

ZBORNIK RADOVA

GEODEZIJA

regulirana djelatnost

2025

**18. SIMPOZIJ OVLAŠTENIH
INŽENJERA GEODEZIJE**

BOL NA BRAČU, 22. - 25. 10. 2025.



Hrvatska komora ovlaštenih
inženjera geodezije
Croatian Chamber of Chartered
Geodetic Engineers

u suradnji s



The Council of European
Geodetic Surveyors
Comité de Liaison des
Géomètres Européens

Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije

BOL NA BRAČU
22. – 25. listopada 2025.

GEODEZIJA – REGULIRANA DJELATNOST 2025-2050

18. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije

ZBORNIK RADOVA

U suradnji s Council of European Geodetic Surveyors

IMPRESUM

Naslov

Geodezija – regulirana djelatnost 2025-2050, Zbornik radova 18. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije

Izdavač

Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije

Za izdavača

Vedran Car, mag. ing. geod. et geoinf.
predsjednik Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije

Urednici

izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić
izv. prof. dr. sc. Marko Pavasović

Tehnički urednici

doc. dr. sc. Josip Križanović
dr. sc. Doris Pivac

Oblikovanje i priprema

Grafomark, Zagreb, listopad 2025.

ISBN 978-953-49258-9-8

Copyright © Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, 2025.

ORGANIZACIJSKI ODBOR

Predsjednik:

Stjepan Miletić, mag. ing. geod. et geoinf.

Članovi:

Vedran Car, mag. ing. geod. et geoinf.

Adrijan Jadro, dipl. ing. geod.

Ivan Jurić, mag. ing. geod. et geoinf.

Lara Jerman, dipl. ing. geod.

ZNANSTVENO-STRUČNI ODBOR

Predsjednik:

izv. prof. dr. sc. **Hrvoje Tomić**
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Hrvatska

Članovi:

izv. prof. dr. sc. **Marko Pavasović**
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Hrvatska

doc. dr. sc. tech **Josip Križanović**
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Hrvatska

dr. sc. tech. **Doris Pivac**
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Hrvatska

izv. prof. dr. sc. **Ante Marendić**
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Hrvatska

prof. dr. sc. **Mladen Zrinjski**
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Hrvatska

doc. dr. sc. **Sergej Baričević**
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Hrvatska

prof. dr. sc. **Vlado Cetl**
Sveučilište Sjever, Odjel za Geodeziju i Geomatiku, Hrvatska

doc. dr. sc. **Ivan Racetin**
Sveučilište u Splitu, Fakultet Građevinarstva, arhitekture i geodezije, Hrvatska

prof. dr. sc. **Anka Lisec**
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija

prof. dr. sc. **Zlatko Srbinoski**
Univerzitet "Sv. Kiril i Metodij, Gradežen fakultet, Sjeverna Makedonija

PREDGOVOR

predsjednika Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije



Uvažene kolegice i kolege, predstavnici geodetske struke,

Kao i svake godine, održavanje simpozija ovlaštenih inženjera geodezije, predstavlja važan trenutak za našu struku, pružajući priliku za promišljanje o smjeru u kojem se geodetsko-geoinformatička djelatnost razvija te uloge Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije u tom procesu.

U 2025. godini, u kojoj obilježavamo 25 godina djelovanja inženjerskih komora u Hrvatskoj, organizacijom ovog simpozija željeli smo potaknuti teme koje se odnose na prošlost, sadašnjost i budućnost geodezije kao regulirane djelatnosti. Kroz predavanja i stručne rasprave cilj nam je sagledavanje kontinuiteta razvoja profesije, prepoznavanje aktualnih izazova te otvorenje prostora za promišljanje o budućem smjeru djelovanja u kontekstu tehnološkog razvoja i društvenih promjena.

Geodetska struka danas je suočena s potrebom usklađivanja tradicije, znanstveno-stručnih dostignuća i brzog tehnološkog napretka. Digitalni alati, automatizacija radnih procesa i umjetna inteligencija otvaraju nove mogućnosti, istovremeno zahtijevajući očuvanje visokih profesionalnih standarda i odgovornosti. U tom kontekstu, Komora ima ključnu ulogu kao jamac stručnosti, vjerodostojnosti i zaštite javnog interesa, osiguravajući da geodetska struka ostane prepoznata kao temelj prostornog razvoja i planiranja.

Zbornik radova XVIII. simpozija potvrđuje profesionalnu izvrsnost naših članova te doprinosi promicanju razvoja struke i njezine uloge u društvu. Zahvaljujem Organizacijskom odboru, Znanstveno-stručnom odboru, svim autorima i predavačima čiji doprinos omogućuje kontinuitet stručnog napretka i jačanje profesionalne zajednice.

Vedran Car, mag. ing. geod. et geoinf.

Predsjednik Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije

PREDGOVOR

predsjednika Organizacijskog odbora 18. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije



Drage kolegice i dragi kolege,

dobrodošli na 18. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije u Bol na Braču.

Gledajući ovu znakovitu brojku kroz zakonsku prizmu hrvatskog građanina, slobodno možemo reći kako je ove godine simpozij postigao svoju „punoljetnost“. U tom kontekstu, ovo je dobar trenutak kako bismo napravili jedan vremenski presjek te promatrali geodeziju kao reguliranu djelatnost u prošlosti, sadašnjosti i budućnosti.

Da bismo znali ocijeniti stanje u sadašnjosti, potrebno je pogledati u prošlost: s kojim izazovima smo se susretali, kako smo im pristupili, kako smo ih riješili, što smo naučili. S obzirom na progresivni tehnološki razvoj, možda pojedina rješenja danas uzimamo zdravo za gotovo, lako zaboravljajući koliko je zapravo teško bilo raditi bez njih.

U današnje vrijeme, geodezija kao regulirana djelatnost itekako ima potencijal izgraditi još bolju prepoznatljivost i status u društvu te doprinijeti jačanju gospodarstva i poljoprivrede što su glavni temelji za napredak i blagostanje jedne države.

U samom zaštitnom znaku ovogodišnjeg simpozija prikazana je budućnost u broju 2050. Gotovo svakodnevno se susrećemo s mogućnostima umjetne inteligencije i zasigurno će glavni izazov biti - znati ju koristiti optimalno kako ne bi značajno bila narušena uloga geodetskog stručnjaka.

Kroz radove na ovom simpoziju u koje su autori utkali svoja znanja, iskustva i nesebičnost, dobit ćemo kvalitetno stručno usavršavanje, a pojedinci možda i polet za budućnost. U pogledu stručnog usavršavanja, vjerujem da će simpozij, kao i do sada, biti mjesto razmjene znanja, iskustava, ideja i rješenja. Držim da je cjeloživotno učenje važno, kako u profesionalnom, tako i u privatnom životu. U proteklim simpozijima veliki naglasak na cjeloživotno učenje stavljao je dragi mi kolega Paar koji je u radu za 12. simpozij (Etika u struci?!) napisao: „Stjecanje znanja jedan je kontinuirani proces koji ne završava završetkom obaveznog obrazovanja, nego počinje prije njega i traje cijeli život.“ Nadalje, uz to, simpozij nikada ne bi trebao izgubiti sljedeću karakteristiku – simpozij je mjesto susreta. Jer ako nema susreta, nema ni odnosa, ako nema odnosa, nema ni napretka.

Bila mi je izuzetna čast i zadovoljstvo obnašati povjerenu mi funkciju Upravnog odbora Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije te dijeliti vrijeme s članovima Znanstveno- stručnog odbora, Tajništva Komore i članovima Organizacijskog odbora koji su zaslužni što smo danas ovdje – na 18. simpoziju ovlaštenih inženjera geodezije. Hvala!

S poštovanjem,

Stjepan Miletić, mag. ing. geod. et geoinf.

Predsjednik Organizacijskog odbora 18. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije

UVODNIK

predsjednika Znanstveno-stručnog odbora 18. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije



Poštovane kolegice i kolege,

Geodetsko-geoinformatička struka danas stoji pred velikim izazovom – kako zadržati temeljnu točnost i pouzdanost našeg rada, a istovremeno prihvatiti brzi razvoj tehnologija, senzora i umjetne inteligencije. Ovaj 18. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije pruža priliku da zajedno razmislimo o tome kako se naša profesija razvija i kako se stručna znanja, regulativa i moderni informacijski sustavi mogu objediniti u kvalitetna, praktična i učinkovita rješenja.

Integracija novih tehnologija u svakodnevni rad više nije opcija – ona je nužnost. Senzori prikupljaju podatke brže, točnije i preciznije nego ikada prije, a umjetna inteligencija pruža mogućnost njihove analize na načine koji su prije nekoliko godina bili nezamislivi. Najveći izazov i prilika naše struke jest upravo sposobnost da ta zaista ogromna količina podataka i ipak nešto manja količina stručnih znanja postane dio reguliranih sustava, pravilnika i informacijskih platformi koje omogućuju transparentan i učinkovit rad.

Zbornik radova 18. simpozija donosi najnovija saznanja i iskustva u geodeziji, s pogledom prema razdoblju 2025–2050. Obuhvaća inovativne tehnologije, suvremene sustave i regulativne okvire, pokazujući kako se teorijska i praktična znanja mogu povezati u funkcionalne sustave koji podupiru održivi razvoj struke i društva u cjelini. No, ovaj simpozij i prateći zbornik nisu samo pregled aktualnih tema – oni su poziv na razmišljanje, kreativnost i proaktivnost. Naša je zadaća da prepoznamo prilike koje donosi tehnologija, da ih pametno integriramo i time osiguramo da geodetska i geoinformatička struka i dalje ostane pouzdan, inovativan i relevantan dio društva.

Ovim putem se zahvaljujem svim autorima, članovima Znanstveno-stručnog odbora, članovima Organizacijskog odbora te djelatnicima tajništva Komore, čiji trud omogućuje da ovaj simpozij i zbornik budu mjesto inspiracije i profesionalnog napretka.

izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić

Predsjednik Znanstveno-stručnog odbora 18. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije

SADRŽAJ

Sesija 1: Geoinformatika sutrašnjice

Lana Ivković, Hrvoje Tomić, Doris Pivac i Klaudia Korpar

Geoinformacije za održivi razvoj: indeks pješačke prohodnosti kao mjera dostupnosti urbanih sadržaja 11

Helena Matijević i Luka Stemberga

Od 3D modela krovova do interaktivne procjene solarnog potencijala 17

Vedran Vrhovac

Inteligentni prometni sustavi u sklopu pametnih gradova 22

Mile Prša, Kristijan Bojko i Filip Čekada

Primjena LIDAR podataka Državne geodetske uprave u optimizaciji provjere ostvarivosti radiorelejnih (RR) veza 28

Samanta Bačić, Martina Baučić, Nikša Jajac i Frane Gilić

DesirMED – Analiza ranjivosti obalnog područja Kaštelanskog zaljeva 33

Olga Bjelotomić, Sanja Šamanović, Nikola Kranjčić i Danko Markovinović

Modernizacija sveučilišne nastave kroz projekt Europske svemirske agencije: razvoj kolegija naprednih vještina daljinskih istraživanja 39

Stjepan Miletić, Rinaldo Paar i Monika Frišić

Provođenje promjena u hrvatskim geodetskim tvrtkama 44

Sesija 2: Tehnološka budućnost

Mile Božičević, Mihael Bikčević, Hrvoje Tomić i Ante Marenić

Primjena mobilnog laserskog skenera u različitim geodetskim radovima 50

Loris Redovniković, Antun Jakopec, Jurica Jagetić i Tomislav Leko

Mobilno kartiranje i vizualizacija pomoću softvera otvorenog koda 56

Jurica Jagetić, Krunoslav Špoljar, Đuro Barković, Loris Redovniković,

Sergej Baričević, Antonio Tupek, Karlo Stipetić, Luka Družević, Ivan Ljubičić

Analiza visinskog prikaza terena dobivenog zračnim snimanjem LiDAR-om 62

Nikola Kranjčić, Davor Stanko, Jasmin Jug, Ante Rezo, Vlado Cetl

Geodetsko-seizmološki pristup u identifikaciji topografske amplifikacije: primjena LiDAR-a i HVSAR metode u sjeverozapadnoj Hrvatskoj 68

Karlo Stipetić, Mladen Zrinjski, Krunoslav Špoljar, Antonio Tupek i Filip Cvrlja

Utjecaj atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina elektrooptičkim daljinomjerom 74

Sesija 3: Suvremeni katastar i sustavi

Hrvoje Matijević, Maja Šalinović, Bojan Đurin, Ante Rezo, Sara Mihaljević i Vlado Cetl

Automatsko prepoznavanje promjena u skupovima podataka o 2d prikazima zgrada korištenjem podataka zračnog laserskog skeniranja 82

Franjo Ambroš, Paulina Božičković i Vedran Stojnović

Katastar infrastrukture, važnost točnih i pravovremenih informacija o infrastrukturi – interakcija širokopojasne elektroničke komunikacijske infrastrukture i geodetske struke 88

Dubravko Špoljarić

Preporuke za utvrđivanje uvjeta oblikovanja građevnih čestica za izgradnju pasivnih solarnih obiteljskih kuća 94

Vladimir Baričević, Luka Babić, Bojan Linardić, Jelena Bubrig, Ivan Landek i**Nikolina Jurić**

Izrada kartografskih podloga za potrebe prostornoga planiranja 100

Lucija Gašparović i Ivo Pažanin

Kako virtualni asistenti mijenjaju upravljanje zemljištem 105

Martina Nemet, Stjepan Grđan i Dario Kašmo

Digitalizacija procesa obilježavanja kroz Sustav novih izmjera 111

Stjepan Grđan, Martina Nemet, Maja Čorak i Ana Vichra

SDGE – više od pet godina primjene 117

Sesija 4: Tehnologija na moru i vodama, zakonska regulativa i suvremeni katastar

Luka Babić, Robert Paj, Vladimir Baričević, Jelena Bubrig, Bojan Linardić i**Nikolina Jurić**

Model podataka za prostorno planiranje na moru 124

Ivan Tekić, Mirna Bušić, Bruno Čaleta, Luka Raspović, Luka Stemberga i**Branimir Radun**

Razvoj Web GIS sustava za automatsku detekciju antropogenih promjena u obalnom pojasu Hrvatske korištenjem visokorezolucijskih satelitskih snimaka 130

Franjo Ambroš, Vladimir Slivac, Perica Mihaljević, Ivan Sambunjak i Josip Vejmelka

Nekretnine, postupci evidentiranja i sporovi oko granica vlasništva – uloga stalnih sudskih vještaka i procjenitelja iz područja geodezije 136

Sesija 1

Geoinformatika sutrašnjice

Voditelj: Ante Marendić

Zamjenik voditelja: Doris Pivac

Geoinformacije za održivi razvoj: indeks pješačke prohodnosti kao mjera dostupnosti urbanih sadržaja

Lana Ivković¹, Hrvoje Tomić¹, Doris Pivac¹, Klaudia Korpar¹

¹ Geodetski fakultet Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, livkovic@geof.hr, htomic@geof.hr, dopivac@geof.hr, kkorpar@geof.hr

Sažetak

U današnje vrijeme pješčenje predstavlja najjednostavniji, najjeftiniji i po okoliš najmanje destruktivan oblik transporta kojim se ljudi koriste. Također, ima velik utjecaj i na zdravlje populacije pa je poticanje i popularizacija takvog načina kretanja od velike važnosti. Upravo zato rad proučava mogućnosti poboljšanja i planiranja pješačke infrastrukture na temelju određivanja indeksa pješačke prohodnosti, a odabrano je područje gradova u Hrvatskoj, Karlovca i Zaboka. Pri analizama koriste se službeni LiDAR podaci prikupljeni u okviru projekta „Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“ te podaci o putevima, prometnicama i urbanim sadržajima dostupni putem OpenStreetMap-a. Ovaj indeks predstavlja mjeru koja ocjenjuje koliko je neko područje pogodno za hodaње. Pri određivanju, u obzir se uzimaju čimbenici poput gustoće sadržaja, konfiguracije terena, sigurnosti prometa i slično, a ovakav pristup često se koristi u urbanom planiranju te u temama poput promicanja aktivnog načina života. Indeks pješačke prohodnosti u ovom radu gleda se i kao mjera dostupnosti pojedinih urbanih sadržaja poput parkova, škola, bolnica, trgovina i slično što čini dobru podlogu za razvoj koncepta 15-minutnog grada, grada gdje su svi sadržaji potrebni za svakodnevni život smješteni unutar 15 minuta hoda. Cilj je istražiti kako ovakav pristup može pomoći u detaljnijem i učinkovitijem planiranju urbanog prostora, posebno u pogledu sigurnosti pješaka i pristupačnosti pješačkih zona.

Ključne riječi: indeks pješačke prohodnosti, prostorni podaci, urbano planiranje

1. Uvod

Iako se definicija i uloga geodezije kao znanosti mijenjala kroz vrijeme, prikupljanje prostornih podataka ostala je jedna od njezinih temeljnih djelatnosti. U skladu s time, ovaj rad bavi se prostornim podacima u pogledu određivanja indeksa pješačke prohodnosti kao mjere dostupnosti urbanih sadržaja. Indeks pješačke prohodnosti relativno je nov pojam, a sve se češće uzima u obzir pri prostornom planiranju. Obzirom da za određivanje indeksa pješačke prohodnosti ne postoji točno definirana nacionalna metodologija, na temelju proučene literature i dostupnih podataka, u ovom radu prikazan je jedan mogući način definiranja ovog indeksa. Pješačka pristupačnost važna je jer potiče tjelesnu aktivnost i međusobnu interakciju među stanovnicima što poboljšava zdravlje stanovnika i može pridonijeti privlačenju novih poduzeća te povećanju vrijednosti nekretnina (URL 1). Prema podacima Svjetske banke, oko 56% svjetske populacije odnosno 4,4 milijarde stanovnika živi u gradovima. Očekuje se da će se ovaj trend nastaviti te da će se udio urbanog stanovništva do 2050. godine više nego udvostručiti što bi značilo da će tada gotovo 70% populacije živjeti u gradovima (URL 2). Urbanizacija dovodi do veće koncentracije stanovniš-

tva u gradovima, stvarajući pritisak na infrastrukturu, promet, zdravstvo, obrazovanje i resurse. Jedan od ciljeva prostornih planera je riješiti navedene izazove, a isto tako jednom od suvremenih izazova planiranja gradskih područja pripada pitanje pješačke prohodnosti. Stvaranje urbanih područja u kojima se mobilnost postiže hodaњem ili bicikliraњem, ključno je za održivi urbani razvoj. Procjena koliko su urbana područja pogodna za hodaње obično se provodi kroz analize pristupačnosti hodaња (walkability assessments). Višedimenzionalna priroda pristupačnosti hodaња koja obuhvaća različite utjecaje okoliša na ljude, omogućuje mjerenje napretka i usmjeravanje razvoja prema ciljevima održivosti (Kević i dr., 2024). Moderne metode izmjere omogućavaju izmjeru velikog područja odnosno prikupljanje velike količine podataka kao i njihovo dijeljenje dok geoinformacijske tehnologije omogućuju brže, preciznije i transparentnije odlučivanje. Ovaj rad potaknut je navedenim te je cilj dati uvid u mogućnost korištenja prostornih podataka u svrhu poboljšanja kvalitete života u pogledu pješačke prohodnosti gradova u Republici Hrvatskoj te potencijalno i na druge, slične, segmente života.

2. Metodologija istraživanja i podaci

2.1. Indeks pješačke prohodnosti

Sam pojam pješačke prohodnosti (engl. *walkability*) u planiranju se koristi od 1990-ih. Tijekom tog vremena korišten je u akademskim radovima za opisivanje izgrađenih područja koji obuhvaćaju pješačke četvrti. Pješačka prohodnost često se povezuje s novim urbanizmom, pristupom urbanog dizajna, koji se pojavio kao odgovor na povećani razvoj predgrađa. Planeri nastoje stvoriti prohodne zajednice u kojima stanovnici imaju jednostavan pristup pješačkim stazama, objektima javnog prijevoza i kupovini, a da je sačuvan prirodni integritet okoliša (URL 3). Teorijska osnova OS-WALK-EU temelji se na reinterpetaciji literature o pristupačnosti hodanja i urbanom razvoju usmjerenom na pješake. Reinterpretacija traži potencijalna poboljšanja utemeljena na novim tehnologijama i opcijama podataka što dovodi do preciznijih mjernih koncepata. Glavna inovacija u tom pogledu jest omogućavanje određivanja pješačkih ruta prema različitim odredištima i sadržajima za slobodno vrijeme, ovisno o njihovoj atraktivnosti. Potencijalni nedostaci odnose se na nedostatke podataka o sadržajima i zelenim površinama dostupnih putem OpenStreetMap-a (Fina i dr., 2022) Razvijanje regionalno specifičnih pokazatelja ključno je za urbaniste kako bi učinkovito procijenili i riješili ove probleme (Alkrides, 2025). Indeks pogodnosti za pješčenje unakrsno je povezan s obrascima hodanja među odraslim osobama, što ukazuje na njegovu valjanost za daljnju primjenu u istraživanjima, zaključuju Lam i dr. (2022) u svom istraživanju na primjeru Nizozemske. Vo i Kim (2024.) u svom su istraživanju bili fokusirani na pješačku dostupnost u kontekstu tipičnih uskih trgovačkih ulica u Južnoj Koreji pri čemu su koristili VR tehnologiju. Provedbom eksperimenta u imerzivnim okruženjima među pješacima, prikupljene su informacije o njihovim mišljenjima i ocjenama scenarija s jednosmjernim cestama za daljnju analizu. Dobešová i dr. (2012) primijenili su indeks pješačke prohodnosti u urbanom planiranju na primjeru grada Olomouca u Češkoj. Autori su razvili metodologiju koja uključuje četiri parcijalna indeksa: indeks povezanosti (Connectivity Index), indeks entropije (Entropy Index), indeks gustoće naseljenosti (Household Density Index) i indeks omjera površine zgrade (Floor Area Ratio - FAR Index). Ovi indeksi omogućuju kvantifikaciju karakteristika urbanog okoliša koje utječu na pješačku prohodnost, a rezultati su vizualizirani na digitalnim urbanim planovima. Na području Londona indeks pješačke prohodnosti konstruiran je uzimajući u obzir sljedeće čimbenike: gustoću stambenih objekata, povezanost ulica i namjene zemljišta, s ciljem uključivanja pješačke dostupnosti kao čimbenika pri prostornom planiranju (Stockton i dr., 2016). Venerandi i dr. (2024) analiziraju različite indekse pješačke prohodnosti ističući njihovu važnost za urbano planiranje i promicanje pješčenja te naglašavaju potrebu za standardizacijom i integracijom objektivnih podataka i subjektivnih percepcija korisnika kako bi se indeksi bolje prilagodili specifičnim urbanim kontekstima. S druge strane, nove metodologije za pro-

cjenu kvalitete pješačkih staza u području prometnih čvorišta trebaju se razviti uzimajući u obzir, ne samo tehničke karakteristike pješačke infrastrukture poput širine nogostupa, broja i tipa prijelaza, kvalitete kolnika i slično, nego i percepciju pješaka o okolnom prostoru (Trolese i dr., 2023). Albala i dr. (2024) definiraju indeks pristupačnosti i udobnosti za pješake (Pedestrian Walkability and Comfort Index) kao rezultat kombinacije parcijalnih indeksa iz tri područja okolišne udobnosti – toplinske, akustične i ergonomske – te se može replicirati u drugim kontekstima. Tim istraživanjem prikazuje se kako se interakcije između pristupačnosti hodanja i okolišne udobnosti mogu prostorno prikazati, sistematizirati i replicirati pomoću alata za vizualizaciju ulica i korištenjem GIS alata. Dobiveni rezultati pokazuju da indeks pristupačnosti i udobnosti za pješake predstavlja vrijedno i učinkovito sredstvo procjene konfiguracije pristupačnosti hodanja u urbanim područjima, uključujući aspekte okolišne udobnosti. Indeks je strukturiran kao sustavan, automatiziran i ponovljiv sustav mjerenja, jednostavan za primjenu bez potrebe za terenskom izmjerom.

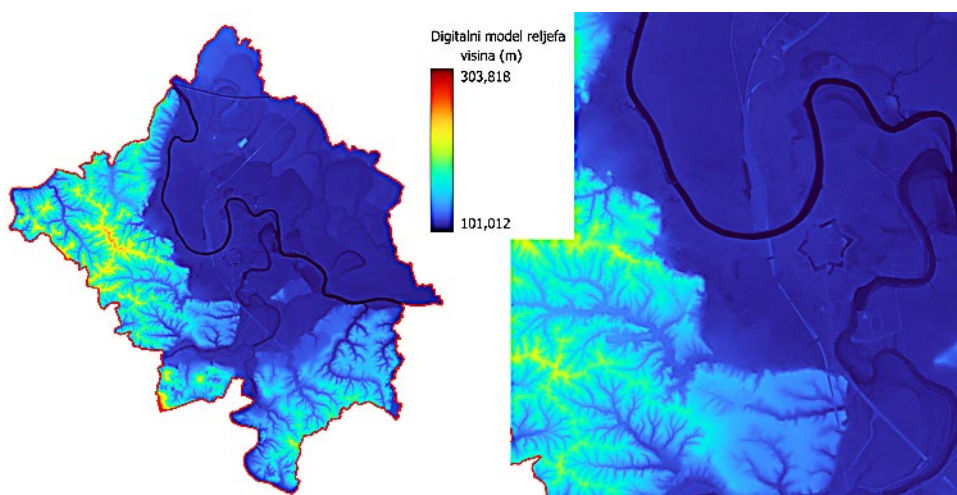
2.2. Područje interesa – Zabok i Karlovac

U ovom radu područje interesa jesu mali i srednji gradovi na području Hrvatske, konkretno riječ je o Zaboku i Karlovcu (Slika 1).



Slika 1: Položaj Zaboka i Karlovca

Obzirom kako će za određivanje pješačke prohodnosti jedan od čimbenika biti nagib terena na odabranom području, važan čimbenik su nadmorske visine odabranih područja (Tablica 1). Maksimalna visinska razlika iznosi 144 m na području Zaboka odnosno 206 m na području Karlovca. Grad Karlovac osjetno je veći po površini i po broju stanovnika međutim taj podatak u ovom radu ima samo informativnu ulogu jer ne utječe na konačni rezultat pješačkog indeksa. S druge strane nadmorske visine i tip reljefa na promatranom području ključni su čimbenik kod izračunavanja nagiba terena, a kasnije u radu bit će objašnjeno kako on utječe na pješački indeks. Područje Karlovca većinom je ravno s nešto višim nadmorskim visinama na rubnim dijelovima grada dok Zabok na dosta manjoj površini ima približno jednake visinske razlike što pokazuje kako je na tom području reljef nešto dinamičniji što će svakako imati utjecaj na dobivene rezultate.



Slika 2: Digitalni model reljefa Karlovca i uvećani prikaz dijela centra grada

2.3. Korišteni prostorni podaci

Kako bi se za odabrana područja izračunao indeks pješačke prohodnosti i na temelju njega procijenio pješački potencijal gradova, potrebno je bilo prikupiti i obraditi dostupne prostorne podatke. Korišteni su otvoreni podaci dostupni na servisu Open Street Map koji koristi vlastiti model podataka za pohranu geografskih značajki, a mogu se izvesti u druge GIS formate datoteka. Drugi skup prostornih podataka jesu službeni LiDAR podaci koje je izdala Državna geodetska uprava, a prikupljeni su u okviru projekta „Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“. Podaci zračnog LiDAR snimanja osnova su za izradu i ažuriranje digitalnog modela reljefa (DMR) i digitalnog modela površina (DMP) te poslove državne izmjere i katastra nekretnina.

2.3.1. Digitalni model reljefa i nagib terena

Digitalni model reljefa (DMR) u ovom je radu korišten kao polazište za izračunavanje čimbenika pješačkog indeksa poput nagiba terena. DMR dobiven iz

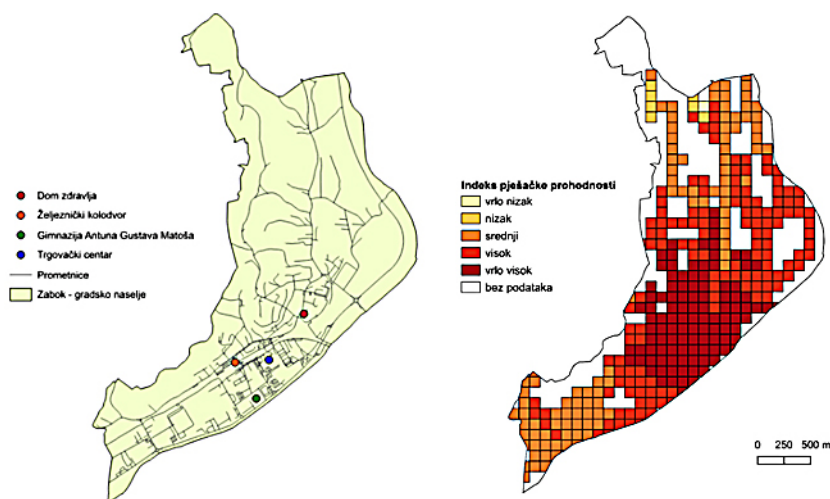
LiDAR podataka (Slika 2) predstavlja visoko detaljnu trodimenzionalnu sliku terena pri čemu su uklonjeni objekti poput vegetacije i građevina. Ovakav model omogućuje detaljno izračunavanje nagiba terena jer pruža točne i gusto raspoređene podatke o visini tla. Iz podataka digitalnog modela reljefa izračunat je nagib terena, a na temelju njega brzina hoda koja je obrnuto proporcionalna veličina nagibu terena. Vrijeme hodanja mijenja se s nagibom terena, a prosječna horizontalna brzina hoda pješaka je 1,34 m/s. Za nagib od 5%, brzina uzbrdice procjenjuje se na 1,29 m/s, za 10% 1,19 m/s, a za 15% 1,07 m/s (Schaffert i dr., 2023). Na temelju ovih podataka izračunata je brzina hoda što je prikazano na slici 3 za područje Zaboka.

3. Određivanje indeksa pješačke prohodnosti

Određivanje indeksa pješačke prohodnosti za dva predmetna grada u ovom radu provedeno je na različite načine. Takav je pristup odabran iz razloga



Slika 3: Područje Zaboka i dijela centra grada klasificirano prema brzini hoda



Slika 4: Područje Zaboka s odabranim mjestima od interesa i prikaz indeksa pješačke prohodnosti u slučaju Doma zdravlja

nepostojeće univerzalne metodologije određivanja, a dodatan razlog je i razlika u količini podataka obzirom na malu površinu Zaboka i nekoliko puta veću površinu Karlovca.

3.1. Grad Zabok

S ciljem da se indeks pješačke prohodnosti gleda kao mjera dostupnosti urbanih sadržaja prostor interesa podijeljen je u mrežu ćelija (engl. grid) i izračunata je udaljenost od centra svake ćelije do određene točke interesa po mreži prometnica. Četiri su točke interesa na istraživanom području, a to su Dom zdravlja, Željeznički kolodvor, Gimnazija Antuna Gustava Matoša i Trgovački centar. Indeks pješačke prohodnosti u ovom radu određen je u ovisnosti o nagibu terena, a na temelju vremena potrebnog za dolazak do odabrane lokacije. Obzirom na veliki raspon vrijednosti vremena, one su normalizirane i predstavljaju indeks pješačke prohodnosti. Primjer Doma zdravlja prikazan je na slici 4, a vrijednosti indeksa pješačke prohodnosti klasificirane su u pet razreda: vrlo nizak, nizak, srednji, visok, vrlo visok gdje vrlo visok indeks predstavlja područje vrlo pogodno za pješačku aktivnost (Tablica 1).

