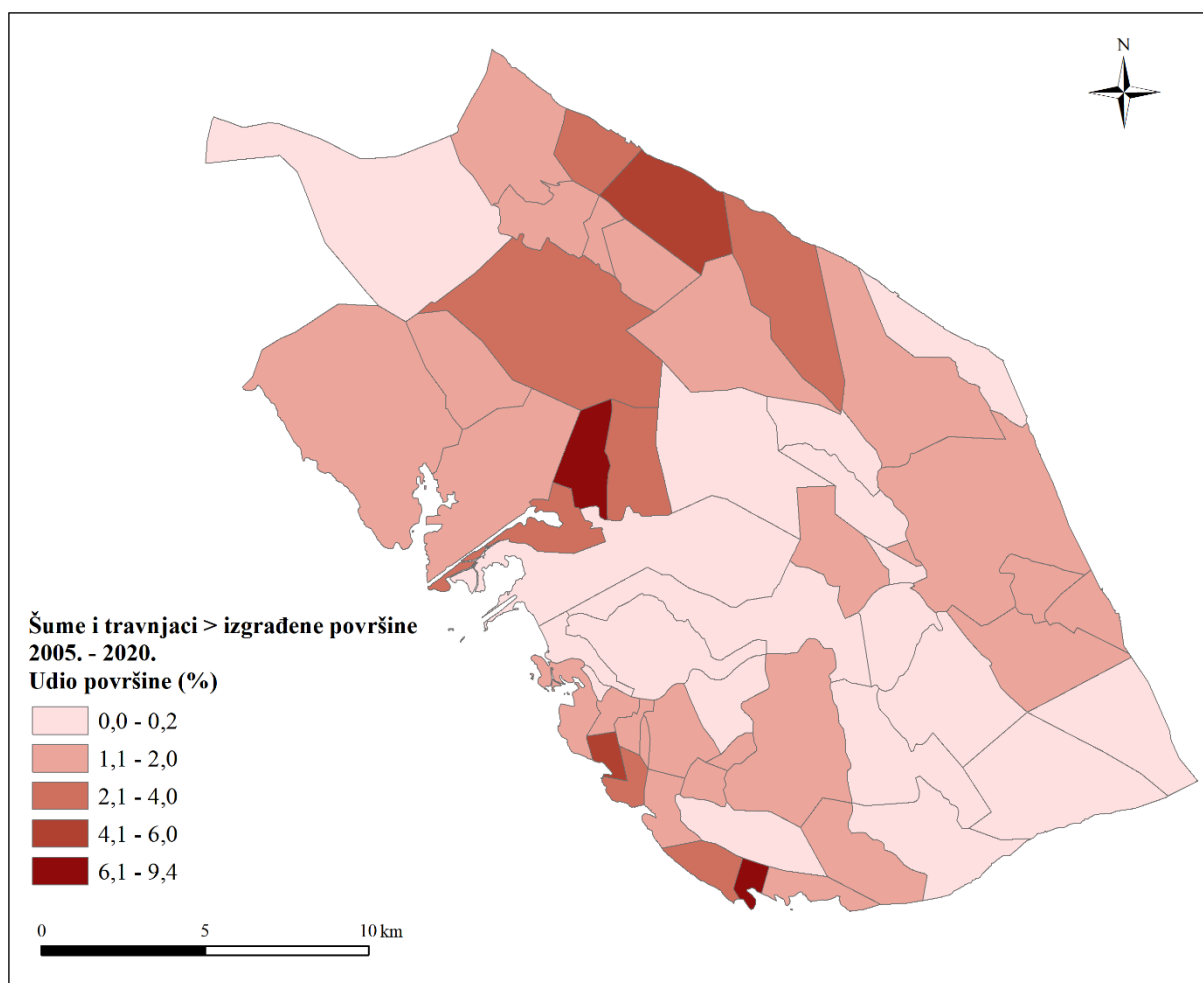
Udio nadmorske visine od 50 do 200 metara također je pokazao pozitivan, ali manje izražen utjecaj, s nestandardiziranim B-koeficijentom od 0,034. Ova nadmorska visina može predstavljati ravničarska ili blago nagnuta područja koja su pogodna za izgradnju zbog lakše dostupnosti, smanjene erozije i povoljnijih infrastrukturnih uvjeta. VIF vrijednosti za obje nezavisne varijable iznose 1,066, što ukazuje na nisku kolinearnost među prediktorima, čime se potvrđuje njihova pouzdanost u objašnjavanju varijacije promjena iz *šuma i travnjaka* u *izgrađene površine*. Vrijednosti prediktora prikazane su u tab. 26.

Tab. 26. Nestandardizirani B-koeficijent i VIF za prediktore promjena šuma i travnjaka u izgrađene površine

Prediktor	B-koeficijent	VIF
Ekspozicija padina (jugoistok)	0,144	1,066
Udio nadmorske visine od 50 do 200 m	0,034	1,066

Izvor: Prema rezultatima istraživanja

Transformacija *šuma i travnjaka* u *izgrađene površine* bila je najizraženija u manjim naseljima kroz koja prolazi autocesta ili brza cesta do Ploča, izgrađena u promatranom razdoblju. U naseljima poput Pozle Gore, Šarić Struge i Novih Sela, izgradnja nove prometne infrastrukture dovela je do značajnog porasta izgrađenih površina. Kartografski prikaz promjena po naseljima prikazan je na sl. 37, dok je segment nove prometne infrastrukture prikazan na sl. 38.



Sl. 37. Izgradnja – transformacija šuma i travnjaka u izgrađene površine po naseljima 2005. – 2020. godine

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)



Sl. 38. Naplatna postaja Čarapine

Fotografirao: J. Šetka, 5. 8. 2024.

5.5. Ostale promjene

U okviru regresijske analize, naglasak je stavljen na promjene koje su imale značajan utjecaj na ukupne prostorne transformacije, dok su promjene s udjelom manjim od 5 % isključene iz statističke obrade. Isključene promjene obuhvaćaju prelazak iz *poljoprivrednih površina* u *močvare*, konverziju *šuma i travnjaka* u *poljoprivredne površine* te transformaciju *područja s oskudnom vegetacijom* u *izgrađene površine*. Odluka o njihovom isključenju temelji se na njihovom relativno malom doprinosu ukupnim promjenama, što omogućava fokusiranje na promjene koje imaju značajniji utjecaj i jasnije obrasce.

Iako ove promjene čine manji postotak ukupnih transformacija, određeni specifični slučajevi imaju značajnu lokalnu važnost. Primjerice, konverzija *šuma i travnjaka* u *poljoprivredne površine* u priobalnom pojasu općine Slivno (sl. 39), koja je rezultirala razvojem vinograda i maslinika, predstavlja značajnu promjenu. Iako u ukupnom kontekstu ne čini veliki udio, ovaj trend ima značajnu turističku i ekonomsku komponentu. Razvoj vinogradarskih i maslinarskih područja u ovom dijelu Hrvatske ne samo da doprinosi lokalnoj

ekonomiji, već i obogaćuje kulturno-povijesni identitet regije te stoga zaslužuje posebnu pažnju u okviru održivog razvoja i planiranja.



Sl. 39. Vinarija Rizman – primjer transformacije šuma i travnjaka u poljoprivredne površine
Fotografirao: R. Ćelić, 12. 8. 2021.

5.6. Eksplanatorna moć regresijskog modela

U provedenoj regresijskoj analizi promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju za razdoblje od 2005. do 2020. godine, fizičkogeografske varijable, tj. ekspozicija padina, nadmorska visina i nagib padina, pokazale su se ključnima. Uz njih, značajan utjecaj imale su i varijable udaljenosti, odnosno udaljenost od vodenih i izgrađenih površina. Društveno-geografske varijable nisu se pokazale statistički značajnima ni u jednom od analiziranih modela.

Eksplanatorna snaga modela varirala je ovisno o tipu promjene. Najslabije objašnjeni proces bila je transformacija šuma i travnjaka u izgrađene površine, pri čemu je model objasnio 30,6 % ukupne varijance. S druge strane, proces sukcesije vegetacije bio je objašnjen sa 66,6 % varijance, što upućuje na vrlo visoku eksplanatornu snagu.

Prilagođeni koeficijenti determinacije (R^2) postignuti u ovom istraživanju ukazuju na značajnu eksplanatornu snagu, usporedivu s rezultatima drugih sličnih studija. Na primjer, Pfaff (1999) postigao je prilagođeni $R^2 = 0,37$ u analizi deforestacije amazonske prašume, dok su Geoghegan i dr. (2001) zabilježili $R^2 = 0,33$ u istraživanju tropske deforestacije na prostoru Yucatana. Cvitanović (2014a) identificirao je eksplanatornu snagu modela od 0,293 za najslabije objašnjeni proces (pretvaranje travnjaka u obrađene površine) te 0,797 za najbolje objašnjenu promjenu (izgradnja na obrađenim površinama). Riley (2018) postigao je R^2 od 0,242 za utjecaj vrsta zemljišnog pokrova na obnovu podzemnih voda i 0,656 za promjenu dubine podzemnih voda kod bunara plićih od 50 stopa. Dodatno, Larkin i dr. (2023) postigli su R^2 od 0,47 za dnevne predikcije, 0,59 za mjesečne i 0,63 za godišnje globalne predikcije NO_2 . Ovi rezultati potvrđuju značajnu prediktivnu sposobnost modela za Donjoneretvanski kraj i upućuju na visoku uspješnost u objašnjavanju promjena u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta.

6. REZULTATI INTERVJUA

U ovom poglavlju predstavljani su rezultati polustrukturiranih intervjua provedenih s deset stanovnika općine Kula Norinska, koji su dali uvid u promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta na tom području. Sugovornici, čija se dob kretala od 31 do 91 godine, podijelili su svoja mišljenja o percepciji promjena zemljišnog pokrova, uzrocima tih promjena, njihovim posljedicama na okoliš, gospodarstvo i svakodnevni život. Također, razmatrali su ulogu lokalne vlasti u odgovoru na te promjene, kao i mogućnosti budućeg razvoja općine i potencijal za prilagodbu na okolišne izazove.

Percepcija promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

Sugovornici su primijetili značajne promjene u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta općine Kula Norinska, naglašavajući kako su određena područja kroz godine doživjeli vidljive transformacije. Ovisno o lokaciji i specifičnim okolnostima, primijećene su različite promjene u zemljišnom pokrovu, uključujući degradaciju i sukcesiju vegetacije te promjene u ljudskim aktivnostima i korištenju zemljišta.

Degradacija vegetacije bila je česta tema među sugovornicima. Mnogi su primijetili da su određena područja pretrpjela značajnu štetu uslijed požara. Jedan od sugovornika, govoreći o požarima, istaknuo je: „*Mi smo imali dva velika požara, stradala je šuma u Podrjuncima, Momićima i Matijevićima, nastavljalo se prema Orečku. Vizualno je to dosta drukčije izgledalo, kao da je došlo do zamjene kultura, šuma je bila gušća.*” (M/31/magistar inženjer /Podrjunica) Promjene u vegetaciji uočene su i u drugim dijelovima općine, što potvrđuje i jedan od sugovornika koji ističe: „*Na Rujnici je bilo više borovine i niskog raslinja.*” (M/72/umirovljenik/Desne). Nasuprot tome, prvi sugovornik primjećuje da je vegetacija u močvarnim područjima brzo obnovljena nakon požara, no naglašava da bi dugoročne posljedice mogle biti ozbiljnije za životinjski svijet: „*Što se tiče močvarnog dijela, nakon paljenja vegetacija je obnovljena već iduće godine pa smatram da je puno veća ugroza za životinjski svijet, za primjer imamo lisku.*”

Proces sukcesije vegetacije jedan je od najuočljivijih trendova u promjenama zemljišnog pokrova u promatranoj općini. Ispitanici su primijetili smanjenje obradivih površina i postupno napuštanje zemljišta, što je omogućilo širenje prirodne vegetacije. Percepcija ispitanika ukazuje na dugotrajan proces smanjenja poljoprivrednih aktivnosti i transformacije zemljišnog pokrova. Prema jednom od ispitanika, pojedina naselja bilježe kontinuirano propadanje: „*Nova Sela su iz dana u dan propadala, od 90-ih godina do danas.*” Također, ističe da je poljoprivreda nekoć imala znatno važniju ulogu: „*Do rata je dosta zemlje*

bilo obrađeno, čuvao se svaki komad zemlje, a danas je sve zapušteno.” (M/91/umirovljenik/Nova Sela)

Depopulacija se, prema navodima sugovornika, izravno odražava na smanjenje poljoprivrednih aktivnosti. Tako jedna ispitanica povezuje iseljavanje stanovništva s napuštanjem obradivih površina: *„Svit je stariji izumra, ljudi su otišli na Jerkovac, Zagreb, Split, Australiju... Ne radi se više poljoprivrede ko prije, Runjičani malo više rade nego mi. Pojedine parcele ostale su neobrađene i sad su ledina.”* (Ž/87/umirovljenica/Desne) Dok se smanjenje poljoprivrednih aktivnosti nastavlja, alternativne funkcije zemljišta, poput razvoja ruralnog turizma, postaju sve izraženije. Kao što jedan sugovornik navodi: *„U Desnama se u međuvremenu izgradilo par kuća za odmor, tako da je taj vid seoskog turizma preuzeo ulogu maslinarstva u selu.”* (M/70/umirovljenik i vlasnik OPG-a/Desne) Ove promjene ukazuju na to da usporedno s procesom sukcesije vegetacije dolazi do prilagodbe zemljišta novim socioekonomskim prilikama, gdje ruralni turizam postaje značajan faktor u prostornom razvoju i korištenju zemljišta.

Nasuprot procesu degradacije zemljišta i sukcesije vegetacije, jedna od sugovornica ukazuje i na revitalizaciju poljoprivrednih aktivnosti: *„Brojna poljoprivredna područja, koja su dugo vremena bila u mirovanju nakon gašenja poduzeća PIK Neretva, ponovno su vraćena ljudima u svrhu poljoprivrednog.”* (Ž/31/psiholog/Krvavac) Ovaj pomak prema ponovnoj aktivaciji poljoprivrednih površina može pridonijeti stabilizaciji zemljišnog pokrova i smanjenju negativnih učinaka sukcesije.

Uzroci promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

Sugovornici su istaknuli nekoliko glavnih uzroka promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, pri čemu su požari, napuštanje poljoprivrede i klimatski faktori identificirani kao ključni čimbenici.

Požari su prepoznati kao jedan od glavnih uzroka degradacije zemljišta, osobito na području brda Rujnica. Naglašavaju ljudski faktor kao glavni uzrok požara: *„Požari su važan uzrok koji direktno najnegativnije utječe na područje brda i močvaru, međutim, ono što je ključno, nisu nastali sami od sebe, odnosno nastali su ljudskim faktorom.”* (M/31/magistar inženjer/Podravnica) Više sugovornika istaknulo je neodgovorno ponašanje kao glavni uzrok požara: *„Požari su najviše krivi. Ili su to dica ili ljudi koji nemaju ništa u glavi. Triba baš bit bez pameti da bi napravija tako nešto.”* (Ž/82/umirovljenica/Kula Norinska) *„Za požare su krivi nemarni ljudi, brdo je zapušteno.”* (M/70/umirovljenik i vlasnik OPG-a/Desne)

Napuštanje poljoprivrednih aktivnosti rezultat je demografskih i ekonomskih čimbenika, uključujući starenje stanovništva, iseljavanje mlađih generacija i nepovoljne uvjete

za obradu zemljišta: „*Mladi odlaze, stari nemoćni, nije imao tko obrađivati zemlju. U sušnom dijelu godine nije bilo vode. Svi ljudi koji su imali uvjete za odlazak su otišli.*” (M/91/umirovljenik/Nova Sela) Uz navedeno, dodatni izazovi uključuju ograničenja mehanizacije, nepovoljan teren i malu isplativost poljoprivrede na fragmentiranim parcelama: „*Strojevi ne mogu uč, mlađarija neće da kopa na ruke, a stariji ne mogu. Sve su to sitne površine pa nije isplativo, dosta je toga u kamenu. Prije su ljudi jedni drugima pomagali, pa se isplatilo radit.*” (M/63/radnik u prehrambenoj industriji/Borovci)

U pojedinim područjima, upravljačke odluke također su utjecale na promjene u načinu korištenja zemljišta: „*Proglašenje značajnog krajobraza Modro oko i jezero Desne je razlog zašto se poljoprivreda manje radi.*” (M/70/umirovljenik i vlasnik OPG-a/Desne)

Osim ljudskih aktivnosti, sugovornici primjećuju da i klimatske promjene dodatno otežavaju obnovu vegetacije i održivost poljoprivrede. Dugotrajne suše i visoke temperature smanjuju plodnost tla i usporavaju prirodnu regeneraciju biljnog pokrova: „*Suše su sve gore, ništa ne može rasti bez vode, a ni tlo se ne može oporaviti nakon požara kako bi trebalo.*” (M/45/Krvavac/predstavnik lokalne vlasti)

Posljedice na okoliš, gospodarstvo i svakodnevni život

Promjene u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta imaju široke posljedice na okoliš, gospodarstvo i svakodnevni život lokalnog stanovništva. Sugovornici su ukazali na niz problema, od ekoloških posljedica do utjecaja na kvalitetu života.

Degradacija prirodnih staništa, onečišćenje i utjecaj ljudskih aktivnosti na ekosustave posebno su naglašeni u izjavama sugovornika. „*Posljedice na okoliš će se tek s vremenom značajnije vidjeti. Sjećam se poplave kad je u jednom dijelu mjesta voda ulazila u kuće doslovno kroz prozor. Materijalna šteta je bila velika. Razmišljam i o fekalnim vodama koje izbijaju u tim poplavama. Živim uz Neretvu tako da o plastici uz obalu bolje da ne pričam. Pokojni otac je lovio ribu iz Neretve. Nisam siguran u njenu kvalitetu. Često sam u prirodi na području Desne/Vrdesne. Sad već znam za 5,6 divljih deponija na tom području.*” (M/48/Krvavac/radnik u udruzi)

Osim zagađenja, značajne posljedice uočene su i na fauni, posebno u močvarnim područjima: „*Što se tiče blata, paljenja utječu na ptice močvarice. Požari se dogode baš u vrime kad ptice legu jaja.*” (M/72/umirovljenik/Desne) Požari u močvarnom području uzrokuju značajnu štetu, posebice vlasnicima zemljišta: „*Požari u močvari su mnogim ljudima koji imaju zemlju ispod donjeg puta napravili veliku štetu.*” (Ž/87/umirovljenica/Desne)

Dodatno, gubitak vegetacije i erozija tla povezani su s izgradnjom vatrogasnih puteva: „*Imamo veliki problem koji traje zadnjih 30 godina, a zadnjih 10 se intenzivirao probijanjem*

vatrogasnog puta. Sva voda s brda se cijedi u 1,2 ili 3 točke. To doslovno budu slapovi koji ljudima uništavaju kuće. Ta voda se zadržava na poljoprivrednom zemljištu, uništava usjeve, a ljudi često ne mogu pristupiti ni parkinzima do svojih auta.” (M/31/magistar inženjer/ Podravnica)

Promjene u zemljišnom pokrovu i okolišu imaju i ekonomske posljedice, osobito za turizam i poljoprivredu. *„Puno veći problem je gorenje močvare, vizualno narušava našu okolinu. Imamo ljude koji se bave turizmom, koji ne mogu ponuditi uslugu da vide netaknutu prirodu, ako je ona spaljena, da vide tu pticu, ako je ona odletila dalje.” (M/31/magistar inženjer/ Podravnica)* Unatoč negativnim trendovima, postoje planovi za određene infrastrukturne projekte: *„Jedina svijetla točka je navodna izgradnja planinarskog hotela/doma na mjestu bivše škole.” (M/70/umirovljenik i vlasnik OPG-a/Desne)*

Ispitanici su primijetili da infrastrukturni projekti nisu značajnije poboljšali svakodnevni život u naseljima: *„Izgradnja autoceste nije imala utjecaj na svakodnevni život, svelo se sve na 'odi mi, dođi mi'.” (M/91/umirovljenik/Nova Sela)* *„Kako će doprinijeti kad naroda nema?! Voda je definitivno plus, ali infrastruktura ne daje mogućnost da mladi dolaze tu. Sami autoput je doprinija tome da smo bliže većim gradovima.” (M/63/radnik u prehrambenoj industriji/Borovci)* Dodatno, nedostatak aktivnosti i ulaganja doprinosi općem osjećaju zapuštenosti: *„Nema tu nikakvih akcija niti interesa, pustoš koja propada iz dana u dan.” (M/91/umirovljenik/Nova Sela)*

Uloga lokalne vlasti u budućem razvoju općine i prilagodba na okolišne izazove

Sugovornici su istaknuli niz prijedloga i mjera koje bi lokalna vlast mogla poduzeti kako bi unaprijedila život u općini Kula Norinska, smanjila negativne posljedice okolišnih promjena te omogućila bolju prilagodbu stanovništva. Među najvažnijim temama istaknute su zaštita od požara i poplava, poboljšanje infrastrukture te osnaživanje ekonomske i društvene održivosti naselja.

Među prioritetnim mjerama navodi se postavljanje termo kamera za pravovremenu detekciju požara te pošumljavanje opožarenih područja radi smanjenja rizika od poplava. *„U svrhu sprječavanja velikih požara, lokalna vlast mogla bi poraditi na postavljanju termo kamera [...] Također, u svrhu preveniranja mogućih poplava, moglo bi se poraditi na pošumljavanju prostora uništenih požarima.” (Ž/31/psiholog/Krvavac).* Nadalje, predlaže se osnivanje posebne službe koja bi preuzela nadzor nad okolišnim incidentima i rasteretila lokalnu upravu: *„Lokalna vlast bi sa sebe trebala skinuti odgovornost osnivanjem posebne službe, čime bi se riješila većina problema ove vrste. Radili bi nadzor nad nabrojanim nezakonitim aktivnostima poput požara.” (M/31/magistar inženjer/ Podravnica).*

U kontekstu prometne infrastrukture, ističe se potreba za obnovom zapuštenih vatrogasnih puteva. Kako navodi jedan sugovornik: „*Imamo tzv. Ruski put koji vodi do vrha Rujnice, nažalost je zarastao i prepušten sam sebi.*” Također, s obzirom na planiranu izgradnju autoceste, predlaže se razmatranje tunelske varijante umjesto trase oko Rujnice, čime bi se smanjio negativan utjecaj na okoliš: „*Što se tiče izgradnje autoceste, skloniji sam opciji pravljenja tunela, negoli da se Rujnica pretvori u obilaznicu autoputa.*” (M/31/magistar inženjer/Podrujnica)

Također, naglašava se potreba za obnovom prilaznih puteva i unaprjeđenjem infrastrukture, uključujući stabilnost elektroenergetske mreže: „*Trebalo bi obnoviti prilazne puteve koji su zapušteni. Stupovi struje nisu kvalitetni, malo vjetra zapuše, struje nema.*” (M/91/umirovljenik/Nova Sela).

Osim ekoloških i infrastrukturnih pitanja, sugovornici zagovaraju jačanje društvenih sadržaja i poboljšanje kvalitete života u lokalnoj zajednici. Predložena je izgradnja kulturnog centra i manje trgovine, čime bi se osigurala bolja dostupnost osnovnih potrepština i stvorio prostor za društvena okupljanja: „*Trebao bi se otvoriti mali kulturni centar gdje bi se ljudi okupljali i otvoriti jednu manju trgovinu s namirnicama.*” (M/91/umirovljenik/Nova Sela).

Posebno se ističe i važnost skrbi za starije osobe kroz osnivanje staračkog doma, čime bi se omogućila adekvatna briga za stariju populaciju, uz korištenje već dostupne infrastrukture: „*Govora je bilo za starački dom. Bilo bi dobro radi starijih ljudi, ima struje, ima vode, sve je tamo provedeno.*” (Ž/87/umirovljenica/Desne)

Uz to, sugovornici upozoravaju na smanjenje sudjelovanja stanovništva u donošenju odluka te ističu da na području cijele općine više ne postoje mjesni odbori, što dodatno otežava organizaciju i provođenje lokalnih inicijativa: „*Lokalna vlast je mogla subjektivno napraviti puno više, ni jedno mjesto više nema mjesni odbor.*” (M/70/umirovljenik i vlasnik OPG-a/Desne)

Konačno, u kontekstu razvoja turizma, ukazuje se na potencijal ograničenog i održivog turističkog širenja, posebno u vidu smještajnih kapaciteta: „*Ima jedno sedam, osam kuća s bazenima, bilo bi dobro da ih bude još toliko, ali ne više od tog.*” (M/70/umirovljenik i vlasnik OPG-a/Desne)

7. SIMULACIJSKI MODELI PROMJENA ZEMLJIŠNOG POKROVA I NAČINA KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA

7.1. Varijable promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

Za potrebe izrade simulacijskih modela promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju, korištene su varijable koje su se pokazale statistički značajnima u prethodno provedenoj regresijskoj analizi. Kao ulazne varijable u modelima korišteni su rasteri nadmorske visine, nagiba padina, ekspozicije padina te udaljenosti od vodenih i izgrađenih površina. Ove fizičkogeografske varijable i varijable udaljenosti pružaju ključne podatke potrebne za simulaciju promjena u prostoru, kako u testnom modelu za 2020. godinu, tako i u konačnom modelu za 2035. godinu.

S obzirom na to da društveno-geografske varijable, uključujući broj stanovnika, gustoću naseljenosti, udio starog stanovništva i indeks starenja, nisu pokazale značajan utjecaj na promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta, one su izostavljene iz oba simulacijska modela. Unatoč njihovoj potencijalnoj važnosti u demografskim analizama, rezultati su pokazali da ove varijable nisu imale presudan utjecaj na procese prostorne transformacije u Donjoneretvanskom kraju. Zbog toga su izostavljene iz testnog i konačnog simulacijskog modela, čime je fokus ostao na fizičkogeografskim varijablama i varijablama udaljenosti koje su se pokazale ključnima za modeliranje promjena u prostoru.

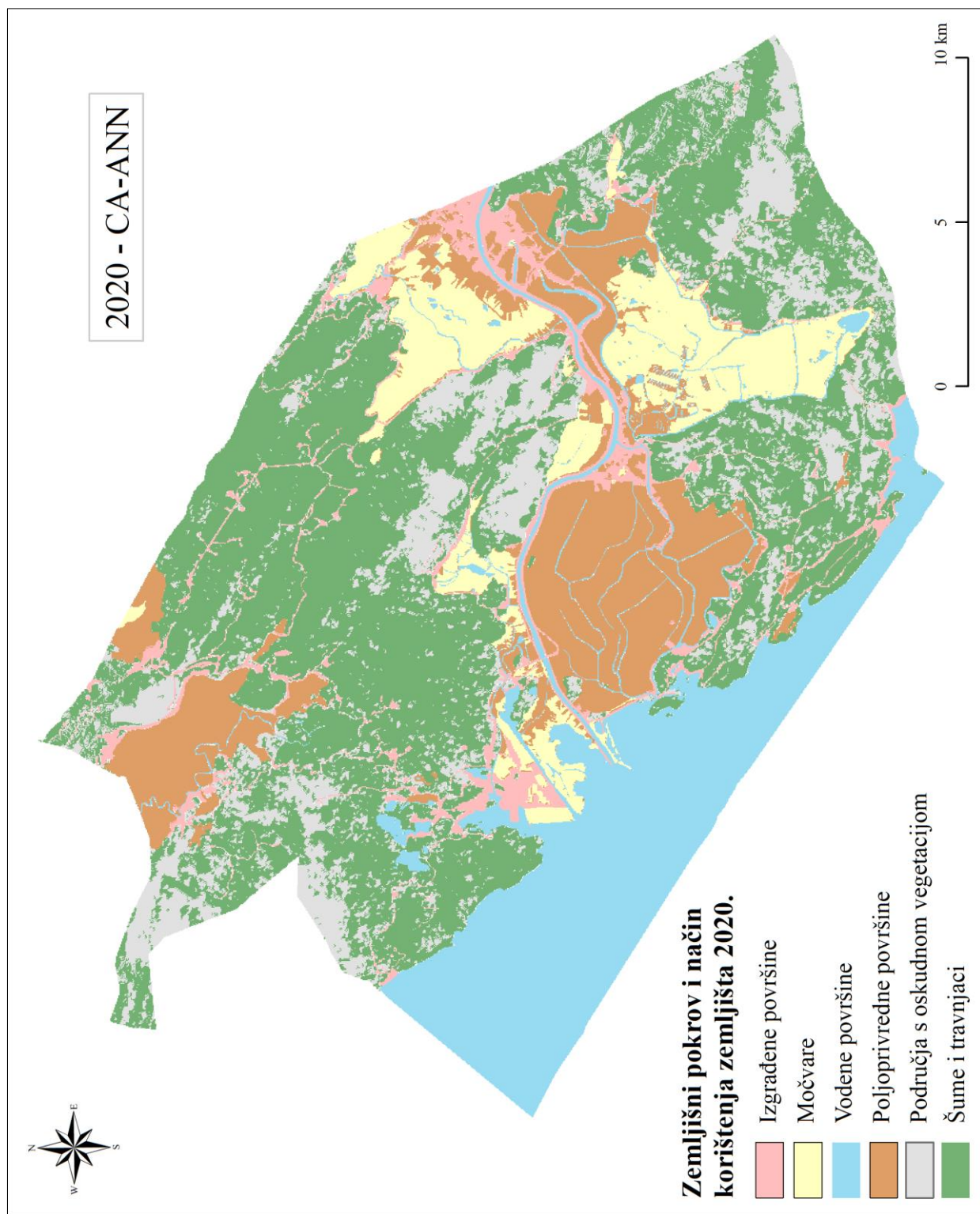
7.2. Testni simulacijski model promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (1990. – 2005. – 2020.)