Tablica 1: Klasifikacija indeksa pješačke prohodnosti

Vrijednost	indeks pješačke prohodnosti
0,00-0,20	vrlo nizak
0,20-0,40	nizak
0,40-0,60	srednji
0,60-0,80	visok
0,80-1,00	vrlo visok

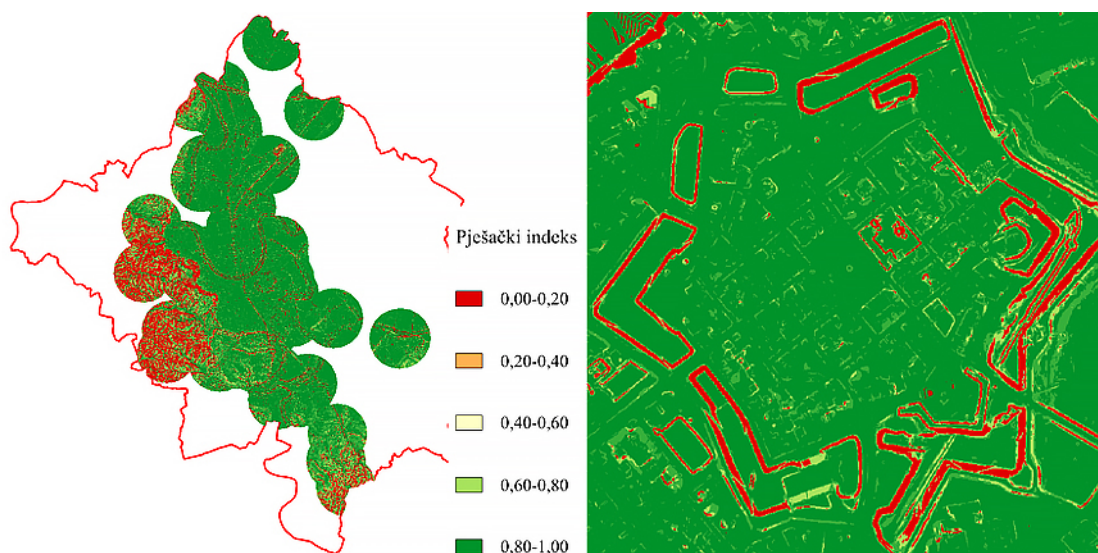
3.2. Grad Karlovac

Određivanjem indeksa pješačke prohodnosti na području Karlovca nastojalo se obuhvatiti sve urbane sadržaje na području grada pa je i rezultat sveobuhvatniji. Prvi je korak bio odrediti područje unutar

zone od 900 m od urbanih sadržaja, odabrana je udaljenost od 900 m kao približna udaljenost koju čovjek može prijeći u 15 minuta hodanja. Vrijeme od 15 minuta korišteno je kako bi se povezalo s konceptom 15-minutnog grada, konceptom urbanog planiranja pri kojem se do većine svakodnevnih potreba i usluga, kao što su posao, kupovina, obrazovanje, zdravstvena skrb i slobodno vrijeme, može lako stići za 15 minuta hoda ili vožnje biciklom iz kojeg dijela grada. Nakon što su u analizi ostali samo relevantni dijelovi izračunat je nagib terena te brzina hoda istim postupkom kao i za Zabok čime je dobiven krajnji rezultat. Iz rezultata, vidljivo je kako pješački potencijal u pogledu dostupnosti urbanih sadržaja ima centralni dio područja Karlovca, od sjevera prema jugu. Također, iz prikaza na Slici 5 vidljivo je kako većina gradskog područja ima indeks 1 odnosno 0 što ga čini ili vrlo pogodnim za pješačenje ili vrlo nepogodnim čime je lakše razlučiti koje dijelove ostaviti, a koje isključiti iz potencijalnih budućih analiza. Ovakav rezultat donekle je bio očekivan obzirom na karakteristike reljefa međutim ono što se nije moglo predvidjeti jest upravo dostupnost sadržaja koja je rezultat obrade podataka preuzetih s OSM-a.

4. Zaključak

Na temelju provedenih analiza može se zaključiti kako je indeks pješačke prohodnosti moguće odrediti automatiziranim postupkom korištenjem podataka dostupnih za područje cijele države. Kako se indeks određuje na temelju već prikupljenih prostornih podataka tako rezultat odnosno njegova kvaliteta ovisi o kvaliteti i potpunosti korištenih podataka što se može smatrati nedostatkom ovog modela. S druge strane, model je općenit te se može primjenjivati i na druge gradove uz eventualne prilagodbe u skladu sa specifičnostima pojedinog grada. Indeks određen na ovaj način može koristiti kao pokazatelj mjere dostupnosti urbanih sadržaja, ali i u prostornom planiranju općenito. Isto tako, visoka pješačka prohodnost doprinosi održivom razvoju tako što smanjuje ekološki utjecaj,



Slika 5: Područje Karlovca s dostupnim urbanim sadržajima klasificirano prema indeksu pješačke prohodnosti

potiče zdrav način života, povećava socijalnu uključenost i čini gradove otpornijima i ugodnijima za život.

Zahvala: Iskrena zahvala Gradu Karlovcu, kao osnivaču Zaklade Nikola Tesla, na financijskoj potpori koja je omogućila provedbu dijela ovog istraživanja kroz program potpore mladim znanstvenicima odnosno dodjele stipendija doktorandima i mladim znanstvenicima s područja Grada Karlovca.

Literatura

- Albala, P. L. R., Mülfarth, R. C. K. (2024). *Pedestrian pathways: An index based on the interrelations between walkability and environmental comfort*. *Ambiente Construído*, 24, Article e138386. <https://doi.org/10.1590/S167886212024000100777>
- Alkrides, B. F. (2025). Promoting sustainable urban walkability: A modified Delphi study on key indicators for urban walkability in Gulf Cooperation Council urban streets. *Sustainability*, 17(3), 1179. <https://doi.org/10.3390/su17031179>
- Dobešová, Z., Křivka, T. (2012). Walkability index in the urban planning: A case study in Olomouc city. In J. Burian (Ed.), *Advances in Spatial Planning* (pp. 179–196). InTech. <https://doi.org/10.5772/36587>
- Fina, S., Gerten, C., Pondi, B., D'Arcy, L., O'Reilly, N., Vale, D. S., Pereira, M., Zilio, S. (2022). OS-WALK-EU: An open-source tool to assess health-promoting residential walkability of European city structures. *Journal of Transport & Health*, 27, 101486. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2022.101486>
- Kević, K., Kuveždić Divjak, A., Zrno, K., Viličić, M., (2024). Open Data Supporting GIS-based Walkability Assessment: Case Study for City of Zagreb, Croatia, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-5, 23–29. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-5-2024-23-2024>
- Lam, T. M., Wang, Z., Vaartjes, I., Karssenberg, D., Ettema, D., Helbich, M., Timmermans, E. J., Frank, L. D., den Braver, N. R., Wagtendonk, A. J., Beulens, J. W. J., Lakerveld, J. (2022). Development of an objectively measured walkability index for the Netherlands. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 19, Article 50. <https://doi.org/10.1186/s12966-022-01270-8>
- Schaffert, M., Geist, K., Albrecht, J., Enners, D., Müller, H. (2023). Walk Score from 2D to 3D—Walkability for the elderly in two medium-sized cities in Germany. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(3), 157. <https://doi.org/10.3390/ijgi12030157>
- Stockton, J. C., Duke-Williams, O., Stamatakis, E., Mindell, J. S., Brunner, E. J., Shelton, N. J. (2016). Development of a novel walkability index for London, United Kingdom: Cross-sectional application to the Whitehall II Study. *BMC Public Health*, 16, 416. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3012-2>
- Trolese, M., De Fabiis, F., Coppola, P. (2023). A walkability index including pedestrians' perception of built environment: The case study of Milano Rogoredo Station. *Sustainability*, 15(21), 15389. <https://doi.org/10.3390/su15215389>
- Venerandi, A., Mellen, H., Romice, O., Porta, S. (2024). Walkability indices—The state of the art and future directions: A systematic review. *Sustainability*, 16(16), 6730. <https://doi.org/10.3390/su16166730>
- Vo, D. C., Kim, J. (2024). Exploring perceived walkability in one-way commercial streets: An application of 360° immersive videos, *PLoS ONE*, 19(12), e0315828. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315828>
- URL 1: ArcGIS, <https://learn.arcgis.com/en/projects/create-a-community-walkability-survey/>, (23. 07. 2025.).

URL 2: World Bank, <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>, (23. 07. 2025.).

URL 3: EBSCO, <https://www.ebsco.com/research-starters/health-and-medicine/walkability>, (23. 07. 2025.).

Geoinformation for Sustainable Development: The Walkability Index as a Measure of Urban Amenity Accessibility

Abstract

Nowadays, walking represents the simplest, cheapest, and least environmentally destructive form of transportation used by people. It also has a significant impact on public health, which makes encouraging and popularizing this mode of movement highly important. For this reason, the study explores possibilities for improving and planning pedestrian infrastructure based on the calculation of a walkability index, using official LiDAR data and OpenStreetMap data for analysis. This index serves as a measure that evaluates how suitable an area is for walking. The calculation considers parameters such as content density, terrain configuration, traffic safety, and similar factors. This approach is often used in urban planning and in topics such as promoting an active lifestyle. The focus area of this research is medium-sized cities in Croatia suitable for such analyses. In this paper, the walkability index is also considered a measure of accessibility to certain urban amenities such as parks, schools, hospitals, shops, and similar facilities. This provides a solid foundation for developing the concept of the 15-minute city — a city where all essential amenities for daily life are located within a 15-minute walking distance. The aim is to explore the potential of this approach in more detailed and efficient urban space planning, with an emphasis on pedestrian safety and accessibility of walking zones.

Keywords: *walkability index, spatial data, urban planning*

Od 3D modela krovova do interaktivne procjene solarnog potencijala

Helena Matijević¹, Luka Stemberga¹

¹ LIST LABS d.o.o., Palinovečka 49, Zagreb, Hrvatska, info@listlabs.net

Sažetak

S obzirom na to da su klimatske promjene sve izraženije, iskorištavanje Sunčeve energije putem solarnih elektrana postaje ključan element energetske tranzicije. U sklopu projekta Solarna karta izrađena je web GIS aplikacija koja omogućuje pregled i procjenu solarnog potencijala krovnih površina na području cijele Republike Hrvatske. Kao temelj, obrađeni su LiDAR podaci iz programa Državne geodetske uprave "Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske". Korištenjem softverskog paketa TerraScan, iz već klasificiranih LiDAR podataka generirani su trodimenzionalni poligoni krovnih segmenata. Primjenom serijske obrade (engl. *batch processing*), procesiranje velikih količina podataka za cijelu državu dovršeno je u roku kraćem od mjesec dana. Daljnja obrada u FME softveru uključivala je automatiziranu klasifikaciju tipa krova i određivanje smjera nagiba (engl. *aspect*). Drugi dio projekta usmjeren je na web GIS aplikaciju "Solarna Karta" (<https://solarnakarta.hr/>), koja obrađene podatke transformira u interaktivnu platformu. Aplikacija omogućuje vizualizaciju solarnog potencijala, predlaže tri optimizirana paketa mogućih solarnih elektrana te olakšava povezivanje korisnika s izvođačima. Namijenjena je širokom krugu korisnika, od građana do energetske planera, kao intuitivan alat za brzu procjenu i planiranje. Korisničko sučelje, temeljeno na modernim web tehnologijama (PostGIS, Django, React i OpenLayers), osigurava preglednost i lakoću korištenja, čime Solarna Karta aktivno potiče energetske tranziciju i demonstrira doprinos geoinformatičkih rješenja održivoj energetskoj budućnosti.

Ključne riječi: energetska tranzicija, krovovi, LiDAR, solarni potencijal, web GIS

1. Uvod

Globalni imperativ ublažavanja klimatskih promjena postavio je energetske tranziciju i prelazak na obnovljive izvore energije (OIE) kao središnji stup održivog razvoja. U tom kontekstu, Europska unija (EU) uspostavila je ambiciozan strateški i zakonodavni okvir s ciljem ubrzanja dekarbonizacije i postizanja energetske neovisnosti. Plan REPowerEU, donesen kao odgovor na geopolitičke izazove, ima za cilj učiniti Europu neovisnom o uvozu fosilnih goriva znatno prije 2030. godine, primarno kroz ubrzanje zelene tranzicije (Europska Komisija, 2022).

Jedan od ključnih stupova ovog plana je Europska strategija za solarnu energiju, koja predviđa instaliranje preko 320 GW novih fotonaponskih kapaciteta do 2025. i gotovo 600 GW do 2030. godine. Unutar strategije, poseban naglasak stavljen je na Europsku inicijativu za solarne krovove, koja uvodi zakonsku obvezu postavljanja solarnih panela na nove i postojeće javne, komercijalne i stambene zgrade, čime se aktivira ogroman, a nedovoljno iskorišten potencijal krovnih površina. Republika Hrvatska, kao članica EU, uskladila je svoje nacionalne ciljeve s europskim smjernicama. Ažurirani Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan (NECP), kao krovni dokument energetske politike do 2030. godine, postavlja cilj povećanja udjela OIE u bruto neposrednoj potrošnji energije na 42,5%, što je značajno povećanje u odnosu na prethodni cilj od 36,4% (Vlada RH, 2025).

Hrvatska posjeduje izniman solarni potencijal, procijenjen na 6,8 GW ukupno, od čega se 1,5 GW odnosi specifično na krovne fotonaponske sustave (Ministarstvo vanjskih poslova Kraljevine Nizozemske, 2023). Unatoč tome, solarna energija je povijesno bila nedovoljno iskorištena. Ipak, posljednjih godina svjedočimo eksponencijalnom rastu; instalirani kapaciteti su se gotovo udvostručili u samo jednoj godini, a predviđa se da će premašiti 1 GW tijekom 2025. godine.

Međutim, ovaj rast nailazi na značajne prepreke koje nisu tehnološke prirode. Ključni izazovi uključuju zastarjelu mrežnu infrastrukturu, dugotrajne i složene administrativne procedure za dobivanje dozvola te regulatornu nesigurnost koja smanjuje povjerenje investitora. Za građane, poduzeća i jedinice lokalne samouprave, prvi korak – procjena isplativosti i praktičnosti određene lokacije – često je netransparentan, složen i skup, što predstavlja značajnu barijeru ulasku na tržište (Choi i dr., 2019).

Ovaj rad predstavlja razvoj i implementaciju web GIS aplikacije "Solarna Karta", jedinstvenog digitalnog „solarnog katastra“ za cjelokupno područje Republike Hrvatske. Cilj projekta je premostiti jaz između visokih strateških ciljeva i praktične realizacije na terenu. Transformacijom složenih geoprostornih podataka u intuitivnu, javno dostupnu i funkcionalnu platformu, "Solarna Karta" demokratizira pristup informacijama o solarnom potencijalu. Time se izravno

Tablica 1: Specifikacije ulaznih podataka LiDAR snimanja (Državna geodetska uprava, 2022)

Parametar	Vrijednost
Izvor podataka	Državna geodetska uprava (DGU) - Projekt „Multisenzorsko zračno snimanje RH“
Gustoća točaka (urbano)	8 točaka/m ²
Gustoća točaka (ruralno)	4 točke/m ²
Vertikalna točnost	< 10 cm
Horizontalna točnost	< 30 cm

adresira problem informacijske asimetrije i smanjuju početni transakcijski troškovi za potencijalne investitore, djelujući kao tržišni katalizator koji potiče i ubrzava usvajanje solarne energije u skladu s nacionalnim i europskim ciljevima.

2. Izvorni podaci i metodologija obrade

Temelj projekta “Solarna Karta” je transformacija sirovih prostornih podataka LiDAR (engl. *Light Detection and Ranging*) snimanja u strukturiranu bazu podataka o solarnom potencijalu krovova. Ovaj proces obuhvaća korištenje podataka visoke točnosti i primjenu automatiziranih metodologija u specijaliziranim softverskim okruženjima.

2.1. Multisenzorsko zračno snimanje RH

Osnovni izvor podataka za analizu je set podataka prikupljen u sklopu projekta Državne geodetske uprave (DGU) pod nazivom “Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske” (URL 1). Korištenje jedinstvenog, homogenog i visokokvalitetnog nacionalnog skupa podataka ključna je prednost ovog projekta, jer osigurava konzistentnost analize na čitavom teritoriju države, što je često ograničenje u projektima koji se baziraju na lokalnim ili regionalnim podacima.

Ključna komponenta ovog skupa podataka je oblak točaka dobiven LiDAR tehnologijom. Tehničke specifikacije podataka, prikazane u Tablica, optimizirane su za različite tipove pokrova zemljišta kako bi se osigurala adekvatna razina detalja uz istovremenu optimizaciju prikupljanja i obrade.

LiDAR podaci dodatno su klasificirani u 10 klasa na temelju precizno georeferenciranih izvornih podataka mjerenja:

1. Neklasificirano (podaci koji nisu procesirani)
2. Neklasificirano (procesirani podaci, koji nisu dodijeljeni nijednoj klasi)
3. Tlo/teren (takoder točke ispod mostova, nadvožnjaka i sl.)
4. Niska vegetacija
5. Srednja vegetacija
6. Visoka vegetacija

7. Zgrade (krovovi i fasade)

8. Šum (noise)

9. Vode (takoder točke voda ispod mostova)

10. Mostovi, vijadukti

Ovakav sustav klasifikacije omogućuje detaljno razlikovanje elemenata na terenu, dok se kvaliteta klasifikacije kontrolira na cijelom području, a u slučaju potrebe dodatno ručno revidira (Državna geodetska uprava, 2022).

Zahvaljujući jedinstvenom pristupu prikupljanju, standardizaciji i kontroli kvalitete LiDAR podataka, stvoren je pouzdan temelj za sve daljnje analize i razvoj geoinformatičkih rješenja u Republici Hrvatskoj.

2.2. Ekstrakcija krovnih segmenata s pomoću TerraScan-a

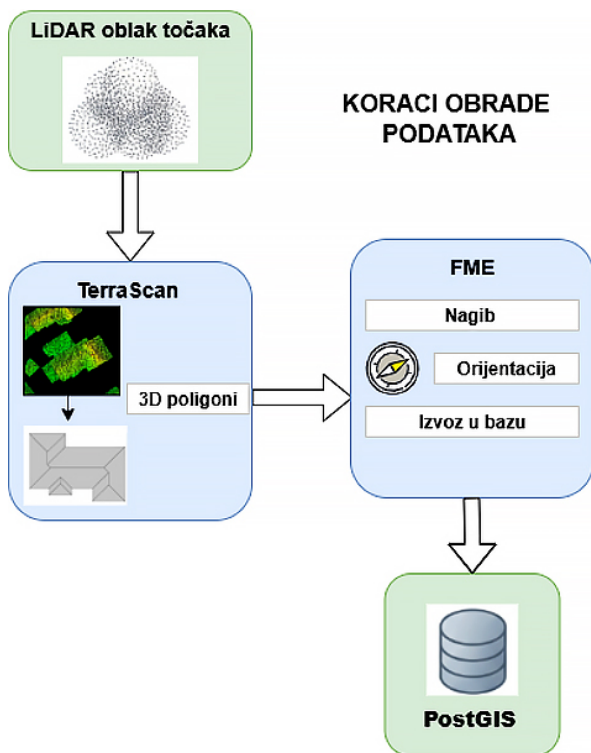
Obrada LiDAR oblaka točaka provedena je unutar MicroStation okruženja korištenjem softverskog paketa TerraScan. TerraScan je komercijalno rješenje za obradu i upravljanje velikim oblacima točaka, poznato po robusnim i efikasnim alatima za automatsku klasifikaciju i vektorizaciju (Soininen, 2015).

Primijenjeni tijekom obrade predstavlja pragmatično inženjersko rješenje, gdje je prioritet dan skalabilnosti i brzini produkcije podataka za cijelu državu. Ključna prednost bila je činjenica da su LiDAR podaci DGU-a isporučeni već klasificirani, što je značajno ubrzalo proces jer nije bilo potrebno provoditi razdvajanje točaka tla od ostalih objekata. Proces je stoga bio usmjeren izravno na vektorizaciju krovnih ploha. Na temelju postojećih, klasificiranih točaka koje pripadaju zgradama, softver je automatski generirao trodimenzionalne (3D) vektorske poligone koji predstavljaju pojedinačne krovne segmente. Ovim procesom generirano je ukupno 10.244.272 krovnih segmenata za cjelokupno područje Republike Hrvatske, čime su stvoreni modeli zgrada koji odgovaraju razini detalja LOD2 (engl. *Level of Detail* 2). Dok se akademska istraživanja često fokusiraju na izazove savršenog geometrijskog modeliranja kompleksnih krovova i malih detalja, što može dovesti do grešaka u automatiziranim procesima, cilj ovog projekta bio je generirati podatkovni sloj koji je dovoljno točan za procjenu solarnog potencijala na nacionalnoj razini.

Glavni izazov predstavljala je ogromna količina podataka koja pokriva cjelokupni teritorij Hrvatske. Taj je izazov prevladan razvojem automatiziranog procesa

temeljenog na makro naredbama i serijskoj obradi. Ovaj pristup omogućio je paralelnu obradu podataka bez potrebe za stalnim nadzorom, što je rezultiralo izradom kompletnog sloja krovnih segmenata za cijelu državu u vremenskom roku kraćem od mjesec dana.

2.3. Automatizirana analiza i klasifikacija u FME okruženju



Slika 1: Proces obrade LiDAR podataka

Nakon izrade 3D geometrije krovova u TerraScan-u, daljnja obrada podataka provedena je s pomoću softvera FME (engl. *Feature Manipulation Engine*). FME je platforma za integraciju i transformaciju prostornih podataka, koja omogućuje kreiranje složenih, automatiziranih radnih tokova. Korištenje navedenih softvera - TerraScan za geometriju, FME za atribut - predstavlja pristup koji se temelji na odabiru najboljeg alata za specifičan zadatak, što povećava efikasnost i modularnost cjelokupnog procesa. Unutar FME-a razvijena je automatizirana procedura za

izračun ključnih parametara za svaki krovni segment, koji su neophodni za procjenu solarnog potencijala:

1. **Nagib** (engl. *slope*): Kut krovne plohe u odnosu na horizontalnu ravninu. Ovaj parametar izravno utječe na upadni kut Sunčevog zračenja i temelj je za klasifikaciju krovova prema tipu (ravni ili dvostrešni/četverostrešni krov)
2. **Smjer nagiba** (engl. *aspect*): Orijentacija krovne plohe (npr. jug, istok, zapad), izražena u stupnjevima od sjevera. Na sjevernoj hemisferi, ovo je jedan od primarnih faktora koji određuje ukupnu količinu primljene Sunčeve energije.

Na slici 1 prikazan je cjelokupni proces obrade podataka, koji obuhvaća ulazne LiDAR oblake točkica, njihovu obradu i klasifikaciju u softverskim alatima TerraScan i FME, te završnu integraciju i pohranu rezultata u PostGIS bazu podataka. Ovi obogaćeni podaci omogućuju naprednije analize i filtriranje unutar same aplikacije.

3. Web GIS aplikacija “Solarna Karta”

Web GIS aplikacija “Solarna Karta” predstavlja komponentu projekta koja obrađene geoprostorne podatke čini dostupnima i korisnima širokom krugu korisnika (URL 2). Njena arhitektura i funkcionalnosti dizajnirane su s ciljem pružanja intuitivnog, ali moćnog alata za procjenu i planiranje solarnih elektrana.

3.1. Arhitektura sustava

Aplikacija “Solarna Karta” izgrađena je na modernoj, višeslojnoj web arhitekturi koja se u potpunosti oslanja na zrele i provjerene tehnologije otvorenog koda. Ovakva arhitektura sustava osigurava dugoročnu održivost, skalabilnost i fleksibilnost sustava, izbjegavajući ovisnost o komercijalnim rješenjima i skupim licencama. Osnovne komponente arhitekture sustava prikazane su u tablici 2.

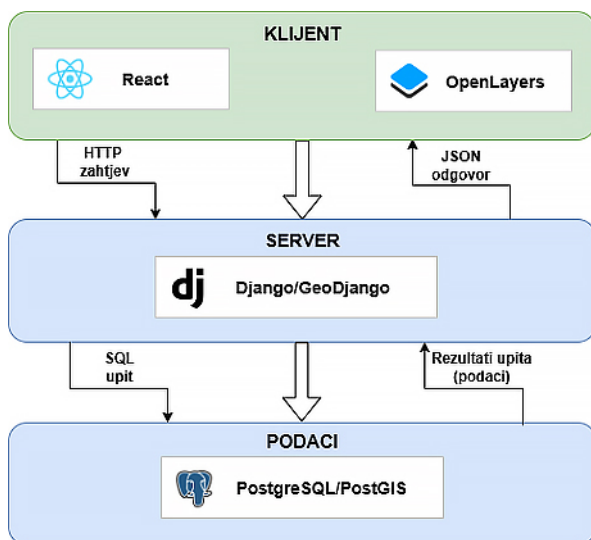
Posebna pažnja posvećena je optimizaciji prikaza i interakcije s ogromnom količinom podataka. Umjesto tradicionalnih web servisa poput WMS (Web Map Service) ili WFS (Web Feature Service), koji bi za ovakav skup podataka bili prespori ili bi pružili nedovoljnu ra-

Tablica 2: Komponente arhitekture WebGIS sustava

Sloj	Komponenta	Uloga
Podatkovni sloj	PostgreSQL/PostGIS	Pohrana i prostorno indeksiranje geometrijskih i atributnih podataka o milijunima krovnih segmenata.
Aplikacijski sloj	Django/GeoDjango (Python)	Orkestracija komunikacije s bazom podataka, implementacija poslovne logike i posluživanje podataka putem REST API-ja.
Prezentacijski sloj	React & OpenLayers (JavaScript)	Izgradnja dinamičkog i interaktivnog korisničkog sučelja te vizualizacija prostornih podataka na karti.

zinu interakcije, aplikacija koristi modernu tehnologiju **vektorskih pločica** (engl. *Vector Tiles*). Za razliku od WMS-a koji poslužuje statične slike, vektorske pločice poslužuju vektorske podatke u kompaktnom binarnom formatu uz manju razinu „pojednostavljenja“ podataka. Renderiranje, odnosno iscrtavanje geometrije i primjena stila, obavlja se izravno na klijentskoj strani (u web pregledniku korisnika). Ovaj pristup donosi višestruke prednosti: drastično smanjuje količinu podataka koja se prenosi mrežom, rasterećuje poslužitelj i omogućuje iznimno brzo i glatko korisničko iskustvo, uključujući fluidno zumiranje i pomicanje karte bez pikselizacije objekata. Budući da atributni podaci dolaze zajedno s geometrijom, izbjegavaju se i dodatni upiti prema poslužitelju (kao u slučaju WMS-a/WFS-a), što dodatno ubrzava rad aplikacije. Primjena vektorskih pločica ključna je za performanse sustava i osigurava da aplikacija, unatoč obradi više od 10 milijuna krovnih segmenata, radi brzo i responsivno za krajnjeg korisnika.

Na poslužiteljskoj strani nalazi se Django razvojni okvir uz svoje proširenje GeoDjango, te služi kao temeljni dio sustava koji upravlja zahtjevima, provodi potrebne izračune i komunicira s bazom podataka. Podaci se prema klijentu šalju putem RESTful API-ja (Application Programming Interface), najčešće u JSON formatu, koji je standard za prijenos podataka na webu. Na klijentskoj strani, u pregledniku korisnika, sustav je izveden koristeći React biblioteku za iscrtavanje korisničkog sučelja, dok OpenLayers biblioteka omogućuje alate za prikaz interaktivne karte, učitavanje i vizualizaciju podataka primljenih od strane poslužitelja. Na slici 2 prikazan je dijagram koji ilustrira troslojnu arhitekturu sustava, uključujući tok podataka i zahtjeve između pojedinih slojeva.



Slika 2: Arhitektura i interakcija Web GIS dijela sustava

3.2. Funkcionalnosti i korisničko iskustvo

Korisničko sučelje i funkcionalnosti aplikacije dizajnirane su kako bi transformirale “Solarnu Kartu” iz statičnog preglednika podataka u dinamični alat za podršku odlučivanju i olakšavanje realizacije projekata planiranja i izgradnje solarnih elektrana. Središnji

element aplikacije je interaktivna karta koja korisnicima omogućuje pretraživanje bilo koje adrese ili katastarske čestice na području Republike Hrvatske. Na karti su krovne plohe vizualno istaknute tako što su obojene prema izračunatom solarnom potencijalu, što omogućuje trenutačnu procjenu pogodnosti lokacije.

Nakon što korisnik odabere pojedini krovni segment, aplikacija pruža detaljne i konkretne informacije temeljene na standardnim formulama za izračun solarnog potencijala i predviđene proizvodnje električne energije. Ovaj pristup pretvara solarni potencijal pojedinog segmenta krova u konkretne projektne scenarije kroz:

1. **Procjenu potencijala:** Korisniku se prikazuje procijenjena godišnja proizvodnja električne energije (u kWh) i odgovarajuća moguća instalirana snaga (u kW) za odabrani krovni segment.
2. **Optimizirani paketi elektrana:** Aplikacija automatski predlaže tri optimizirana paketa solarnih elektrana. Ovi paketi se razlikuju po snazi (za pokrivenost segmenta krova cca. 30, 60 i 90 %), procijenjenoj investiciji, povratu investicije i godišnjim uštedama, pružajući korisniku jasan pregled mogućih opcija.
3. **Povezivanje s izvođačima:** Ključna funkcionalnost koja omogućuje pretvaranje informativnog izračuna u realizaciju projekta jest mogućnost izravnog povezivanja zainteresiranog korisnika s relevantnim i provjerenim izvođačima radova. Sa samo nekoliko klikova, korisnik može zatražiti informativnu ponudu, čime aplikacija djeluje kao posrednik, značajno skraćujući put do realizacije projekta.

Ovim funkcionalnostima “Solarna Karta” pruža nove poslovne prilike na tržištu solarnih elektrana za kućanstva i poslovne subjekte, ujedno omogućujući bržu energetska tranziciju prema obnovljivim izvorima energije, kao i postizanje zadanih ciljeva energetske strategije RH kao i EU.

4. Zaključak

Projekt Solarna Karta predstavlja značajan iskorak u primjeni geoinformatičkih tehnologija za poticanje korištenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj. Kroz integraciju visoko preciznih LiDAR podataka, automatizirane analize i moderne web GIS tehnologije, razvijena je sveobuhvatna, interaktivna platforma koja omogućuje preciznu i dostupnu procjenu solarnog potencijala svih krovnih površina u državi.

Brza i skalabilna obrada podataka omogućila je generiranje preko 10 milijuna krovnih segmenata, a njihova daljnja analiza i vizualizacija pružaju korisnicima konkretne podatke o mogućnostima instalacije solarnih panela. Aplikacija ne pruža samo informacije o potencijalnoj iskoristivosti krova, već aktivno povezuje korisnike s tržištem putem predloženih optimiziranih paketa i mogućnosti izravnog kontakta s izvođačima, čime se značajno pojednostavljuje i ubrzava proces realizacije solarnih elektrana.

Literatura

Choi, Y., Suh, J., & Kim, S. M. (2021): GIS-Based Solar Radiation Mapping, Site Evaluation, and Potential Assessment: A Review. *Applied Sciences*, 9(9), 1960.

Državna geodetska uprava (2022): Specifikacija proizvoda: LiDAR snimanje iz zraka, Zagreb.

Europska Komisija (2022): REPowerEU Plan. COM(2022) 230 final, Bruxelles.

Ministarstvo vanjskih poslova Kraljevine Nizozemske (2023): Renewable Energy in Croatia, Potential for new developments, Veleposlanstvo Kraljevine Nizozemske u Zagrebu, 1.

Soininen, A. (2015): TerraScan User's Guide. Terrasolid Ltd., Helsinki.

Vlada Republike Hrvatske (2025): Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. godine. Zagreb.

URL 1: Državna geodetska uprava, <https://dgu.gov.hr/>, (31. 07. 2025.)

URL 2: Solarna Karta, <https://solarnakarta.hr/>, (31. 07. 2025.).

From 3D roof models to interactive solar potential assessment

Abstract

With climate change becoming increasingly pronounced, the utilization of solar energy through photovoltaic power plants is emerging as a key component of the energy transition. As part of the Solar Map project, a web-based GIS application was developed to enable the visualization and assessment of rooftop solar potential across the entire territory of the Republic of Croatia. The analysis was based on LiDAR data acquired through the Croatian State Geodetic Administration's Multisensory Aerial Survey of the Republic of Croatia project. Using the TerraScan software package, 3D polygons of roof segments were generated from pre-classified LiDAR data. Through the application of batch processing, large-scale data processing for the entire country was completed in less than one month. Subsequent processing in FME software involved the automated classification of roof types and the determination of roof slope direction (aspect). The second phase of the project focused on the Solar Map web GIS application (<https://solarnakarta.hr/>), which transforms the processed data into an interactive platform. The application enables solar potential visualization, offers three optimized photovoltaic system package options, and facilitates the connection between users and contractors. Designed for a broad user base ranging from citizens to energy planners, the application provides an intuitive tool for rapid assessment and planning. The user interface, built on modern web technologies (PostGIS, Django, React, and OpenLayers), ensures usability and clarity, thereby actively supporting the energy transition and demonstrating the contribution of geoinformatics solutions to a sustainable energy future.