Na temelju rezultata analize zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta za 1990. i 2005. godinu i prostornih varijabla projiciran je testni simulacijski model promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta za 2020. godinu (sl. 40). Usporedbom simuliranoga i referentnoga modela dobiven je rezultat validacije, izražen u obliku kapa-statistike (tab. 27). Ukupna točnost CA-ANN modela za 2020. godinu bila je 85 %, dok je kapa-koeficijent iznosio 0,81. U kvantitativnom smislu najveća preciznost izmjerena je na klasi poljoprivrednih površina gdje je razlika bila 78 ha. Lokacijski gledano, algoritam nije precizno predvidio širenje klase, što je najizraženije 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.

Tab. 27. Referentni i simulirani zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjonektvanskom kraju u 2020.

	2020.		CA-ANN 2020.		Točnost	Kappa vrijednost
	ha	%	ha	%	85 %	0,81
Izgrađene površine	3.177	7,7	2.846	6,9		
Močvare	3.919	9,5	4.173	10,1		
Vodene površine	1.527	3,7	1.280	3,1		
Poljoprivredne površine	7.261	17,6	7.183	17,4		
Područja s oskudnom vegetacijom	8.210	19,9	7.342	17,8		
Šume i travnjaci	17.162	41,6	18.432	44,7		

Izvor: Obrada podataka sa stranice EarthExplorer

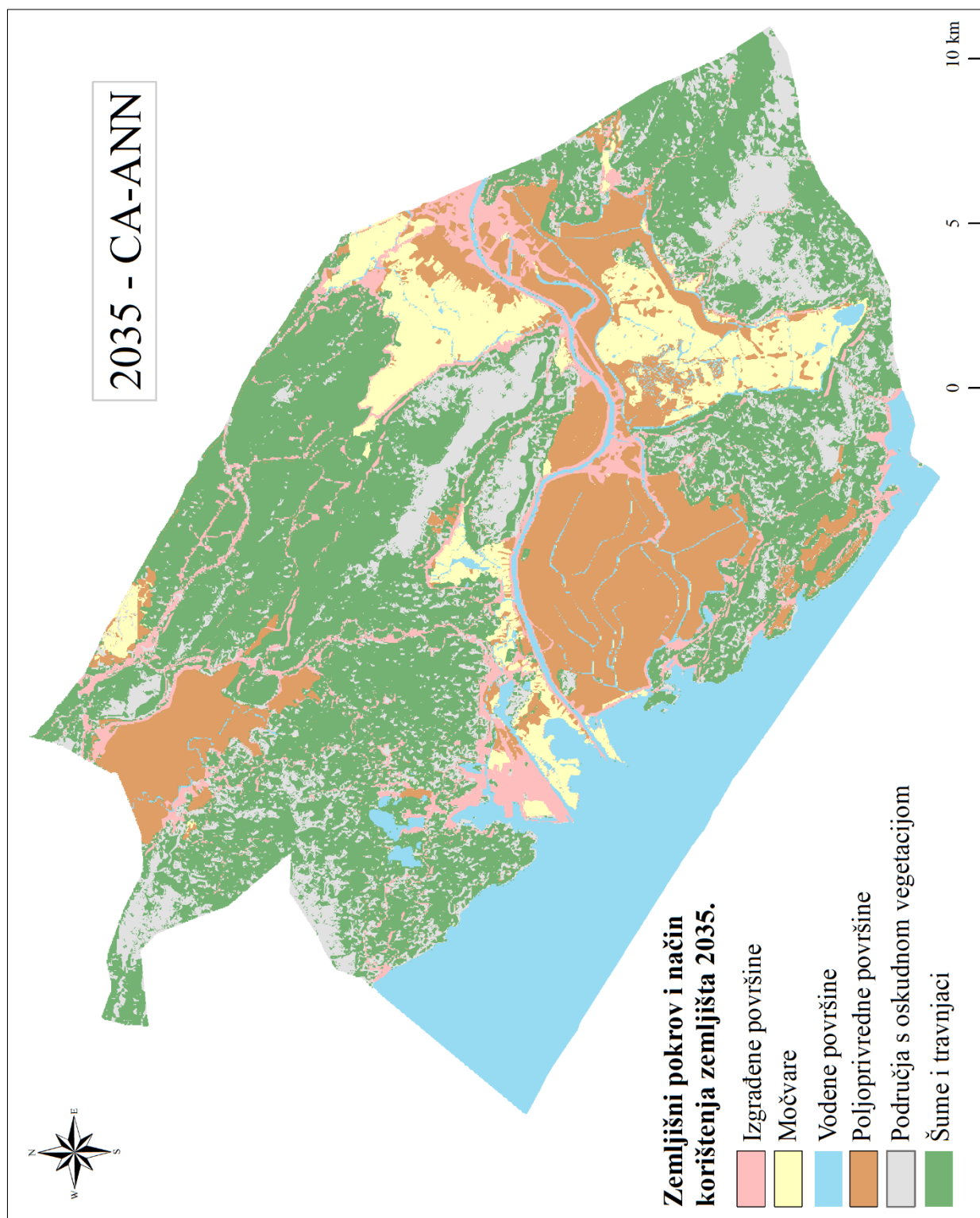


Sl. 40. CA-ANN simulacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonevanskom kraju za 2020.

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)

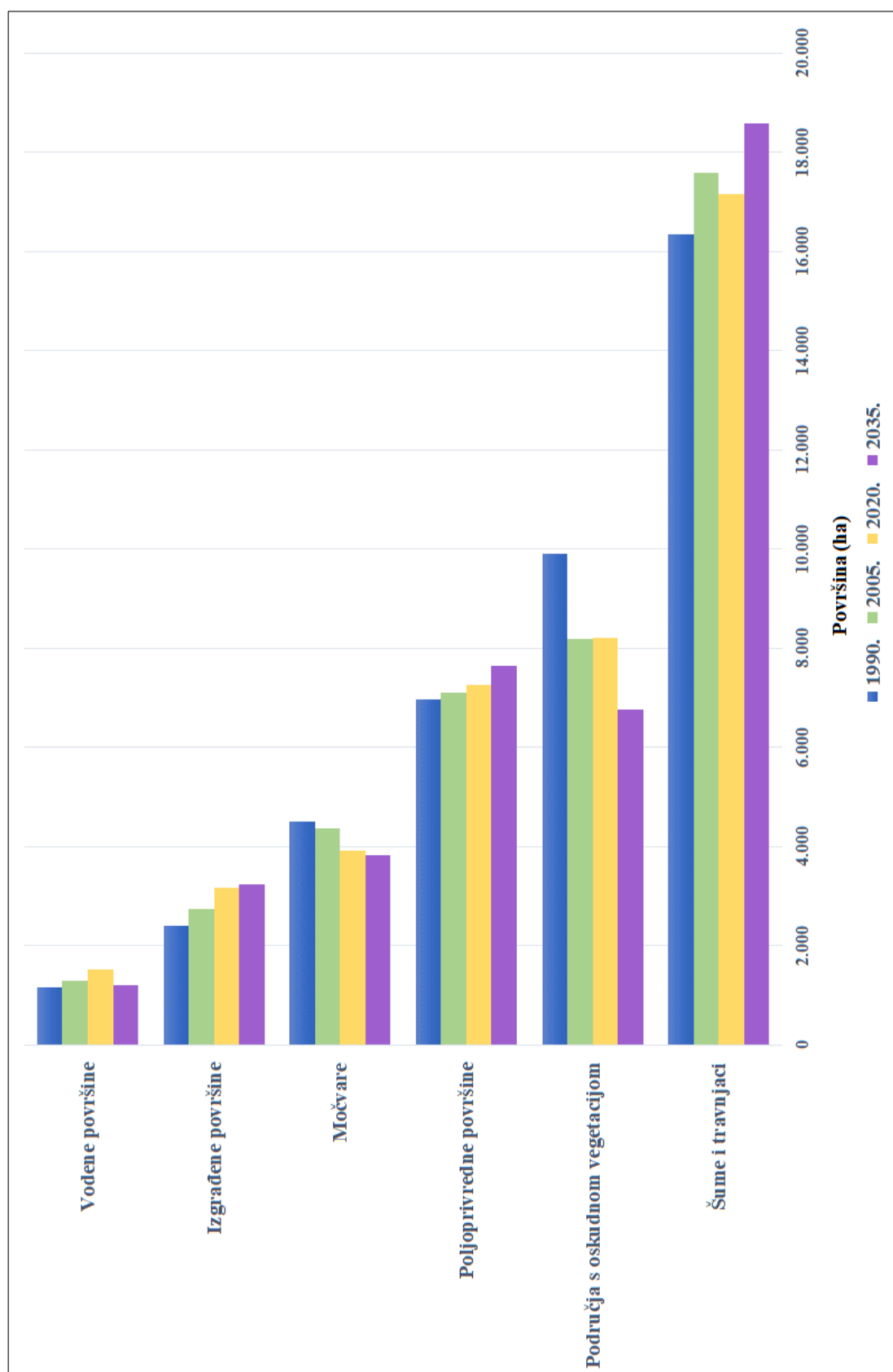
7.3. Konačni simulacijski model promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (2005. – 2020. – 2035.)

Konačni simulacijski model promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta (sl. 41) izrađen je na temelju rezultata za 2005. i 2020. godinu te prije navedenih prostornih varijabli: nadmorske visine, nagiba padina, ekspozicije padina, udaljenosti od izgrađenih površina i udaljenosti od vodenih površina. Prema CA-ANN modelu, *šume i travnjaci* bi do 2035. godine trebali zauzimati preko 18 tisuća hektara, tj. 45 % udjela promatranoga područja. Predviđeno je značajnije smanjenje *područja s oskudnom vegetacijom* (-17,6 %), tj. prostirala bi se na 6.764 ha. *Močvare* bi se prema projekciji smanjile za 2,3 %, odnosno zauzimale bi površinu od 3.829 ha. U nepunih pola stoljeća udio močvara bi se mogao smanjiti za gotovo 15 %, što predstavlja potencijalnu opasnost za floru i faunu Donjoneštvanskog kraja. Prema projekciji, *poljoprivredne površine* bi trebale doživjeti povećanje za 387 ha (5,3 %), dok bi se *izgrađene površine* mogle proširiti za 2,2 % (3.246 ha). Na sl. 42 grafički su prikazane promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneštvanskom kraju tijekom razdoblja 1990., 2005., 2020. te projekcije za 2035. godinu.



Sl. 41. CA-ANN simulacija zemljišnog pokrova i načina korišćenja zemljišta u Donjonevranjskom kraju za 2035.

Izvor: Prema rezultatima istraživanja; GIS Data (2005)



Sl. 42. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 1990.–2005.–2020.–2035.

Izvor: Prema rezultatima istraživanja

8. RASPRAVA

8.1. Evaluacija rezultata i metodologije istraživanja

Rezultati istraživanja pokazali su da su širenje izgrađenih površina i porast udjela šuma i travnjaka, tj. prirodne vegetacije najdominantniji procesi u Donjoneretvanskom kraju 1990. – 2020. Slični su trendovi zabilježeni u radovima o sjevernoj Hrvatskoj (Horvat, 2013; Cvitanović, 2014a; 2014b; Cvitanović i dr., 2016; Jogun i dr., 2017) te istočnoj Hrvatskoj (Jogun, 2016).

Zanimljivo je navesti da svi spomenuti radovi, ali i ostali noviji radovi s područja Hrvatske koji u obzir uzimaju zemljišni pokrov (Blaće, 2014; Durbešić i Fuerst-Bjeliš, 2016; Jovanić, 2017) bilježe smanjenje udjela poljoprivrednih površina. Donjoneretvanski kraj, nasuprot tomu, bilježi povećanje udjela poljoprivrednih površina, ponajviše vezanih uz uži pojas delte. Na rubnim područjima, udaljenijima od gradskih područja, ali i rijeke Neretve, došlo je do transformacije poljoprivrednoga zemljišta u močvarno.

Većina analiziranih radova s područja Europe, koji su proučavali promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u područjima u kojima je početkom 1990-ih došlo do promjene političkoga i ekonomskoga sustava bilježi slične obrasce promjena. Kao i u spomenutim radovima hrvatskih autora radi se poglavito o napuštanju poljoprivrednih površina i rastu udjela prirodne vegetacije. Primjeri su zabilježeni u Češkoj (Václavík i Rogan, 2009; Kupková i Bičík, 2016), Poljskoj (Łowicki, 2008; Cegielska i dr., 2018) te karpatskoj regiji, koja se prostire kroz sedam zemalja: Austriju, Češku, Slovačku, Poljsku, Mađarsku, Ukrajinu i Rumunjsku (Griffiths i dr., 2013).

Nasuprot ekstenzifikaciji poljoprivrede u većem dijelu Hrvatske, ali i Europe, Donjoneretvanski kraj, zahvaljujući specifičnim obilježjima terena, bilježi stalan porast udjela obradivih površina u aluvijalnoj ravni i uskom priobalnom pojasu. Suvremeni 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).

Slični obrasci intenzifikacije poljoprivrede, kao oni zabilježeni u Donjoneretvanskom kraju, uočeni su i u drugim dijelovima svijeta, ponajprije u zemljama u razvoju. Tako su u

Africi zabilježeni slučajevi intenzifikacije poljoprivrede u Libiji (Alawamy i dr., 2020), Etiopiji (Dibaba i dr., 2020; Tadese i dr., 2021), Egiptu (Radwan, 2019). Paralelno s ekspanzijom poljoprivrede došlo je i do rasta izgrađenih površina. To se najviše očituje u širenju gradskih naselja, izgradnji autoceste i gradnji u uskom obalnom pojasu, povezano s jačanjem turizma (usp. Šulc, 2016). Slično je zabilježeno i na sredozemnoj obali Turske, u širem području grada Didima (Esbah i dr., 2010) te u Grčkoj (Krina i dr., 2020), gdje je uz poljoprivrednu intenzifikaciju i širenje izgrađenih površina došlo i do smanjenja močvarnih staništa.

Uzevši u obzir činjenicu da su se poljoprivredne površine dominantno širile u dijelu aluvijalne ravni, odnosno područja delte, to se može promatrati iz konteksta strategije lakše pristupačnosti poljoprivrednim površinama. Obradivo zemljište koje je na višim uzvisinama, strmim padinama te daleko od urbanih središta i važnih prometnica sve se više napušta. U brojnim zapadnim zemljama došlo je do promjena u poljoprivrednoj proizvodnji, kao i do korištenja poljoprivrednoga zemljišta u svrhu rekreativnih i turističkih aktivnosti (Hall i dr., 2003; Cvitanović i dr., 2017). Na ovom planu bi svakako bilo dobro dodatno djelovati u Donjonegetivskom kraju kako bi se uz uobičajene aktivnosti u poljoprivredi iskoristili i svi potencijali vezani uz ruralni turizam.

S druge strane, noviji radovi koji proučavaju kvantitativne simulacijske modele promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta uglavnom su orijentirani na dinamična područja Azije i Afrike. Nezahvalno je uspoređivati točnost klasifikacija u različitim radovima jer se razlikuju po više parametara, primjerice korištenoj metodi klasifikacije pokrova (nadzirana, nenadzirana, objektna), namjeni (struktura zemljišnog 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 zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u ovom istraživanju imaju šest klasa što ih svrstava u kategoriju složenijih modela (Pontius i dr., 2004; Verburg i dr., 2004; Pontius i dr., 2008; Jogun, 2016; Jogun i dr., 2019).

Kao algoritam za predviđanje promjena zemljišnog 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 zemljišnog 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 zemljišnog 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).

Iako u radu nisu analizirani sami uzroci promjena zemljišnog 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 Donjoneretvanskoga 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, fizičkogeografske varijable korištene u ovom istraživanju povoljno utječu na povećanje poljoprivrednoga zemljišta u uskom priobalnom pojasu općine Slivno. Zahvaljujući turizmu stvorio se prostor i za jačanje suplementarnih gospodarskih djelatnosti (Brščić i dr., 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 najčešće je povezan s područjima veće gustoće naseljenosti te manjom udaljenošću od postojećih izgrađenih zona, osobito u gradovima i uskom priobalnom pojasu (Marušić, 2017).

Sustavi zemljišnog pokrova i načini korištenja zemljišta vrlo su složeni i nepredvidivi, a simulacijski modeli, iako sve sofisticiraniji, još uvijek se suočavaju s brojnim metodološkim i praktičnim izazovima (Wang i dr., 2012). Ulazni podatci za simulacijski model su kartografski prikazi koji variraju kvalitetom i preciznošću i samim time utječu na točnost simulacije. Važnu ulogu igraju i prostorne varijable koje su podložne promjenama u vremenu. Točnost simulacije zemljišnog 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 zemljišnog 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 zemljišnog 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).

8.2. Implikacije promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta

Na temelju rezultata konačnog simulacijskog modela promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta za 2035. godinu, kao i podataka dobivenih kroz intervju, Donjoneretvanski kraj suočava se s nekoliko ključnih promjena koje će potencijalno oblikovati njegov budući ekološki, gospodarski i društveni razvoj. Ovi rezultati ukazuju na transformacije koje nisu izolirani procesi, već odraz složenih i međusobno povezanih interakcija između prirodnih čimbenika, ali i intenzivnih antropogenih aktivnosti, kao što su poljoprivredna intenzifikacija, urbanizacija te učinci klimatskih promjena. Ovakve promjene imaju dalekosežne implikacije na održivost područja i zahtijevaju interdisciplinarni, holistički pristup kako bi se pravilno razumjeli njihovi učinci i izazovi koje donose.

Sintezom spoznaja dobivenih kroz intervju i rezultate simulacijskog modela, tri ključne promjene izdvajaju se po svojem potencijalu da značajno utječu na buduću prostorno-ekološku strukturu Donjoneretvanskog kraja: smanjenje močvara, ekosustava neprocjenjivog za očuvanje bioraznolikosti, intenzifikacija poljoprivrede, koja doprinosi daljnjem smanjenju močvarnih područja i nosi rizike poput degradacije tla i iscrpljivanja prirodnih resursa te širenje šuma i travnjaka, odnosno sukcesija vegetacije, koja donosi i pozitivne i negativne učinke na okoliš.

Mediterranske močvare već stoljećima pružaju hranu, vodu, građevinski materijal i brojne druge koristi. Prema nacionalnim i regionalnim podacima, mediteranska regija izgubila

je približno 50 % svojih močvarnih područja tijekom 20. stoljeća. Ovaj trend prati globalni obrazac, budući da podaci na svjetskoj razini procjenjuju gubitak močvara na približno 50 % (Perennou i dr., 2012; Taylor i dr., 2021). S obzirom na analizirani zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta i površinu poljoprivrednog zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju, koja je 2020. godine iznosila 7261 ha, a koja se većinom nalazi u aluvijalnoj ravni nastaloj melioracijom močvarnog zemljišta, očito je da je u ovom području došlo do još značajnijeg gubitka močvarnih ekosustava od već spomenutog prosjeka gubitka u mediteranskoj regiji.

Povijesno gledano mediteranske močvare su isušivane ili regulirane za potrebe poljoprivredne upotrebe, razvoj turističkih područja i procijenjene zdravstvene koristi. Poljoprivreda značajno utječe na mediteranske močvare, i to kroz direktne i indirektne mehanizme. U nadolazećim godinama, osobito na lokalnoj razini, predviđa se povećanje površina pod poljoprivredom, što može dovesti do dodatnog smanjenja močvarnih ekosustava i povećati izloženost preostalih močvara raznim oblicima zagađenja. Osim toga, očekuje se i rast upotrebe pesticida, antimikrobnih sredstava te gnojiva u poljoprivrednim praksama. Međutim, moguće je da će zakonske regulative, poput onih koje vrijede unutar Europske unije, imati ograničavajući učinak na ovu praksu. Dodatni izazov predstavlja i potrošnja vode u poljoprivredi, koja čini čak 65 % ukupne upotrebe vode u mediteranskoj regiji (Balbo i dr., 2017; Taylor i dr., 2021). Ovi faktori ukazuju na složenu povezanost između poljoprivrednih aktivnosti i očuvanja močvara, što naglašava potrebu za razvojem održivih strategija koje će omogućiti ravnotežu između gospodarskog rasta i zaštite okoliša. U tom kontekstu, ključno je razmatrati mjere koje bi mogle ublažiti negativne posljedice poljoprivrede na močvarne ekosustave, uključujući jačanje regulative i promicanje održivih agronomskih praksi.

Klimatske promjene također predstavljaju značajan izazov za močvarna područja, utječući na njihovu ekološku ravnotežu i funkcionalnost. Povećanje prosječnih i maksimalnih temperatura smanjuje dostupnost vodnih resursa, što može uzrokovati sušenje močvara i smanjenje njihove površine. U uvjetima viših temperatura dolazi do pojačanog isparavanja, što dodatno smanjuje razinu vode i otežava opstojnost biljnih i životinjskih vrsta koje ovise o ovim staništima.

Smanjenje padalina i povezana pojava suša također dovode do ozbiljnog gubitka vlažnosti tla, što negativno utječe na očuvanje močvarnih ekosustava. Ova promjena može rezultirati gubitkom staništa i smanjenjem bioraznolikosti, s dugoročnim posljedicama za lokalne ekosustave.

Povećana učestalost i intenzitet oluja dodatno narušavaju stabilnost ovih staništa, uzrokujući eroziju obala i promjene u hidrologiji močvara. Ove promjene mogu destabilizirati

ekosustav i otežati oporavak već pogođenih područja (Estrela-Segrelles i dr., 2021; Taylor i dr., 2021).

U kontekstu Donjoneretvanskog kraja, gubitak močvarnih ekosustava, uzrokovan intenziviranjem poljoprivrednih praksi, predstavlja ozbiljnu prijetnju lokalnoj bioraznolikosti. Ova staništa su ključna za opstanak brojnih ugroženih vrsta (ptica, vodozemaca), čiji nestanak može imati dugoročne posljedice na biološku ravnotežu i funkcionalnost ekosustava.

Smanjenje površina močvara ne samo da ugrožava staništa, nego također može negativno utjecati na kvalitetu površinskih i podzemnih voda, što je od suštinskog značaja za lokalne zajednice koje ovise o ovim izvorima za opskrbu pitkom vodom (izvor Norina u Prudu) i održavanje poljoprivredne proizvodnje. Intenzifikacija poljoprivrede, koja uključuje povećanu upotrebu kemijskih gnojiva i pesticida, dodatno povećava rizik od zagađenja tla i površinskih voda. Očekivano proširenje poljoprivrednih površina moglo bi pogoršati stanje preostalih močvarnih ekosustava, čineći ih još podložnijima različitim oblicima kontaminacije.

Osim toga, klimatske promjene, izražene kroz smanjenje padalina i porast temperatura, otežavaju održavanje postojećih ekosustava. Manjak vlažnosti tla i smanjena dostupnost vode predstavljaju ozbiljne izazove za poljoprivrednu proizvodnju, dok također mogu dovesti do sukoba među lokalnim zajednicama u vezi s pristupom i raspodjelom resursa. U svjetlu ovih promjena, ključno je razviti održive strategije koje će osigurati ravnotežu između ekološke zaštite i gospodarskog razvoja te unaprijediti suradnju među lokalnim dionicima.

Iako su površine pod šumama i travnjacima u Donjoneretvanskom kraju bile u opadanju tijekom razdoblja od 2005. do 2020. godine, prvenstveno uslijed infrastrukturnih intervencija poput izgradnje autoceste i brze ceste prema Pločama, simulacijski model za 2035. godinu predviđa njihov oporavak i širenje. Ovaj proces može biti povezan s demografskim promjenama, kao i postupnim napuštanjem poljoprivrednih zemljišta (Mantero i dr., 2020), naročito izvan aluvijalne ravni, kao i promjenama u klimatskim uvjetima, koji imaju potencijal ubrzati prirodne procese sukcesije vegetacije.

Širenje šuma i travnjaka predstavlja složen ekološki proces koji nosi sa sobom i pozitivne i negativne posljedice. Obnavljanje prirodne vegetacije, ili proces sekundarne sukcesije, može značajno doprinijeti povećanju bioraznolikosti. Osim toga, ključne pozitivne posljedice ovog procesa uključuju očuvanje tla, tj. smanjenje erozije, skladištenje ugljika i održavanje hranjivih tvari u tlu (Mantero i dr., 2020; Peñuelas i Sardans, 2021). Također, ovaj proces može povećati potencijal za razvoj rekreacijskih zona (Frei i dr., 2023), unatoč tome što veliki udio površina u Donjoneretvanskom kraju čine mediteranska makija i grmlje.

S druge strane, ekspanzija šuma i travnjaka povećava rizik od požara, stoga je ulaganje u izgradnju protupožarnih puteva od iznimne važnosti. Klimatske promjene, koje se manifestiraju kroz povećane temperature i učestalije suše, dodatno smanjuju otpornost vegetacije na požare. Nadalje, napuštanje poljoprivrednih zemljišta može dovesti do brze regeneracije vegetacije, koja, iako se naizgled može smatrati pozitivnom, postaje izvor suhe biomase, čime se dodatno povećava rizik od požara. Osim toga, širenje prirodne vegetacije može stvoriti povoljne uvjete za razvoj štetnika, što dodatno ugrožava otpornost šuma i travnjaka (Peñuelas i Sardans, 2021; United Nations, 2024). S obzirom na navedeno, nužno je razviti učinkovite strategije upravljanja šumama i travnjacima kako bi se smanjili negativni utjecaji klimatskih promjena i osigurala otpornost ovih ekosustava.

9. ZAKLJUČAK

Provedeno istraživanje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju omogućilo je formuliranje sljedećih zaključnih tvrdnji koje se odnose na postavljene hipoteze, osnažujući tako teoretske i praktične aspekte istraživačkog procesa.

Prva hipoteza, koja sugerira da se unatoč relativno maloj površini i visokoj heterogenosti Donjoneeretvanskog kraja Landsat snimke mogu klasificirati s točnošću koja osigurava kappa koeficijent veći od 0,80, potvrđena je rezultatima analize. Dobiveni kappa koeficijenti u rasponu od 0,82 do 0,86 ukazuju na vrlo visoku točnost klasifikacije. Ovi rezultati jasno pokazuju da se zemljišni pokrov može pouzdano klasificirati s pomoću Landsat snimaka, bez obzira na prostornu rezoluciju. Ova točnost klasifikacije ima ključnu važnost za razumijevanje mikroregionalnih i regionalnih dinamičkih procesa.

Za buduća istraživanja postoji značajan potencijal u primjeni umjetne inteligencije (AI) i satelitskih snimaka visoke prostorne rezolucije, kao što su IKONOS, Quickbird, GeoEye i Worldview-3. Integracija modela strojnog i dubokog učenja s naprednim tehnologijama daljinskog istraživanja mogla bi omogućiti detaljniju analizu promjena u zemljišnom pokrovu i načinu korištenja zemljišta, pružajući preciznije uvide u te procese. Daljnji razvoj algoritama za obradu podataka, zajedno s poboljšanjem metoda procjene točnosti, mogao bi dodatno unaprijediti pouzdanost klasifikacije. Takav pristup ne samo da bi poboljšao analitičke mogućnosti, već bi omogućio i učinkovitije prostorno planiranje i upravljanje resursima, prilagođeno specifičnim lokalnim uvjetima i potrebama.

Druga hipoteza, koja se odnosi na ulogu fizičko-geografskih varijabli poput nadmorske visine, nagiba padina i ekspozicije padina kao ključnih prediktora promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneeretvanskom kraju, potvrđena je s visokom razinom pouzdanosti. Analiza je pokazala da su ove varijable značajno utjecale na prostorne obrasce transformacija zemljišta, što je u skladu s očekivanjima temeljenim na specifičnoj fizionomiji ovog područja.

Međutim, važno je istaknuti da su uz fizičko-geografske varijable kao ključni prediktori u analizi promjena zemljišnog pokrova također prepoznate i varijable udaljenosti, odnosno udaljenost od vodenih i izgrađenih površina. Ovi dodatni faktori obogaćuju razumijevanje složenih odnosa koji utječu na korištenje zemljišta u ovom specifičnom kontekstu. Takvi nalazi ukazuju na višedimenzionalnost utjecaja različitih varijabli i otvaraju nove smjerove za istraživanje u budućnosti.