Keywords: *energy transition, rooftops, LiDAR, solar potential, web GIS*

Intelligentni prometni sustavi u sklopu pametnih gradova

Vedran Vrhovac¹

¹Ericsson Nikola Tesla, Krapinska 45, Zagreb, Hrvatska, vedran.vrhovac@ericssonnikolatesla.com

Sažetak

Trend urbanizacije u svijetu, a osobito u Europi, kontinuirano raste. Procjene pokazuju da će do 2050. godine više od 80 % europskog stanovništva živjeti u urbanim sredinama, što će dodatno opteretiti ionako ograničenu prometnu infrastrukturu gradova. Poseban izazov u Europi predstavlja duga povijest urbanog razvoja – mnoga gradska središta oblikovala su se stoljećima spontano, bez planiranja koje bi odgovaralo današnjim prometnim potrebama. Zbog toga su često neprilagođena velikom prometnom opterećenju.

Prometne gužve i kronični nedostatak parkirnih mjesta nisu tek svakodnevna neugodnost – oni imaju dalekosežne posljedice za javno zdravlje, okoliš i gospodarstvo. Promet u mirovanju uzrokuje povećano onečišćenje zraka i buku, što smanjuje kvalitetu života te dugoročno ugrožava zdravlje građana. Ekonomske posljedice gužvi očituju se kroz poremećaje u lancima opskrbe, gubitak radnih sati zbog čekanja u prometu te povećane troškove ulaganja u infrastrukturu – ulaganja koja ne jamče nužno i rješanje problema.

Kao odgovor na ove izazove, razvijaju se inteligentna rješenja za upravljanje prometom. Korištenjem prostornih podataka, nadzornih kamera, senzora za mjerenje gustoće prometa i drugih tehnologija u stvarnom vremenu, moguće je dinamički i prediktivno upravljati prometnim tokovima kako bi se postigla optimalna protočnost. Takvi sustavi mogu se integrirati s drugim infrastrukturnim rješenjima, omogućujući donošenje pravodobnih i učinkovitih odluka – kako u svakodnevnim, tako i u izvanrednim situacijama.

Ključne riječi: urbana infrastruktura, prometna infrastruktura, prostorni podaci, adaptivno upravljanje prometom, pametni gradovi.

1. Uvod

Promet je neizbježna pojava naše svakodnevnice te je jedan od faktora na temelju kojeg pojedinac ocjenjuje kvalitetu života. Kako bi se promet smatrao kvalitetnim, on treba biti pristupačan, protočan, siguran te da nije velikog volumena u neposrednoj životnoj sredini. Osim što promet utječe na percepciju kvalitete života, on direktno utječe na ekonomsku aktivnost u vidu gubitaka radnih sati, povećanja troškova transporta, sporiji odaziv u slučajevima nesretnih slučajeva kao i povećanim ulaganjima u infrastrukturu.

U Hrvatskoj je registrirano oko 2,6 milijuna vozila, od čega osobni automobili sudjeluju s udjelom od 75% (URL 1). Većina tih vozila, otprilike 60%, prometuje svakodnevno unutar urbanih sredina, koje u Hrvatskoj zauzimaju oko 4% površine (URL 2). Shodno tome, najveća gustoća prometa je na ograničenom području, što izaziva veliko opterećenje na infrastrukturu. Samu infrastrukturu u urbanim sredinama je često nemoguće značajno širiti, zbog društvenih i ekonomskih faktora. Često izgradnja infrastrukture nije niti adekvatno rješenje, jer promovira prekomjerno korištenje osobnih automobila i na kraju može polučiti kontraefekte. Uzevši u obzir navedene izazove, potrebno je primijeniti rješenja koja će postojeću infrastrukturu optimizirati i rasporediti promet tako da se ona maksimalno iskoristi.

2. Intelligentni prometni sustavi

Intelligentni prometni sustavi (ITS) su skup tehnologija za aktivno upravljanje prometom. Njihova svrha je povećanje mobilnosti, smanjivanje zastoja i povećanja sigurnosti prometa. Osim efekta na promet, dodatna korist je potpunije iskorištavanje prometne infrastrukture. ITS kao rješenja dio su koncepta „pametnih gradova“ jer prometna infrastruktura se preklapa infrastrukturom koja je potrebna gradovima i gradskim službama za djelovanje. K tome, nudi pravovremene informacije o prometu građanima može povećati percepciju kvalitete upravljanja gradom i prometa.

Intelligentni prometni sustavi svojim radom generiraju sljedeće usluge dostupne korisnicima:

- *Advanced Traveller Information System (ATIS)* – je podsustav koji prikuplja i analizira podatke o prometu u realnom vremenu. Na temelju analiza korisnike informira o stanju prometa na putu od polazišne do završne točke njihove rute. Podaci koje ATIS može prezentirati su informacije o nesrećama na prometnicama, stanje u prometu, vrijeme, ograničenja na prometnicama i vremenski uvjeti. (URL 3) Bazičan primjer korištenja takve tehnologije su *Traffic Announcement (TA)* poruke na radioprijamnicima u automobilima.



Slika 1: Singapur je pionir u uvođenju inteligentnih prometnih sustava, Izvor: Diego Delso, Wikimedia Commons

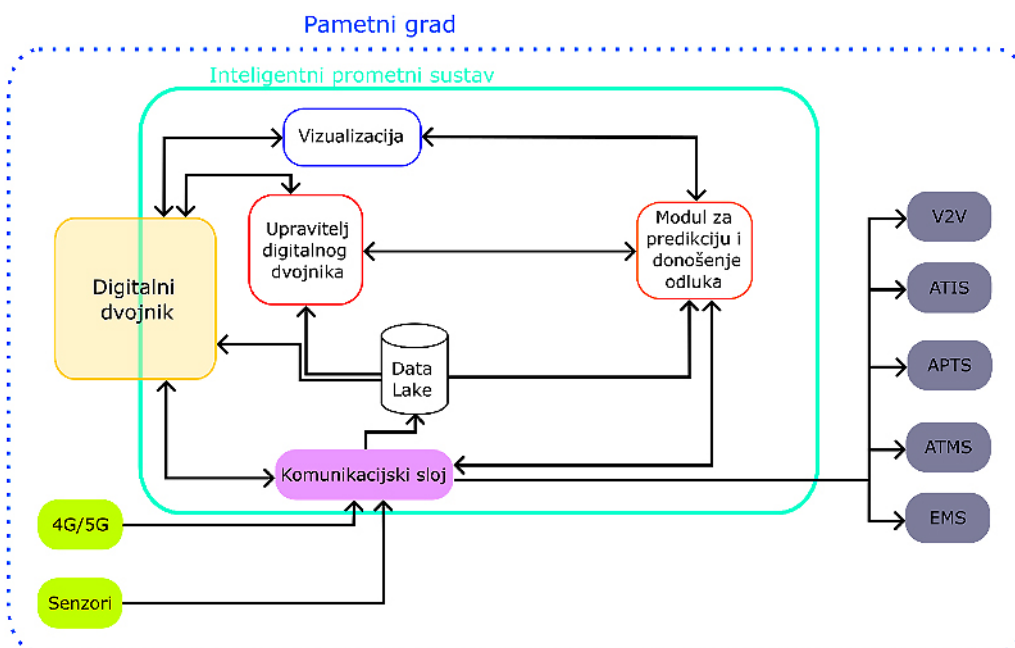
- *Advanced Transportation Management System (ATMS)* – kao i ATIS, na temelju podataka prikupljenih u realnom vremenu o stanju u prometu, ATMS može regulirati rad svjetlosne signalizacije, kao i informacije na digitalnim prometnim znakovima. Osim regulacije prometa u realnom vremenu, ATMS može signalizacijom ograničiti pristup na pojedine prometnice kako bi se smanjile gužve ili zastoji.
- *Advanced Public Transportation System (APTS)* – je podsustav za izvještavanje putnika o stanju u javnom prijevozu, očekivanom vremenu polaska i dolaska, kao i cijeni karte.
- *Emergency Management System (EMS)* – služi za optimiziranje odgovora u slučaju nesretnih slučajeva ili prirodnih katastrofa. EMS u sprezi sa ATMS može osigurati prioritetni prolaz službama spašavanja i sigurnosti, kako bi u najkraćem mogućem roku stigli do poprišta hitnog slučaja.
- *Vehicle to Infrastructure (V2I) i Vehicle to Vehicle (V2V)* – je nadolazeća tehnologija inteligentnih prometnih sustava zasnovana na razmjeni podataka između vozila i vozila ili vozila i prometnih sustava. Na temelju razmjene podataka, vozilo može biti informirano o stanju u prometu ili ono samo može dojaviti stanje ili incident. Svrha ovih sustava je smanjiti mogućnosti sudara, kao i povećati sigurnost prometa. Očekuje se kako će V2I i V2V tehnologije zaživjeti u punoj širini kada autonomna vozila uđu u sveopću primjenu.

Rad inteligentnih prometnih sustava, kao i njegovih podsustava, zasniva se na prikupljanju i analizi podataka o prometu i relevantnim faktorima u realnom vremenu. Jedna od prednosti takvih sustava je mogućnost donošenja prediktivnih odluka, za što je nužan stalni pristup podacima visoke rezolucije i učestalosti.

2.1. Digitalni dvojn timer kao dio inteligentnog prometnog sustava

Kako bi se pojave u prometu mogle modelirati i predviđeti, potrebno je uspostaviti digitalnog dvojnika prometne mreže. Digitalni dvojn timer nije samo statičan model infrastrukture, već se radi o virtualnoj replici prometnog sustava. U njega su ugrađeni statični podaci, kao prometna infrastruktura, ali parametri ponašanja sudionika u prometu te dodatne promjenjive informacije, kao vremenski uvjeti. Kao takav, digitalni dvojn timer je neodvojiv dio inteligentnih prometnih sustava koji omogućava simulaciju i predikciju budućih stanja prometa. Digitalni dvojn timer i inteligentni prometni sustav mogu se sastojati od sljedećih funkcionalnih cjelina (Bhatt i dr., 2025):

- **Virtualni model** – sadrži model s podacima o fizičkoj prometnoj infrastrukturi. Model sadrži u sebi mrežu prometnica sa atributima (npr: širina prometnice, broj prometnih traka, ograničenja brzine), informacije o križanjima, informacije o regulaciji prometa i prometnoj signalizaciji. Uz podatke o infrastrukturi, on može biti nadopunjen demografskim podacima kao i informacijama o specifičnim sadržajima tj. mjestima od interesa.
- **Sustav za prikupljanje podataka o korisnicima i vozilima** – prikupljaju se podaci o vozilima, smjeru njihova kretanja, brzini kao i podaci o pješacima ili biciklistima
- **Senzori** – iz mreže senzora postavljenih diljem prometne mreže u digitalni dvojn timer dostavljaju se podaci sa segmenata prometnica. Podaci sadrže informaciju o brzini vozila, gustoći prometa i stupnju zagušenja. Osim prometa, senzori mogu bilježiti podatke o okolnim uvjetima, kao što su meteorološki podaci ili razine zagađenja zraka.



Slika 2: Shema Inteligentnog prometnog sustava unutar Pametnog grada

- Komunikacijski sloj – služi za neprekinutu dvosmjernu razmjenu podataka između stvarnog i virtualnog sustava. Komunikacija se zasniva na 4G/5G, WiFi i LoRa tehnologijama, a mora podržavati razmjenu podataka u realnom vremenu. Jedan od zadataka komunikacijskog sloja je sinkronizacija između ulaznih i izlaznih podataka.
- Spremište podataka (data lake) – prikupljeni podaci spremaju se za potrebe obrade u realnom vremenu, naknadne analize za potrebe otkrivanja dugoročnih trendova i za potrebe strojnog učenja
- Vizualizacijski sloj – služi za vizualizaciju podataka iz tri kategorije: prikaz podataka u stvarnom vremenu, simulaciju budućeg stanja prometa i predikcije ponašanja prometa. Prikaz podataka iz stvarnog vremena zaslužan je za prikaz metrika o prometu, broj vozila, razinu zagušenosti i slično. Simulacija budućeg stanja prikazuje moguće stanje prometa, kao što su vršna opterećenja prometa ili moguće nesreće. Predikcija ponašanja prometa koristi povijesne i podatke iz realnog vremena kako bi predviđela ponašanje vozača i generalni tok prometa.
- Upravitelj digitalnog dvojnika – zaslužan je za kreiranje virtualnog modela stvarnosti te generiranje poruka prema stvarnom svijetu, tj. infrastrukturi (ATIS, ATMS). U Upravitelju je moguće podesiti parametre na temelju kojih će Modul za predikciju i donošenje odluka simulirati buduću stanje prometa i predviđati ponašanje vozača.
- Modul za predikciju i donošenje odluka – je sustav temelj na strojnom učenju (neuronskim mrežama). Na temelju parametara iz Upravitelja digitalnog dvojnika i podataka iz spremišta, neuronska mreža radi na simuliranju budućeg

toka prometa kao i predikcije anomalija. Njen rad se konstantno prati koristeći korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE), a kada se detektira devijacija pokreće se novo treniranje modela. Neuronska mreža generira poruke prema Upravitelju digitalnog dvojnika i dio podataka za vizualizaciji sloj.

Neuronske mreže i drugi oblici strojnog učenja sveli su upliv čovjeka u radu inteligentnih prometnih sustava na minimalnu mjeru. Najveća prednost strojnog učenja je što ono može izaći na kraj sa silnom količinom podataka koja se konstantno prikuplja te tako uspješno predviđati poremećaje u prometu. Ovo je u suprotnosti sa klasičnim metodama upravljanja prometom, gdje se obrada podataka vrši sa zakašnjenjem, ponekad i manualno, pa se odluke donose reaktivno, tek kada se problem u prometu dogodi.

3. Uspostava digitalnog dvojnika

Prvi korak uspostave digitalnog dvojnika je prikupljanje i uspostava baze podataka o fizičkoj prometnoj infrastrukturi. Nakon što se prikupe podaci o fizičkoj infrastrukturi, potrebno je prikupiti podatke o obrascima prometa i njegovih sudionika. Proces prikupljanja podataka o infrastrukturi i kreiranje baze podataka o obrascima u prometu mogu se odvijati paralelno, a opisan je u narednim poglavljima.

3.1. Prikupljanje podataka o infrastrukturi

Objedinjeni izvori podataka za digitalne dvojnike ne postoje. Sveobuhvatne evidencije poput katastra ili topografskih baza podataka nisu dostatne jer ne vode evidenciju svih potrebnih atributa. Pojedine jedinice lokalnih samouprava vode djelomičnu evi-



Slika 3: Prometnice evidentirane u OpenStreetMapu u centru Velike Gorice

denciju infrastrukture, barem one koja je u njihovoj nadležnosti, ali je ona često samo pisane naravi, bez prostornih podataka. Javne tvrtke (npr. uprave za ceste) mogu za vlastite potrebe voditi pogonski katastar ili GIS, ali u njemu će se voditi podaci u skladu s njihovim poslovnim potrebama.

Mogući sveobuhvatni izvori podataka mogu biti komercijalna rješenja za navigaciju ili podaci otvorenog koda poput OpenStreetMapa, KartaView ili Mappilary. Google Maps, kao najpopularniji servis za navigaciju, podatke ustupa samo putem plaćenog API-ja. Rizik takvog pristupa je moguća promjena cijene pristupa API-ju, ograničenja u dohvatlu podataka ili promjena poslovne politike. Kod podataka otvorenog koda problematična je detaljnost, ažurnost i neusklađenost podataka. OpenStreetMap karakteriziraju veliki kontrasti u kvaliteti i gustoći podataka te atributa. Pojedine urbane sredine su veoma detaljno kartirane, dok su ruralna područja u pravilu siromašnija podacima. Olakotna je okolnost što potrebu za Inteligentnim prometnim sustavima u pravilu imaju veliki gradovi, a oni upravo spadaju u kategoriju kvalitetnije kartiranih sredina u OpenStreetMapu. Podaci iz OpenStreetMapa mogu biti dobra podloga za naknadna kartiranja jer mogu sadržavati informacije o neformalnim prometnicama koje mogu utjecati na ponašanje vozača u prometu.

Drugi izvori podataka, kao KartaView ili Mappilary nude manju pokrivenost od OpenStreetMapa i kao takvi su nepogodni za korištenje pri izradi digitalnih dvojnika.

Za uspostavu baze podataka o fizičkoj infrastrukturi najpogodnija metoda je kartiranje na razini ulice. Ova metoda koristi vozilo opremljeno sa sensorima u vidu kamera, 360° kamera, LIDAR i GNSS uređajima. Set navedenih senzora nudi mogućnost snimanja profila prometnica, prometne signalizacije i lociranje istih u prostoru. Na temelju prikupljenih podataka strojni algoritmi mogu izvući relevantne attribute potrebne za izradu digitalnog dvojnika. Prednost je što

sama vozila ne izazivaju smetnje u prometu, kao što bi mogao biti slučaj kod klasičnih metoda kartiranja.

Podaci dobiveni kartiranjem na razini ulica potrebno je periodički osvježavati, ovisno o brzini izmjena na terenu. Sve veća dostupnost kamera i LIDAR-a uz sveprisutnost GNSS uređaja takvo kartiranje čini sve povoljnijim i bržim.

3.2. Prikupljanje podataka o prometu

Nakon uspostave modela prometne mreže, informacije o prometu u realnom vremenu su najvažniji ulazni podaci na temelju kojih se kasnije provode predviđanja zastoja i poteškoća. Informacije o stanju prometa moguće je dobiti na temelju senzora ili kamera postavljenih na, tj. uz prometnice. Nedostatak takvih izvora informacija je što ne pokrivaju sve dijelove prometnica što može rezultirati izostankom pravovremene informacije o nastanku poremećaja. Plastičan primjer je prometna nesreća, koja se može dogoditi van vidnog polja kamere ili dosega senzora.

Kako bi se doskočilo nedostacima u pokrivenosti sensorima, koriste se podaci derivirani iz servisnih informacija koje razmjenjuje mobilna mreža s uređajima. Prednost korištenja mobilne mreže za evidentiranje stanja prometa je što je ona sveprisutna, nudi odličnu pokrivenost, a penetracija mobilnih uređaja je takva da je pokriveno gotovo 100% vozača.

Mobilni uređaji sa baznim stanicama mobilne mreže konstantno razmjenjuju sljedeće podatke:

- *Call/Charging Data Records (CDR)*
- *Signalizacijski podaci mobilne mreže i zapisi*
- *Podaci o performansama mreže*
- *Konfiguracijski podaci mreže*

CDR podaci se odnose na periode kada se aktivno koristi mobilni uređaj za glasovne pozive ili pristup Internetu. Podaci se moraju anonimizirati radi usklađenosti s GDPR-om. Kako korisnici ne koriste stalno

aktivno uređaje, ovi podaci su manje razlučivosti, kako prostorne tako i vremenske.

Signalizacijski podaci mobilne mreže i zapisi sadrže informacije na koje bazne stanice je uređaj bio spojen te informacije o slanju i prijemu podataka. Ovi podaci se generiraju čak i kada korisnik ne koristi aktivno mobilni uređaj. Kako su ovi podaci vezani u pojedini uređaj, tj. korisnika, njih je za potrebe GDPR-a potrebno anonimizirati.

Podaci o performansama mreže razmjenjuju se između baznih stanica i uređaja kako bi se pratilo stanje i performanse mreže. Ne prikupljaju se informacije o pojedinim uređajima, već o broju uređaja na pojedinom području i oni se objedinjuju u izvješća koja pokrivaju 15 minutni period. Način na koji se podaci prikupljaju i objedinjuju inherentno ih čini anonimiziranim i kao takvi ne spadaju pod GDPR.

Konfiguracijski podaci mreže sadrže u sebi informaciju o topologiji mreže: odnose baznih stanica i njihovih susjeda, raspored ćelija i povezanost među elementima mreže. Kao takvi, konfiguracijski podaci u sebi sadrže prostornu komponentu te su osnova za prostorne analize podataka. Praćenjem konfiguracijskih podataka i na temelju veličine ćelije koju pojedina bazna stanica pokriva moguće je postići prosječnu točnost lociranja od 400 m u urbanim sredinama, gdje je gustoća mreže velika. U ruralnim područjima ta će točnost biti manja jer ćelija koju pokriva bazna stanica je znatno veća. S većom penetracijom 5G mreža koje koriste više frekvencije, navedenu točnost će biti moguće povećati jer zbog teškoća u propagaciji signala ćelije će biti manje, tj. povećat će se broj baznih stanica.

Dodatno poboljšanje prostorne točnosti moglo bi se postići dopunom iz GNSS podataka, ali za takve podatke potrebno je dobiti privolu od korisnika. Trenutna razina točnosti podataka dovoljna je za prepoznavanje generalnih trendova u prometu, kao na primjer koja su područja polazišna, a koja odredišna u dnevnim migracijama.

Podaci prikupljeni o prometu pohranjuju se u spremište (data lake) ili bazu podataka. Oni će kasnije poslužiti za treniranje algoritama za simulaciju i predikciju prometa te će omogućiti praćenje dugotrajnih trendova u toku prometa i navikama vozača.

4. Zaključak

Tehnologije inteligentnih prometnih sustava i digitalnih dvojnika u sinergiji mogu omogućiti adaptivno upravljanje prometom. Zahvaljujući adaptivnom upravljanju prometom moguće je u realnom vremenu, prilagodbom svjetlosne signalizacije, digitalnih prometnih znakova (ATMS) i slanjem obavijest (ATIS) pravovremeno prilagoditi tokove prometa te izvijestiti vozače kako bi se potencijalni zastoji sveli na minimum.

Kako bi inteligentni prometni sustavi mogli donositi promptne odluke, potrebno im je pružiti pristup realnim podacima o prometnoj infrastrukturi i podacima o samom prometu u realnom vremenu, a koji se

mogu dobiti preko senzora i nadopuniti podacima telekomunikacijskih mreža. Stalni dotok informacija koji inteligentni prometni sustavi traže nadilaze mogućnosti ljudske analize te su ove tehnologije jedne od pionira primjene strojnog učenja i tehnologija iz spektra umjetne inteligencije.

Literatura

Algherbal A., E., Ratrou T., N. (2024): Smart Cities and Intelligent Transportation Systems: Integration of Autonomous Vehicles and Their Impact on Congestion and Safety, *Transportation Research Procedia* 84 (2025), 504-511

Bhatt, H., Vaidhyanathan, K., Biju, R., Gangadharan, D., Trestian, R., i Shah, P. (2025): Architecting digital twins for intelligent transportation systems, 2025 IEEE 22nd International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C), 215-223.

Jiang, F., Ma, L., Broyd, T., Chen, W., Luo, H. (2022): Building digital twins of existing highways using map data based on engineering expertise, *Automation in Constructio*, 134, 1-25

Maglić, L., Agatić, A., Maglić, L. i Gulić, M. (2019): Intelligent transportation systems in croatian smart cities. U Ž. Kobojević, (Ur.), *Naše more 2019 ; Conference proceedings* (str. 308-317). Dubrovnik: University of Dubrovnik, Maritime Department.

Šoštarić, M., Vidović, K., Jakovljević, M., Lale, O. (2021): Data-Driven Methodology for Sustainable Urban Mobility Assessment and Improvement, *Sustainability* 2021, 13, 1-22

URL 1: REGISTRIRANA CESTOVNA VOZILA I CESTOVNE PROMETNE NESREĆE U 2023., Državni zavod za statistiku, <https://podaci.dzs.hr/2024/hr/77312> (29. 08. 2025.)

URL 2: Površina urbanih područja izračunata je iz podataka dostupnih putem CORINE podataka o korištenju zemljišta. Copernicu CORINE Land Cover 2018, <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018> (28. 08. 2025.)

URL 3: Advanced Traveler Information System, ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/advanced-traveler-information-system> (29. 08. 2025.)

Intelligent Traffic Systems in the Context of Smart Cities

Abstract

The trend of urbanization worldwide, and especially in Europe, continues to rise. Estimates indicate that by 2050 more than 80% of Europe's population will live in urban areas, which will further strain the already limited transport infrastructure of cities. A particular challenge in Europe lies in its long history of urban development – many city centers have evolved over centuries in a spontaneous manner, without planning that would correspond to today's transport needs. As a result, they are often ill-suited to heavy traffic loads.

Traffic congestion and the chronic shortage of parking spaces are not merely everyday inconveniences – they have far-reaching consequences for public health, the environment, and the economy. Stationary traffic causes increased air pollution and noise, reducing quality of life and posing long-term health risks to citizens. The economic consequences of congestion are reflected in disruptions to supply chains, the loss of working hours due to time spent in traffic, and the rising costs of infrastructure investments – investments that do not necessarily guarantee a solution to the problem.

In response to these challenges, intelligent traffic management solutions are being developed. By using spatial data, surveillance cameras, traffic density sensors, and other real-time technologies, it becomes possible to dynamically and predictively manage traffic flows to achieve optimal throughput. Such systems can be integrated with other infrastructure solutions, enabling timely and effective decision-making – both in everyday operations and in emergency situations.

Keywords: *Urban infrastructure, transport infrastructure, spatial data, adaptive traffic management, smart cities*

Primjena LIDAR podataka Državne geodetske uprave u optimizaciji provjere ostvarivosti radiorelejnih (RR) veza

Mile Prša¹, Kristijan Bojko¹, Filip Čekada²

¹Hrvatski Telekom d.d., Radnička cesta 21, 10 000 Zagreb, Hrvatska, mile.prsa@t.ht.hr, kristijan.bojko@t.ht.hr

²Ericsson Nikola Tesla Servisi d.o.o., Krapinska 45, 10 000 Zagreb, Hrvatska, filip.cekada@ericssonnikolatesla.com

Sažetak

U radu se prikazuje primjena LIDAR podataka koje je Državna geodetska uprava (DGU) objavila u sklopu projekta „Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“. Psličirojekt, provođen između 2020. i 2023. godine, rezultirao je dostupnošću vrijednih geoprostornih podataka, uključujući LIDAR oblak točaka, digitalni model reljefa (DMR) i digitalni model površina (DMP) u prostornoj rezoluciji 1 m, 3D scene te digitalnu ortofoto kartu (DOF) iz 2023. godine izoštreću LIDAR tehnologijom rezolucije na 0,25 m/px. Ovi podaci mogu se koristiti za optimizaciju provjere ostvarivosti radiorelejne (RR) veze između dviju postaja pokretnih komunikacija. Prije dostupnosti ovih podataka, provjera se temeljila na terenskom radu geodetskih stručnjaka koji su uz pomoć totalne stanice i GNSS uređaja morali pojedinačno opažati svaku lokaciju te identificirati moguće smetnje u okolici. Taj je postupak bio vremenski i logistički zahtjevan. Uvođenjem LIDAR podataka omogućeno je brže, učinkovitije i preciznije modeliranje vidljivosti, što značajno doprinosi tehničkom unapređenju i pouzdanosti planiranja radio komunikacijske infrastrukture u različitim prostornim uvjetima.

Ključne riječi: digitalni model reljefa, multisenzorsko snimanje, radiorelejna (RR) veza, vidljivost, LIDAR

1. Uvod

Razvoj suvremenih telekomunikacijskih mreža zahtijeva precizno planiranje radiorelejnih (RR) veza između antenskih postaja. Ključan preduvjet za njihovo funkcioniranje jest ostvarivanje optičke vidljivosti između antena, pri čemu svaka fizička prepreka - poput zgrada, vegetacije ili reljefnih oblika - može značajno narušiti kvalitetu signala ili u potpunosti onemogućiti vezu. Osim same linije dogledanja, za prijenos signala ključna je tzv. Fresnelova zona, prostor elipsoidnog oblika između odašiljača i prijamnika unutar kojega svaka prepreka može uzrokovati smanjenje jačine ili potpun prekid signala. (URL 1) Tradicionalno, provjera vidljivosti provodila se terenskim radom koristeći geodetske metode izmjere, poput GNSS tehnologije i totalne stanice. Takav postupak zahtijevao je angažman stručnjaka na više lokacija, detaljno opažanje okolnog terena te dodatne obilaske radi identifikacije svih prepreka na planiranoj trasi signala. Ovaj proces bio je vremenski i logistički vrlo zahtjevan, a ujedno podložan iskustvu i subjektivnim procjenama geodetskog stručnjaka.

Objavom LIDAR podataka Državne geodetske uprave (DGU), ostvarenih kroz projekt „Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske“ (2020.–2023.), geodetska struka dobila je na raspolaganje precizne geoprostorne podatke visoke rezolucije. Riječ je o digitalnom modelu reljefa (DMR), digitalnom modelu površina (DMP), oblaku točaka te ortofoto karti iz

2023. godine. Ovi podaci omogućuju izradu uzdužnih profila, 3D vizualizaciju terena i precizno modeliranje Fresnelovih zona, čime se značajno smanjuje potreba za opsežnim terenskim radovima. (URL 2).

1.1. Cilj i svrha rada

Cilj rada je prikazati kako se LIDAR podaci mogu učinkovito primijeniti u postupku planiranja radiorelejnih veza. Poseban naglasak stavljen je na usporedbu tradicionalnih geodetskih metoda s novim pristupom temeljenim na DMR i DMP podacima te na demonstraciju prednosti koje proizlaze iz ovakve metodologije.

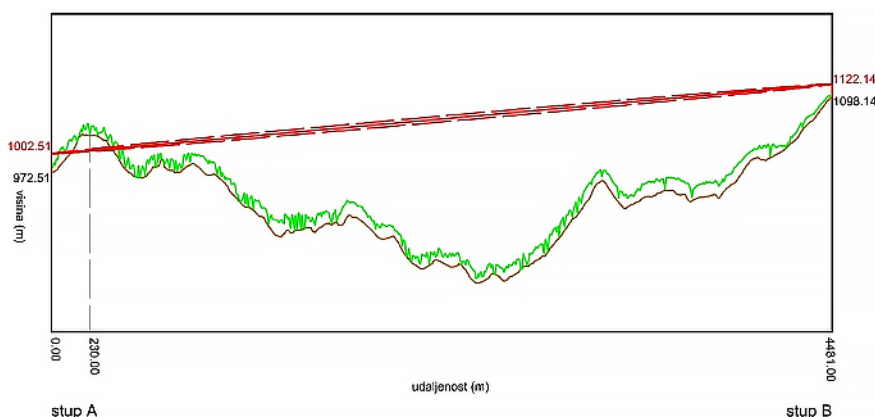
Kroz dva praktična slučaja analizirane su konkretne trase RR veza - između dvije postojeće antene te između benzinske postaje i najbližih komunikacijskih stupova. Na taj način jasno je prikazano kako korištenje LIDAR podataka ubrzava proces procjene dogledanja, omogućuje identifikaciju kritičnih prepreka te doprinosi donošenju kvalitetnijih odluka u projektiranju mrežne infrastrukture.

Kako se lokacije antena smatraju poslovnom tajnom telekom operatera te se kao takve ne smiju otkrivati, u daljnjem tekstu korištene su samo abecedne oznake.

UZDUŽNI PROFIL RR VEZE

stup A - stup B

Mjerilo = 1: 35000/10000



Slika 1: Uzdužni profil RR veze između planirane antene na projektiranom antenskom stupu A i postojećem stupu B. Zelena krivulja predstavlja digitalni model površine, smeđa digitalni model terena (izvor: LIDAR podaci DGU-a), a crvena liniju optičke vidljivosti s Fresnelovom zonom

2. Slučaj I. - RR veza između dva antenska stupa velike udaljenosti

U svrhu planiranja izgradnje novog antenskog stupa na lokaciji A potrebno je utvrditi postoji li optička vidljivost prema postojećem stupu na lokaciji B radi ostvarivanja stabilne i kvalitetne RR veze. Optička vidljivost ključan je preduvjet za rad RR veza jer svaka fizička prepreka na trasi može značajno umanjiti kvalitetu ili potpuno onemogućiti prijenos signala. Za tu svrhu zatraženi su podaci digitalnog modela reljefa (DMR) i digitalnog modela površine (DMP) od Državne geodetske uprave (DGU).