Posljednja hipoteza, koja implicira smanjenje močvarnih područja, potvrđena je izradom konačnog simulacijskog modela zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta za 2035. godinu. Rezultati modela pokazuju da će se močvarna područja smanjiti za 2,3 %. Iako ovo smanjenje može izgledati neznatno, ono nosi potencijalne dugoročne posljedice za lokalne ekosustave.

Čak i mali gubitak močvarnih staništa može utjecati na bioraznolikost i ekološku ravnotežu područja, posebno u kontekstu sveprisutnih klimatskih promjena. Ova područja igraju ključnu ulogu u održavanju prirodne ravnoteže te smanjenje njihovog površinskog postotka može smanjiti sposobnost ekosustava da se prilagodi novim uvjetima i prijetnjama.

S obzirom na ove aspekte, buduća istraživanja trebala bi se usmjeriti na razvoj strategija za očuvanje i obnovu močvarnih područja. Takav pristup može značajno doprinijeti očuvanju bioraznolikosti i osigurati održivo upravljanje prirodnim resursima u Donjonečevskom kraju. Održavanje ovih vitalnih ekosustava ključno je za ublažavanje potencijalnih negativnih učinaka urbanizacije i poljoprivredne ekspanzije, čime se osigurava dugoročna ekološka stabilnost područja.

Znanstveni doprinos ovog istraživanja leži u razvoju sveobuhvatne metodologije za analizu i modeliranje promjena zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta. Ova metodologija integrira kvantitativne metode, uključujući obradu i analizu satelitskih snimaka s ciljem utvrđivanja prošlih i projekcija budućih promjena, uz primjenu statističkog modeliranja kroz regresijsku analizu. Osim toga, istraživanje koristi kvalitativne metode, tj. intervju, čime se obogaćuje razumijevanje složenih dinamika koje oblikuju promjene u prostoru.

Ovi rezultati doprinose teorijskim okvirima geografije, geoinformatike i daljinskih istraživanja, pružajući praktične smjernice za prilagodbu prostorno-planskih strategija. U kontekstu promjena korištenja zemljišta, rezultati su od iznimne važnosti za različite dionike, uključujući lokalne vlasti, ekološke stručnjake i lokalno stanovništvo, omogućujući im racionalnije i održivije upravljanje prostorom.

BIBLIOGRAFIJA

Popis literature

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.

Alawamy, J. S., Balasundram, S. K., Hanif, A. H. M., Teh Boon Sung, C., 2020: Detecting and Analyzing Land Use and Land Cover Changes in the Region of Al-Jabal Al-Akhdar, Libya Using Time-Series Landsat Data from 1985 to 2017, *Sustainability* 12 (11), 1-24, DOI: 10.3390/su12114490.

Al-Kindi, K. M., Alqurashi, A. F., Al-Ghafri, A., Power, D., 2023: Assessing the Impact of Land Use and Land Cover Changes on Aflaj Systems over a 36-Year Period, *Remote Sensing* 2023, 15 (7), 1787, DOI: 10.3390/rs15071787.

Allan, A., Soltani, A., Abdi, M. H., Zarei, M., 2022: Driving Forces behind Land Use and Land Cover Change A Systematic and Bibliometric Review, *Land* 2022, 11 (8), 1222, DOI: 10.3390/land11081222.

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.

Alshari, E. A., Abdulkareem, M. B., Gawali, B. W., 2023: Classification of land use/land cover using artificial intelligence (ANN-RF), *Frontiers in Artificial Intelligence* 5, 964279, DOI: 10.3389/frai.2022.964279.

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.ECOLIND.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.

Balbo, A. L., Martinez-Fernández, J., Esteve-Selma, M. A., 2017: Mediterranean wetlands: archaeology, ecology, and sustainability, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 4 (6), e1238, DOI:10.1002/wat2.1238.

Belfiore, O. R., Meneghini, C., Parente, C., i Santamaria, R., 2016: Application of different Pan-sharpening methods on WorldView-3 images, *ARPJ-JEAS*, 11, 490-496.

Benenson, I., Torrens, P. M., 2004: *Geosimulation: Automata-Based Modeling of Urban Phenomena*, John Wiley, London.

Bernales, A. M., Antolihao, J. A., Samonte, C., Campomanes, F., Rojas, R. J., dela Serna, A. M., and Silapan, J., 2016: Modelling the relationship between land surface temperature and landscape patterns of land use land cover classification using multi linear regression models, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B8-851-2016.

Blaće, A., 2014: Razvoj i suvremena preobrazba krajolika naselja danilskog polja kod Šibenika, *Ekonomika i ekohistorija: časopis za gospodarsku povijest i povijest okoliša* 10 (1), 173-188.

Blaschke, T., 2010: Object based image analysis for remote sensing, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65 (1), 2-16.

Bobbitt, Z., 2020: How to Test for Multicollinearity in SPSS, Statology, <https://www.statology.org/multicollinearity-spss/> (27. 7. 2024).

Brown, D. G., Walker, R., Manson, S., Seto, K., 2012: Modeling Land Use and Land Cover Change, *Remote Sensing and Digital Image Processing*, 295-409, DOI: 10.1007/978-1-4020-2562-4_23.

Bršćić, K., Franić, R., Ružić, D., 2010: Zašto agroturizam – mišljenje vlasnika, *Journal of Central European Agriculture* 11 (1), 31–41.

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.

Buramuge, V. A., Ribeiro, N. S., Olsson, L., Bandeira, R. R., 2023: Exploring Spatial Distributions of Land Use and Land Cover Change in Fire-Affected Areas of Miombo Woodlands of the Beira Corridor, Central Mozambique, *Fire* 6 (2), 77, DOI: 10.3390/fire6020077.

Campbell, J. B., 2006: *Introduction to Remote Sensing*, The Guilford Press.

AZO, 2010: *Corine Land Cover – Pokrov i namjena korištenja zemljišta u Republici Hrvatskoj – Stanje i trendovi*, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, 2010.

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.

Carneiro, T. G. de S., Andrade, P. R. de, Câmara, G., Monteiro, A. M. V., Pereira, R. R., 2013: An extensible toolbox for modeling nature–society interactions, *Environmental Modelling & Software* 46, 104–117, DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.03.002.

Castro, H. M., Carvalho Ferreira, J., 2023: Linear and logistic regression models when to use and how to interpret them?, *Jornal brasileiro de pneumologia publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia* 48 (6), e20220439, DOI: 10.36416/1806-3756/e20220439.

Cegielska, K., Noszczyk, T., Kukulska-Kozieł, A., Szylar, M., 2018: Land use and land cover changes in post-socialist countries: Some observations from Hungary and Poland, *Land Use Policy* 78, 1-18, DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.06.017.

Chaudhary, A., Verones, F., de Baan, L., Hellweg, S., 2015: Quantifying Land Use Impacts on Biodiversity Combining Species–Area Models and Vulnerability Indicators. *Environmental Science & Technology* 49 (16), 9987-9995, DOI: 10.1021/acs.est.5b02507.

Chettry, 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.

Chorley, R. J., Haggett, P., (ur.), 1967: *Models in geography*, Methuen, London.

Clarridge, A., 2009: *Cellular Automata: Algorithms and Applications*, Master of Science Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario.

Comber, A. J., 2008: The separation of land cover from land use using data primitives, *Journal of Land Use Science* 3 (4), 215-229, DOI: 10.1080/17474230802465173.

Crkvenčić, I., 1981: Socijalnogeografski aspekti pojave ugara, odnosno neobrađenih oranica, *Geografski glasnik* 43 (1), 95-106.

Curić, Z., 1994: *Donjoneeretvanski kraj: potencijalni i valorizirani turistički činitelji*, Hrvatsko Geografsko društvo.

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.

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., Valožić, 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.

Čuka, A., Magaš, D., 2003: Socio-geografska preobrazba otoka Ista, *Geoadria* 8 (2), 67-86.

Čurković, D., 2011: Sređivanje poljoprivrednog zemljišta u vlasništvu Republike Hrvatske na području Bjelovarsko-bilogorske županije, *Geodetski list* 65 (88) (3), 261-272.

Daba, M. H., You, S., 2022: Quantitatively Assessing the Future Land-Use/Land-Cover Changes and Their Driving Factors in the Upper Stream of the Awash River Based on the CA–Markov Model and Their Implications for Water Resources Management, *Sustainability* 14 (3), 1538, DOI: 10.3390/su14031538.

D'Ambrosio, D., Di Gregorio, S., Gabriele, S., Gaudio, R., 2001: A Cellular Automata model for soil erosion by water, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B Hydrology, Oceans and Atmosphere* 26 (1), 33-39, DOI:10.1016/s1464-1909(01)85011-5.

Dagnachew, M., Kebebe, A., Moges, A., Abebe, A., 2020: Land Use Land Cover Changes and Its drivers in Gojeb River Catchment, Omo Gibe Basin, Ethiopia, *The Journal of Agriculture and Environment for International Development* 114 (1), 33-56, DOI: 10.12895/jaeid.20201.842.

Dannenberg, P., Kuemmerle, T., 2010: Farm Size and Land Use Pattern Changes in Postsocialist Poland, *The Professional Geographer* 62 (2), 197–210, DOI: 10.1080/00330120-903546312.

Dibaba, W. T., Demissie, T. A., Miegel, K., 2020: Drivers and Implications of Land Use/Land Cover Dynamics in Finchaa Catchment, Northwestern Ethiopia, *Land* 9 (4), DOI: 10.3390/land9040113.

Domazetović, F., 2021: *Višerezolucijsko modeliranje erozije tla korištenjem geoprostornih tehnologija*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju.

Donnay, J. P., Barnsley, M. J., Longley, P. A., 2001: Remote Sensing and Urban Analysis, u *Remote Sensing and Urban Analysis: GISDATA 9* (ur. Donnay, J. P. i dr.), Taylor and Francis, New York, London, 2-14.

Durbešić, A., Fuerst-Bjeliš, B., 2016: Tipovi i trendovi promjene pejzaža planine Svilaje – Ogorje, *Ekonomika i ekohistorija* 12 (1), 208-221.

Edosa, B. T., Nagasa, M. D., 2024: Spatiotemporal assessment of land use land cover change, driving forces, and consequences using geospatial techniques: The case of Naqamte city and hinterland, western Ethiopia, *Environmental Challenges* 14, DOI: 10.1016/j.envc.2023.100830.

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.

Esbah, H., Kara, B., Deniz, B., Kesgin, B., 2010: Changing Land Cover Characteristics of a Developing Coastal Town: A Case Study of Didim, Turkey, *Journal of Coastal Research* 26 (2), 274-282, DOI: 10.2112/08-1092.1.

Estrela-Segrelles, C., Gómez-Martínez, G., Pérez-Martín, M. Á., 2021: Risk assessment of climate change impacts on Mediterranean coastal wetlands. Application in Júcar River Basin District (Spain), *Science of The Total Environment*, 790, 148032, DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.148032.

Faričić, J., Glamuzina, M., 2001: Donjoneretvanski kraj Na Cornelijevim kartama u „Atlante della Republica di Venezia“, *Acta Geographica Croatica* 34 (1), 89-125.

Faričić, J., Magaš, D., 2004: Suvremeni socio-geografski problem malih hrvatskih otoka – primjer otoka Žirja, *Geoadria* 9 (2), 125-158.

Fayaz, M., Nam, J., Dang, L. M., Song, H. K., Moon, H., 2024: Land-Cover Classification Using Deep Learning with High-Resolution Remote-Sensing Imagery, *Applied Sciences* 14 (5), 1844, DOI: 10.3390/app14051844.

Ferreira, C. S. S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., Kalantari, 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.

Fikadu, G., Olik, G., 2023: Impact of land use land cover change using remote sensing with integration of socio-economic data on Rural Livelihoods in the Nashe watershed, *Ethiopia, Heliyon* 9 (3), DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13746.

Fisher, P., Comber, A., Wadsworth, R., 2005: *Land use and land cover: contradiction or complement*, (eds. Fisher, P., Unwin, D. J.) Re-Presenting GIS, 85-98.

Food and Agriculture Organization (FAO), 1995: *Planning for Sustainable Use of Land Resources*. FAO Land and Water Bulletin 2. Rome Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Foody, G. M., 2002: Status of land cover classification accuracy assessment, *Remote Sensing of Environment* 80 (1), 185- 201.

Frei, T., Espelta, J. M., Górriz-Mifsud, E., Hampe, A., Lefèvre, F., Martín-Forés, I., Winkel, G., 2023: Can natural forest expansion contribute to Europe's restoration policy agenda? An interdisciplinary assessment, *Ambio* 53, 34–45, DOI: 10.1007/s13280-023-01924-2.

Friganović, M., 1974: *Geografija SRH*. Knjiga 6 – Južno hrvatsko primorje, Školska knjiga, Zagreb.

Galić, J., 2011: Regionalizacija Donjonevanske delte, *Naše more* 58 (1–2), 39–46.

Gašparović, M., Zrinjski, M., Gudelj, M., 2017: Analiza urbanizacije grada Splita, *Geodetski list* 71 (94) (3), 189-202.

Gaur, S., Mittal, A., Bandyopadhyay, A., Holman, I., Singh, R., 2020: Spatio-temporal analysis of land use and land cover change: a systematic model inter-comparison driven by integrated modelling techniques, *International Journal of Remote Sensing* 41 (23), 9229-9255, DOI: 10.1080/01431161.2020.1815890.

Gaur, S., Singh, R., 2023: A Comprehensive Review on Land Use/Land Cover (LULC) Change Modeling for Urban Development: Current Status and Future Prospects, *Sustainability* 15 (2), 903, DOI: 10.3390/su15020903.

Geoghegan, J., Villar, S. C., Klepeis, P., Mendoza, P. M., Ogneva-Himmelberger, Y., Chowdhury, R. R., Turner II, B. L., Vance, C., 2001: Modeling tropical deforestation in the southern Yucatán peninsular region: comparing survey and satellite data. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 85 (1-3), 25–46, DOI:10.1016/s0167-8809(01)00201-8.

George, D., Mallery, P., 1999: *SPSS for Windows: Step by Step*, Allyn and Bacon, Boston.

Glamuzina, M., 1986: *Delta Neretve – promjene agrarnog pejzaža u delti Neretve*, Savez geografskih društava Hrvatske, Zagreb.

Glamuzina, M., 1996: Promjene u prostornom rasporedu stanovništva u delti Neretve, *Acta Geographica Croatica* 31, 125.

Glamuzina, N., 2014/2015: Problem upravljanja prirodnim resursima u Donjoneretvanskoj delti, *Acta Geographica Croatica* 41/42 (2014/2015), 51–77.

Goldewijk, K. K., Ramankutty, N., 2009: *Land Use Changes During the Past 300 Years*, *Land Use, Land Cover and Soil Sciences* 1, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

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.

Grigg, D., 1987: The Industrial Revolution and Land Transformation, in: Wolman, M. G., Fournier F. G. A. (eds.): *Land Transformation in Agriculture*, Wiley (SCOPE), New York, 79-109.

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.

Hall, D., Mitchell, M., Roberts, L., 2003: Tourism and the Countryside: Dynamic Relationships, in: *New Directions in Rural Tourism* (eds. Hall, D. et al.), Ashgate, Aldershot, 3-15.

Hamzić, M., Fuerst-Bjeliš, B., 2021: Razvojni tipovi krajolika srednje Like 1980–2012 – primjena prostorno i procesno orijentiranog GIS-modela, *Kartografija i geoinformacije*, 20 (35), 5-29, DOI: 10.32909/kg.20.35.1.

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 krajolika 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

Hassan, Z., Shabbir, R., Ahmad, S. S., Malik, A. H., Aziz, N., Butt, A., Erum, S., 2016: Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques a case study of Islamabad Pakistan, *SpringerPlus* 5 (1), 1-11, DOI: 10.1186/s40064-016-2414-z.

Hayes, A., 2022: *Stepwise Regression: Definition, Uses, Example, and Limitations*, Investopedia, <https://www.investopedia.com/terms/s/stepwise-regression.asp> (20. 7. 2024.).

Hayes, A., 2024: *Multiple Linear Regression (MLR) Definition, Formula, and Example*, Investopedia, <https://www.investopedia.com/terms/m/mlr.asp> (24. 7. 2024.).

Horning, N., 2004: *Land cover classification methods, Version 1.0*, American Museum of Natural History, Center for Biodiversity and Conservation, New York.

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.

Issa, S. M. G., Shuwaihi, A. A., 2011: Analysis of LULC changes and urban expansion of the resort city of Al Ain using remote sensing and GIS, *2011 6th International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images (MultiTemp)*, DOI: 10.1109/MultiTemp.2011.6005094.

Jahanifar, K., Amirnejad, H., Mojaverian, M., Azadi, H., 2018: Land Change Detection and Identification of Effective Factors on Forest Land, *European Online Journal of Natural and Social Sciences* 7 (3), 554-565.

Jajtić, 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.

Jensen, J., 2007: *Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective*, 2nd Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.

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.

Jovanić, M., 2017: *GIS analiza i razvojna tipologija krajolika Srednje Like*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.

Kafy, A.-A., Naim, M. N. H., Subramanyam, G., Faisal, A.-A., Ahmed, N. U., Rakib, A. A., Kona, M. A., Sattar, G. S., 2021: Cellular Automata approach in dynamic modelling of land cover changes using RapidEye images in Dhaka, Bangladesh, *Environmental Challenges* 4, 100084, DOI: 10.1016/j.envc.2021.100084.

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.

Khan, M., Hanan, A., Kenzhebay, M., Gazzea, M., Arghandeh, R., 2024: Transformer-based land use and land cover classification with explainability using satellite imagery, *Scientific Reports* 14, 16744 (2024), DOI: 10.1038/s41598-024-67186-4.

Koren, T., Črne, M., Koprivnikar, N., Trkov, D., Drašler, K., Jelić, D., 2012: Prilog poznavanju herpetofaune (Amphibia & Reptilia) donjeg dijela rijeke Neretve (Hrvatska i Bosna i Hercegovina), *Hyla: Herpetological bulletin* 2012 (2), 19-40.

Krina, A., Xystrakis, F., Karantininis, K., Koutsias, N., 2020: Monitoring and Projecting Land Use/Land Cover Changes of Eleven Large Deltaic Areas in Greece from 1945 Onwards, *Remote Sensing* 12 (8), DOI: 10.3390/rs12081241.

Ku, C.-A., 2016: Incorporating spatial regression model into cellular automata for simulating land use change, *Applied Geography* 69, 1-9, DOI: 10.1016/j.apgeog.2016.02.005.

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* (eds. Batarseh, F. A., Yang, R.) Academic Press; 1st edition, 83-106, DOI: 10.1016/B978-0-12-818366-3.00005-8.

Kupková, L., Bičík, I., 2016: Landscape transition after the collapse of communism in Czechia, *Journal of Maps* 12 (1), 526-531, DOI: 10.1080/17445647.2016.1195301.

Laci, S., 1962: Donje Međimurje, *Geografski glasnik* 24 (1), 83-100.

Lambin, E.F., Geist, H., 2006: *Land-Use and Land-Cover Change*, Springer, Berlin.

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.energy.28.050302.105459.

Larkin, A., Anenberg, S., Goldberg, D. L., Mohegh, A., Brauer, M., Hystad, R., 2023: A global spatial-temporal land use regression model for nitrogen dioxide air pollution, *Frontiers in Environmental Science* 11 :1125979, DOI: 10.3389/fenvs.2023.1.

Li, K., Feng, M., Biswas, A., Su, H., Niu, Y., Cao, J., 2020: Driving Factors and Future Prediction of Land Use and Cover Change Based on Satellite Remote Sensing Data by the LCM Model A Case Study from Gansu Province, China, *Sensors* 20 (10)m 2757, DOI: 10.3390/s20102757.

Li, Z., Chen, B., Wu, S., Su, M., Chen, J. M., Xu, B., 2024: Deep learning for urban land use category classification: A review and experimental assessment, *Remote Sensing of Environment* 311 (2024) 114290, DOI: 10.1016/j.rse.2024.114290.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W., 2004: *Remote sensing and image interpretation*, Wiley, Hoboken.

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.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W., 2005: *Geographic information systems and science*, Wiley, Chichester.

López, S., 2014: Modeling Agricultural Change through Logistic Regression and Cellular Automata A Case Study on Shifting Cultivation, *Journal of Geographic Information System* 6 (3), 220-235, DOI: 10.4236/jgis.2014.63021.

Lowicki, 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.

Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E., 2004: Change detection techniques, *International Journal of Remote Sensing* 25 (12), 2365-2401.

Lu, D., Weng, Q., 2007: A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance, *International Journal of Remote Sensing* 28 (5), 823-870, DOI: 10.1080/01431160600746456.

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.

Magaš, D., Faričić, J., 2002: Problemi suvremene socio-geografske preobrazbe otoka Oliba, *Geoadria* 7 (2), 35-62.

Magaš, D., Faričić, J. i Lončarić, R., 2006: Geografske osnove društveno-gospodarske revitalizacije Unija, *Geoadria* 11 (2), 173-239.

Malić, A., 1983: Regionalne razlike i promjene površina kategorije iskorištavanja poljoprivrednog zemljišta SR Hrvatske, *Geografski glasnik* 45 (1), 55-72.

Manson, S. M., 2009: Simulation, u *International Encyclopedia of Human Geography* (ur. Kitchin, R., Thrift, N.), Elsevier, Oxford, sv. 10, 132-137.

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.

Marić, J., 2009: Prostorno planiranje u Dubrovačko-neretvanskoj županiji, *Geoadria* 14 (1), 87-140, DOI: 10.15291/geoadria.559.

Marsik, M., Stevens, F., Southworth, J., 2011: Amazon deforestation rates and patterns of land cover change and fragmentation in Pando, northern Bolivia, 1986 to 2005, *Progress in Physical Geography* 35 (3), 353–374.

Marušić, D., 2017: *Utjecaj litoralizacije na suvremene promjene okoliša srednjodalmatinskog priobalja*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju.

Mas, J.-F., 1999: Monitoring land-cover changes a comparison of change detection techniques, *International Journal of Remote Sensing* 20 (1), 139-152.

Mas, J.-F., Kolb, M., Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T., Houet, T., 2014: Inductive pattern-based land use/cover change models A comparison of four software packages, *Environmental Modelling & Software* 51, 94-111.

McHugh, M. L., 2012: Interrater reliability: the kappa statistic, *Biochemia Medica* 22 (3), 276-282.

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.

Meyer, W., Turner, B. L., 1996: Land-use/land-cover change challenges for geographers, *GeoJurnal* 39 (3), DOI: 10.1007/bf00188373.

Mičević, B., Dragičević, D., Patalen, L., 2015: Informacijski sustav – temelj učinkovite zemljišne politike RH, *Agronomski glasnik* 77 (3), 125-142.

Mihai, B., Nistor, C., Simion, G., 2015: Post-socialist urban growth of Bucharest, Romania – a change detection analysis on Landsat imagery (1984– 2010), *Acta geographica Slovenica* 55 (2), 223-234, DOI: 10.3986/AGS.709.

Millington, J. D. A., Perry, G. L.W., Romero-Calcerrada, R., 2007: Regression Techniques for Examining Land Use/Cover Change A Case Study of a Mediterranean Landscape, *Ecosystems* 10, 562-578, DOI: 10.1007/s10021-007-9020-4.

Moreno, N., Wang, F., Marceau, D. J., 2009: Implementation of a dynamic neighborhood in a land-use vector-based cellular automata model, *Environment and Urban Systems* 33, 44-54, DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.

Msofe, N. K., Sheng, L., Lyimo, J., 2019: Land Use Change Trends and Their Driving Forces in the Kilombero Valley Floodplain, Southeastern Tanzania, *Sustainability* 11 (2), 505, DOI: 10.3390/su11020505.

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.

Mukaka, M. M., 2012: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research, *Malawi Medical Journal* 24 (3), 69-71.

Mundia, C. N., Aniya, M., 2005: Analysis of land use/cover changes and urban expansion of Nairobi city using remote sensing and GIS, *International Journal of Remote Sensing* 26 (13), 2831-2849, DOI: 10.1080/01431160500117865.

Nath, B., Wang, Z., Ge, Y., Islam, K., Singh, R. P., Niu, Z., 2020: Land Use and Land Cover Change Modeling and Future Potential Landscape Risk Assessment Using Markov-CA Model and Analytical Hierarchy Process, *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9 (2), 134, DOI: 10.3390/ijgi9020134.

Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., Anandhi, A., 2021: A Synthesis of Land Use/Land Cover Studies Definitions, Classification Systems, Meta-Studies, Challenges and Knowledge Gaps on a Global Landscape, *Land* 10 (9), 994, DOI: 10.3390/land10090994.

Nong, Y., Du, Q., 2011: Urban growth pattern modeling using logistic regression, *Geo-Spatial Information Science* 14 (1), 62-67, DOI: 10.1007/s11806-011-0427-x.

Nwilo, P. C., Olayinka, D. N., Okolie, C. J., Emmanuel, E. I., Orji, M. J., Daramola, O. E., 2020: Impacts of land cover changes on desertification in northern Nigeria and implications on the Lake Chad Basin, *Journal of Arid Environments* 181, 104190, DOI: 10.1016/j.jaridenv.2020.104190.

Opiyo, S. B., Opinde, G., Letema, S., 2022: Dynamics and drivers of land use and land cover changes in Migori River Watershed, western Kenya region, *Watershed Ecology and the Environment* 4, 2022, 219-232, DOI: 10.1016/j.wsee.2022.11.008.

Páez, A., Wheeler, D. C., 2009: Geographically Weighted Regression, *International Encyclopedia of Human Geography*, 407-414, DOI: 10.1016/B978-008044910-4.00447-8.

Patra, S., Gavske, K. K., 2021: Land use and land cover change-induced landscape dynamics: a geospatial study of Durgapur Sub-Division, West Bengal (India), *Acta Universitatis Carolinae Geographica* 56 (1), 79-94, DOI: 10.14712/23361980.2021.3.

Peñuelas, J., Sardans, J., 2021: Global Change and Forest Disturbances in the Mediterranean Basin: Breakthroughs, Knowledge Gaps, and Recommendations, *Forests* 2021, 12, 603, DOI: 10.3390/f12050603.

Perennou, C., Beltrame, C., Guelmami, A., Tomàs Vives P., Caessteker P., 2012: Existing areas and past changes of wetland extent in the Mediterranean region: an overview, *Ecologia Mediterranea* 38 (2), 53-66, DOI: 10.3406/ecmed.2012.1316.

Pfaff, A. S. P., 1999: What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon? Evidence from Satellite and Socioeconomic Data, *Journal of Environmental Economics and Management* 37, 26-43.

Polić, M., Bule-Radaljac T., Mihaljević, I., Zekaj, M., 2016: *Lokalna razvojna strategija Lokalne akcijske grupe Neretva*, Institut za razvoj i međunarodne odnose, Zagreb.

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.

Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X.-P., Baggett, A., Kommareddy, I., Kommareddy, A., 2022: The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive First Results, *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 2022, DOI: 10.3389/frsen.2022.856903.

Powell, S. L., Pflugmacher, D., Kirschbaum, A. A., Kim, Y., Cohen, W. B., 2007: Moderate resolution remote sensing alternatives a review of Landsat-like sensors and their applications, *Journal of Applied Remote Sensing* 1 (1), 012506, DOI: 10.1117/1.2819342.

Prieto-Amparán, J. A., Villareal-Guerrero, F., Martinez-Salvador, M., Manjarrez-Dominguez, C., Vázquez-Quintero, G., Pinedo-Alvarez, A., 2019: Spatial near future modeling of land use and land cover changes in the temperate forests of Mexico, *PeerJ* 7, e6617, DOI: 10.7717/peerj.6617.

Putra, D. A., Suprpto, M., 2018: Assessment of the road based on PCI and IRI, *MATEC Web of Conferences* 195, DOI: 10.1051/mateconf/201819504006.

Radeljak, P., 2014: *Metoda scenarija u prostornom planiranju: primjer Južnoga hrvatskoga primorja*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.

Radwan, T. M., 2019: Monitoring Agricultural Expansion in a Newly Reclaimed Area in the Western Nile Delta of Egypt Using Landsat Imageries, *Agriculture* 9 (7), DOI: 10.3390/agriculture9070137.

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.

Rayner, S., Bretherton, F., Buol, S., Fosberg, M., Grossman, W., Houghton, R., Lal, R., Lee, J., Lonergan, S., Olson, J., Rockwell, R., Sage, C., Van Imhoff, E., 1994: A

Wiring Diagram for the Study of Land Use/Cover Change: Report of Working Group A, in: *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective* (eds. Meyer, W. B. i Turner II, B. L), Cambridge University Press, 13-53.

Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R., Dutter, R., 2008: *Statistical Data Analysis Explained*, Wiley, Chichester.

Richards, John A. i Jia, X., 1998: *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer.

Riley, D. T., 2018: *Using Regression Analysis to Determine Land Cover Impacts on Groundwater Levels in the High Plains*, Department of Agricultural Economics: Dissertations, Theses, and Student Research. 46.

Rogerson, P. A., 2001: *Statistical methods for geography*, Sage Publications, London.