Korištenjem dodatka Terrain Profile u programskom paketu QGIS izrađen je uzdužni profil između dviju lokacija (Slika 1).

Visina antene na lokaciji B, zbog ograničenja postojeće infrastrukture, iznosi 24 metra od tla, dok je na novoprojektiranom stupu predviđena visina antene

30 metara od tla. Analizom profila utvrđeno je da veza nije ostvariva zbog uzvišenja koje se nalazi na udaljenosti 230 metara od projektiranog stupa i onemogućava izravnu optičku vidljivost, te je potrebno razmotriti alternativnu lokaciju za budući stup.

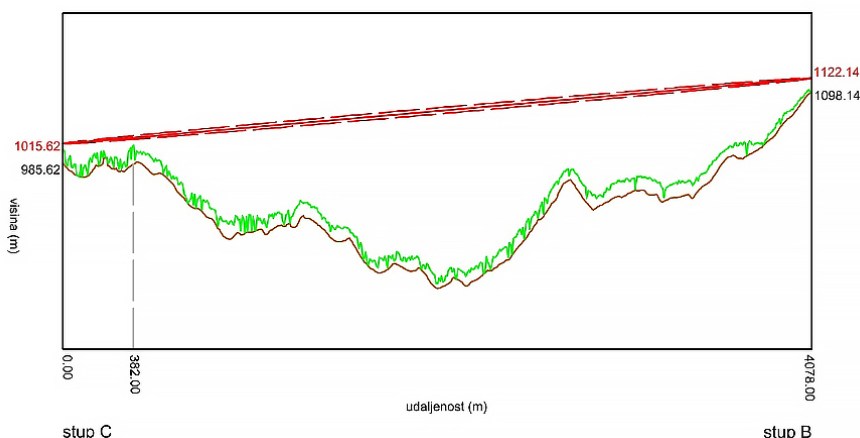
Kako bi se preciznije sagledao okolni teren i pronašla optimalna mikrolokacija za novi stup, DMP podaci dodatno su analizirani u 3D okruženju, koristeći program za vizualizaciju modela površine temeljen na visinskim podacima. Vizualna analiza omogućila je jednostavnije prepoznavanje terenskih karakteristika i odabir povoljnije pozicije za novi stup.

Nakon definiranja nove lokacije izrađen je i novi profil. Analiza novog profila pokazala je da je RR veza dužine 4078 metara između nove lokacije C i postojećeg stupa B izvediva, uz planirane visine antena (Slika 2).

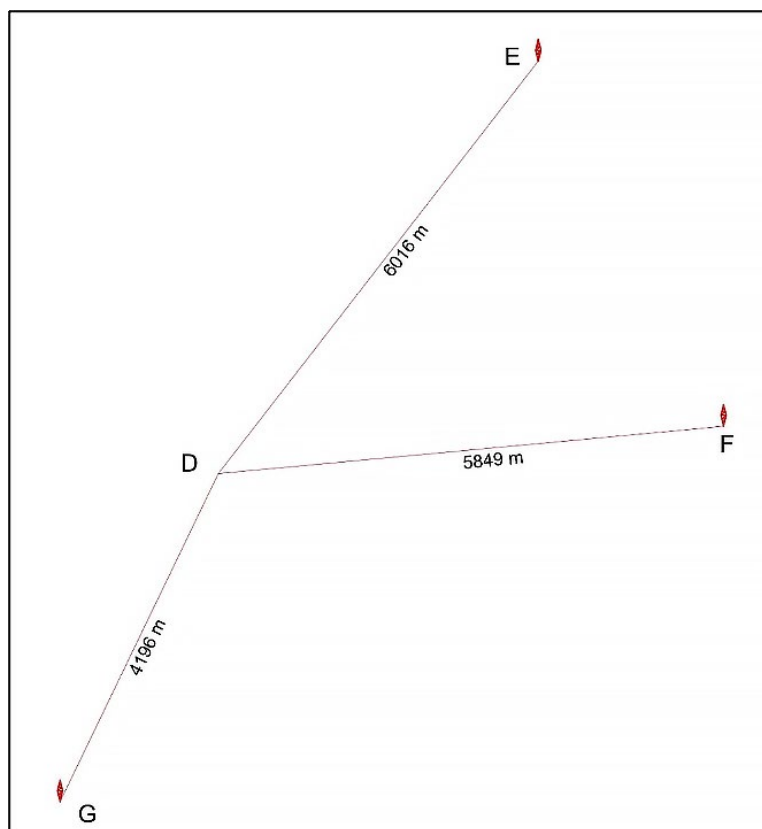
UZDUŽNI PROFIL RR VEZE

stup C - stup B

Mjerilo = 1: 35000/10000



Slika 2: Uzdužni profil RR veze između planirane antene na projektiranom antenskom stupu C i postojećem stupu B. Zelena krivulja predstavlja digitalni model površine, smeđa digitalni model terena (izvor: LIDAR podaci DGU-a), a crvena liniju optičke vidljivosti s Fresnelovom zonom



Slika 3: Prikaz položaja predmetnih antenskih stupova

Radi provjere točnosti konfiguracije terena i eventualnih prepreka uočenih na profilu, provedeno je i terensko snimanje. Mjerenja su obavljena tahimetrijskom metodom, pri čemu je utvrđena razlika u visini od 0.3 metra na lokaciji novog stupa i 0.4 metra na 382. metru trase profila. Usporedbom izmjerenih visina i vrijednosti iz DMP-a utvrđeno je da su odstupanja minimalna i unutar granica očekivane točnosti za ovu vrstu podataka.

3. Slučaj II. - RR veza za potrebe povezivanja benzinske postaje

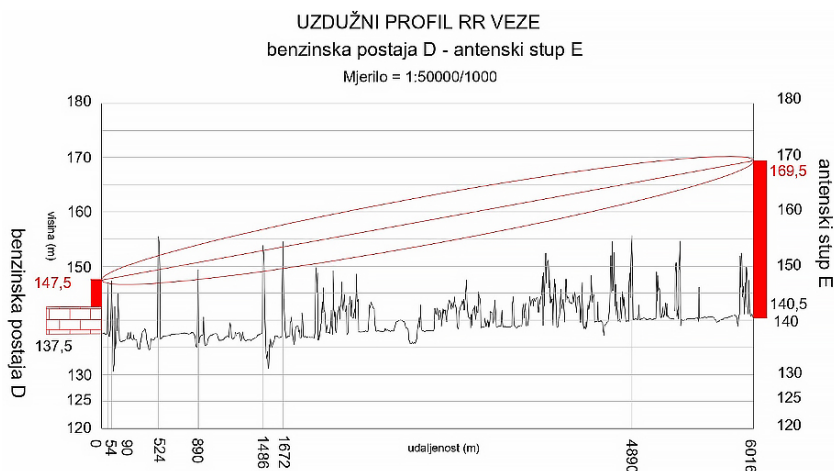
Za osiguranje komunikacije i povezanosti novoizgrađene benzinske postaje na lokaciji D, bilo je potrebno uspostaviti radio relejnu vezu. Kako bi ona funkcionirala, nužno je izračunati i postaviti antene na visinama u kojima bi bila ostvarena optička vidljivost. Veza se trebala ostvariti na jednu od tri najbližih postaja pokretne komunikacije (E, F ili G). Kako bi se izvršio ovaj zadatak, naručeni su LIDAR podaci (DMR i DMP) na temelju položaja predmetnih lokacija (Slika 3).

Podaci su analizirani korištenjem alata Terrain Profile, kao i podaci iz prvog slučaja. Nakon učitavanja dobivenih podataka, alat omogućuje korisniku definiranje linije profila, te automatski generira grafički prikaz visinskog presjeka terena iznad te linije. Na taj način analizirane su visinske razlike između predmetnih lokacija, vizualizirana je Fresnelova zona, locirane su prepreke koje se pojavljuju i izrađen je detaljni uzdužni profil veza.

Za planiranu vezu između lokacije D i E, planirano je postavljanje antena na visini 10 m od tla na lokaciji D i na visini 29 m od tla na lokaciji E. Tako se iz uzdužnog profila RR veze između lokacija D i E uočavaju višestruke smetnje koje direktno utječu na mogućnost uspostave kvalitetne RR veze (Slika 4). Na više mjesta duž trase - konkretno na udaljenostima 54, 90, 524, 890, 1486 i 1672 m od lokacije D - prisutna su stabla koja ne samo da prodiru u Fresnelovu zonu, već u potpunosti blokiraju direktnu vidljivost

Uspostava veze između lokacije D i F planirana je postavljanjem antena na visinu 10 m od tla na lokaciji D i 50 m od tla na lokaciji F. Analizom trase, veza je gotovo u potpunosti neometana, osim na udaljenosti od 204 m od lokacije D, gdje su uočena stabla koja djelomično ulaze u Fresnelovu zonu. Premda ne dolazi do potpune blokade linije dogledanja, prepreka u Fresnelovoj zoni može uzrokovati djelomične gubitke signala i utjecati na njegovu kvalitetu (Slika 5).

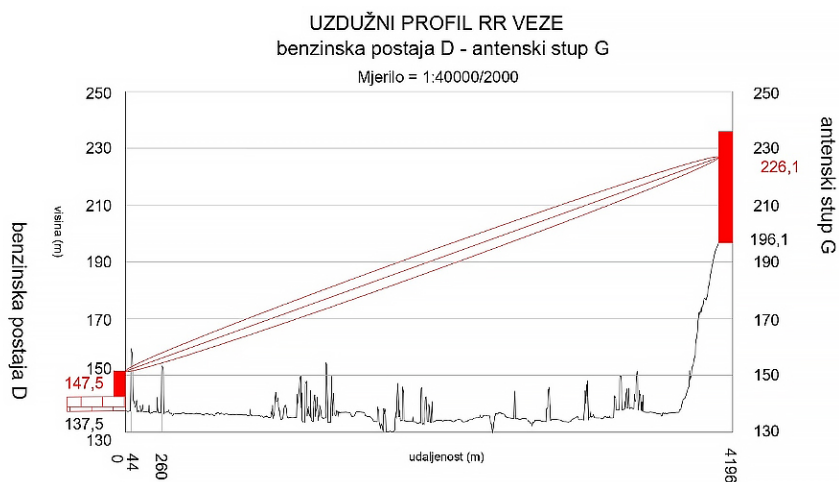
Vezano uz planiranje RR veze između lokacije D i G, na udaljenosti od približno 260 m od lokacije D, na profilu se pojavljuje stablo koje definira minimalnu potrebnu visinu antene na lokaciji D. Kako bi se osigurala neometana optička vidljivost, utvrđeno je da je antenu na toj lokaciji potrebno postaviti na najmanje 14 m iznad razine tla (Slika 6). Također, u profilu je prikazano još jedno stablo na udaljenosti od 44 m od lokacije D, koje prema podacima potpuno blokira liniju dogledanja. Međutim, terenskim uvidom utvrđeno je da to stablo više ne postoji, budući da je uklonjeno tijekom zemljanih radova i pripreme gradilišta za izgradnju benzinske postaje.



Slika 4: Uzdužni profil RR veze između planirane antene na benzinskoj postaji D i antenskom stupu E



Slika 5: Uzdužni profil RR veze između planirane antene na benzinskoj postaji D i antenskom stupu F



Slika 6: Uzdužni profil RR veze između planirane antene na benzinskoj postaji D i antenskom stupu G

Za potrebe provjere točnosti visinskih podataka iz LIDAR modela, provedeno je kontrolno mjerenje visina na lokacijama D, E, F i G pomoću GNSS metode. Usporedbom rezultata utvrđene su manje razlike: na lokaciji D visina izmjerena GNSS metodom niža je za 0.1 m, na lokacijama E i F niža za 0.2 m, dok je na lokaciji G GNSS visina viša za 0.2 m u odnosu na LIDAR podatke. Ova odstupanja unutar su očekivanih tolerancija za ovakvu vrstu analize i potvrđuju dovoljnu preciznost modela za potrebe procjene dogledanja.

3. Zaključak

Primjena LIDAR tehnologije u geodeziji i telekomunikacijama predstavlja primjer interdisciplinarnog pristupa u kojem se geodetska mjerenja i prostorni podaci koriste za optimizaciju tehničkih procesa izvan klasičnog geodetskog djelokruga.

Dobiveni rezultati pokazuju da LIDAR:

- omogućuje precizno određivanje visinskih odnosa i položaja prepreka
- smanjuje troškove i vrijeme potrebno za terenski rad
- povećava pouzdanost projektiranja RR veza
- doprinosi sigurnijem i učinkovitijem razvoju telekomunikacijske infrastrukture

Provedenom analizom određene su minimalne visine postavljanja antena potrebne za uspostavu radiorelejnih veza, uzimajući u obzir stanje terena, vegetaciju i Fresnelove zone. Unatoč manjim odstupanjima u visinama u odnosu na GNSS mjerenja te prisutnost objekata koji u stvarnosti više ne postoje, LIDAR se pokazao kao iznimno učinkovit alat, osobito zbog brzine obrade i činjenice da nije potrebno pojedinačno

no mjeriti svaku prepreku poput krošnji ili objekata. Takav pristup omogućuje brzu i pouzdanu procjenu dogledanja na širem području, što ga čini vrlo korisnim u fazi planiranja radiorelejnih veza.

Međutim, provedena analiza također je ukazala i na važan izazov – ažurnost LIDAR podataka. U konkretnom primjeru uočeno je postojanje vegetacije (stabla) koja je u međuvremenu uklonjena, što je rezultiralo odstupanjem između podataka i stvarnog stanja terena. Takvi slučajevi potvrđuju potrebu za sustavnim i periodičnim obnavljanjem LIDAR baze podataka, budući da dinamične promjene u prostoru – poput izgradnje objekata, uklanjanja vegetacije ili oblikovanja terena – izravno utječu na valjanost analize dogledanja.

Stoga, za daljnje unapređenje pouzdanosti u planiranju i to ne samo telekomunikacijske infrastrukture, nužno je da Državna geodetska uprava osigura kontinuirano održavanje i redovito ažuriranje LIDAR podataka. Time se povećava preciznost geodetskih analiza te se dodatno potvrđuje uloga geodetsko - geoinformacijskih podataka kao temeljnog resursa za razvoj suvremenih inženjerskih projekata u području komunikacija i prostornog planiranja.

Literatura

URL 1: Narodne novine, Pravilnik o uvjetima za planiranje i gradnju elektroničke komunikacijske infrastrukture, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2024_12_146_2421.html, (28.7.2025.).

URL 2: Državna geodetska uprava, Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske, <https://dgu.gov.hr/multisenzorsko-zracno-snimanje-republike-hrvatske/5700>, (3.8.2025.).

Application of LIDAR Data from the State Geodetic Administration in Optimizing Radio Relay (RR) Link Feasibility

Abstract

This paper presents the application of LIDAR data published by the State Geodetic Administration (DGU) as part of the project "Multisensor Aerial Survey of the Republic of Croatia for Disaster Risk Reduction Assessment." Conducted between 2020 and 2023, the project resulted in the availability of high-value geospatial datasets, including a LIDAR point cloud, digital terrain model (DTM) and digital surface model (DSM) with a resolution of 1 m/px, 3D scenes, and a 2023 digital orthophoto map (DOF) enhanced with LIDAR data at a resolution of 0.25 m/px. These datasets are used to optimize the verification of the feasibility of radio relay (RR) links between two mobile communication stations. Prior to the availability of such data, verification relied on fieldwork conducted by geodetic professionals using total stations and GNSS devices to observe each location individually and identify possible line-of-sight obstructions in the surrounding terrain. This process was time-consuming and logistically demanding. The use of LIDAR data has enabled faster, more efficient, and more accurate visibility analysis, contributing significantly to the technical advancement and reliability of radio communication infrastructure planning across diverse spatial conditions.

Keywords: *digital terrain model, line-of-sight, multisensor aerial survey, radio relay link, LIDAR*

DesirMED – Analiza ranjivosti obalnog područja Kaštelanskog zaljeva

Samanta Bačić¹, Martina Baučić¹, Nikša Jajac¹, Frane Gilić¹

¹ Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska, sbacic@gradst.hr

Sažetak

Područje Kaštelanskog zaljeva prepoznato je kao jedno od najugroženijih područja istočnog Jadrana na klimatske promjene. U sklopu projekta iz programa Horizon Europe „Demonstracija i uključivanje rješenja utemeljenih na prirodi za transformaciju Mediterana u prostor otporan na klimatske promjene“ akronima DesirMED, provedena je preliminarana analiza ranjivosti ovog područja. Analiza obuhvaća procjenu rizika od plavljenja izazvanih olujnim usporima i bujičnim poplavama, kao i učinke toplinskih valova. Dodatno je analizirana intenzivna urbanizacija ovog prostora koja pojačava negativne utjecaje klimatskih promjena. Ranjivost je procijenjena na razini svake pojedine građevine, uzimajući u obzir aktualne i moguće buduće scenarije. U analizi su korišteni isključivo javno dostupni i besplatni podaci dobiveni satelitskim tehnologijama i geoprostornim analizama. Rezultati pružaju uvid u najranjivije prostore i podršku u definiranju mjera koje će područje Kaštelanskog zaljeva učiniti otpornijim na klimatske promjene.

Ključne riječi: klimatske promjene, obalna ranjivost, plavljenje, toplinski valovi, urbanizacija.

1. Uvod

Područje Mediterana prepoznato je kao jedno od najugroženijih područja na svijetu na klimatske promjene. Najnovija izvješća Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (URL 1) potvrđuju ubrzano zagrijavanje što dovodi do porasta površinskih temperatura na kopnu i moru, smanjenja količina oborina, porasta učestalosti i intenziteta suša, porasta razine mora, povećanog broja ekstremnih događaja (toplinskih valova, šumskih požara, bujičnih poplava). Posljedica ovih promjena su povećani rizici od nestašica vode, degradacija ekosustava, nesigurnosti proizvodnje hrane, plavljenja obalnih područja te ugrožavanje ljudskog zdravlja. Kako bismo se učinkovito

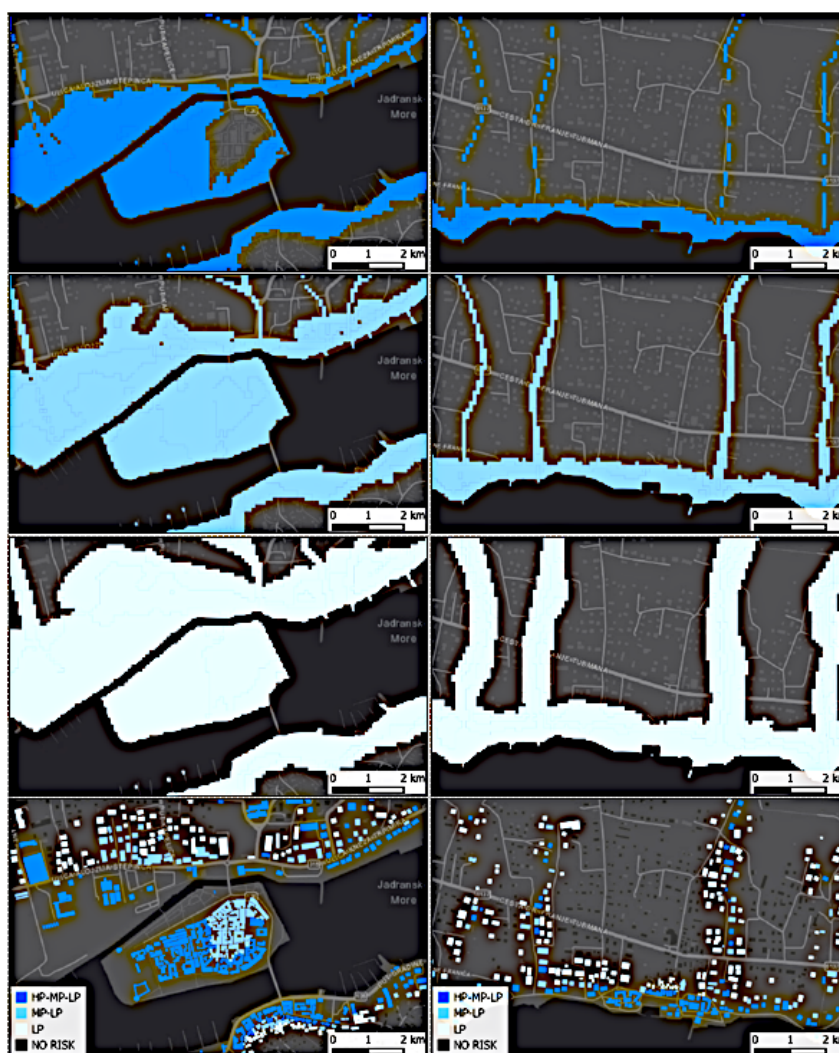
suočili s ovim izazovima potrebno je prijeći s malih, izoliranih projekata prema integriranim strategijama i politikama. Projekt „Demonstracija i uključivanje rješenja utemeljenih na prirodi za transformaciju Mediterana u prostor otporan na klimatske promjene“ DesirMED financiran sredstvima Horizon Europe programa (URL 2) ima za cilj promicanje rješenja temeljenih na prirodi (*engl. Nature-based Solutions, NbS*) kako bi se očuvali i obnovili ekosustavi, povećala otpornost na klimatske promjene i osiguralo održivo upravljanje okolišem, a istovremeno postigle šire dugoročne socioekonomske koristi na području Mediterana.



Slika 1: Obuhvat pilot područja Kaštelanskog zaljeva

Tablica 1: Poplavljene površine i zgrade u pilot području

Scenarij - vjerojatnost poplave	Period ponavljanja	Poplavljena površina i njezin udio u ukupnoj površini	Broj poplavljenih zgrada i njihov udio u ukupnom broju zgrada
Visoka vjerojatnost	25 godina	287 ha - 1,5 %	1.849 - 5,5 %
Srednja vjerojatnost	100 godina	617 ha - 3,2 %	3.094 - 9,1 %
Niska vjerojatnost	1000 godina	1.252 ha - 6,6 %	5.349 - 15,7 %



Slika 2: Karte rizika od poplava (lijevo Trogir, desno Kaštel Kambelovac); tamnoplava boja – visoka vjerojatnost, plava boja – srednja vjerojatnost, svijetloplava boja - niska vjerojatnost; zgrade pod visokim (tamnoplava), srednjim (plava) ili niskim (svijetloplava) rizikom

U sklopu aktivnosti projekta DesirMED provedena je preliminarna analiza ranjivosti obalnog područja Kaštelanskog zaljeva koje je prepoznato kao jedno od najugroženijih područja istočnog Jadrana na klimatske promjene (Hinkel i dr., 2015). Analiza je obuhvatila procjenu rizika od poplava izazvanih olujnim usporima i bujičnim poplavama, kao i učinke toplinskih valova. Dodatno je analizirana urbanizacija područja

koja pojačava negativne učinke klimatskih promjena. Pilot područje obuhvaća dijelove Splita, Klisa i Trogira te cijeli Solin i Kaštela u ukupnoj površini 190 km² u kojem živi 240.000 stanovnika (popis iz 2021. godine) i prikazano je na Slici 1. Cjelokupna analiza s prikazom rezultata pripremljena je za korištenje putem ArcGIS StoryMaps alata i dostupna je na poveznici DesirMED StoryMap (URL 3).

2. Analiza ranjivosti

U kontekstu klimatskih promjena procjena ranjivosti nekog područja zahtjeva analiziranje njegove izloženosti i osjetljivosti na pojedinu opasnost od klimatskih promjena kao i analiziranje sposobnosti prilagodbe na iste (Lavell i dr., 2012). Pri tom je potrebno uzeti u obzir i socioekonomski kontekst kao i potrebu za procjenama za različite razine, i to prostornu (detaljna ili opća), vremensku (kratkoročna, srednjoročna, dugoročna) i upravljačku (lokalna, regionalna, nacionalna) razinu (ETC CCA, 2011). Analiza ranjivosti može dati procjenu šteta koje se mogu očekivati na nekom području i time pomoći u kreiranju učinkovitih mjera za ublažavanje istih.

2.1. Poplave

Područje Kaštelanskog zaljeva suočeno je s poplavama uzrokovanim bujičnim vodotocima i olujnim usporima mora te dugoročno podizanjem razine mora uslijed klimatskih promjena (Margeta i dr., 2019). Poplave su prirodni događaji koji se mogu dogoditi neočekivano i, iako se ne mogu u potpunosti spriječiti, postoje mjere koje mogu pomoći u smanjenju povezanih rizika na prihvatljive razine. Procjena šteta uzrokovanih budućim podizanjem razine mora u Hrvatskoj pokazala je da će najveći broj ljudi koji će biti pogođeni poplavama biti na području Kaštelanskog zaljeva (Hinkel i dr., 2015).

Hrvatske vode izradile su karte rizika od poplava za period od 2022. do 2027. godine za tri scenarija: poplave visoke vjerojatnosti, srednje i niske vjerojatnosti (URL 4). Pojedinačni scenariji definirani su u mjerilu 1:25.000 objedinjujući poplavna područja svih uzroka. Poplave visoke vjerojatnosti imaju period ponavljanja od približno 25 godina, srednje vjerojatnosti od približno 100 godina i poplave niske vjerojatnosti imaju period ponavljanja od približno 1000 godina. S klimatskim promjenama očekuje se skraćivanje povratnih perioda pa će tako poplave niskih vjerojatnosti ići prema srednjim, a one srednjih ići prema poplavama velike vjerojatnosti. U Tablici 1 dane su površine poplavnih područja za pilot područje za sva tri scenarija i njihovi udjeli u ukupnoj površini pilot područja. Na Slici 2 prikazane su karte poplavnih područja za gradsku jezgru Trogira i obalu Kaštel Kambelovca. Da bi se mogla bolje procijeniti moguća šteta, analiziran je obuhvat zgrada (njihov broj i tlocrtna površina) za sva tri scenarija plavljenja i zbirni rezultati su dani u Tablici 1 i na Slici 2. Detaljni rezultati analize poplava

mogu se pogledati na poveznici DesirMED StoryMap (URL 3).

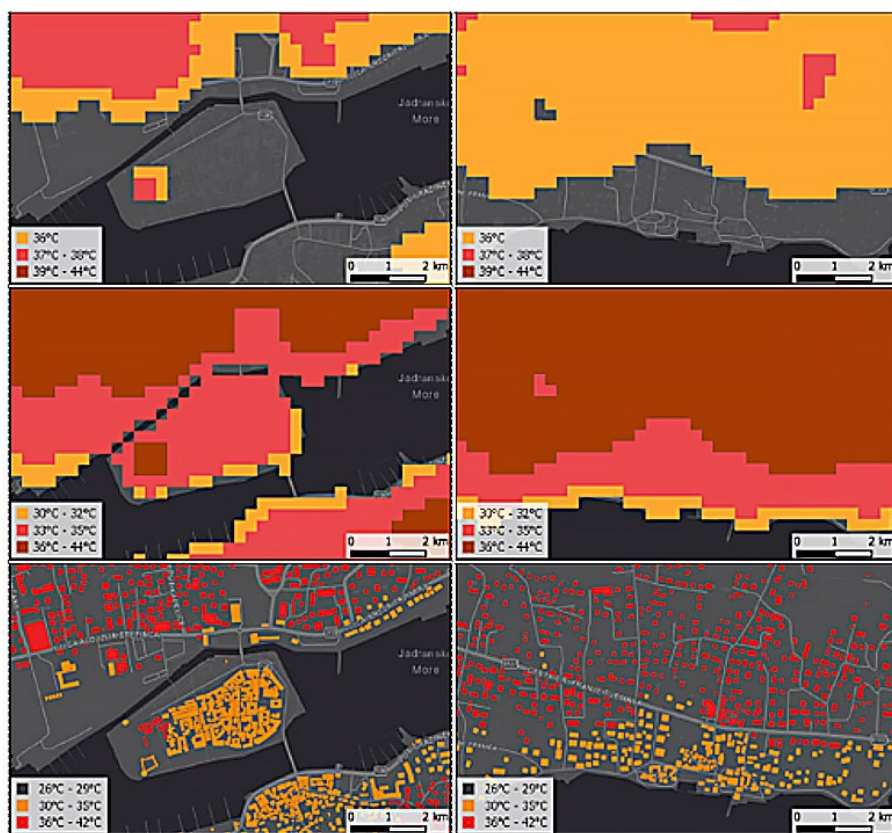
2.2. Temperatura površine tla

Zbog rastuće urbanizacije i značajnih promjena u korištenju zemljišta te povećanja temperature zraka uslijed klimatskih promjena dolazi do porasta temperature površine tla (*engl. Land Surface Temperature, LST*), a što dovodi do stvaranja urbanih toplinskih otoka (*engl. Urban Heat Islands, UHI*). Urbani toplinski otoci su područja gdje je LST veća za oko 10 °C u usporedbi s okolnim područjima. Visoke temperature zraka i LST, posebno one koje prelaze 36 °C, mogu negativno utjecati na ljudsko zdravlje i prirodni okoliš (Duplančić Leder i Bačić, 2021). Temperatura površine tla značajan je parametar za praćenje promjena toplinskih karakteristika u urbanim područjima gdje promjene u korištenju zemljišta mogu dovesti do pojačavanja efekta toplinskog otoka u gradu. Analizom LST-a moguće je identificirati područja s toplinskim karakteristikama koja značajno doprinose ukupnom zagrijavanju grada.

Za pilot područje provedena je analiza temperature površine tla. Vrijednosti LST-a dobivene su iz atmosferski korigiranih satelitskih snimaka USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1 s prostornom rezolucijom od 30 metara (URL 5). Satelitska slika odabrana je za jedan od najtoplijih dana ljeta 2024, a koja je bila minimalno pod utjecajem oblaka (12. kolovoza 2024.; lokalno vrijeme: 11:40). Područja s LST temperaturom većom od 36 °C identificirana su kao područja opasnosti. Područja s LST-om u rasponu od 30 °C do 36 °C identificirana su kao potencijalna buduća područja opasnosti od topline. Ukupno buduće područje opasnosti od topline u pilot području Kaštelanskog zaljeva iznosi 18.765 ha (98,58 % ukupne površine). Na Slici 3 prikazane su karte toplinskih valova za gradsku jezgru Trogira i obalu Kaštel Kambelovca. Da bi se mogla bolje procijeniti moguća šteta analiziran je obuhvat zgrada (njihov broj i tlocrtna površina) pogođen toplinskim valovima i zbirni rezultati su dani u Tablici 2. Slika 3 (zadnji red) prikazuje zgrade unutar pilot područja koje su već danas pogođene toplinskim valovima (crvenom bojom), kao i one koje će biti pogođene toplinskim valovima u budućnosti (narančastom bojom). Detaljni rezultati analize mogu se pogledati na poveznici DesirMED StoryMap (URL 3).

Tablica 2: Površine i zgrade pod toplinskim valovima

Temperatura površine tla (LST)	Scenarij	Površine pod toplinskim valom i njezin udio u ukupnoj površini	Broj zgrada pod toplinskim valom i njihov udio u ukupnom broju zgrada
≥36 °C	Današnji toplinski valovi	8.657 ha – 45,5 %	23.144 - 68,1 %
≥30 °C	Budući toplinski valovi	18.765 ha – 98,6 %	33.931 – 99,9 %

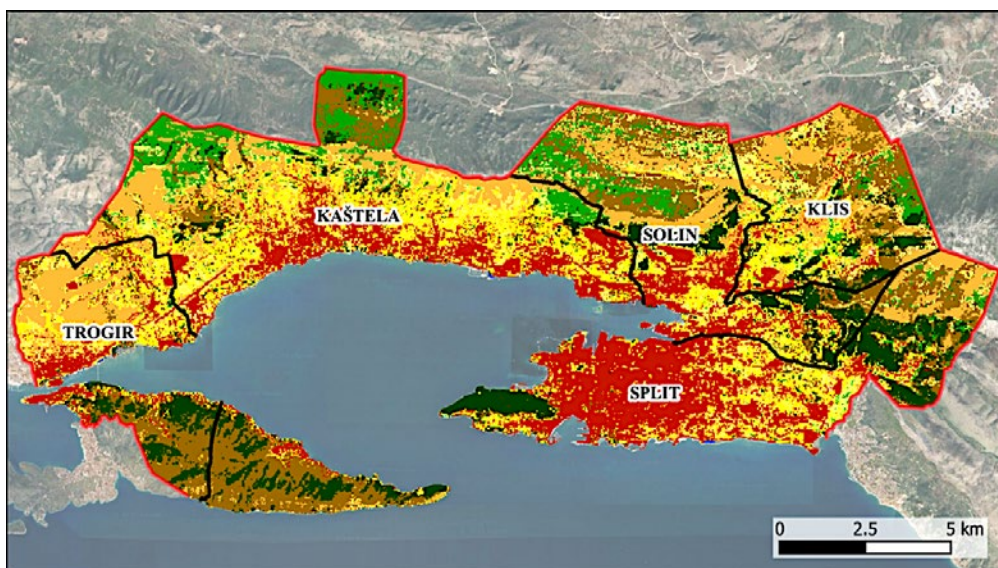


Slika 3: Karte toplinskih valova (lijevo Trogir, desno Kaštel Kambelovac); područja s $LST \geq 36^\circ\text{C}$; područja s $LST \geq 30^\circ\text{C}$; zgrade pogođene toplinskim valom (danas $\geq 36^\circ\text{C}$ – crveno; u budućnosti $30^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$ – narančasto)

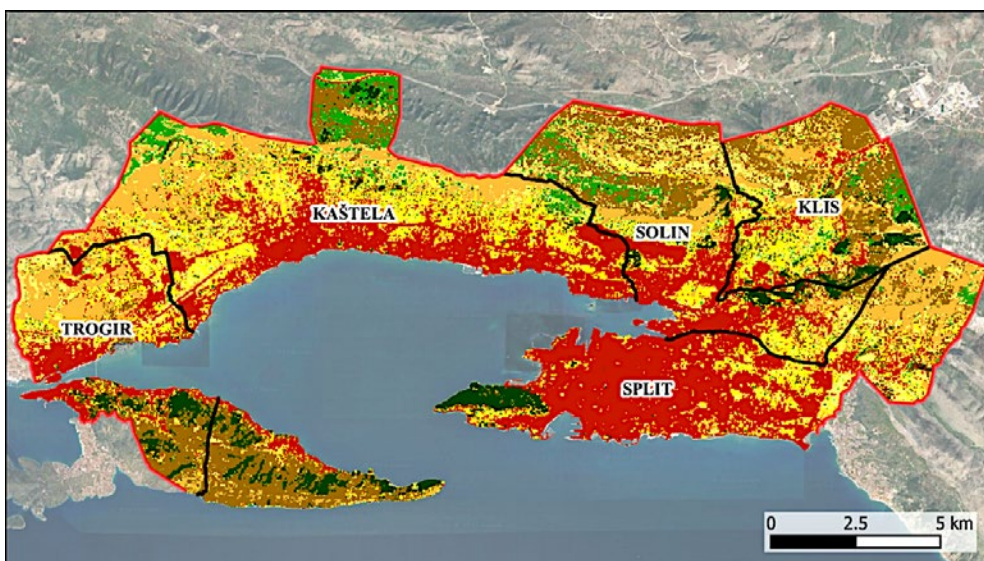
2.3. Urbanizacija

Analiza urbanizacije područja Kaštelanskog zaljeva pokazala je kolike površine su izgrađene u periodu od 1985. do 2022. godine. Korišten je skup podataka o pokrovu zemljišta GLC_FCS30D (URL 6) - prvi globalni proizvod za praćenje promjene pokrova tla s 30 metara prostornom rezolucijom i klasifikacijskim sustavom od 35 kategorija. Godine 1985. površina

nepropusnih površina (koje možemo smatrati izgrađenim površinama, crvena boja na Slici 4) u pilot području iznosila je $36,19\text{ km}^2$, što je predstavljalo 19 % ukupne površine. Do 2022. godine ta se površina povećala za 9 % dosegnuvši $53,37\text{ km}^2$, odnosno 28 % ukupne površine pilot područja.



Slika 4: Pokrov tla 1985. godine (izgrađene površine – crveno)



Slika 5: Pokrov tla 2022. godine (izgrađene površine – crveno)

3. Zaključak

Ova preliminarna analiza ranjivosti pilot područja pokazala je neophodnost uključivanja klimatskih promjena u planiranje i upravljanje obalnim područjima, posebno zbog trenda urbanizacije koji zahvaća sve obale svijeta. Uvođenjem mjera prilagodbe i novih koncepta u razvoj urbanih područja (kao npr. „urbani dizajn osjetljiv na vodu“) moguće je smanjiti buduće negativne učinke kao i održati i unaprijediti kvalitetu urbanog okoliša.

Danas dostupni i besplatni geoprostorni podaci omogućuju izradu analiza i praćenje mnogobrojnih parametara u prostoru što do nedavno nije bilo moguće. Pred nama je izazov da se te mogućnosti uključe u planiranje i upravljanje prostorom te tako postigne učinkovitost mjera i u konačnici dugoročno održiv razvoj. Na primjer, moguće je pratiti postojeću izgrađenost i propusnost površina te željeni postotak izgrađenosti i propusnosti definirati za svaku pojedinu parcelu.

Projekt DesirMED (URL 2) ima za cilj ojačati kapacitete mediteranskih regija u kreiranju strategija i mjera kao i ubrzati implementaciju rješenja potrebnih za dugoročno povećanje otpornosti na klimatske promjene. Jedan od fokusa projekta je implementacija rješenja temeljenih na prirodi. Za područje Kaštelanskog zaljeva istražiti će se mogućnosti primjene ovih rješenja s ciljem zaštite od plavljenja i erozije obale, smanjenja toplinskih valova i ukupno poboljšanje kvalitete života i očuvanja prirodnog okoliša (npr. zeleni krovovi i kišni vrtovi, javne površine s bioretencijskim/infiltracijskim sustavima, drvoredi i drugo urbano zelenilo, renaturalizacija potoka i obale). Projekt istražuje i inovativne modele upravljanja te financijske modele potrebne za dugoročno povećanje otpornosti na klimatske promjene.

Zahvala

Istraživanje je financirano iz programa istraživanja i inovacija Obzor Europa Europske unije u okviru ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava br. 101112972 (DesirMED). Ovo istraživanje djelomično je podržano projektom KK.01.1.1.02.0027 koji sufinancira Vlada Republike Hrvatske i Europska unija putem Europskog fonda za regionalni razvoj - Operativni program za konkurentnost i koheziju.

Odricanje od odgovornosti: Izneseni stavovi i mišljenja su isključivo stavovi autora i ne odražavaju nužno stavove Europske unije. Ni Europska unija ni tijelo koje dodjeljuje potporu ne mogu se smatrati odgovornima za njih.

Literatura

Duplančić Leder, T., Bačić, S. (2021): Utjecaj lokalnih klimatskih zona na termička obilježja grada Splita, Zbornik radova 16. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije, HKOIG, 73-80.

ETC CCA (2011): Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. European Topic Centre on Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation, Bologna.

Hinkel, J., Vafeidis, A.T., Lincke, D., Wolff, C., Pasqual, M., Markandya, A. (2015): Assessment of Costs of Sea-Level Rise in the Republic of Croatia Including Costs and Benefits of Adaptation - Technical report, GEF-UNEP/MAP-PAP/RAC, Split.

Lavell, A., Oppenheimer, M., Diop, C., Hess, J., Lempert, R., Li, J., Muir-Wood, R., Myeong, S. (2012): Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance

Climate Change Adaptation - A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge i New York.

Margeta, J., Baučić, M., Vilibić, I., Jakl, Z., Petrić, L., Mandić, A., Grgić, A., Bartulović, H., Popić, N., Marasović, K., Jajac, N., Rogulj, K., Ivić, M., Jovanović, N., Bačić S. (2019): Plan upravljanja obalnim područjem Grada Kaštela, JU RERA, Split.

URL 1: Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Sixth Assessment Report, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/ccp4/>, (31. 08. 2025.).

URL 2: Horizon Europe projekt DesirMED, <https://www.desirmed.eu/>, (31. 08. 2025.).

URL 3: DesirMED StoryMap, <https://gisfgag.gradst.hr/portal/apps/storymaps/stories/32c206613f994d7a85a9c63bd2d2a23f>, (31. 08. 2025.).

URL 4: Karte opasnosti i rizika od polava, Hrvatske vode, <https://www.voda.hr/hr/geoportal>, (31. 08. 2025.).

URL 5: USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-1-surface-reflectance>, (31. 08. 2025.).

URL 6: GLC_FCS30D, <https://zenodo.org/records/8239305>, (31. 08. 2025.).

DesirMED – Vulnerability Analysis of the Coastal Area of Kaštela Bay

Abstract

The Kaštela Bay area has been recognized as one of the most vulnerable regions of the eastern Adriatic to climate change. As part of the Horizon Europe Programme project titled „Demonstration and mainstreaming of nature-based solutions for climate resilient transformation in the Mediterranean“, acronym DesirMED, a preliminary vulnerability analysis of this area was conducted. The analysis includes an assessment of flood risks caused by storm surges and flash floods, as well as the impacts of heatwaves. Additionally, the area's intense urbanization was examined, which amplifies the negative effects of climate change. Vulnerability was assessed at the building level, considering both current and potential future scenarios. Only publicly available and free data obtained through satellite technologies and geospatial analyses were used in the study. The results provide insight into the most vulnerable zones and support the definition of measures that will make the Kaštela Bay area more resilient to climate change.

Keywords: *climate change, coastal vulnerability, flooding, heatwaves, urbanization.*

Modernizacija sveučilišne nastave kroz projekt Europske svemirske agencije: razvoj kolegija naprednih vještina daljinskih istraživanja

Olga Bjelotomić Oršulić¹, Sanja Šamanović¹, Nikola Kranjčić¹, Danko Markovinović¹

¹ Odjel za geodeziju i geomatiku Sveučilišta Sjever, 104. brigade 3, 42000 Varaždin, Hrvatska, oborsulic@unin.hr, sasamanovic@unin.hr, nkranjic@unin.hr, danko.markovinovic@unin.hr

Sažetak

Brzi razvoj svemirskih tehnologija i šira dostupnost Copernicus satelitskih podataka otvaraju nove mogućnosti primjene daljinskih istraživanja u geodetsko-geomatičkoj struci — od praćenja elementarnih nepogoda do analize dugoročnih promjena u okolišu. U okviru projekta financiranog od Europske svemirske agencije (ESA), na studiju geodezije i geomatike Sveučilišta Sjever razvijen je novi kolegij koji studentima pruža napredno praktično iskustvo rada sa Sentinel podacima (optika, radar, termalni senzori). Kolegij kombinira obradu realnih satelitskih podataka, analitičke vježbe u open-source alatima i programske primjere (npr. Python / API), pri čemu se naglašava prostorna točnost interpretacije i ograničenja metoda. Poseban doprinos predstavlja uključenost primjera dobre prakse s partnerskih europskih sveučilišta, ostvarena kroz podršku ESA-e. Očekivani učinci uključuju unapređenje kompetencija studenata za primjenu daljinskih istraživanja u geodetskoj praksi, poboljšanje interdisciplinarnih veza i jačanje konkurentnosti na europskom tržištu rada. Rad opisuje razvoj nastavnog programa, odabir podataka i alata, primjer vježbi i plan vrednovanja, te raspravlja o potencijalima i izazovima usklađivanja visokog obrazovanja sa brzim tehnološkim promjenama.

Ključne riječi: *Copernicus Sentinel podaci; daljinska istraživanja; geodezija i geomatika; obrazovanje; open-source alati.*

1. Uvod

Razvoj satelitskih sustava i rast dostupnosti besplatnih geoprostornih podataka (posebno programa Copernicus, European Commission. (2014)) stvara potrebu da se kurikulumu na studijima geodezije i geomatike prilagode kako bi studenti stekli praktične vještine relevantne za suvremenu struku. Primjena satelitskih podataka obuhvaća nadzor elementarnih nepogoda poput poplave, klizišta, suše, praćenje promjena u korištenju zemljišta te podršku u prostornom planiranju i upravljanju. Istovremeno, brz napredak metodologija i alata za korištenje produkata daljinskih istraživanja zahtijeva prilagodbu sveučilišnih nastavnih programa kako bi budući stručnjaci stekli relevantne praktične vještine za rad u digitalnom i prostornom okruženju. Posebno se pritom ističe sve veća uloga metoda strojnog učenja (ML), koje su postale ključne u suvremenim analizama satelitskih podataka, osobito za klasifikaciju i interpretaciju velikih skupova podataka (Thanh Noi i Kappas, 2018; Talukdar i dr., 2020).

Poslovna udruga EARSČ u posljednjem istraživanju za Europu bilježi više od 750 aktivnih tvrtki koje se bave daljinskim istraživanjima, više od 13 tisuća zaposlenih, te više od 1.75 milijardi eura prihoda (podaci za 2023. godinu) (URL 3). Uz to, Europska svemirska

agencija također potvrđuje 10% godišnjeg rasta za tvrtke koje se bave daljinskim istraživanjima (URL 2).

(Belgiu i dr., 2024) napravili su sustavnu analizu obrazovnih programa iz područja daljinskih istraživanja na prijediplomskoj, diplomskoj i doktorskoj razini studija. Njihovo istraživanje pokazalo je da od 132 sveučilišna studijska programa, ukupno je identificirano više od 3500 kolegija koji se bave daljinskim istraživanjima. S obzirom na dokumentirani rast industrije daljinskih istraživanja, izraženu potražnju za kvalificiranim stručnjacima te aktualne obrazovne trendove u Europskoj uniji, jasno je da je razvoj i implementacija naprednih kurikularnih sadržaja nužan preduvjet za sustavno obrazovanje novih generacija specijaliziranih kadrova, čemu ovaj projekt doprinosi.

Tijekom razdoblja od prijave projekta do njegove praktične realizacije i sam ekosustav platformi za pristup i obradu satelitskih podataka intenzivno se razvijao. Primjerice, ESA-in Copernicus Browser (URL 1) i srodne platforme prošle su nadogradnje korisničkih sučelja i funkcionalnosti — uvedene su mogućnosti djelomične online obrade, alati za analizu u oblaku i poboljšani servisi za preuzimanje podataka. Takve promjene utječu na metode rada i omogućuju nove,

skalabilne radne tokove; stoga smo i te novosti kontinuirano integrirali u ciljeve kolegija i nastavne materijale kako su se pojavljivale. Ovaj pristup „učenja u hodu“ ističe dinamičnost područja i potrebu za fleksibilnim, ažurirajućim kurikulumom koji potiče i studente i nastavnike na stalno usvajanje novih tehnologija i metoda.

U tom kontekstu, projekt financiran od Europske svemirske agencije (ESA) usmjeren je na razvoj kolegija naprednih vještina daljinskih istraživanja na studiju geodezije i geomatike Sveučilišta Sjever. Cilj kolegija je osposobiti studente za praktičnu obradu i interpretaciju Sentinel podataka (optika, radar, termalni senzori), poticanje razumijevanja prostorne točnosti i ograničenja podataka te uvođenje otvorenih softverskih rješenja i programskih jezika u nastavne procese. Ovaj rad opisuje proces izrade nastavnog programa, izbor podataka i alata, primjere laboratorijskih vježbi te plan vrednovanja učinaka kolegija na razvijanje stručnih kompetencija. Razvoj takvih obrazovnih okvira ključan je za poticanje praktičnog učenja u kojem studenti razvijaju kompetencije usklađene s potrebama industrije (Brovelli *i dr.*, 2017).

2. O projektu

Odjel za geodeziju i geomatiku Sveučilišta Sjever kao nositelj provodi projekt „Razvoj studijskog kolegija korištenja daljinskih istraživanja u upravljanju kriznim situacijama i elementarnim nepogodama“ financiran u potpunosti od strane Europske svemirske agencije. Projekt se odvija u suradnji Odjela za geodeziju i geomatiku Sveučilišta Sjever i partnera iz industrije, tvrtke List Labs d.o.o. uz potporu ESA-e. Trajanje projekta je 16 mjeseci pri čemu je obuhvaćena inicijalna analiza potreba tržišta rada industrije i javnog sektora u Republici Hrvatskoj, aktualni studijski kolegiji na renomiranim europskim sveučilištima, posjetu i razmjeni iskustava s vodećim europskim sveučilištima u toj domeni, uključivanje dobrih praksi u koncept novog kolegija, kreiranje strukture i koncepta kolegija, razvoj nastavnih jedinica predavanja i vježbi, te provjere znanja. Početni projektni radni paketi obuhvatili su analizu potreba industrije i definiranje glavnih tema kolegija, čime smo usmjerili razvoj nastavnog okvira i izradu praktičnih laboratorijskih materijala prema realnim potrebama industrije usklađenih s europskim smjernicama visokoškolskih kurikuluma. U trenutku pisanja ovog rada, projekt je u fazi pilotiranja, tj. testnog izvođenja cjelokupnog kolegija kroz jesenski semestar nastave.

2.1. Ciljevi kolegija

- Glavni ciljevi novog kolegija razvijenog kroz ovaj projekt su:
- Osposobiti studente za samostalno preuzimanje, predobradu i interpretaciju Sentinel Earth Observation (EO) podataka,
- Uvesti lako ponovljive radne tokove koristeći open-source alate i skripte (Python, SNAP, QGIS, platforme u oblaku),
- Razviti sposobnost kritičke procjene prostorne i vremenske točnosti rezultata,
- Primijeniti metode za detekciju promjena i analize rizika (poplave, požari, klizišta),
- Izraditi i prezentirati integrirani završni projekt koji povezuje naučeno s konkretnim problemom iz geodetske prakse.
- Ishodi učenja su mapirani sukladno razinama Bloomove taksonomije (praktične vještine, analiza podataka, stvaranje rješenja) kako bi se omogućila objektivna procjena studentskih kompetencija.).

3. Ishodi učenja

Kolegij je svjesno dizajniran tako da pokriva sve razine Bloomove taksonomije — od osnovnog razumijevanja do stvaranja novih rješenja. Na najnižim razinama, predavanja i kratke provjere znanja (quizzes) ciljno potiču razine pamćenja (remember) i razumijevanja (understand): studenti uče terminologiju EO senzora, osnovne principe radara i optike te identifikaciju tipičnih problema u radu s podacima. Druga razina primjene (apply) dominantna je u laboratorijskim vježbama, gdje studenti primjenjuju naučene postupke za preuzimanje, predobradu i osnovnu analizu podataka (npr. izračun NDVI-ja, radiometrijska korekcija, primjena speckle filtera). Vježbe su osmišljene tako da zahtijevaju konkretne korake i reproducibilne workflow-ove, čime se razvija sposobnost praktične primjene znanja.

Na razinama analize (analyze) i procjene (evaluate) studenti se potiču kroz zadatke koji zahtijevaju usporedbu metoda, interpretaciju dobivenih rezultata i kvantitativnu procjenu njihove točnosti. Primjeri uključuju usporedbu različitih metoda detekcije poplava (pragovanje intenziteta naspram vremenske diferencijacije), analizu izvora pogreške u LST proizvodima te ocjenu pouzdanosti ML modela za klasifikaciju promjena u korištenju zemljišta. Evaluacijski dio završnog projekta uključuje kritičko vrednovanje odabranih metoda te argumentiranje izbora pristupa i ograničenja.

Najviša razina Bloomove taksonomije — stvaranje (create) — integrirana je kroz završne projekte i integrirane mini-projekte u kojima studenti moraju osmisliti, implementirati i dokumentirati vlastiti workflow koji rješava konkretan problem. To uključuje izbor podataka, dizajn obrade, implementaciju skripti ili GEE aplikacija, te prezentaciju i obranu rezultata. Aktivnosti poput peer review-a i javne prezentacije dodatno potiču originalnost i sposobnost artikulacije metodoloških odluka.

U pogledu vrednovanja, zadaci su usklađeni s taksonomijom: kvizovi i kratki zadaci testiraju niže razine, laboratorijske vježbe i izvještaji vrednuju primjenu i analizu, dok završni projekti i usmene obrane vrednuju sposobnost evaluacije i stvaranja. Ovakvo mapiranje omogućava dosljedno praćenje napretka studenata i jasniju komunikaciju očekivanih ishoda s akademskim i industrijskim dionicima.

Struktura kolegija

Kolegij je strukturiran kao kombinacija predavanja i laboratorijskih vježbi unutar okvirnog semestralnog programa. Predloženi primjer rasporeda obuhvaća 15 tjedana (akademski semestar), pri čemu su uvodni i teorijski blokovi dimenzionirani na otprilike 40 % ukupnog vremena te pokrivaju temeljne koncepte naprednih daljinskih istraživanja: EO u elementarnim nepogodama, karakteristike i usporedne značajke senzora, pitanja prostorne i vremenske točnosti te teorijske osnove senzora sa sintetskim otvorom (SAR-a), optičkih sustava, i ostalih EO podataka. Preostalih 60 % nastave rezervirano je za laboratorijski blok u kojem studenti provode praktične vježbe, razvijaju vještine skriptiranja, rade u SNAP programu, platformama u oblaku, QGIS-u te postupno realiziraju završni projekt. Tematski, nastava obuhvaća postupke i preprocesiranje EO podataka, optičke analize kao što su izračun NDVI-ja i analiza promjena u korištenju zemljišta, posebne procedure za SAR (kalibracija, speckle filtering i geocoding) s praktičnom primjenom za detekciju poplava, interpretaciju termalnih proizvoda i njihovih ograničenja te konačno integraciju različitih izvora podataka za donošenje odluka i podršku u prostoru. Svi koraci koriste se ovisno o realnom primjeru laboratorijskih vježbi i tipu elementarne nepogode i krizne situacije. Uz to, kroz predavanja će se studenti upoznati s glavnim načelima strojnog učenja, dostupnim metodama i načinima primjena. U laboratorijskim vježbama studenti će primjenjivati već dostupne algoritme strojnog učenja uz glavni naglasak na metode potpornih vektora (support vector machine; SVM) i metode slučajnih šuma (random forest; RF). Integracija takvih pristupa u kurikulum usklađuje studentske vještine s aktualnim metodama obrade satelitskih snimaka u industriji.

Za potrebe kolegija koriste se javno dostupni skupovi podataka, među kojima su primarni Sentinel-1 (VV/VH, IW) i Sentinel-2 (L2A), te termalni izvori poput Sentinel-3/SLSTR ili drugih dostupnih LST proizvoda; dodatno se koriste Landsat arhivi, CHIRPS oborinski dataset i globalni DEM-ovi (SRTM ili Copernicus DEM) za topografske analize i dodatne attribute modeliranja. Softverski blok temelji se na open-source rješenjima i reproducibilnim bibliotekama: QGIS za GIS integraciju i vizualizaciju, ESA SNAP za SAR preprocesiranje, platforme u oblaku za obradu velikih vremenskih nizova i aglomeraciju podataka, te Python ekosustav (rasterio, geopandas, numpy, scikit-learn, matplotlib) za automatizaciju, obradu i izradu reproducibilnih skripti i Jupyter notebook-ova. U tekstu kolegija jasno je opisana uloga svakog alata i razlozi njihovog odabira, pri čemu naglašavamo reproducibilnost, pristupačnost studentima i usklađenost s industrijskim praksama.

Laboratorijske vježbe i mini-projekti osmišljeni su tako da pokriju ključne praktične vještine i omogućće studentskoj populaciji rad na stvarnim zadacima. Tipične vježbe uključuju preuzimanje i predobradu Sentinel-2 scene s izračunom NDVI-ja i analizom promjena, Sentinel-1 preprocesiranje (kalibracija, speckle filtering i geocoding) praćeno određivanjem praga za detekciju poplavnih područja, termalnu analizu

s naglaskom na interpretaciju i upozorenja na ograničenja LST proizvoda, te integrirani mini-projekt u kojem se kombiniraju optički i radarski rezultati za analizu konkretne incidentne situacije. Svaka vježba dokumentirana je kroz jasno definirane ciljeve, korake obrade, pripremljene skripte (za rad u programu ili Python notebooks) i testne setove podataka, a pedagoški fokus stavljen je na reproducibilnost radnih tokova i kvalitetnu dokumentaciju kako bi studenti mogli ponoviti i proširiti procedure izvan laboratorijskog vremena.

5. Diskusija

U izvođenju kolegija uočili smo nekoliko međusobno povezanih izazova koji zahtijevaju pažljivo pedagoško i organizacijsko planiranje. Prvi i često najizraženiji problem jest varijabilna razina programske pismenosti među studentima. Dok dio studenata već ima iskustva u radu s Python-om i osnovnim GIS alatima, značajan broj studenata dolazi s vrlo ograničenim znanjem programiranja, što dovodi do velike razlike u brzini rada i kvaliteti isporučenih rezultata. Takvo stanje može dovesti do situacija u kojima se najveći dio laboratorijskog vremena troši na rješavanje osnovnih problema sintakse i okoline umjesto na učenje koncepta i interpretaciju rezultata. Stoga smatramo nužnim uvođenje ciljane pripreme prije početka kolegija — to mogu biti kratki, javno dostupni, obavezni online tutorijali, ili samostalni moduli za učenje s validacijskim zadacima, ili intenzivni pripremni sat u prvom tjednu. Razmatramo i uključivanje jasne dokumentacije „ključnih grešaka i rješenja“ koja štedi vrijeme nastavnika i studenata.

Drugi značajan izazov odnosi se na infrastrukturne zahtjeve. Obrada satelitskih podataka, osobito SAR i vremenski dugačkih nizova, može biti računalno zahtjevna i zahtijevati značajnu radnu memoriju, jaku grafičku karticu i mogućnost velike pohrane podataka. Iako kontinuirano ažurirani, zbog intenzivnog generiranja novih podataka i pratećih zahtjeva za hardver, lokalni računalni resursi često ograničavaju mogućnost izvođenja punih procedura u okviru jednog laboratorijskog sata laboratorijskih vježbi. Stoga smo se okrenuli dvojakim resursima za vježbe: i kroz lokalni računalni resurs ali i kroz rješenja u oblaku, te preporučujemo kombinirani pristup: koristiti neku od platformi u oblaku (Copernicus Hub ili GEE) kada je moguće za obradu velikih setova podataka i skup vremenskih nizova, dok se za specifične zadatke koji zahtijevaju nisku razinu kontrole ili specifične SAR procedure oslanjamo na institucionalne virtualne strojeve (VM) ili kontejnere s pred-instaliranim alatima (poput SNAPa i sl.). Platforme u oblaku imaju jasne prednosti u pogledu dostupnosti podataka i skalabilnosti, no nisu univerzalna rješenja — ovisni su o stabilnosti internetske veze, imaju ograničenja u pristupu „raw“ podacima u nekim slučajevima (npr. SAR), i zahtijevaju drugačiju paradigmu rada od lokalnih alata, za što je također potrebna edukacija. Upravo zato smo se mi za laboratorijske vježbe u

slučaju novog kolegija odlučili za unaprijed definirane korake obrade za oba načina provedbe vježbe: u oblaku i/ili lokalno, pri čemu smo osigurali dovoljno dokumentirane, ponovljive alternative.

Treći praktični izazov jest potreba za unaprijed pripremljenim setovima podataka. Iz iskustva smo zaključili da kompletne, sirove scene često zahtijevaju predugo vrijeme predobrade, što je neprikladno za nastavni sat ograničenog trajanja. Zbog toga predlažemo pripremu više razina setova podataka: jednostavni „toy“ primjeri za uvod, srednje kompleksni setovi za vježbe i puni realni sub-setovi za završne projekte. Svaki skup trebao bi biti praćen pripadnom bilješkom ili skriptom koji reproducira korake obrade, te metapodacima koji opisuju izvor, datum, projektne licence i eventualne postupke validacije. Takav pristup omogućava fokus na konceptualno razumijevanje i interpretaciju rezultata, a istovremeno ostavlja mogućnost da napredniji studenti ili timovi obrade i pune scene izvan laboratorijskog vremena.

Na temelju navedenih izazova s kojima smo se suočili i koje smo probali riješiti predstavljenim rješenjima, došli smo do operativnih preporuka za koje mislimo da su univerzalne i primjenjive i na druge slične projekte koje se bave velikim skupovima podataka i pripadajućim algoritmima njihove obrade kroz različite alate. Prvo, preporučamo uspostavu i održavanje centralizirane biblioteke ponovljivih skripti i Jupyter notebook-a, verzioniranih na platformi poput GitHub-a ili institucionalnog repozitorija, čime se olakšava pristup, iteracija ali i ažuriranje i praćenje materijala kroz vrijeme. Takva biblioteka treba sadržavati jasne upute, testne slučajeve i kratke tutorijale za najčešće korištene procedure. Drugo, uvođenje obaveznog samostalnog kraćeg modula za osnovno Python znanje značajno će smanjiti varijabilnost početne razine i omogućiti intenzivniji rad u glavnom kolegiju, pri čemu ML-potkrijepljene metode analize podataka mogu dodatno unaprijediti dizajn praktičnih vježbi i kvalitetu studentske interakcije s daljinskim istraživanjima. Treće, svjesni smo potrebe za jačanjem suradnje s industrijom i realnim tržištem rada, njihovim dobrim praksama i zahtjevima te smo u kurikulum vježbi uključili realne slučajeve iz prakse, te ćemo i kroz gostujuća predavanja stručnjaka nastojati povećati relevantnost i motivaciju studenata što bi u konačnici rezultiralo povećanjem studentskih stažiranja u toj domeni, a poslodavcima priliku prepoznati kandidate s praktičnim vještinama.

Također, uz tehničke i pedagoške preporuke očekivano proizašle iz ovakvog projekta, bitno je naglasiti i nužnost kontinuiranog profesionalnog razvoja nastavnika-znanstvenog kadra. Budući da se navedene platforme, prateći alati i servisi za pristup i obradu EO podataka brzo mijenjaju, a što se i dogodilo tijekom ovog projekta, nastavnici moraju razvijati rutinu praćenja promjena, testiranja novih alata i ažuriranja nastavnih planova u realnom vremenu, što smo i mi učinili dinamički prilagodivši kurikulum vježbi novim mogućnostima platformi u oblaku.

Kombinacija strukturiranih pripremnih materijala, promišljenog korištenja servisa u oblaku i institucionalne podrške najrealniji je put prema uspješnom

izvođenju kolegija. Iskustvo stečeno tijekom provedbe ovog projekta ukazuje da iterativni pristup, s povratnom informacijom iz industrije ali i iz znanosti kroz nove mogućnosti, omogućava postupnu optimizaciju sadržaja i metode izvedbe te dugoročno doводи do održivog i prilagodljivog kurikuluma za daljnja modeliranja i širenje na druge institucije.

Uvođenjem novog kolegija studenti Odjela za geodeziju i geomatiku dobivaju priliku sustavno se upoznati s novim metodama satelitskog promatranja Zemlje i naprednom obradom podataka programa Copernicus. Postavljeni ciljevi kolegija osiguravaju stjecanje praktičnih znanja o preuzimanju, predobradi i interpretaciji Sentinel podataka te njihovoj primjeni u geodetskoj i geomatičkoj praksi. Posebna pažnja usmjerena je na razvoj sposobnosti korištenja otvorenih alata, platformi u oblaku, vlastitih skripti i otvorenih radnih tokova, što se nadovezuje na postojeće vještine daljinskih istraživanja i prostorne analize koje studenti razvijaju kroz postojeći kurikulum. Na taj način kolegij je povezao temeljna geodetsko-geomatička znanja s primjenama u suvremenim tehnologijama daljinskih istraživanja i analizi rizika od prirodnih nepogoda (poplave, požari, klizišta). Kolegij doprinosi osposobljavanju budućih stručnjaka za rad u interdisciplinarnim timovima i odgovor na nove potrebe društva vezane uz prostorno planiranje, zaštitu okoliša i upravljanje rizicima.

Literatura

Belgiu, M. i dr. (2024): Gathering, Structuring, and Analyzing the Space-Related Educational Programs and Their Courses at the Bachelor, Master, PhD, and Continuous Education Levels, IGARSS 2024 - 2024 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 3732–3735. doi: 10.1109/IGARSS53475.2024.10640886.

Brovelli, M. A. i dr. (2017): Free and open source software for geospatial applications (FOSS4G) to support Future Earth, International Journal of Digital Earth, 10(4), pp. 386–404. doi: 10.1080/17538947.2016.1196505.

European Commission. (2014): Regulation (EU) No 377/2014 of the European Parliament and of the Council establishing the Copernicus Programme. Official Journal of the European Union, L122, 44–66.

Talukdar, S. i dr. (2020): 'Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review', *Remote Sensing*. doi: 10.3390/rs12071135.