Rogić, V., 1956: Razlike pejzaža velebitskih padina, *Geografski glasnik* 18 (1), 15-31.

Roić, M., 2012: *Upravljanje zemljišnim informacijama – katastar*, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.

Rykiel Jr., E. J., 1996: Testing ecological models the meaning of validation, *Ecological Modelling* 90, 229-244.

Schneider, A., Hommel, G., Blettner, M., 2010: Linear Regression Analysis, *Deutsches Ärzteblatt International* 107 (44), 776-782, DOI: 10.3238/arztebl.2010.0776.

Serneels, S., Lambin, E. F., 2001: Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya a spatial statistical model, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85, 65-81.

Showstack, R., 2022: Landsat 9 Satellite Continues Half-Century of Earth Observations Eyes in the sky serve as a valuable tool for stewardship, *BioScience* 72 (3), 226-232, DOI: 10.1093/biosci/biab145.

Siddique, M. A., Dongyun, L., Li, P., Rasool, U., Khan, T. U., Farooqi, T. J. A., Wang, L., Fan, B., Rasool, M. A., 2020: Assessment and simulation of land use and land cover change impacts on the land surface temperature of Chaoyang District in Beijing, China, *PeerJ*, 2020, DOI: 10.7717/peerj.9115.

Souza, C. H. W., Mercante, E., Prudente, V. H. R., Justina, D. D. D., 2013: Methods of performance evaluation for the supervised classification of satellite imagery in determining land cover classes, *Ciencia e investigación agraria* 40 (2), 419-418, DOI: 10.4067/S0718-16202013000200016.

Story, M., Congalton, R. G., 1986: Accuracy assessment a user's perspective, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 52, 397-399.

Stow, D. A., Tinney, L. R., Estes, J. E., 1980: Deriving land use/land cover change statistics from Landsat a study of prime agriculture land, *Proceedings of the 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 2 (Environmental Institute of Michigan), 1227-1237.

Sudhakar, S., Rao, K. S., 2010: Land use and land cover analysis, u *Applications of Remote Sensing* (ur. Roy, P.S., Dwivedi, R.S., Vijayan, D.), NRSC (ISRO) Hyderabad, India, 2010, 21-48.

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.

Šegota, T., Filipčić, A., 2003: Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje, *Geoadria* 8 (1), 17-37.

Šetka, J., Radeljak Kaufmann, P., Valozić, L., 2021: Promjene zemljišnoga 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.

Šiljeg, A., 2013: *Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.

Šulc, I., 2016: *Modeli razvoja turizma u Južnoj Dalmaciji*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.

Tadesse, S., Soromessa, T., Bekele, T., 2021: Analysis of the Current and Future Prediction of Land Use/Land Cover Change Using Remote Sensing and the CA-Markov Model in Majang Forest Biosphere Reserves of Gambella, Southwestern Ethiopia, *The Scientific World Journal* 2021, DOI: 10.1155/2021/6685045.

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.

Taylor, N. G., Grillas, P., Al Hreisha, H., Balkız, Ö., Borie, M., Boutron, O., Catita, A., Champagnon, J., Cherif, S., Çiçek, K., Costa, L. T., Dakki, M., Fois, M., Galweski, T., Galli, A., Georgiadis, N. M., Green, A. J., Hermoso, V., Kapedani, R., Lange, M. A., Mateljak, Z., Osta, M., Papastergiadou, E., Papazoglou, C., Sabater, S., Samraoui, B., Samraoui, F., Bachir, A. S., Tankovic, E., Thévenet, M., Troya, A., Sutherland, W. J., 2021: The future for Mediterranean wetlands: 50 key issues and 50 important conservation

research questions, *Regional Environmental Change* 21 (2), DOI: 10.1007/S10113-020-01743-1.

Tayyebi, A., 2013: *Simulating Land Use Land Cover Change Using Data Mining and Machine Learning Algorithms*, Doctoral Dissertation, Purdue University, West Lafayette, Indiana.

Thomlinson, J. R., Bolstad, P. V., Cohem, W. B., 1999: Coordinating Methodologies for Scaling Landcover Classifications from Site-Specific to Global: Steps toward Validating Global Map Products, *Remote Sensing of Environment* 70 (1), 16-28, DOI: 10.1016/S0034-4257(99)00055-3.

Tobler, W. R., 1979: Cellular geography, u *Philosophy in geography* (ur. Gale, S., Olsson, G.) Reidel, Dordrecht, 379-386.

Torrens, P. M., 2009: Cellular automata, u *International Encyclopedia of Human Geography* (ur. Kitchin, R., Thrift, N.), Elsevier, London, 1-4.

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.

Valožić, 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.

Valožić, 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.

Valožić, L., 2015: *Objektno orijentirana klasifikacija zemljišnoga pokrova pomoću multispektralnih satelitskih snimaka – primjer Grada Zagreba*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek.

Van Schrojenstein Lantnam, J., Verburg, P. H., Bregt, A., Geertman, S., 2011: Core Principles and Concepts in Land-Use Modelling A Literature Review, *GeoJournal Library*, 35-57, DOI: 10.1007/978-94-007-1822-7_3.

Van Vliet, J., 2013: *Calibration and validation of land-use models*, Doctoral thesis, Wageningen University.

Verburg, P. H., Kok, K., Pontius, R. G., Veldkamp, A., 2008: Modeling Land-Use and Land-Cover Change, *Global Change - The IGBP Series*, 117–135, DOI: 10.1007/3-540-32202-7_5.

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.

Vidaček, Ž., 2019: Površine i procjena poljoprivrednog zemljišta u Hrvatskoj, *Agronomski glasnik* 81 (5), 313-330.

Vidović, D., 2013: Ojkonimija Neretvanske krajine, *Croatica et Slavica Iadertina* 9/1 (9), 3-30.

Vresk, M., 1968: Tendencije suvremene evolucije prenaseljenog agrarnog kraja – primjeri iz okolice Varaždina, *Geografski glasnik* 30 (1), 143-154.

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.

Weng, Q., 2010: *Remote sensing and GIS integration: theories, methods, and applications*, McGraw-Hill, New York.

Wertheimer-Baletić, A., 1999: *Stanovništvo i razvoj*, MATE, Zagreb.

Wilkinson, G.G., 1996: A review of current issues in the integration of GIS and remote sensing data, *International Journal of Geographical Information Systems* 10, 85-101.

Wolfram, S., 1984: Cellular automata as models of complexity, *Nature* 311, 419–424, DOI: 10.1038/311419a0.

Worster, D., 1994: *The Wealth of Nature: Environmental History and the Ecological Imagination*, Oxford University Press.

Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Belward, A. S., Cohen, W. B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J. D., Hostert, P., Hughes, M. J., Huntington, J., Johnson, D. M., Kennedy, R., Kilic, A., Li, Z., Lymburner, L., McCorkel, J., Pahlevan, N., Scambos, T. A., Schaaf, C., Schott, J. R., Sheng, Y., Storey, J., Vermote, E., Vogelmann, J., White, J. C., Wynne, R. H., Zhu, Z., 2019: Current status of Landsat program, science, and applications, *Remote Sensing of Environment* 225, 127-147, DOI: 10.1016/j.rse.2019.02.015.

Xu, H., Wang, X., Xiao, G., 2000: A remote sensing and GIS integrated study on urbanization with its impact on arable lands: Fuqing City, Fujian Province, China, *Land Degradation & Development* 11 (4), 301-314, DOI: 10.1002/1099-145x(200007/08)11:4<301::aid-ldr392>3.0.co;2-n

Xu, Q., Zhu A., Liu, J., 2023: Land-use change modeling with cellular automata using land natural evolution unit, *Catena* 224, 106998, DOI: 10.1016/j.catena.2023.106998.

Yang, X., Zheng, X.-Q., Lv, L.-N., 2012: A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata, *Ecological Modelling* 233, 11-19.

Zhai, R., Zhang, C., Li, W., Zhang, X., Li, X., 2020: Evaluation of Driving Forces of Land Use and Land Cover Change in New England Area by a Mixed Method, *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9 (6), 350, DOI: 10.3390/ijgi9060350.

Zhang, C., Li, X., 2022: Land Use and Land Cover Mapping in the Era of Big Data, *Land* 11 (10), 1692, DOI: 10.3390/land11101692.

Popis izvora

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, 2005: PC-Axis baze podataka, Dubrovačko-neretvanska županija - broj stanovnika po gradovima/općinama, https://web.dzs.hr/PxWeb/pxweb/hr/Naselja%20i%20stanovni%20a1tvo%20Republike%20Hrvatske/Naselja%20i%20stanovni%20a1tvo%20Republike%20Hrvatske_Stanovni%20a1tvo_Gradovi%20i%20Op%20c4%87ine/Tabela3_19.px/table/tableViewLayout1/ (8. 3. 2025.)

DZS, 2011: Popis stanovništva 2011, Državni zavod za statistiku, <http://www.dzs.hr/> (8. 5. 2022.)

DZS, 2021: Popis stanovništva 2021, Državni zavod za statistiku, <http://www.dzs.hr/> (9. 3. 2024.)

ESRI, 2021a: Create Pan-sharpened Raster Dataset, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/data-management-toolbox/create-pansharpened-raster-dataset.htm> (8. 7. 2024.)

ESRI, 2021b: Clip,

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/data-management-toolbox/clip.htm>

(8. 7. 2024.)

ESRI, 2021c: Create Random Points (Data Management),

<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/create-random-points.htm> (19. 7. 2024.)

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

Google Earth Pro, 7.3.4.8642 (64-bit) (8. 8. 2022.)

Haop.hr, 2018: Pokrov i namjena korištenja zemljišta CORINE Land Cover, <https://www.haop.hr/hr/baze-i-portali/pokrov-i-namjena-koristenja-zemljista-corine-land-cover> (29. 4. 2024.)

Javna ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode Dubrovačko-neretvanske županije, 2016: Požari u delti rijeke Neretve, <https://www.zastita-prirode-dnz.hr/pozari-delti-rijeke-neretve/> (14. 1. 2023.)

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.)

United Nations, 2024: Forests face increasing risk of wildfires and pests due to climate change, <https://news.un.org/en/story/2024/07/1152386> (12. 10. 2024).

U.S. Geological Survey (USGS), 2021: Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEARS), U.S. Geological Survey (USGS), <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/> (27. 2. 2021.)

U.S. Geological Survey (USGS), 2024a: Landsat 5, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5> (10. 7. 2024.)

U.S. Geological Survey (USGS), 2024b: What are the band designations for the Landsat satellites, <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites> (10. 7. 2024.)

U.S. Geological Survey (USGS), 2024c: Landsat 7, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7> (11. 7. 2024.)

U.S. Geological Survey (USGS), 2024d: Landsat 7 band designations, <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-7-band-designations> (11. 7. 2024.)

U.S. Geological Survey (USGS), 2024e: Landsat 8, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> (12. 7. 2024.)

U.S. Geological Survey (USGS), 2024f: Landsat 8 band designations, <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-band-designations> (12. 7. 2024.)

POPIS GRAFIČKIH PRILOGA

Popis slika

Sl. 1. Geografski smještaj i položaj Donjoneretvanskog kraja	4
Sl. 2. Perspektivni reljefni prikaz Donjoneretvanskog kraja	5
Sl. 3. Kretanje broja stanovnika Donjoneretvanskog kraja od 1857. do 2021. godine.....	7
Sl. 4. Prva snimka Landsata 9 – sjeverozapadna obala Australije, 31. listopada 2021.	23
Sl. 5. Metodološka shema istraživanja.....	33
Sl. 6. Landsat 7 ETM+	36
Sl. 7. Prostorni obuhvat Landsat satelitskih snimaka (1990., 2005., 2020.).....	39
Sl. 8. Kompozitna snimka prije i poslije izoštravanja – Landsat 8 OLI TIRS (Opuzen)	41
Sl. 9. Periodične pruge nastale zbog kvara na Scan Line Correctoru (SLC) (Landsat 7 ETM+)	42
Sl. 10. Ručna vektorizacija izgrađenih površina u Donjoneretvanskom kraju na temelju Landsat satelitskih snimaka (2020.).....	45
Sl. 11. Slojevi šuma i travnjaka i područja s oskudnom vegetacijom izdvojeni nenadziranom Iso cluster klasifikacijom na temelju Landsat satelitskih snimaka (2020.) – Rujnica i Orlovac	46
Sl. 12. Evaluacija točnosti klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta – vodene površine (mrtvaja u Metkoviću)	48
Sl. 13. Nadmorska visina (m) u Donjoneretvanskom kraju.....	56
Sl. 14. Nagib padina (°) u Donjoneretvanskom kraju.....	57
Sl. 15. Ekspozicija padina u Donjoneretvanskom kraju	58
Sl. 16. Broj stanovnika i gustoća naseljenosti (stan/km ²) u Donjoneretvanskom kraju 2011./2021.	63
Sl. 17. Udio starog stanovništva (%) i indeks starenja u Donjoneretvanskom kraju 2011./2021.	64
Sl. 18. Udaljenost od izgrađenih i vodenih površina (m) u Donjoneretvanskom kraju 2020..	69
Sl. 19. Primjer kalibracije modela korištenjem umjetnih neureonskih mreža (ANN) u MOLUSCE dodatku za QGIS.....	73
Sl. 20. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 1990. godine.....	78
Sl. 21. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 2005. godine.....	81
Sl. 22. Zarastanje zapuštenih poljoprivrednih parcela u močvarnu vegetaciju.....	82

Sl. 23. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 2020. godine.....	85
Sl. 24. Pogled na močvarno zemljište. Utvrda Brštanik, općina Slivno	86
Sl. 25. Glavne promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 1990. – 2005. godine	89
Sl. 26. Glavne promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 2005. – 2020. godine	91
Sl. 27. Pogled na Pelješki most.....	92
Sl. 28. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 2008. – 2019. godine (općina Slivno).....	93
Sl. 29. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 1990. – 2005. – 2020.	94
Sl. 30. Sukcesija vegetacije po naseljima 2005. – 2020. godine	98
Sl. 31. Sukcesija vegetacije. Naselje Desne (općina Kula Norinska)	99
Sl. 32. Sukcesija vegetacije. Naselje Staševica 2002. (gornji prikaz) - 2020. (donji prikaz)	100
Sl. 33. Degradacija vegetacije po naseljima 2005. – 2020. godine	102
Sl. 34. Degradacija vegetacije (općina Kula Norinska)	103
Sl. 35. Intenzifikacija poljoprivrede po naseljima 2005. – 2020. godine	105
Sl. 36. Zemljišne parcele nastale melioracijom močvare. Utvrda Brštanik, općina Slivno... ..	106
Sl. 37. Izgradnja – transformacija šuma i travnjaka u izgrađene površine po naseljima 2005. – 2020. godine.....	108
Sl. 38. Naplatna postaja Čarapine	109
Sl. 39. Vinarija Rizman – primjer transformacije šuma i travnjaka u poljoprivredne površine	110
Sl. 40. CA-ANN simulacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju za 2020.	119
Sl. 41. CA-ANN simulacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju za 2035.	121
Sl. 42. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju 1990.–2005.–2020.–2035.	122