Thanh Noi, P., Kappas, M. (2018): 'Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery', *Sensors*. doi: 10.3390/s18010018.

URL 1: Copernicus Browser – Explore Sentinel satellite data, <https://browser.dataspace.copernicus.eu> (01. 08. 2025).

URL 2: A closer look at the latest Earth Observation Services Industry trends, ESA Space Economy Portal, https://space-economy.esa.int/article/72/a-closer-look-at-the-latest-earth-observation-services-industry-trends?utm_source=chatgpt.com (29. 08. 2025).

URL 3: EARSCL Industry Survey 2024: Shaping the Landscape of Earth Observation Services in Europe, Groundstation, https://www.groundstation.space/industry/earsc-industry-survey-2024-shaping-the-landscape-of-earth-observation-services-in-europe/?utm_source=chatgpt.com (29. 08. 2025.).

Modernizing University Teaching through an ESA-funded Project: Developing a Course on Advanced Remote Sensing Skills

Abstract

The rapid development of space technologies and the wider availability of Copernicus satellite data are opening broad opportunities for the application of remote sensing in the geodetic-geomatics profession — from monitoring natural hazards to analysing long-term environmental change. Within an ESA-funded project, a new course on advanced remote sensing skills was developed for the Geodesy and Geomatics programme at University North in Croatia, providing students with hands-on experience working with Sentinel data (optical, radar and thermal sensors). The course combines processing of real satellite datasets, analytical exercises using open-source tools, and programming examples (e.g. Python / cloud API), with emphasis on the spatial accuracy of interpretation and the limitations of the methods. A particular contribution is the inclusion of best-practice examples from partner European universities, enabled through ESA support. Expected outcomes include enhanced student competencies for applying remote sensing in geodetic practice, strengthened interdisciplinary links, and improved competitiveness on the European labour market. This paper describes the development of the curriculum, the selection of datasets and tools, an example exercise and an evaluation plan, and discusses the potentials and challenges of aligning higher education with rapidly evolving technologies.

Keywords: *Copernicus Sentinel data; education; geodesy and geomatics; open-source tools; remote sensing.*

Provođenje promjena u hrvatskim geodetskim tvrtkama

Stjepan Miletić¹, Rinaldo Paar², Monika Friščić³

¹ Zavod za fotogrametriju d.d., Borongajska cesta 71, Zagreb, Hrvatska, stjepan.miletic@zzf.hr

² Geodetski fakultet, Savska 144a, Zagreb, Hrvatska, rpaar@geof.hr

³ Zagreb, Hrvatska, monika@strengthsagent.com

Sažetak

U današnjem vremenu geodetsku struku najviše oblikuje progresivni tehnološki razvoj. Prisutnost i korištenje umjetne inteligencije (AI) gotovo je nemoguće izbjeći. Geodetska struka nalazi se pred novim izazovima, pred pitanjem: koja praktična znanja će biti potrebno naučiti i primijeniti kako bi se u bližoj budućnosti održao „korak s novim AI vremenom”? Osim stjecanja potrebnih znanja, veoma je važno znati kako ih primijeniti tj. prenijeti zaposlenicima. Na tržištu postoji mnogo načina koji odgovaraju na ova pitanja. Nakon odabira kojem rješenju pristupiti, dolazi veliki izazov – provođenje promjena – koji je nerijetko popraćen različitim reakcijama i emocijama zaposlenika. Te reakcije i promjene mogu biti pozitivne i negativne, a rezultat su razlike između zaposlenika u pogledu njihove socijalne i emocionalne inteligencije. U ovom radu prikazat će se način kako kroz osam koraka provesti promjene na temelju modela koji je osmislio harvardski profesor dr. John Kooter. U praktičnom dijelu rada, analizirat će se rezultati individualnih kratkih intervju s direktorima najvećih geodetskih tvrtki u Republici Hrvatskoj. Prikupljena su iskustva uvođenja promjena unutar tvrtke. Dan je osvrt provode li direktori promjene i kako te jesu li, prema njihovom mišljenju, zaposlenici spremni na promjene. U konačnici donijeti će se zaključci jesu li direktori spremni na promjene, kako ih pripremaju i provode te ono najvažnije, koliko uvažavaju mišljenje svojih zaposlenika s obzirom da zaposlenici čine temelj svake tvrtke.

Ključne riječi: *geodezija i geoinformatika, tehnološki razvoj, Kooterov model, praktična znanja, direktori geodetskih tvrtki, provođenje promjena*

1. Uvod

Promjene su nužne. Tvrtka su ljudi. Kada se razgovara o tvrtkama, najčešći predmet razgovora budu financijski pokazatelji. Počesto se zaboravi spomenuti ljude, tj. zaposlenike koji u tim tvrtkama rade. Iako se događa značajni tehnološki razvoj u 21. stoljeću, u geodetskoj struci još uvijek postoji netko bez koga se geodetski zadatak ne može obaviti, a to su – geodetski stručnjaci (**ljudi**). Zbog toga, izuzetno je važno pravilno voditi zaposlenike kroz uvođenje promjena u poslovanje.

Današnje radno okruženje definiraju međugeneracijske razlike koje se mogu podijeliti u četiri skupine, svaka sa svojim karakteristikama (URL 1):

- baby boomeri: rođeni između 1946.-1964. u vrijeme velikih socijalnih promjena,
- generacija X: rođeni između 1965.-1976. u vrijeme kada je trend da oba roditelja rade,
- milenijalci: rođeni između 1977.-1995. u vrijeme izuzetno brzog tehnološkog napretka (Internet, e-mail, mobilni telefoni),
- generacija Z: rođeni između 1996.-2010. u vrijeme pametnih telefona, društvenih mreža.

Zanimljivo je kako oko 70% milenijalaca ima iskustvo promjene posla jednom ili više puta (Miletić i Friščić 2022). Ukoliko se ovaj podatak promatra u kontekstu uvođenja promjena, utoliko je jasno da fluktuacija zaposlenika može značajno na to utjecati. Česte promjene u radnom kolektivnu otežavaju uvođenje promjena. Novim zaposlenicima potrebno je vrijeme kako bi upoznali kolektiv s kojima surađuju i stil kojim tvrtka posluje. Jasno je kako će fluktuacija zaposlenika na višim pozicijama imati veći utjecaj na provođenje promjena, nego fluktuacija onih na nižim pozicijama.

Osim fluktuacije zaposlenika, izravan utjecaj na uvođenje promjena ima tehnološki razvoj. Geodetska struka imala je tri tehnološke revolucije kroz koje je prošla. Klasična u kojoj su definirane prve metode i korišteni prva pomagala. Instrumentalna koju obilježavaju teodolit i nivelir. Elektronička u kojoj se pojavljuju prve mjerne stanice i razvija se fotogrametrija. Trenutno je zastupljena satelitska i digitalna revolucija koju obilježava pojava GNSS uređaja, bespilotnih letjelica i LiDAR sustava. Na pragu je peta revolucija na koju će značajan utjecaj imati umjetna inteligencija.

2. Kooterov model uvođenja promjena

Poznato je kako uvođenje promjena gotovo uvijek kod zaposlenika izaziva negodovanje, pa čak i kada su iste predstavljene kao velika dobrobit u izvršavanju svakodnevnih zadataka. Generalno, zaposlenike bi se moglo svrstati u tri skupine s obzirom na to kako reagiraju na promjene (Sikavica, 2011):

1. zaposlenici koji brzo prihvaćaju promjene,
2. zaposlenici koji na početku pružaju otpor,
3. zaposlenici koji veoma teško prihvaćaju promjene.

John Kooter (1996) u svojoj knjizi naglašava kako je uvođenje promjena izuzetno zahtjevan posao te kako je bitno imati dobrog lidera koji će uspješno riješiti problem otpora na uvođenje promjena. Proučavajući problematiku uvođenja promjena, Kooter (1996) je predložio model od 8 koraka koje je potrebno provesti kako bi se promjena učvrstila u postojećoj kulturi poslovanja, a to su:

1. uspostavljanje osjećaja hitnosti
2. osnivanje tima koja će provoditi promjene
3. razvoj vizije i strategije
4. prenošenje vizije
5. osnaživanje većeg broja zaposlenika
6. definiranje kratkoročnih ciljeva
7. konsolidacija napretka (ustaljenje promjena)
8. učvršćivanje novih promjena u postojeću kulturu poslovanja

Prvi korak je uočiti hitnost potrebe za promjenom. To je moguće odrediti kroz istraživanje stanja na tržištu, prepoznavanje mogućih kriza ili možda velikih prilika. Ovaj korak je ključan za postizanje dobre suradnje sa zaposlenicima jer će zaposlenici naći i „tisuće genijalnih načina“ kako bi uskratili suradnju. Ako hitnost nije visoka, a među zaposlenicima je prisutna visoka samodopadljivost, bit će izuzetno zahtjevno motivirati ih na provođenje promjena.

U drugom koraku potrebno je oformiti tim zaposlenika (suradnika koji imaju dovoljnu moć da predvođe promjene. Bitno je motivirati tim da radi zajedno. Zato je potrebno pomno odabrati suradnike te nika-ko uključiti one s visokom samodopadljivošću i one koji će stvoriti nepovjerenje u timskom radu. Najvažnije je da se rad temelji na iskrenosti (povjerenju) i da svi članovi tima imaju isti cilj – **predanost postizanju izvrsnosti**.

Treći korak je stvaranje vizije koja bi trebala pomoći u usmjeravanju napora prema promjenama te razvijanje strategije kako postići viziju. Dobra vizija ima tri važne svrhe: pojašnjava općenito potrebu za promjenom, motivira ostale da poduzmu nešto čak i kad je to zahtjevno, pomaže u koordiniranju tima na brz i učinkovit način. Vizija zapravo treba biti jednostavna i prizemna, nije cilj da bude velika i mistična. Karakteristike dobre vizije su: zamisliva, poželjna, izvediva, jasna, prilagodljiva i lako objašnjiva.

U četvrtom koraku viziju i strategiju potrebno je komunicirati na sve moguće načine prema zaposleni-

cima. Vodeći tim u ovome dijelu ima važnu ulogu, a to je ponašanje koje vodi prema ostvarenju vizije, a koje će očekivati drugi zaposlenici. Neuspjesi pri komuniciranju vizije često se pripisuju, ili ograničenim intelektualnim sposobnostima nižih zaposlenika, ili općeljudskom otporu prema promjenama. Kako bi komuniciranje vizije prema zaposlenicima bilo učinkovito, ključni elementi su:

- jednostavnost
- korištenje metafora
- ponavljanje
- pokazivanje primjerom
- objašnjenje prividne nekonzistentnosti
- dvosmjerna komunikacija
- širiti informaciju kroz sve dostupne alate

Svrha petog koraka je osnažiti što veći broj zaposlenika koji će poduzeti potrebne radnje kako bi uklonili prepreke za provedbu vizije. Osnaživanje zaposlenika postiže se tako da dobiju osjećaj svrhe. Potrebno im je omogućiti strukturu koja će biti kompatibilna s vizijom, uskladiti poslovne procese te im osigurati obuku. Suočavanje s nadređenima koji žele opstruirati uvođenje promjene, značajno će osnažiti zaposlenike.

Šesti korak je definiranje kratkoročnih ciljeva. Veoma je važno planirati vidljiva poboljšanja, ciljeve, male promjene, a onda nagraditi ljude koji su omogućili da do istih dođe. Ciljevi bi trebali biti vidljivi tako da se zaposlenici mogu uvjeriti je li rezultat stvaran. Nadalje, bitno je da budu nedvosmisleni i jasno povezani s naporima za promjenu. U manjim tvrtkama, prvi rezultati potrebni su već nakon 6 mjeseci.

Nakon definiranja kratkoročnih ciljeva, u sedmom koraku potrebno je konsolidirati napredak, tj. promjene ustaliti, ugraditi u sustav tako da one budu dio svakodnevnog poslovanja. Ako je potrebno, preporuča se zaposliti, promaknuti ili razviti ljude koji mogu provesti viziju. Novi projekti doprinijet će da proces uvođenja promjena bude prihvaćen.

Posljednji, osmi korak je učvršćivanje novih promjena u postojeću kulturu poslovanja – „... nacijepiti nove prakse na stare korijene ...“. Mnoge promjene u normama i zajedničkim vrijednostima dolaze na kraju procesa transformacije. Bitni su rezultati jer će oni omogućiti jasnoću da je novi pristup puno bolji od prijašnjeg. U provođenju ovog koraka bit će potrebno puno razgovora u pogledu uputa i podrške, a moguće su fluktuacije zaposlenika. Najvažnije je da procesi napredovanja budu kompatibilni s novim promjenama kako bi kultura poslovanja ostala identična.

Kooter (1996) zaključuje da je brzina promjene pokretačka snaga, a jedini odgovor je kompetentno vođenje promjena – *„Speed of change is the driving force. Leading change competently is the only answer.“*

3. Metodologija

Provedeno je istraživanje kako bi se saznalo na koji način geodetska struka u Hrvatskoj gleda na provođenje promjena, s kojim promjenama se do sada susrela, koliko je provođenje promjena bilo u skladu s Kooterovim modelom te kakvo je stanje spremnosti za uvođenje promjena.

Rezultati se temelje na provođenju kratki intervjua s devet direktora geodetskih tvrtki koje su među najvećima u Hrvatskoj. Veličina tvrtke određena je prema ukupnom broju zaposlenika koji u istoj rade, a ne prema godišnjem financijskom prihodu. Broj zaposlenika u tim tvrtkama kreće se od 20 do 60, a ukupan zbroj svih zaposlenika je cca. 320.

Kako bi intervju imao zamišljeni tijek, pripremljena su pitanja koja će usmjeravati prema temi koja se istražuje. Iako su ova pitanja mogla biti odaslana digitalno, dana je prednost razgovoru uživo kako bi se omogućio prošireni odgovor. Pitanja su oblikovana slijedeći model promjena koji predlaže Kooter. U konačnici, oblikovano je ukupno 12 pitanja koja su predložena za korištenje tijekom intervjua.

Od ukupno 12 pitanja, četiri su se odnosila na opće informacije: Koliko dugo obavljate poziciju direktora i koliko trenutno imate zaposlenih?, Kako biste ocijenili sebe u obavljanju pozicije koja vam je povjerena?, Jeste li do sada imali iskustvo provođenja promjena koja je zahvaća cijeli ili velik dio kolektiva?, te pitanje koje je bilo postavljeno na kraju intervjua: Kako biste ocijenili trenutnu spremnost zaposlenika na uvođenje promjena?. Preostalih 8 pitanja odnosila su se na aktivnosti prema Kooterovom modelu: Kako ste uočili hitnost potrebe za promjenom?, Jeste li imali tim ljudi?, Kako ste stvorili viziju i strategiju?, Kako ste viziju prenosili drugima?, Kako ste osnažili zaposlenike?, Jeste li imali kratkoročne ciljeve?, Kako je promjena našla svoju svakodnevnu primjenu?, Kako je promjena postala dio kulture poslovanja?.

Intervjui s direktorima tvrtki provedeni su u periodu od 1. lipnja do 29. kolovoza 2025. godine. Obavljeno je ukupno 9 intervjua koji su trajali u prosjeku 50 minuta. U intervjuima su sudjelovali direktori koji imaju iskustvo na toj poziciji – od najmanje 10 godina pa čak do 30 godina. Za napomenuti je kako nisu svi u trenutku preuzimanja funkcije imali više od 20 zaposlenika, ali vrlo brzo su prešli tu brojku dok se kod pojedinih broj zaposlenika mijenjao ovisno o prilikama na tržištu. Zamišljeno da je intervju može krenuti u dva smjera što se tiče potrebe za uvođenjem promjena i iskustvom uvođenja promjena – ili su imali takve situacije, ili nisu imali. Svi ispitanici su imali iskustvo uvođenja promjena, a promjene su bile razne: sistematizacija radnih mjesta, ophođenje prema zaposlenicima, kolegijalnost među zaposlenicima, promjene na rukovodećim pozicijama, osvještavanje stava prema poslu, prilagodba novim tehnologijama i poslovnim procesima. Bilo je važno da su te promjena zahvatile gotovo cijeli radni kolektiv jer to omogućuje kvalitetnu usporedbu s Kooterovih 8 koraka.

Među općim pitanjima našlo se i pitanje samoprocjene kvalitete obavljanja pozicije koja im je povjerena.

Ovo pitanje je vrednovano primjenom Likertove skale od 1 do 5 u kojoj je 5 značilo da izvrsno obavljaju svoj posao. Prosječna ocjena vlastitog rada iznosila je – 4 što govori o njihovoj svjesnosti vlastitih mogućnosti te prostora za rast i napredak.

Prepoznavanje hitnosti za promjenom. Bez obzira na promjenu koju su odlučili provesti, svi direktori su uvidjeli hitnost za promjenom. Načini kroz koje su uvidjeli hitnost su različiti: financije, promjena zakonske regulative, promjena metodologije rada, vlastita preopterećenosti poslom, nepravedna angažiranost unutar tvrtke – pojedinci odraduju puno više posla, svakodnevno funkcioniranje tvrtke, pad tržišne konkurentnosti. Dakle, informacija nije došla „sa strane“, nego od njih samih. Ovo govori kako su bili prisutni u vođenju tvrtke, kako su pratili „puls“ kolektiva, u konačnici – obavljali su dužnost koja im je povjerena. Vodstvo uvijek mora biti budno i pratiti: zaposlenike, vođenje, tržište.

Osnivanje tima za provođenje promjena. Direktori su za provođenje promjena uspostavili tim od 2 pa do 7 osoba. Zanimljivo je, ako bi se pojedini odlučili krenuti sami u provođenje promjena, ipak bi se nakon kraćeg vremena predomislili te uspostavili tim. Ako se uzme u obzir samo vrijeme i energija koju je potrebno uložiti u provođenje promjene, onda je nedvojbeno jasno da će sve biti puno jednostavnije kad se raspodjeli na barem dvije osobe. U cijelom Kooterovom modelu, ovaj korak je ključan. Ako vođa nema ljude koji ga slijede, promjena je u startu pala. Spona koja gradi odnos vođe i tima je – povjerenje, a direktori su pokazali kako s određenim osobama to imaju izgrađeno.

Razvoj vizije i strategije. U ovom koraku direktori su nastojali osvijestiti kolektiv o problemima i u kratkim crtama komunicirati zašto treba uvesti promjene s posebnim naglaskom da promjena vodi ka boljem. Pojedini od njih su se u ovoj fazi počeli pitati – imam li nasljednika u nekome od zaposlenika?, čime pokazuju da za tvrtku imaju dugoročniju viziju, odnosno da su svjesni kako tvrtka ne prestaje s radom nakon njihova odlaska. U procesu razvoja vizije i strategije direktori imaju priliku još bolje upoznati zaposlenike i to u situacijama u kojima ih prije nisu imali priliku vidjeti. Nadalje, svojim znanjem, prijedlozima i sugestijama, osobe uključene u tim doprinose još boljem oblikovanju vizije i strategije. Zbog toga se ovdje mogu pojaviti detalji koji čine razliku.

Prenošenje vizije i strategije. Za prenošenje vizije i strategije najčešće su koristili slične alate – formalni i neformalni sastanci, zajednički sastanci, individualni sastanci, kolegiji, interne edukacije, objave na web stranicama tvrtke, prenošenje pomoću prve i druge linije voditelja s obzirom na hijerarhiju. Posebno se mogu izdvojiti situacije kao što su izleti zaposlenika i „uvijek otvorena vrata“ – dodi i pitaj. Vrlo važno je dobro procijeniti treba li u prenošenje vizije i strategije uključiti cijeli kolektiv. To se najčešće pokaže kao nepraktično neekonomično jer se uloži ogromno vrijeme kolektiva u kojem samo pojedinci budu efektivno uključeni dok su ostatak kolektiva promatrači.

Oснаživanje zaposlenika. Jasno je kako će svaka promjena uzrokovati otpor. Međutim, dio njih nije imao iskustvom s pružanjem otpora od strane zaposlenika, a oni koji su to imali bilo je izraženo u manjoj mjeri. Pojedini zaposlenici u kolektivu koji promjenu nisu mogli prihvatiti, a zaposlili su se među posljednjima, zahtijevali bi sporazumni raskid ugovora o radu. Apel, transparentnost i komunikacija zastupljeni su u najvećoj mjeri što je rezultiralo podatkom da direktori zapravo nisu imali problema s uvođenjem promjena. Veoma je važna prisutnost vode i davanje prostora zaposlenicima za postavljanje pitanja – i to su direktori činili. S obzirom da nije bilo velikih otpora, zaključak je da zaposlenici imaju povjerenje i ne preispituju poteze direktora.

Definiranje kratkoročnih ciljeva. Za praćenje uvođenja promjene pojedini nisu imali kratkoročne ciljeve, pojedini su imali problem jasno ih definirati. Određeni postupci koji se mogu okarakterizirati kao kratkoročni ciljevi bili su: prilika određenim zaposlenicima da vode projekte, organizacija tjednih/mjesečnih sastanaka, vođenje primjerom, poticanje na zadatke, kontrola izvršenja zadataka.

Ustaljenje promjena. Ovaj korak je druga važna točka uspjeha – ili će se promjena prihvatiti ili odbaciti. Bilo je iskustava i kada se promjena ne prihvati od strane zaposlenika i ne nađe svoju primjenu u svakodnevnom poslovanju tvrtke. Međutim, to može potaknuti preispitivanje prethodnih koraka i uočavanje u kojem od njih se moglo učiniti više. Kako bi se promjena ustalila, dio odgovornosti je na zaposleniku koji je uključen u tim, njegovoj spremnosti za rad na sebi i u ovom segmentu direktor je nemoćan. Kako bi osigurali da se promjena ustali, direktori su bili uključeni u sve, te utjecali da se promjena ustali. Pojedinci koji su do jučer bili izvršitelji postali su voditelji, a izazov je bio uspostaviti zdravi profesionalni odnos među kolegama s obzirom na međusobnu hijerarhijsku razinu.

Učvršćivanje novih promjena u postojećoj kulturi poslovanja. Da bi uvedene promjene postale dio kulture poslovanja, direktori su nastavili raditi na razvoju svojih najbližih suradnika, davali naglasak koliko to znači na tržištu, ponekad proveli određene kontrole, češće se odlučili za određene financijske poteze (povećanje plaće).

Usporedbom Kooterovog modela uvođenja promjena s iskustvom koje su imali ispitanici vidljiva je podudarnost. Iako direktori nisu svjesno provodili svaki korak koji Kooter predlaže, određeni koraci bili su zastupljeni i realizirani gotovo identično kako su opisani. Uvođenje promjena na temelju stečenog iskustva može polučiti dobre rezultate, međutim, zasigurno bi teoretska znanja provođenja promjena u poslovanju, tijekom formalnog obrazovanja, bila od koristi. Koraci na kojima bi se moglo više poraditi u provođenju nekih sljedećih promjena su 6. do 8. korak. Osim jasnijeg definiranja kratkoročnih ciljeva, trebalo bi jasnije definirati ustaljenje promjena u svakodnevnom poslovanju te njihovo učvršćenje u postojećoj kulturi poslovanja.

Na samom kraju intervjua, primjenom Likertove skale od 1 do 5, direktori su trebali ocijeniti spremnost sa-

dašnjih zaposlenika na uvođenje promjena (5 znači da su izuzetno spremni). Prosječna ocjena bila je 3,5 s određenom napomenom koji su pojedini izdvojili: mlađe generaciju su spremne, starije baš i ne. Zaključak za ovo pitanje je kako su direktori ipak u dobroj mjeri uspjeli osigurati spremnost zaposlenika na uvođenje promjena. Nadalje, za pretpostaviti je kako će, za buduću promjenu koju se odluče provoditi, utrošiti manje vremena i energije na pojedine korake Kooterovog modela jer se trude sa zaposlenicima izgraditi odnos koji se temelji na povjerenju.

Zaključak

Direktori hrvatskih geodetskih tvrtki (vode), koji su intervjuirani u ovome radu, mogu prepoznati hitnost za uvođenje promjena i isto tako znaju da za to trebaju oformiti tim suradnika s kojima će podijeliti svoju viziju i strategiju. Važno je da su direktori otvoreni uvođenju promjena. S obzirom na određena negativna iskustva, kojih je bilo u vrlo maloj mjeri (neprihvatanje promjene, odlasci zaposlenika, definiranje kratkoročnih ciljeva), uočena su područja u kojim se može više napraviti slijedeći Kooterov model. Uzme li se u obzir iskustvo direktora, ocjena samoprocjene (ocjena 4) i spremnost kolektiva na uvođenje promjena (ocjena 3,5), zaključak je kako direktori neće imati većih problema u provođenju nekih budućih promjena. Nadalje, za napomenuti je kako u formalnom obrazovanju ovo područje nije zastupljeno u primjerenom mjeri koja bi osigurala potrebna znanja budućim direktorima, nego oni još uvijek uče temeljem vlastitih iskustava ili radom na sebi koje je povezano s cjeloživotnim učenjem.

Promjene su nužne jer svaka promjena s vremenom postane ustaljena. Za kvalitetno provođenje promjene potrebni su ljudi. Ono što je potrebno dati ljudima koji su uključeni u provođenje promjena je – povjerenje.

Zahvala

Autori se najljepše zahvaljuju direktorima geodetskih tvrtki u Republici Hrvatskoj koji su odvojili vrijeme te svojim odgovorima doprinijeli ostvarenju ovog rada.

Literatura

Kooter, J. (1996): *Leading change*, Boston, Massachusetts, Harvard Business School Press.

Miletić, S., Friščić, M. (2022): *Izazovi geodeta milenijalaca*, 15. Simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, Opatija.

Sikavica, P. (2011): *Organizacija*, Zagreb, Školska knjiga.

URL 1: *Generations overview, Generational Characteristics: Gen Z, Millennials, Gen X, Boomers*, (30. 08. 2025.)

Implementation of Changes in Croatian Geodetic Companies

Abstract

In today's world, the geodetic profession is predominantly shaped by progressive technological development. The presence and use of artificial intelligence (AI) are almost impossible to avoid. The geodetic profession is faced with new challenges, particularly the question: which practical skills will need to be learned and applied in order to "keep pace with the new AI era" in the near future? Beyond acquiring the necessary knowledge, it is equally important to understand how to apply and transfer this knowledge to employees. There are numerous approaches available on the market that address these issues. However, once a solution has been selected, the major challenge that follows is the implementation of change—often accompanied by various employee reactions and emotions. These reactions may be both positive and negative, stemming from differences among employees in terms of their social and emotional intelligence. This paper presents a method of implementing change through eight steps, based on the model developed by Harvard professor Dr. John Kotter. In the practical part, results from short individual interviews with directors of the largest geodetic companies in the Republic of Croatia are analysed. The collected data reflect experiences with implementing change within companies. The paper discusses whether directors initiate and manage change, and whether, in their opinion, employees are ready for change. Ultimately, conclusions are drawn on whether directors themselves are ready for change, how they prepare and implement it, and—most importantly—to what extent they value the opinions of their employees, given that employees form the foundation of every company.

Keywords: *geodesy and geoinformatics, technological development, Kotter's model, practical knowledge, geodetic company directors, change implementation*

Sesija 2

Tehnološka budućnost

Voditelj: Hrvoje Tomić

Zamjenik voditelja: Marko Pavasović

Primjena mobilnog laserskog skenera u različitim geodetskim radovima

Mile Božičević¹, Mihael Bikčević², Hrvoje Tomić², Ante Marendić²

¹ MileMetar d.o.o., Njivice IV 10, Zagreb, mile@milemetar.hr

² Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, mihael.bikcevic@geof.unizg.hr, hrvoje.tomic@geof.unizg.hr, ante.marendic@geof.unizg.hr

Sažetak

Razvoj mobilnih laserskih skenera (MLS) u posljednjem desetljeću značajno je unaprijedio način prikupljanja prostornih podataka u geodeziji i srodnim inženjerskim disciplinama. Posebnu pažnju privukli su ručni mobilni sustavi koji omogućuju fleksibilnu primjenu u složenim prostornim uvjetima, uz smanjenje vremena mjerenja i obrade podataka. U ovom radu prikazana su dva primjera njihove primjene. Prvi se odnosi na praćenje pomaka krovne konstrukcije stadiona tijekom statičkog probnog opterećenja, gdje su rezultati uspoređeni s mjerenjima robotizirane totalne stanice (RTS). Odstupanja su bila na razini jednog centimetra, što potvrđuje prikladnost MLS-a za deformacijska mjerenja gdje se očekuju veći iznosi pomaka. U drugom primjeru MLS je korišten za izradu prostornog modela okućnice te uspoređen s GNSS mjerenjima. Dobivena odstupanja bila su u granicama prihvatljivima za katastarske potrebe, uz znatnu prednost u brzini i detaljnosti dokumentacije. Dobiveni rezultati potvrđuju da MLS ne predstavlja potpunu zamjenu za klasične metode, ali je vrijedan komplementarni alat koji omogućuje brzu, detaljnu i vizualnu dokumentaciju prostora. Zaključno, MLS se pokazuje kao pouzdan i operativno učinkovit sustav za niz geodetskih i inženjerskih primjena, a daljnji tehnološki razvoj dodatno će proširiti njegovu upotrebu.

Ključne riječi: 3D oblak točaka, inženjerska geodezija, mobilno lasersko skeniranje, pomaci, točnost mjerenja

1. Uvod

Razvoj tehnologije mobilnog laserskog skeniranja (MLS) u posljednjem desetljeću značajno je utjecao na način prikupljanja prostorno-vremenskih podataka u različitim geodetskim i inženjerskim primjenama. U usporedbi s tradicionalnim metodama prikupljanja podataka, kao što su terestrička geodetska mjerenja i statičko lasersko skeniranje (TLS), MLS omogućuje bržu i operativno fleksibilniju akviziciju oblaka točaka visoke gustoće, uz zadržavanje zadovoljavajuće razine točnosti za različite inženjerske primjene (Di Stefano i dr., 2021).

MLS sustavi temelje se na integraciji laserskog skenera, inercijskog navigacijskog sustava (IMU) i GNSS prijemnika, čime se omogućuje simultano prikupljanje i prostorno georeferenciranje podataka u realnom vremenu. Posebno se ističu ručni mobilni laserski sustavi koji dodatno povećavaju pristupačnost i brzinu rada u složenim ili ograničenim prostorima, poput gradskih jezgri, kompleksnih terena odnosno razvedenih prostora s puno detalja i zaklanjanja, unutar njih prostora, građevinskih objekata te objekata kulturne baštine (Oniga i dr. 2021, James i Quinton, 2014, Ellmann i dr., 2022.).

Zahvaljujući sve većoj dostupnosti MLS sustava, njihova se primjena proširila na niz inženjerskih zadataka: od izmjere prometne infrastrukture, šumske inventarizacije, arhitektonske dokumentacije i kulturne baštine, do deformacijskih analiza i nadzora konstruk-

cija (Puentes i dr., 2012, Bauwens i dr., 2016, Kalenjuk i Lienhart, 2023). Ključne prednosti MLS tehnologije uključuju visoku brzinu prikupljanja podataka, mogućnost kontinuiranog snimanja velikih površina, jednostavniju logistiku i potencijalnu uštedu vremena u fazi terenskih radova i obrade podataka.

U ovom radu analizirana je primjena ručnog mobilnog laserskog skenera na dva različita geodetska zadatka. U prvom slučaju MLS je korišten za praćenje pomaka konstrukcije nadstrešnice stadiona pri probnom opterećenju, pri čemu su rezultati uspoređeni s podacima dobivenima robotiziranom totalnom stanicom. U drugom primjeru, MLS je primijenjen za potrebe izrade prostornog modela stambenih objekata na manjem urbanom području, s ciljem ocjene točnosti, efikasnosti i prikladnosti metode u odnosu na klasične geodetske postupke. Na temelju provedenih analiza, prikazana je ostvariva točnost, operativna učinkovitost i primjenjivost sustava u konkretnim inženjerskim zadacima.

2. Terenska mjerenja

Cilj ovog rada bio je provesti terensku evaluaciju učinkovitosti i točnosti ručnog mobilnog laserskog skenera, kroz usporedbu izmjerenih podataka s rezultatima dobivenima primjenom klasičnih geodet-



Slika 1: Statičko probno opterećenje nadstrešnice tribine stadiona ŠNK Slavonija betonskim blokovima



(a)



(b)

Slika 2: Mjerna oprema: (a) robotizirana mjerna stanica Leica TPS1201, (b) ručni mobilni laserski skener CHCNAV RS10

skih metoda, uključujući robotiziranu mjernu stanicu (RTS) i GNSS instrument. Istraživanje je provedeno na primjeru dva različita geodetska zadatka.

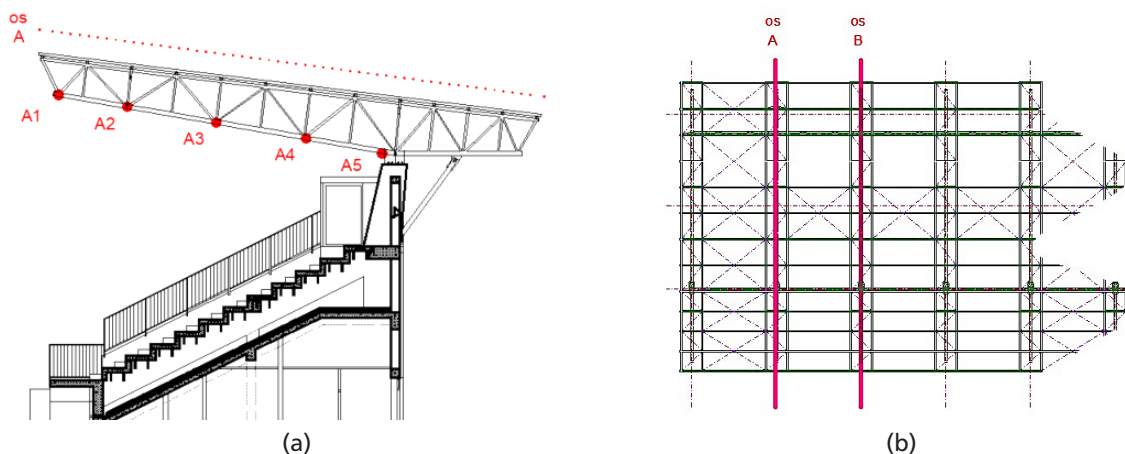
2.1. Određivanje pomaka nadstrešnice tribine stadiona ŠNK Požega

Prvi zadatak odnosio se na primjenu ručnog mobilnog skenera pri praćenju pomaka nadstrešnice tribine stadiona ŠNK Slavonija u Požegi. Po dovršetku izgradnje provedeno je ispitivanje probnim opterećenjem u svrhu provjere ponašanja konstrukcije rešetke pri projektiranom opterećenju zbog usklađenosti s projektom te provjere podobnosti konstrukcije za preuzimanje projektnog opterećenja. Statičko probno opterećenje provedeno je pomoću 6 betonskih blokova dimenzija $1,0 \times 1,0 \times 0,7$ m, svaki mase od 1740 kg i 4 čelična utega svaki mase 540 kg. Betonski blokovi vješali su se na čelične nosače kako je prikazano na slici 1.

Tijekom statičkog probnog opterećenja, vertikalni pomaci konstrukcije određivani su s robotiziranom

totalnom stanicom (slika 2a) i ručnim mobilnim laserskim skenerom (slika 2b). U radu su prikazana mjerenja provedena u tri faze probnog opterećenja: F1 – nulto stanje (prije opterećenja), F2 – opterećenje konstrukcije te F3 – rasterećenje konstrukcije.

S RTSom (slika 2a) određivani su vertikalni pomaci konstrukcije uslijed statičkog opterećenja u 10 signaliziranih točaka metodom trigonometrijskog nivelmana. Korištena je robotizirana mjerna stanica Leica TPS1201 s preciznosti mjerenja kutova $1''$ te preciznost mjerenja duljina $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$. Na dvije osi krovne konstrukcije od ukupno 12 (slika 3) signalizirano je po pet mjernih točaka pomoću reflektirajućih mjernih markica (oznake A1-A5, B1-B5) u kojima su se mjerili vertikalni pomaci. Na okolnom području uspostavljena je geodetska osnova koja se sastojala od dviju stabilnih referentnih točaka (van područja utjecaja deformacija), a koja je osigurala pouzdanu i stabilnu referentnu geodetsku osnovu za daljnju analizu vertikalnih pomaka konstrukcije.



Slika 3: (a) Položaj točaka za mjerenje vertikalnih pomaka s RTS u osi A, (b) položaj osi A i B krovne konstrukcije u kojima su mjereni vertikalni pomaci s RTS-om.

S ručnim mobilnim laserskim skenerom provedene su tri neovisne serije izmjere nadstrešnice konstrukcije. Mjerenje je trajalo do 3 minute, a provedeno je sa same tribine. Izmjera je obavljena korištenjem CHCNAV RS10 uređaja. Prema proizvođačkoj specifikaciji, apsolutna točnost je bolja od 5 cm položajno i visinski, a relativna čak bolja od 1 cm, dok je maksimalni domet laserske zrake 120 m. Mjereni oblak točaka kolorira se korištenjem tri sa prednje strane uređaja smještene kamere sa širokokutnim objektivom te senzorom rezolucije 5 MP. Uređajem su mjerene sve faze opterećenja i rasterećenja konstrukcije. Skener je inicijaliziran na početnoj poziciji i georeferenciran ugrađenim GNSS RTK uređajem korištenjem CROPOS VPPS-a. Područje mjerenja je pri izmjeri obilježeno iz više smjerova zbog prikupljanja oblaka točaka s dovoljnom gustoćom - tijekom izmjere je na ekranu uređaja kontinuirano kontrolirana gustoća točaka i kvaliteta prikupljenih podataka. Mjereni podaci su nakon izmjere obrađeni priloženim softverom za obradu koji izrađuje finalni kolorirani oblak kombiniranjem svih korištenih senzora ili, u posebnim slučajevima, samo nekih od njih. Ova obrada je

potpuno automatizirana i traje tridesetak minuta na prosječnom osobnom računalu.

2.2. Izmjera okućnice za potrebe evidentiranja u katastru

U drugom zadatku ručni mobilni skener testiran je na primjeru uobičajenog geodetskog zadatka evidentiranja zgrada i drugih građevina (Slika 4). Usporedno s uobičajenom izmjerom primjenom satelitske metode pozicioniranja korištenjem CROPOS VPPS-a, obavljena su mjerenja ručnim mobilnim laserskim skenerom CHCNAV RS10. Mjerenja su obavljena jednako kao i u prethodno opisanom slučaju korištenja - u ukupno 15-20 minuta detaljno je snimljena okućnica sa svim zgradama i drugim detaljima uz vizualnu kontrolu detaljnosti i kvalitete podataka na samom uređaju. Izmjerom je dobiven visoko detaljni kolorirani oblak točaka spreman za korištenje za potrebe izrade geodetskog elaborata; ručnom virtualnom izmjerom ili za daljnju obradu s ciljem ekstrakcije geometrijskih značajki.



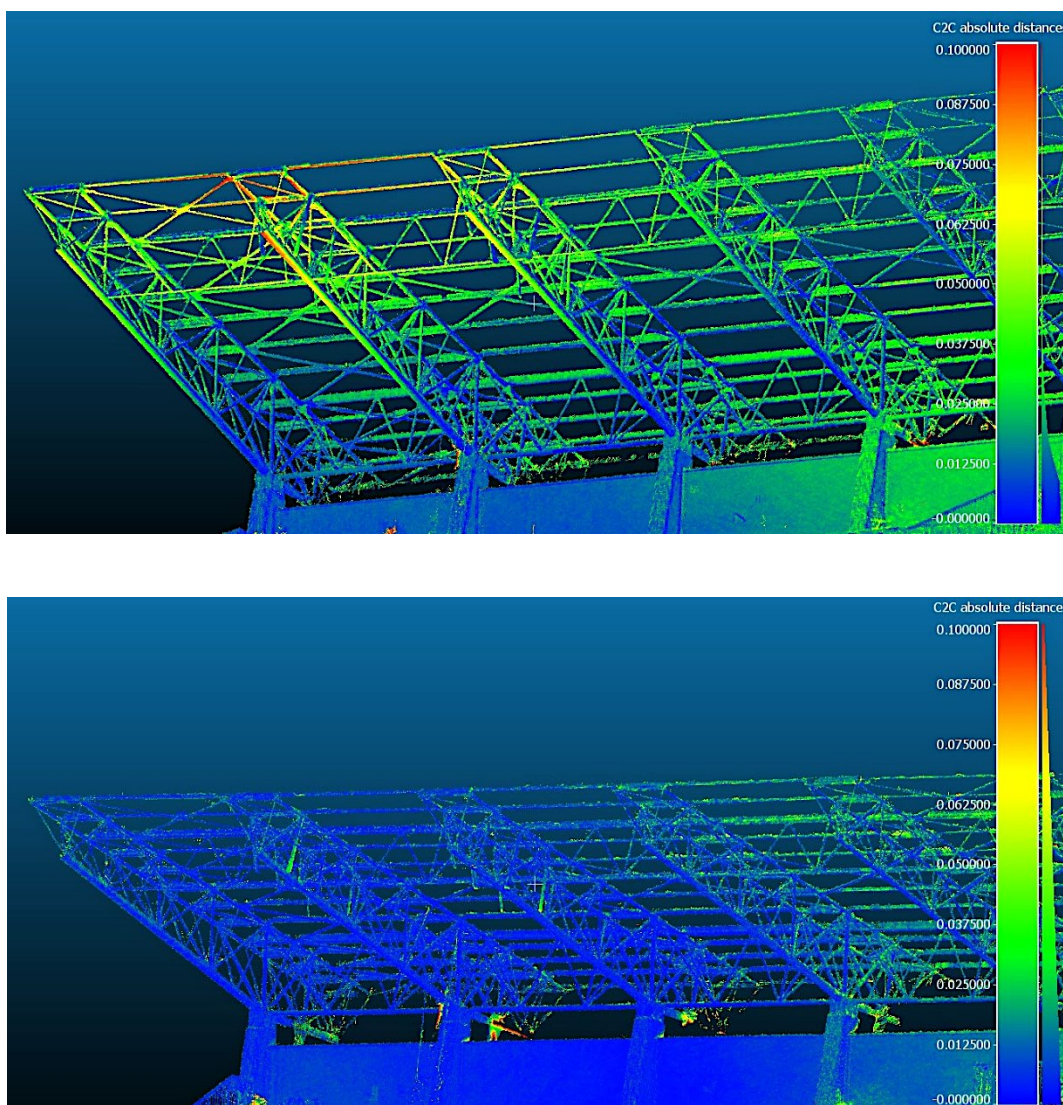
Slika 4: Prikaz oblaka točaka na primjeru izmjere okućnice

3. Rezultati

U prvom primjeru kao referentni podatak korišten je pomak određen s RTS te su u odnosu na njega uspoređivani podaci dobiveni s ručnim mobilnim laserskim skenerom, a kako bi se mogla procijeniti primjenjivost i ostvariva točnost MLSa u projektima praćenja pomaka. Prije svake faze opterećenja, koordinate RTS stanice dobivene su na temelju mjerenja prema dvjema referentnim točkama geodetske osnove korištenjem metode slobodnog stajališta (eng. Free Station Method). Nakon toga, koordinate 10 točaka na konstrukciji određene su polarnom metodom. Pomaci točaka u drugoj i trećoj fazi opterećenja određeni su kao razlika u visini signalizirane točke u trenutnoj fazi u usporedbi s početnom fazom prije opterećenja grede. Vertikalni pomaci su prikazani u tablici 1.

Na temelju slike 5 jasno se uočava prednost primjene mobilnog laserskog skenera (MLS) u odnosu na RTS,

budući da omogućuje detekciju i vizualizaciju pomaka cjelokupne konstrukcije unutar postignute točnosti mjernog sustava. Vidljivo je da su najveći izmjereni vertikalni pomaci uočeni u osima A i B krovne rešetkaste konstrukcije, a iznosili su do maksimalno 91 mm (os A), odnosno 72 mm (os B). Osim toga, pomaci su uočeni i na susjednim osima koje tijekom ispitivanja nisu bile izravno opterećene, što ukazuje na redistribuciju opterećenja unutar rešetkaste konstrukcije te prijenos dijela opterećenja. Nadalje, rezultati nakon rasterećenja (slika 5 – donji prikaz) pokazuju da nije došlo do trajnih (zaostalih) pomaka konstrukcije, što potvrđuje da su deformacije tijekom ispitivanja bile unutar elastičnog režima ponašanja konstrukcije. U tablici 1 prikazane su izmjerene vrijednosti vertikalnih pomaka tijekom faze opterećenja F2, pri čemu su uspoređene vrijednosti dobivene pomoću RTS i MLS.



Slika 5: Vizualizacija pomaka krovne rešetkaste konstrukcije određenih MLS-om tijekom statičkog opterećenja u fazi 2 (slika gore) i nakon rasterećenja u fazi 3 (slika dolje)

Tablica 1. Vertikalni pomaci [mm] krovne konstrukcije u fazi opterećenja (F2)

Os A				Os B			
Točka	RTS	MLS	Razlika	Točka	RTS	MLS	Razlika
A1	-81,2	-91,0	9,8	B1	-69,5	-72,0	2,5
A2	-62,0	-68,0	6,0	B2	-54,5	-62,0	7,5
A3	-41,3	-42,0	0,7	B3	-34,3	-39,0	4,7
A4	-19,6	-17,0	-2,6	B4	-15,4	-8,0	-7,4
A5	0,0	-2,0	2,0	B5	0,5	-2,0	2,5

Tablica 2. Razlike koordinata MLS-a na primjeru izmjere okućnice [mm]

Točka	DN	DE	Dh	D3D	Točka	DN	DE	Dh	D3D
1	-12,0	-1,0	-22,0	25,1	9	-27,0	-8,0	23,0	36,4
2	-3,0	-3,0	-8,0	9,1	10	10,0	-14,0	-10,0	19,9
3	9,0	6,0	-31,0	32,8	11	-6,0	-8,0	26,0	27,9
4	8,0	-1,0	-11,0	13,6	12	-7,0	-11,0	7,0	14,8
5	24,0	4,0	45,0	51,2	13	-28,0	9,0	16,0	33,5
6	-7,0	-14,0	-52,0	54,3	14	-27,0	1,0	15,0	30,9
7	16,0	-4,0	1,0	16,5	15	-25,0	3,0	-33,0	41,5
8	-1,0	5,0	32,0	32,4	18	-31,0	8,0	33,0	46,0

Iz podataka u tablici može se zaključiti da se razlike između izmjerenih pomaka pomoću RTS-a i MLS-a kreću u rasponu od -7,4 mm do 9,8 mm. Standardno odstupanje razlika između metoda iznosi 5,0 mm što potvrđuje visoku razinu korelacije među metodama te pouzdanost korištenja MLS-a u inženjerskim projektima gdje se očekuju veći iznosi pomaka.

Nakon provedenog testiranja na primjeru praćenja pomaka konstrukcije, drugi zadatak odnosio se na provjeru primjenjivosti MLS-a u geodetskim poslovima evidentiranja objekata za katastarske potrebe. Za tu svrhu odabrana je okućnica sa stambenim i pomoćnim objektima, gdje su istovremeno provedena mjerenja GNSS-om i ručnim mobilnim laserskim skenerom. Usporedbom rezultata dobivenih različitim metodama moguće je procijeniti razinu podudarnosti, pouzdanost MLS-a u katastarskim aplikacijama te praktične prednosti u pogledu brzine i detaljnosti akvizicije podataka. U tablici 2 prikazane su razlike koordinata 16 točaka koje su predstavljale detaljne točke ograde predmetne okućnice određenih pomoću MLSa i GNSSa.

Iz podataka u tablici može se zaključiti da se razlike između izmjerenih pomaka pomoću GNSS-a i MLS-a kreću u rasponu od -31 mm do 24 mm u osi N, od -14 mm do 9 mm u osi E te od -52 mm do 45 mm u osi h. Standardno odstupanje koordinatnih razlika između metoda iznosi 17,3 mm u osi N, 7,5 mm u osi E te 27,5 mm u osi h. Može se zaključiti kako postignuta preciznost u potpunosti zadovoljava potrebe brze dokumentacije okućnica, katastarske izmjere te izmjere 3D podloga sitnijeg mjerila. Za visokoprecizne inženjerske zadatke, primjerice milimetarska deformacijska mjerenja, međutim, i dalje se preporučuje primjena klasičnih geodetskih metoda ili TLS tehnologije.

4. Zaključak

Na temelju provedenih terenskih istraživanja može se zaključiti da ručni mobilni laserski skener pokazuje visoku razinu primjenjivosti u različitim geodetskim zadacima. U slučaju praćenja deformacija konstrukcije, usporedba s rezultatima dobivenim robotiziranim totalnom stanicom pokazala je vrlo dobro slaganje podataka, uz odstupanja reda veličine nekoliko milimetara. Time se potvrđuje mogućnost korištenja MLS-a u inženjerskim projektima gdje se očekuju pomaci većih amplituda, uz dodatnu prednost u vidu detaljne vizualizacije cjelokupne konstrukcije.

U drugom primjeru, kod izrade prostornog modela okućnice za potrebe katastarske evidencije, MLS je pokazao dovoljnu točnost i konzistentnost u odnosu na GNSS mjerenja. Iako odstupanja mogu biti veća nego kod preciznijih geodetskih instrumenata, dobiveni podaci su u granicama prihvatljivima za ovakvu vrstu primjene. Najveća prednost očituje se u brzini i detaljnosti prikupljanja podataka, kao i u mogućnosti naknadne virtualne izmjere iz oblaka točaka.

Zaključno, može se reći da MLS ne predstavlja zamjenu za klasične geodetske metode u svim zadacima, već vrijedan komplementarni alat koji značajno povećava operativnu učinkovitost. Posebno se ističe u zadacima koji zahtijevaju brzu dokumentaciju prostora, detaljnu 3D vizualizaciju ili pristup teško dostupnim područjima. Daljnji razvoj tehnologije i softverskih alata zasigurno će dodatno proširiti spektar njegove primjene u inženjerskoj geodeziji.

Literatura

Bauwens, S., Bartholomeus, H., Calders, K., & Lejeune, P. (2016): Forest inventory with terrestrial LiDAR: A comparison of static and hand-held mobile laser scanning. *Forests*, 7(6), 127.

Di Stefano, F., Chiappini, S., Gorreja, A., Balestra, M., & Pierdicca, R. (2021): Mobile 3D scan LiDAR: A literature review. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2387-2429.

Ellmann, A., Kütimets, K., Varbla, S., Väli, E., & Kanter, S. (2022): Advancements in underground mine surveys by using SLAM-enabled handheld laser scanners. *Survey Review*, 54(385), 363-374.

James, M. R., & Quinton, J. N. (2014). Ultra-rapid topographic surveying for complex environments: the hand-held mobile laser scanner (HMLS). *Earth surface processes and landforms*, 39(1), 138-142.

Kalenjuk S, Lienhart W. (2023): Drive-by infrastructure monitoring: a workflow for rigorous deformation analysis of mobile laser scanning data. *Structural Health Monitoring*. 23(1):94-120. doi:10.1177/14759217231168997

Oniga, V. E., Breaban, A. I., Alexe, E. I., & Vasii, C. (2021): Indoor mapping of a complex cultural heritage scene using Tls and Hmls laser scanning. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 605-612.

Puente, I., González-Jorge, H., Arias, P., & Armesto, J. (2012): Land-based mobile laser scanning systems: a review. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 163-168.

Application of mobile laser scanner in different geodetic works

Abstract

The development of mobile laser scanning (MLS) technology in the past decade has significantly improved the acquisition of spatial data in geodesy and related engineering fields. Handheld MLS systems, in particular, have gained attention due to their flexibility in complex environments, reduced fieldwork time, and faster data processing. This paper presents two examples of their application. The first concerns monitoring roof structure displacements during a static load test, with results compared to those obtained from a robotic total station (RTS). The differences were within a few millimeters, confirming the suitability of MLS for deformation monitoring. The second case involved creating a spatial model of a residential parcel using MLS, compared with GNSS measurements. The discrepancies remained within acceptable limits for cadastral purposes, while MLS provided significant advantages in speed and detail. The findings confirm that MLS does not fully replace conventional geodetic methods, but serves as a valuable complementary tool that enables rapid, detailed, and visually enhanced spatial documentation. In conclusion, handheld MLS proves to be a reliable and efficient system for various geodetic and engineering applications, and further technological developments are expected to expand its scope of use.

Keywords: *3D point cloud, engineering geodesy, mobile laser scanning, displacements, measurement accuracy*

Mobilno kartiranje i vizualizacija pomoću softvera otvorenog koda

Loris Redovniković¹, Antun Jakopec², Jurica Jagetić¹, Tomislav Leko¹

¹ Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska, loris.redovnikovic@geof.unizg.hr, jurica.jagetic@geof.unizg.hr, tleko@geof.unizg.hr

² SLAM Geodezija d.o.o., Ulica Bože Težaka 1A, 42000, Varaždin, Hrvatska, antun006@gmail.com,

Sažetak

U radu se prikazuje mogućnost primjene niskobudžetnih sustava za dinamičko lasersko skeniranje koji se temelje na otvorenom hardveru i obradi podataka pomoću softverskih alata otvorenog koda. U konkretnom slučaju korišten je Mandeye LiDAR sustav s jednim i dva LiDAR-a, razvijen za potrebe kartiranja u zahtjevnim terenima, poput špilja i uskih zatvorenih prostora. Opisane su razlike u kvaliteti oblaka točaka dobivenih korištenjem jednog, odnosno dva LiDAR senzora, te su analizirani prostorni i vizualni rezultati s obzirom na točnost, gustoću i potpunost modela. Posebna pažnja posvećena je procesu vizualizacije, gdje se uz pomoć Blendera renderira slika ili video kretanja po putanji kojom se gibao sustav tijekom izmjere. Time se omogućuje intuitivna i pregledna prezentacija izmjerenog prostora, pogodna kako za stručnu analizu, tako i za edukacijske ili prezentacijske svrhe. Cilj rada je demonstrirati kako se uz minimalne troškove može ostvariti funkcionalan sustav za mobilno kartiranje i kvalitetnu 3D vizualizaciju, bez oslanjanja na komercijalne licence i skupe zatvorene sustave.

Ključne riječi: *LiDAR, mobilno kartiranje, oblak točaka, otvoreni softver, vizualizacija.*

1. Uvod

Upotreba LiDAR tehnologija može značajno ubrzati i olakšati svakodnevni geodetski posao. Donedavno je takva tehnologija bila vrlo skupa i zahtjevnja za korištenje. Laserski skeneri, bilo statički ili dinamički, imali su prilično visoku cijenu, a za obradu podataka koristili su se specijalizirani softveri koji su također bili skupi. U današnje vrijeme stvari se mijenjaju, LiDAR sustavi postaju sve manjih dimenzija i cjenovno sve dostupniji. Samim time sve se više koriste u mnogim strukama, posebice u geodeziji.

U softverskom dijelu također dolazi do značajnih promjena. Softveri omogućuju sve složenije obrade i nude sve više mogućnosti. U novije se vrijeme u obradi LiDAR podataka sve češće koriste algoritmi za istovremeno pozicioniranje i kartiranje (engl. Simultaneous Localization and Mapping – SLAM), koji omogućuju da se u istom procesu procjenjuje položaj sustava i izrađuje karta okoline. Više o teorijskoj pozadini SLAM algoritama u geodeziji može se pronaći u radu (Jakopec i dr., 2023).

Cijene softvera također padaju, a na tržištu se pojavljuju i besplatna rješenja. Do sada su ti besplatni softveri uglavnom su radili na Linux operativnim sustavima. Takvi algoritmi razvijeni su prvotno u području robotike, a danas se sve više primjenjuju i u geodeziji. Najpoznatiji open-source SLAM algoritmi za rad s LiDAR podacima su Cartographer (Hess i dr., 2016; URL 1), Fast-LIO (Xu i Zhang, 2020; URL 2), R3LIVE (Lin i Zhang, 2021; URL 3) i FAST-LIVO (Zheng, Qin i Shen, 2022; URL 4).

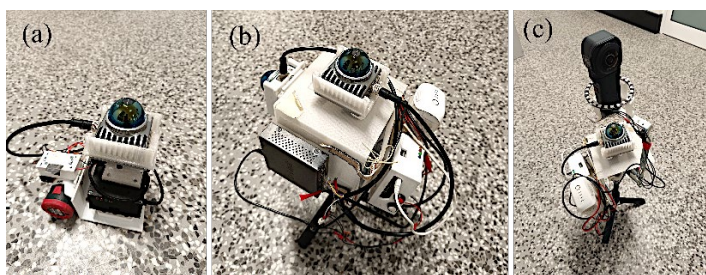
U današnje vrijeme polako dolaze u primjenu i softveri za obradu sirovih podataka LiDAR-a koji rade

na Windows operativnim sustavima. Budući da većina korisnika radi u Windows okruženju, važan je razvoj rješenja koja nisu ograničena samo na Linux. Jedan od istraživača koji je značajno pridonio razvoju takvih sustava je poljski autor Janusz Będkowski, koji u svojoj knjizi (Będkowski, 2022) detaljno opisuje metodologiju i implementaciju SLAM algoritama na različitim platformama.

Na praktičnoj razini, upravo u tom smjeru razvijen je sustav Mandeye, koji se može koristiti kao open-source hardversko rješenje. Pod nazivom Mandeye Dev nudi se kao DIY kit koji se pokreće na Raspberry Pi 4/5 i zahtijeva samostalno sastavljanje, a cijena opreme iznosi približno 800 € (URL 5). Za korisnike koji ne žele sami sastavljati uređaj, a žele zadržati niske troškove, razvijen je Mandeye Direct (M-D), već složen i spreman za korištenje po cijeni od 999 €. Za profesionalne primjene dostupan je i Mandeye Pro, izvedba koja dolazi u zaštićenom kućištu sa snažnom baterijom i dodatnim funkcionalnostima.

Kako bi se podaci prikupljeni pomoću Mandeye sustava mogli pretvoriti u smisleni oblak točaka, koristi se besplatan softver HDMMapping (URL 6). U kombinaciji s open-hardware rješenjem Mandeye Controller čini konkurentnu alternativu komercijalnim rješenjima, jer osim odometrije omogućuje i složenije obrade koje zahtijevaju veću točnost.

U radu Będkowski (2023) opisano je kako se sustav može koristiti za inspekciju nuklearne elektrane, u radu Redovniković i dr. (2025) prikazana je primjena u izmjeri speleoloških objekata, dok je u radu Výboštok i dr. (2025) demonstrirana njegova upotreba



Slika 1: (a) Jednostruki LiDAR; (b) dvostruki LiDAR; (c) LiDAR i 360 kamera

ba u šumarstvu. Ovi primjeri pokazuju da se Mandeye sustav može primjenjivati u različitim okruženjima – od industrijskih i podzemnih prostora do prirodnih šumskih ekosustava.

Softver HDMapping omogućuje osnovne funkcionalnosti važne za geodeziju, poput primjene SLAM algoritama i georeferenciranja, čime se može dobiti georeferencirani oblak točaka spreman za daljnju obradu. Ipak, za naprednije iskorištavanje oblaka točaka, kao što su vizualizacija, izrada presjeka, segmentacija, klasifikacija i modeliranje, koriste se dodatni specijalizirani programi. Za tu svrhu dostupni su besplatni softveri poput CloudCompare (URL 7) ili Blender (URL 8), dok se u komercijalnoj praksi često koriste rješenja poput Terrasolid (URL 9), Leica 3DR (URL 10) i mnogi drugi softveri.

2. Prikupljanje i obrada podataka

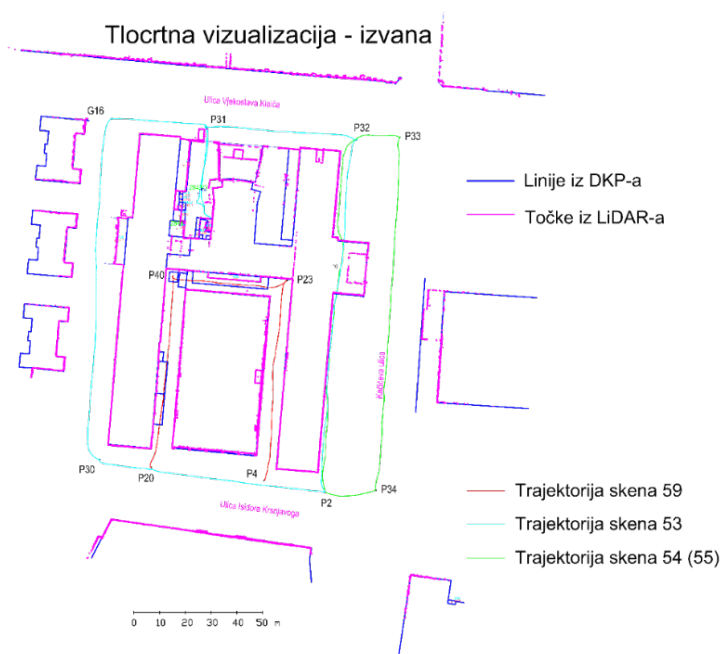
Podaci su prikupljeni 2. 6. 2025. Točke geodetske osnove određene su pomoću Topcon Hiper SR GNSS prijemnika i Cignus 2LS mjerne stanice. Za LiDAR izmjeru korišten je Mandey sustav s jednim i dva LiDAR-a (Slika 1a, 1b).

Kako bi se ispitalo u kojoj mjeri dodatni senzor poboljšava rezultate, korišteni su i jednostruki i dvostruki LiDAR. Kada se koriste dva LiDAR senzora, potrebno je provesti njihovu kalibraciju. HDMapping softver u tu svrhu ima ugrađen jednostavan modul mandeye_mission_recorder_calibration, koji omogućuje fino određivanje međusobnog položaja senzora.

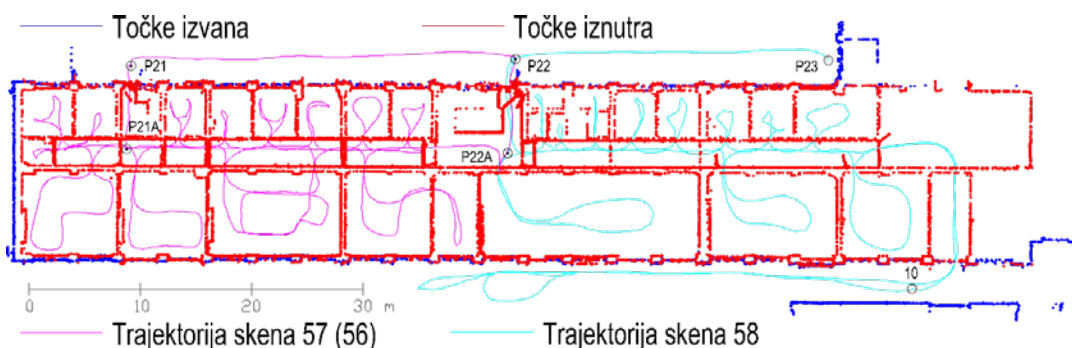
Mandeye sustav odnosno HDMapping softver daje i mogućnost bojanja oblaka točaka pomoću kamere (Slika 1c). Moguće je koristiti različite kamere, ali postupak još nije potpuno automatiziran nego se izvodi polu automatski. Plan autora softvera bio je da se napravi potpuna automatizacija, ali to još nije realizirano.

Osim kamere, sustav podržava i spajanje GNSS prijemnika, čime se dodatno proširuju mogućnosti georeferenciranja i sinkronizacije podataka. Međutim, primjena GNSS-a ograničena je na otvorene prostore, dok u zatvorenim prostorima nema signala pa nema ni praktične primjene.

Sa gore opisanim jednostrukim i dvostrukim LiDAR sustavom se kretalo u i oko zgrade geodetskog fakulteta u Kačićevoj 26. Prikupljeni podaci obrađeni su u HDMapping softveru kroz više koraka. U prvom



Slika 2: Preklap linija iz DKP-a i točaka iz tlocrtnog LiDAR presjeka



Slika 3: Tlocrtni presjek unutarnjeg i vanjskog oblaka točaka sa trajektorijama kretanja kroz urede

koraku (lidar_odometry_step_1) provodi se LiDAR odometrija, kojom se dobiva preliminarna putanja kretanja i oblak točaka. Rezultati same odometrije mogu biti zadovoljavajući za određene poslove, no u geodeziji ta točnost uglavnom nije dostatna.