Popis tablica

Tab. 1. Površina i broj naselja po gradovima i općinama Donjoneretvanskog kraja.....	6
Tab. 2. Klasifikacijski sustavi korišteni na nacionalnoj, kontinentalnoj i globalnoj razini	11

Tab. 3. Klasifikacija zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta prema USGS-u.....	12
Tab. 4. Struktura tipova pokrova zemljišta prema CORINE programu	14
Tab. 5. Kanali, valne duljine, opseg i prostorna rezolucija satelitskih snimaka Landsat 5 TM	35
Tab. 6. Kanali, valne duljine, opseg i prostorna rezolucija satelitskih snimaka Landsat 7 ETM+.....	37
Tab. 7. Kanali, valne duljine, opseg i prostorna rezolucija satelitskih snimaka Landsat 8 OLI TIRS.....	38
Tab. 8. Klasifikacijska shema zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta.....	43
Tab. 9. Fizičko-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (1. dio) – nadmorska visina	51
Tab. 10. Fizičko-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (2. dio) – nagib padina	52
Tab. 11. Fizičko-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (3. dio) – ekspozicija padina.....	54
Tab. 12. Društveno-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (1. dio) – broj i gustoća naseljenosti	59
Tab. 13. Društveno-geografske varijable korištene u regresijskoj analizi (2. dio) – udio starog stanovništva i indeks starenja.....	61
Tab. 14. Varijable udaljenosti korištene u regresijskoj analizi (1. dio) – udaljenost od izgrađenih površina.....	65
Tab. 15. Varijable udaljenosti korištene u regresijskoj analizi (2. dio) – udaljenost od vodenih površina.....	67
Tab. 16. Interpretacija koeficijenta korelacija	70
Tab. 17. Matrica konfuzije klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonevretvanskom kraju za 1990. godinu	79
Tab. 18. Matrica konfuzije klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonevretvanskom kraju za 2005. godinu	83
Tab. 19. Matrica konfuzije klasifikacije zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjonevretvanskom kraju za 2020. godinu	87
Tab. 20. Procesi promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta Donjonevretvanskog kraja od 1990. do 2005.	90
Tab. 21. Procesi promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta Donjonevretvanskog kraja od 2005. do 2020.	92

Tab. 22. Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta Donjoneretvanskog kraja 1990. – 2005. – 2020.....	95
Tab. 23. Nestandardizirani B-koeficijent i VIF za prediktore promjena područja s oskudnom vegetacijom u šume i travnjake.....	97
Tab. 24. Nestandardizirani B-koeficijent i VIF za prediktore promjena šuma i travnjaka u područja s oskudnom vegetacijom.....	101
Tab. 25. Nestandardizirani B-koeficijent i VIF za prediktore promjena močvara u poljoprivredne površine	104
Tab. 26. Nestandardizirani B-koeficijent i VIF za prediktore promjena šuma i travnjaka u izgrađene površine	107
Tab. 27. Referentni i simulirani zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju u 2020.....	118

EXTENDED SUMMARY

For millennia, humans have changed their environment. The Industrial Revolution was a major turning point in land use and land cover (LULC) changes. Rapid population growth, globalization, and urbanization have sped up these changes. They have made human impact on the Earth's surface widespread. Understanding the dynamics of LULC change is crucial for managing environmental and societal challenges, especially at the local level.

This dissertation focuses on the spatial and temporal analysis of LULC changes in the Lower Neretva Region, covering the period from 1990 to 2035. The research aims to identify the extent, distribution, and driving factors behind these changes, offering insights into both historical patterns and future projections. The research tests several hypotheses:

- a) Landsat imagery can be classified with high accuracy, achieving a kappa coefficient above 0.80 for the region;
- b) Physical-geographical variables, such as elevation, slope, and exposure, play a significant role in predicting LULC changes;
- c) Future simulations will indicate a notable decline in swamps, driven by anthropogenic activities such as urbanization and agricultural expansion.

The methodology is structured into three key phases: land use and land cover analysis, regression analysis, and simulation modeling. The land cover analysis utilizes Landsat 5, 7, and 8 satellite imagery to examine LULC changes across the reference years of 1990, 2005, and 2020. A hybrid approach is employed for classification, incorporating Iso Cluster unsupervised classification and manual (visual) methods.

Regression analysis is conducted to determine key predictors of LULC shifts, complemented by qualitative insights derived from interviews with ten residents of Kula Norinska Municipality. The variables identified as statistically significant in the regression analysis include physical-geographical factors, such as elevation, slope, aspect, and distances from water and built-up areas.

For simulation modeling, both the test and final models were developed using cellular automata (CA) and artificial neural networks (ANN), implemented through the MOLUSCE plugin for QGIS. A test simulation model representing land use and land cover in 2020 was created to validate the modeling process, which demonstrated a high level of accuracy. Input variables for both models include those statistically significant factors identified in the regression analysis.

The structure of land use and land cover in the Lower Neretva region in 1990 shows the dominance of the forest and grassland class, as well as areas with sparse vegetation.

According to research, forests and grasslands covered 39.6% of the total area (16,337 ha), while areas with sparse vegetation occupied 24% of the area (9,901 ha). These two classes are predominantly found in the hilly areas outside the alluvial plain, where agricultural land and swamps dominate. Agricultural areas covered 16.9% of the total area (6,972 ha), while swamps occupied 10.9% (4,497 ha). The category of built-up areas accounted for 5.8% of the land (2,393 ha), and water bodies made up 2.8% (1,155 ha). The overall accuracy of the land use and land cover classification for 1990 was 89.7%, while the kappa coefficient was 0.86. The lowest accuracy rate was recorded for water bodies (80%), which is attributed to the fact that the Neretva River is composed of many narrow channels that are difficult to classify precisely.

A classified satellite image from 2005 shows an increase in the area of the forest and grassland class to 42.6% (17,574 ha), while the area with sparse vegetation decreased to 19.9% (8,191 ha). Agricultural areas expanded to 17.2% (7,093 ha), while the share of swamps decreased to 10.6% (4,374 ha). At the same time, built-up areas increased to 6.6% (2,740 ha), and water bodies slightly increased to 3.1% (1,283 ha). The overall classification accuracy for 2005 was 86.3%, and the kappa coefficient was 0.82.

By 2020, the share of the forest and grassland class decreased to 41.6% (17,162 ha), while agricultural areas slightly increased to 17.6% (7,261 ha). The process of swamp reduction continued, with swamps occupying 9.5% (3,919 ha). The share of built-up areas increased to 7.7% (3,177 ha). The classification accuracy for 2020 was 88.2%, and the kappa coefficient was 0.84.

The detection of land use and land cover changes was conducted for two distinct periods: 1990–2005 and 2005–2020. Change maps were generated by systematically comparing the classes from 1990 to 2005 and from 2005 to 2020, resulting in 30 distinct types of changes for each period.

During the first period (1990–2005), changes affected an area of 69.3 km² (6,930 ha), representing 16.8% of the Lower Neretva Region. Seven major types of changes accounted for 82.8% of the total transformation. The most significant changes included the conversion of sparse vegetation into forests and grasslands, as well as the reverse process, where forested areas turned into sparsely vegetated lands. Additionally, swamps were notably transformed into agricultural land, making this the third most frequent type of change during this period.

In the second period (2005–2020), changes were observed on 64.4 km² (6,440 ha), covering 15.6% of the region. Similar to the previous period, seven types of changes accounted for the majority of the transformations (85.8%). The most prominent shift was the transition of

forests and grasslands into sparse vegetation, followed by the reverse transition. As with the earlier period, the conversion of swamps into agricultural land remained a significant change.

Over the entire 1990–2020 period, the area of forests and grasslands increased by 8.25 km² (825 ha), representing the largest growth of any class. Built-up areas also expanded significantly, growing by 7.84 km² (784 ha). Conversely, the area of sparse vegetation experienced a notable decrease of 16.91 km².

Following the analysis of land use and land cover changes in the Lower Neretva Region, statistical modeling was conducted using stepwise regression to identify key factors influencing these processes from 2005 to 2020. The main changes in land cover identified during this period were then categorized into several key processes. Vegetation succession was defined as the transition from sparse vegetation areas to forests and grasslands, while vegetation degradation refers to the transformation of forests and grasslands into sparse vegetation areas.

Another major process was agricultural intensification, which reflects the conversion of swamps into agricultural land, indicating a significant shift towards the expansion and intensification of farming activities. Urbanization and infrastructure development were captured through the process of urban expansion, characterized by the conversion of forests and grasslands into built-up areas.

In the analysis of vegetation succession, degradation, agricultural intensification, and the transformation of forests and grasslands into built-up areas, key predictors were identified. For vegetation succession, the most significant variables included aspect (flat terrain), elevation between 50 and 200 meters, and slope gradient between 5° and 12°. These variables explained 66.6% of the variance in the model. In the context of vegetation degradation, significant predictors included aspect (flat terrain), northern slope exposure, elevation above 400 meters, and distance from water bodies over 500 meters, collectively explaining 47.9% of the variance. For agricultural intensification, aspect (flat terrain) and distance from built-up areas over 500 meters were the primary predictors, explaining 32.1% of the variance. Regarding the transformation of forests and grasslands into built-up areas, significant predictors included aspect (southeast) and elevation between 50 and 200 meters, with the model explaining 32.1% of the variance.

In the regression analysis of land use and land cover changes in the Lower Neretva Region from 2005 to 2020, physical geographical variables, namely aspect, elevation, and slope gradient, were crucial. Additionally, proximity variables, specifically proximity to water

bodies and built-up areas, had a significant impact. Socio-geographical variables did not show statistical significance in any of the analyzed models.

Following the regression analysis, a series of ten semi-structured interviews were conducted with residents of Kula Norinska Municipality to gather qualitative insights into the changes in land use and land cover in the area. These interviews, which included a diverse range of participants in terms of age, gender, and occupation, provide essential contextual information that complements the quantitative findings. The responses from the participants highlight key local factors influencing the shifts in land use, including both natural and anthropogenic drivers. The insights gained from these interviews enhance the understanding of the environmental, economic, and social impacts of land cover changes on the daily life of residents.

By engaging with local residents, the research uncovers not only the causes of these changes but also the strategies and perspectives for future development, including the importance of sustainable land management and vegetation restoration. The combination of quantitative and qualitative data provides a more comprehensive view of the challenges and opportunities faced by the community, bridging the gap between scientific analyses and local realities.

As a final step in the methodological framework of the research, both the test and final simulation models of land use and land cover changes in the Lower Neretva region were developed. These models utilized variables that were statistically significant in the preceding regression analysis, including raster data on elevation, slope gradient, aspect, and distances from water bodies and built-up areas.

The test simulation model projected changes for the year 2020 based on land use and land cover analyses from 1990 and 2005. By comparing the simulated and reference models, an overall accuracy of 85% was achieved, with a kappa coefficient of 0.81. The highest precision was measured in the agricultural land class, with a deviation of only 78 hectares. However, the model did not accurately predict the expansion of forest and grassland classes, which, according to reference data for 2020, did not occur. Additionally, the algorithm significantly underestimated the reduction of swamps, which diminished more than projected in the simulation.

In contrast, the final simulation model for 2035 was based on results from 2005 and 2020, alongside the previously mentioned spatial variables. The model forecasts that forests and grasslands will occupy over 18,000 hectares, accounting for approximately 45% of the observed area. It anticipates a notable decrease in sparse vegetation areas, projected to reduce

by 17.6%, leading to an estimated coverage of 6,764 hectares. Swamps are projected to decrease by 2.3%, resulting in an area of 3,829 hectares. This potential reduction in swamps poses a considerable threat to the flora and fauna of the Lower Neretva region. Conversely, agricultural land is expected to experience a slight increase of 387 hectares, or 5.3%, while built-up areas could expand by 2.2%, which would then cover 3,246 hectares.

ŽIVOTOPIS

Josip Šetka rođen je 22. svibnja 1993. godine u Metkoviću. Završio je Osnovnu školu don Mihovila Pavlinovića i opću gimnaziju u Metkoviću. Na Sveučilištu u Zadru akademske godine 2012./2013., upisao je *Jednopredmetni studij primijenjene geografije*, kojeg je završio 2018. godine. Tijekom studija bio je demonstrator na kolegijima *Uvod u ekonomsku geografiju* i *Regionalna geografija Angloamerike*. U sklopu diplomskog studija odlazi na Erasmus+ studentski boravak na Jagelonsko sveučilište u Krakovu (Poljska), a neposredno nakon završenog studija odlazi na Erasmus+ stručnu praksu u Lisabon (Portugal) gdje je radio pri Institutu za geografiju i prostorno planiranje (IGOT).

Dobitnik je Nagrade Rektorice Sveučilišta u Zadru u znak priznanja za izvrsne rezultate postignute u akademskoj godini 2016./2017. te Nagrade Rektorice Sveučilišta u Zadru u znak priznanja za sudjelovanje na projektu Popularizacije znanosti i korištenja geografskih informacijskih sustava (GIS-a) u školama. Dobitnik je nagrada Hrvatskog geografskog društva Zadar – „*Federik Grisogono*“ za izvanredan uspjeh na 3. godini preddiplomskog te na 1. i 2. godini diplomskog studija geografije. U akademskoj godini 2018./2019. upisao je *Doktorski studij geografije: prostor, regija, okoliš, pejzaž*.

Zaposlen je u softverskoj tvrtki Syskit gdje radi kao inženjer automatizacije kontrole kvalitete.

POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

Šetka, J., Radeljak Kaufmann, P., Valožić, L., 2021: Promjene zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta u Donjoneretvanskom kraju od 1990. do 2020. godine, *Hrvatski geografski glasnik* 83 (2), 7-31, DOI: 10.21861/ HGG.2021.83.02.01.

Šetka, J., Radeljak Kaufmann, P., Valožić, L., 2023: Modeliranje promjena zemljišnoga pokrova i načina korištenja zemljišta: primjer Donjoneretvanskoga kraja, *Hrvatski geografski glasnik* 85 (1), 41-63, DOI: 10.21861/HGG.2023.85.01.02.

Šetka, J., Pejdo, A., 2023: Potentials of Tourism Development in the Lower Neretva region, *Turizam* 27 (3), 171-185, DOI: 10.5937/turizam27-39314.