Za povećanje točnosti i pouzdanosti rezultata, HD-Mapping omogućuje dodatne postupke – multi_view_tls_registration_step_2 i multi_session_registration_step_3 – kojima se podaci optimiziraju, zatvaraju figure, provodi georeferenciranje, povezuje više sesija u cjelinu ili razbija velike sesije na manje. U tim se fazama mogu koristiti i algoritmi poput Pose Graph SLAM optimizacije i Normal Distribution Transformation, koji uvelike doprinose većoj točnosti putanje te smanjenju šuma u konačnom oblaku točaka, što rezultira pouzdanijim i čistim podacima za daljnju obradu. Na slici 2 prikazane su tlocrtne trajektorije po kojima se kretalo oko zgrade fakulteta i točke geodetske osnove koje su služile za georeferenciranje i izjednačenje.

Na slici 2 je prikazan preklap tlocrtnog presjeka oblaka točaka sa linijama preuzetim iz digitalnog katastarskog plana. Ovi tlocrtni presjeci izrađeni su u CloudCompareu iz georeferenciranih oblaka točaka, koji su dobiveni nakon što su sirovi podaci prethodno obrađeni u HDMapping softveru kroz sva tri ranije objašnjena koraka. Kontrola u AutoCAD-u pokazala je da su prosječna odstupanja između linija iz katastarskog plana i točaka tlocrtnog presjeka LiDAR-a uglavnom manja od 10 cm, dok su na pojedinim mjestima iznosila do 20 i više cm, no takva odstupanja javljala su se vrlo rijetko. Pri interpretaciji rezultata treba uzeti u obzir da je LiDAR izmjera bila vezana na jednu geodetsku osnovu, dok je katastarski plan sniman s druge geodetske osnove, te da presjek oblaka

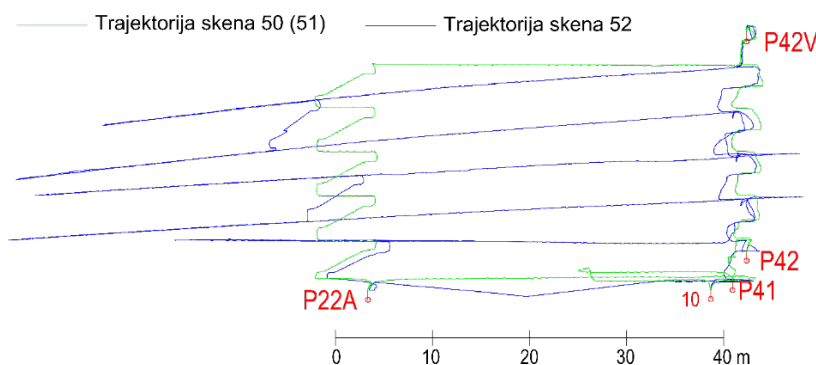
točaka može odstupati od visine na kojoj su katastarski podaci prikupljeni. Zbog tih okolnosti usporedba se može smatrati orijentacijskom, a ne potpuno egzaktnom.

U suterenu jugoistočnog krila fakulteta također se prošlo sa LiDAR sustavom na način da se ulazilo u svaku prostoriju. Na slici 3 prikazan je tlocrtni presjek oblaka točaka kao i trajektorije po kojima se kretalo unutar ureda.

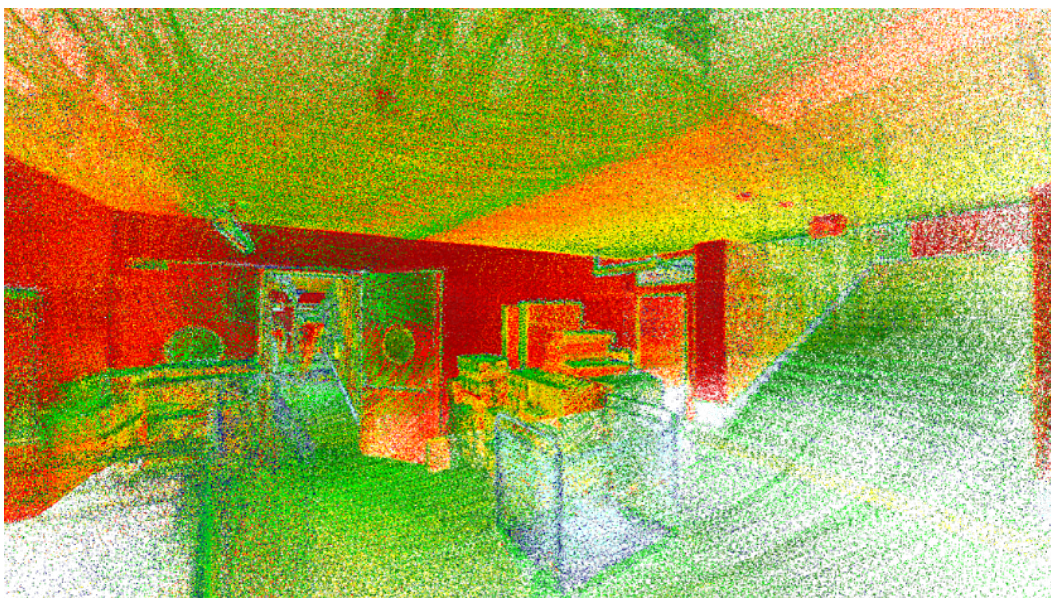
Slika 3 pokazuje da se vanjski zidovi (plavo) dobiveni skeniranjem izvana dobro poklapaju sa unutarnjim zidovima (crveno) te je moguće utvrditi debljinu zidova s centimetarskom točnošću. Na ovaj se način može u kratkom vremenu dokumentirati izvedeno stanje, što je donedavno bio vrlo zahtjevan i dugotrajan proces.

Istoga dana Mandeye sustav korišten je za snimanje hodnika fakulteta. Kako bi se poboljšali rezultati, na sjeveroistočnom (glavnom) stepeništu je pomoću viska prenesena koordinata iz prizemlja (P42) na peti kat (P42V). Visine između katova određene su pomoću ručnog daljinomjera. Na jugozapadnom (pomoćnom) stepeništu nije korišten visak. Slika 4 pokazuje da se trajektorije na sjeveroistočnom stepeništu, gdje su određene točke P42 i P42V, puno bolje poklapaju nego na jugozapadnom, gdje nije bilo poznate točke po vertikali.

To je bilo očekivano jer georeferenciranje na poznate koordinate značajno poboljšava točnost SLAM-sustava. Također je vizualno uočljivo da zelena trajektorija, po kojoj je pređen znatno kraći put, bolje odgovara stvarnom stanju od plave trajektorije, što je također bilo očekivano.



Slika 4: Bočni prikaz kretanja po hodnicima fakulteta



Slika 5: Vizualizacija oblaka točaka u Blenderu – renderirani detalj unutrašnjosti zgrade

3. Vizualizacija

U programu CloudCompare vrlo je jednostavno izraditi animacije i renderirati slike određenih pogleda. Za složeniju vizualizaciju može se koristiti i besplatni softver Blender, koji u odnosu na CloudCompare omogućuje detaljnije 3D modeliranje, naprednije renderiranje s kontrolom osvjetljenja i sjenčanja te veću kontrolu nad kretanjem kamere i načinom vizualne prezentacije prostora.

Iz HDMapping softvera moguće je izvesti gusti oblak točaka i putanju kretanja sustava. U Blender se oblak točaka može učitati pomoću dodatka Point Cloud Visualizer, koji omogućuje učinkovit prikaz i obradu vrlo velikih skupova podataka. Moguće je i učitavanje bez tog dodatka, no tada je rad ograničen na manje setove podataka i s reduciranom funkcionalnošću prikaza. Putanja u .dxf formatu može se uvesti izravno preko funkcije Import, a pomoću Blenderovih naredbi *follow path* i *track to object* kamera se može kretati po zadanoj putanji, čime se mogu jednostavno izrađivati video prikazi prolaska kroz prostor.

4. Evaluacija odometrije

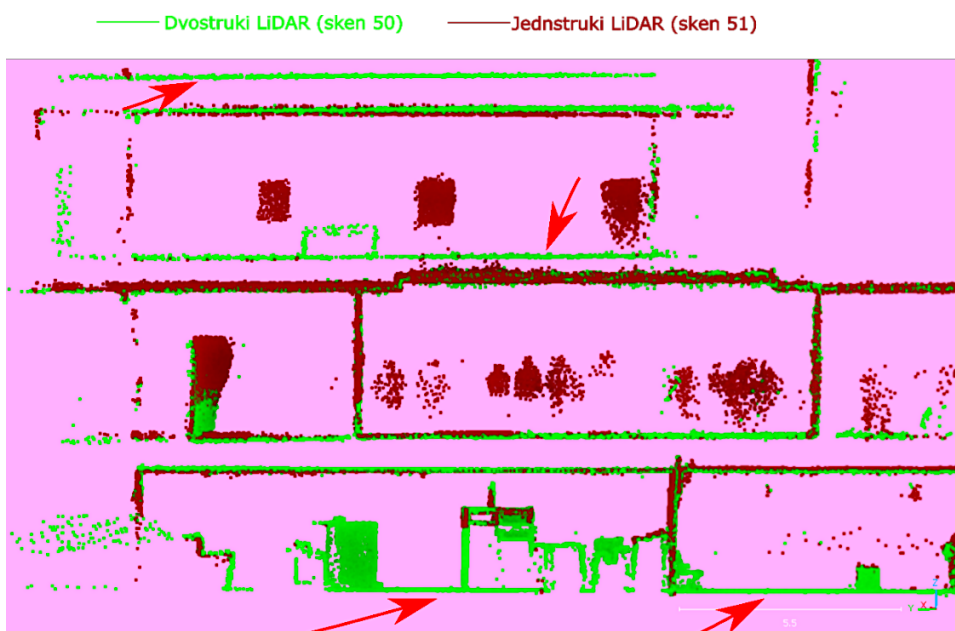
Na podacima se prvo radila LiDAR odometrija pomoću modula `lidar_odometry_step_1`. Rezultati nakon tog koraka prikazani su u Tablici 1, gdje se vide duljine trajektorija, vrijeme prikupljanja podataka, ukupan broj točaka te odstupanja zatvaranja figura i relativne pogreške. Ovi podaci odnose se isključivo na rezultate nakon prvog koraka (odometrije), bez dodatne optimizacije.

Suprotno očekivanjima, sustav s dva LiDAR-a daje otprilike isti broj točaka kao i sustav s jednim LiDAR-om. Moguće je da je uzrok tome propusnost mrežnog razdjelnika koji smo koristili, ali to treba još dodatno ispitati. Također, očekivalo se da će točnost s dva LiDAR-a biti bolja nego s jednim, što se iz rezultata prikazanih u tablici ne može pouzdano tvrditi. U svakom slučaju, sustav s dva LiDAR-a osigurava bolju pokrivenost prostora (Slika 6).

Crvene strelice na slici označavaju mjesta na kojima jednostruki LiDAR nije zabilježio točke, dok su s dvostrukim LiDAR-om one uspješno registrirane. Kod ko-

Tablica 1: Statistički podaci i odstupanja zatvaranja trajektorija dobivenih LiDAR odometrijom

Radni naziv skena	Opis prostora	Broj lidara	Duljina trajektorije [m]	Vrijeme prikupljanja podataka [min]	Ukupan broj točaka	Odstupanje zatvaranja figure 3D [m]	Delta X [m]	Delta Y [m]	Delta Z [m]	Prosječna brzina hoda [km/h]	Relativna pogreška u odnosu na duljinu
Sken 50	Hodnici	2	380.70	8.3	74 511 391	7.02	-5.77	-3.66	1.61	2.7	1.84 %
Sken 51	Hodnici	1	433.82	8.0	76 951 704	8.69	3.32	-4.01	-6.95	3.3	2.00 %
Sken 52	Hodnici dugi	2	837.46	13.0	128 031 392	11.44	6.44	-9.44	0.56	3.9	1.37 %
Sken 53	Veliki krug	2	558.95	7.8	48 353 429	2.46	1.55	-0.13	-1.91	4.3	0.44 %
Sken 54	Mali krug	2	331.28	5.3	37 818 993	1.67	-1.42	-0.68	-0.54	3.7	0.50 %
Sken 55	Mali krug	1	342.65	4.5	37 409 980	0.82	0.81	0.15	-0.07	4.6	0.24 %
Sken 56	Uredi jug	1	379.46	6.8	66 913 176	0.77	0.01	-0.77	0.04	3.3	0.20 %
Sken 57	Uredi jug	2	407.33	8.2	84 780 021	1.41	0.27	0.24	-1.37	3.0	0.35 %
Sken 58	Uredi sjever	2	434.05	7.5	70 709 666	0.71	0.07	0.62	0.34	3.5	0.16 %
Sken 59	Parking	2	211.68	4.0	24 402 719					3.2	



Slika 6: Usporedba rezultata jednostrukog i dvostrukog LiDAR-a.

rištenja jednog LiDAR-a, ako se on drži iznad glave i horizontalno, što je preporuka autora softvera, često se ne snime točke na podu. Primjenom dvostrukog sustava taj se problem uklanja, čime se postiže znatno bolja kvaliteta snimanja.

Budući da se na svim skenovima, osim na zadnjem, radilo zatvaranje figure, mogla se odrediti apsolutna i relativna pogreška. Apsolutna pogreška ovisna je o duljini prijedene trajektorije bez georeferenciranja na poznate točke, dok relativna pogreška, izračunata u odnosu na duljinu trajektorije, ovisi o različitim faktorima poput okoline kroz koju se krećemo, brzini kretanja i promjenama smjera. Na temelju same odometrije dobivena su odstupanja od 0,16 % u najboljem do oko 2 % u najlošijem slučaju. To pokazuje da sama odometrija u većini slučajeva nije dovoljna za geodetske potrebe. Za jednostavnije primjene prvi korak (odometrija) može biti dovoljan, ali za naprednije korištenje i postizanje veće točnosti, koraci 2 i 3 su ključni. Zahvaljujući njima ovakvi sustavi mogu se upotrebljavati i u geodeziji, uz uvjet poštivanja metodoloških pravila struke.

5. Zaključak

U radu je pokazano da se korištenjem open source hardvera i softvera danas mogu postići vrlo dobri rezultati uz minimalna ulaganja. Vrijeme prikupljanja podataka na terenu znatno je kraće u usporedbi sa klasičnom izmjerom, dok je količina prikupljenih podataka znatno veća. Velika prednost Mandeye sustava za mobilno kartiranje s pripadajućim HDMapping softverom ogleda se u tome što omogućava širokom krugu korisnika upoznavanje s mogućnostima SLAM tehnologije. Naknadna obrada i vizualizacija podataka također se mogu provesti pomoću besplatnih softverskih rješenja.

Cilj ovoga rada bio je potaknuti kolege na primjenu SLAM tehnologije, ali uz potreban oprez. Geodetski stručnjak treba biti svjestan da SLAM sustavi mogu značajno ubrzati postupak prikupljanja podataka na terenu, no pri tome je nužno pridržavati se ispravne metodologije. Nepravilno rukovanje može lako dovesti do netočnih rezultata. Kao i u svakom poslu, praksa se stječe iskustvom, a ovakav pristup omogućuje početak rada bez većih ulaganja. Na kraju valja naglasiti da kvalitetniji hardver i softver mogu pridonijeti postizanju boljih rezultata, ali sama oprema bez stručnog rukovanja ne garantira postizanje vrhunskih rezultata.

Literatura

- Będkowski, J. (2015): Development of mobile robot navigation system for nuclear power plant inspection, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Elsevier.
- Będkowski, J. (2022): Large-Scale Simultaneous Localization and Mapping, Springer Nature Singapore.
- Hess, W., Kohler, D., Rapp, H. i Andor, D. (2016): Real-Time Loop Closure in 2D LIDAR SLAM, ICRA 2016, IEEE, str. 1271–1278.
- Jakopec, A., Redovniković, L., Barković, Đ., Zrinjski, M. (2023): SLAM i geodezija. Geodetski list, 77(100), 235–271.
- Lin, J. i Zhang, F. (2021): R3LIVE: A robust, real-time, RGB-colored, LiDAR-Inertial-Visual tightly-coupled state estimation and mapping package, arXiv preprint arXiv:2109.07982.
- Redovniković, L., Jakopec, A. (2024): Mogućnosti primjene jeftinog LiDAR sustava za geodetsku izmjeru, Zbornik radova – 17. simpozij ovlaštenih

inženjera geodezije, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Poreč, 151-156.

Redovniković, L., Jakopec, A., Będkowski, J., Jagetić, J. (2025): The affordable DIY Mandeve LiDAR system for surveying caves, and how to convert 3D clouds into traditional cave ground plans and extended profiles, *International Journal of Speleology*, 53 (3), 1-7.

Xu, W. i Zhang, F. (2020): FAST-LIO: A fast, robust LiDAR-inertial odometry package by tightly-coupled iterated Kalman filter, *arXiv preprint arXiv:2010.08196*.

Zheng, C., Qin, T. i Shen, S. (2022): FAST-LIVO: Fast, tightly-coupled LiDAR-Inertial-Visual Odometry, *arXiv preprint arXiv:2203.00893*.

URL 1: Google Cartographer, open-source SLAM system, <https://google-cartographer.readthedocs.io/>, (31.8.2025.).

URL 2: FAST-LIO, https://github.com/hku-mars/FAST_LIO, (31.8.2025.).

URL 3: R3LIVE, <https://github.com/hku-mars/r3live>, (31.8.2025.).

URL 4: FAST-LIVO, <https://github.com/hku-mars/FAST-LIVO>, (31.8.2025.).

URL 5: Mandeve Controller – open-source LiDAR mapping platform, https://github.com/JanuszBedkowski/mandeve_controller, (31.8.2025.).

URL 6: MapsHD (2023): HDMapping – open-source 3D mapping software. <https://github.com/MapsHD/HDMapping>, (31.8.2025.).

URL 7: CloudCompare, open-source 3D point cloud processing software, <https://www.cloudcompare.org/>, (31.8.2025.).

URL 8: Blender (2023): Blender – Free and open-source 3D creation suite. <https://www.blender.org/>, (31.8.2025.).

URL 9: Terrasolid (2023): TerraScan – LiDAR data processing software. <https://terrasolid.com/terrascan/>, (31.8.2025.).

URL 10: Leica 3DR, Leica Geosystems AG, <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-3dr>, (31.8.2025.).

Mobile Mapping and Visualization Using Open-Source Software

Abstract.

This paper presents the potential application of low-budget systems for dynamic laser scanning based on open hardware and data processing using open-source software tools. In a specific case, the Mandeve LiDAR system with one or two LiDAR sensors was used, developed for the needs of mapping in demanding terrains such as caves and narrow enclosed spaces. Differences in the quality of point clouds obtained using one versus two LiDAR sensors are described, and spatial and visual results are analyzed with regard to the accuracy, density, and completeness of the model. Special attention is given to the visualization process, where Blender is used to render images or motion videos along the path taken by the system during measurement. This allows for an intuitive and clear presentation of the measured space, suitable for expert analysis as well as educational and presentation purposes. The aim of the paper is to demonstrate how a functional mobile mapping system for high-quality 3D visualization can be achieved with minimal costs, without relying on commercial licenses and expensive closed systems.

Keywords: *LiDAR, mobile mapping, point cloud, open-source software, visualization.*

Analiza visinskog prikaza terena dobivenog zračnim snimanjem LiDAR-om

Jurica Jagetić¹, Krunoslav Špoljar¹, Đuro Barković¹, Loris Redovniković¹, Sergej Baričević¹, Antonio Tupek¹, Karlo Stipetić¹, Luka Družević¹, Ivan Ljubičić¹

¹Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska, jurica.jagetic@geof.unizg.hr, krunoslav.spoljar@geof.unizg.hr, djuro.barkovic@geof.unizg.hr, loris.redovnikovic@geof.unizg.hr, sergej.baricevic@geof.unizg.hr, antonio.tupek@geof.unizg.hr, karlo.stipetic@geof.unizg.hr, luka.druzeic@geof.unizg.hr, ivan.ljubicic@geof.unizg.hr

Sažetak

U radu je analizirana visinska komponenta obavljenog LiDAR snimanja iz zraka. Istražena je mogućnost uporabe LiDAR podataka dobivenih popunjavanjem odgovarajućeg obrasca Državne geodetske uprave (DGU), a koji su nastali u okviru projekta Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa. U svrhu istraživanja odabrana su testna područja na teritoriju Republike Hrvatske te je obavljena komparativna analiza visinskih podataka zračnog snimanja LiDAR-om i visinskih podataka određenih neovisnim metodama (terestričkom i VPPS CROPOS-om). Izrađeni su i prikazani visinski modeli za urbano i ruralno područje te dio koridora rijeke Save.

Ključne riječi: *DGU, modeliranje podataka, visinski prikaz terena, zračno snimanje LiDAR-om.*

1. Uvod

Laserski uređaji danas predstavljaju neizostavan dio suvremenih mjernih tehnologija u inženjerskim poslovima. Zahvaljujući svojoj sposobnosti da pružaju precizne, brze i nekontaktne informacije o obliku, udaljenosti i položaju objekata, njihova se primjena ubrzano širi u području građevinarstva, infrastrukture, arhitekture i prostornog planiranja. Laserske tehnologije, uključujući LiDAR (engl. *Light Detection and Ranging*) sustave omogućuju prikupljanje velike količine podataka u kratkom vremenskom razdoblju, što ih čini posebno pogodnima za rad u složenim, opasnim ili teško dostupnim uvjetima (Redovniković i Jakopac, 2024, Redovniković i dr., 2025).

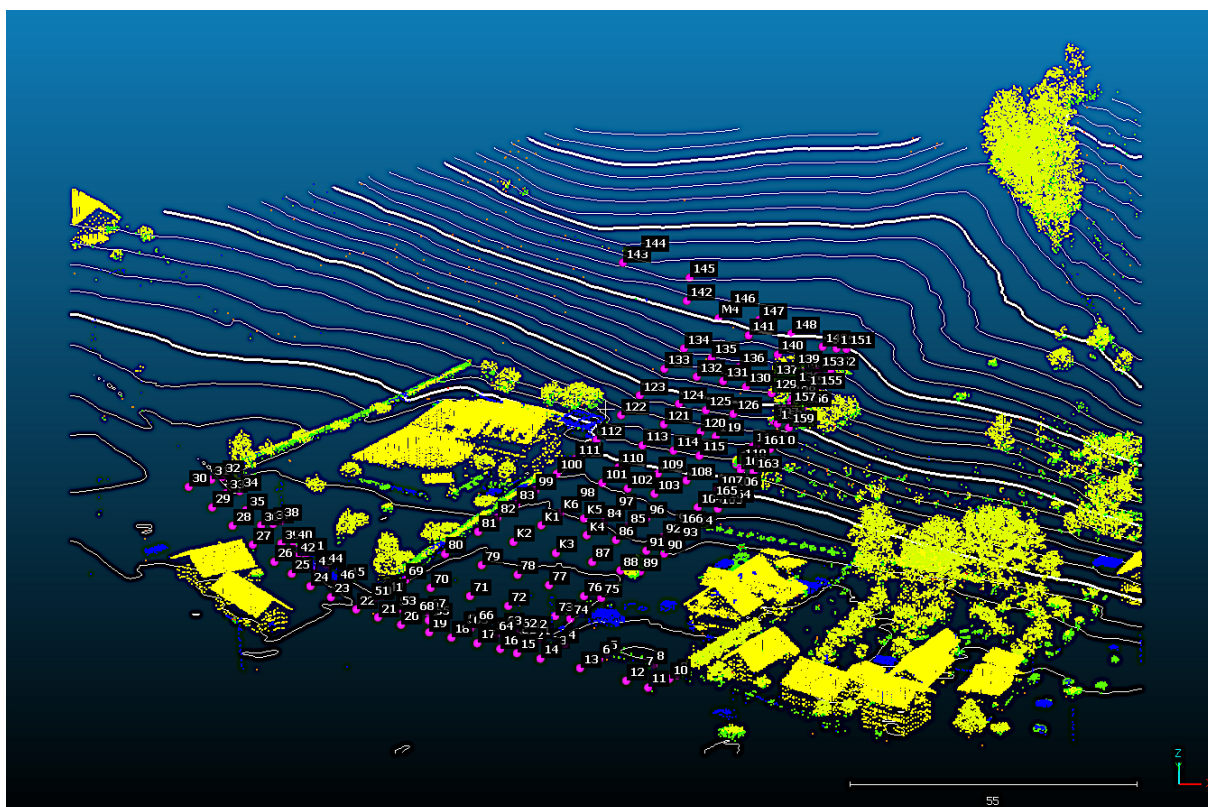
Projektom *Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa* dobiveni su LiDAR podaci za područje cijele Hrvatske. Podaci prikupljeni navedenim projektom osnova su za izradu i ažuriranje digitalnog modela reljefa (DMR), digitalnog modela površina (DMP) te poslove državne izmjere i katastra nekretnina.

Također, dobivene snimke koriste se u aktivnostima projekta *Potresni rizik Grada Zagreba* te omogućavaju lakše i brže stvaranje baze podataka o zgradama u Zagrebu. Navedena baza podataka temelj je za analize te posljedično donošenje odluka, strateška promišljanja i organizacijske procese vezane uz rizik od potresa u Zagrebu.

U ovom radu istražena je mogućnost uporabe LiDAR podataka dobivenih popunjavanjem odgovarajućeg obrasca Državne geodetske uprave (DGU) te je analizirana visinska komponenta obavljenog LiDAR snimanja iz zraka. Istraživanjem je obuhvaćeno urbano i ruralno područje te dio koridora rijeke Save. Komparativnom analizom uspoređeni su visinski podaci zračnog snimanja LiDAR-om i podaci mjereni neovisnim metodama (terestričkom i VPPS CROPOS-om) te su dani tablični i grafički prikazi za analizirana područja.

2. Zračno snimanje LiDAR-om

Snimanje iz zraka potrebno je obaviti zrakoplovom koji posjeduje valjani certifikat te ima ugrađeni sustav za pozicioniranje (GNSS/INS). Postupak snimanja obuhvaća odgovarajuću opremu i instrumentarij, planiranje snimanja, tj. izradu projekta LiDAR snimanja i pripremne radnje prije početka snimanja iz zraka, odobrenje za snimanje iz zraka i korištenje zračnih snimaka i podataka snimanja iz zraka, realizirano snimanje iz zraka prema zahtjevima specifikacije, obradu prikupljenih podataka i izradu snimaka i isporuku rezultata snimanja iz zraka. Zračnom LiDAR snimanju prethodi stabilizacija i izmjera kontrolnih točaka, kalibracija kamera te planiranje snimanja (Državna geodetska uprava, 2022b, URL 1).



Slika 1: Ruralno područje s učitanim podacima LiDAR-a i točkama dobivenim neovisnim metodama

2.1. Točnost podataka

Propisana gustoća točaka u urbanim područjima je minimalno 8 točaka/m², u neizgrađenim područjima minimalno 4 točke/m² (Državna geodetska uprava, 2022b), dok je kod koridornog snimanja rijeka i nasipa minimalno 20 točaka/m². Definirana minimalna visinska točnost laserskih točaka iznosi $\pm 0,1$ m, dok položajna točnost iznosi $\pm 0,2$ m (Državna geodetska uprava, 2022a).

2.2. Klasifikacija skupa točaka

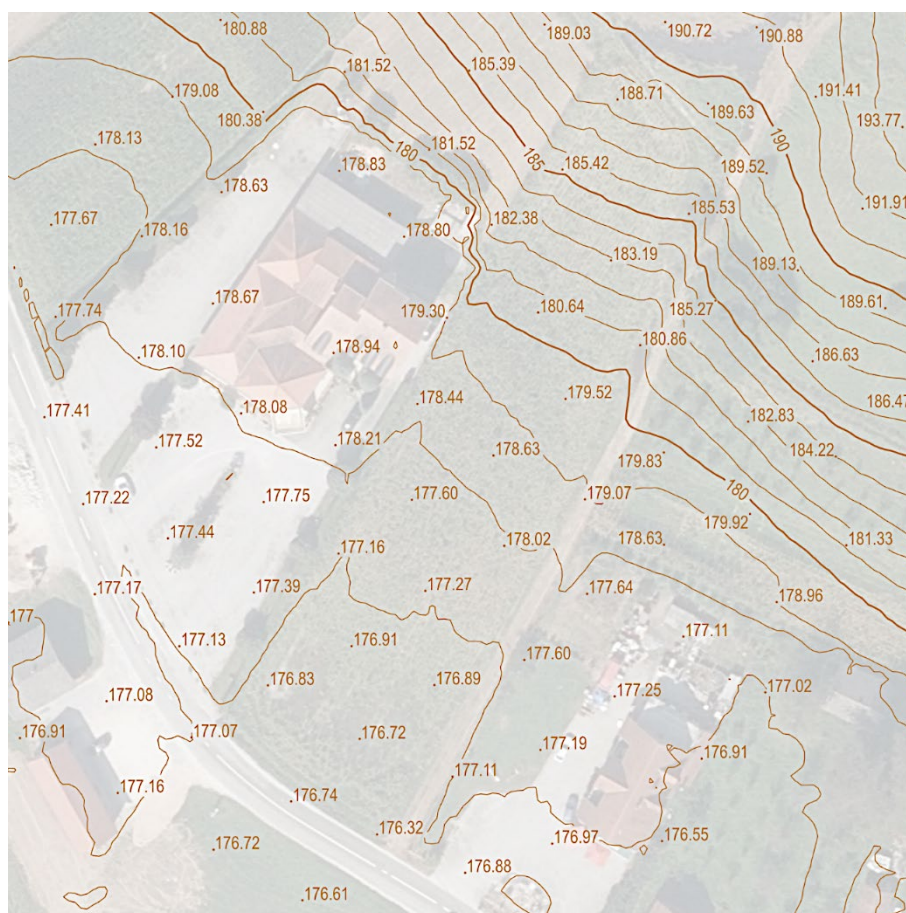
Laserske točke klasificirane su u 10 klasa: neklasificirano, tlo/teren, niska vegetacija, srednja vegetacija, visoka vegetacija, zgrade, šum, vode i mostovi/vijadukti. Podaci koji nisu klasificirani mogu se razdijeliti na podatke koji nisu procesuirani i na podatke koji jesu procesuirani, ali nisu dodijeljeni nijednoj drugoj klasi. Proces klasifikacije je automatiziran s ručnim provjerama i prema potrebi korekcijama. Iz podataka LiDAR-a generira se digitalni model reljefa i digitalni model površina u geometrijskoj rezoluciji 1 px/m². Digitalni model reljefa predstavlja površinu Zemlje i za izradu DMR rastera koriste se isključivo LiDAR točke klasificirane u tlo/teren (Državna geodetska uprava, 2022b). Digitalni model površina predstavlja površinu Zemlje zajedno sa svim trajnim objektima na njoj. Za izradu DMP rastera koriste se LiDAR točke klasificirane u klase: tlo/teren, niska vegetacija, srednja vegetacija, visoka vegetacija, zgrade te mostovi/vijadukti. Zaključno, razlika između visina DMP-a i DMR-a predstavlja visinu objekata i vegetacije na Zemljinoj površini (URL 1).

2.3. Dostupnost podataka zračnog snimanja LiDAR-om

Preuzimanje podataka je besplatno od strane Državne geodetske uprave, a moguće je popunjavanjem obrasca *Zahtjev za ponovnu upotrebu LiDAR podataka* (URL 2). Prilikom popunjavanja obrasca potrebno je izabrati tražene podatke. Moguće je preuzeti oblak točaka te DMP i DMR. Dostupni LiDAR podaci podijeljeni su položajno na listove prema podjeli službenih karata za mjerilo 1:2000 (Državna geodetska uprava, 2009), odnosno na datoteke dimenzije 1200 m x 800 m. Prilikom popunjavanja obrasca potrebno je navesti nomenklaturu traženog lista ili je moguće priložiti datoteku s traženim prostornim obuhvatom (npr. u *.shp formatu). Preuzeti oblaci točaka dolaze u formatu *.laz, dok su DMR i DMP u formatu *.tif. Za preuzimanje podataka potrebno je u DGU fizički dostaviti USB ili disk za vanjsku pohranu podataka, ovisno o količini memorije koju traženi podaci zahtijevaju. Količina memorije ovisi o razvedenosti terena. Oblaci točaka formata *.laz područja s malo vegetacije mogu imati do 100 MB, dok šumovita područja mogu imati i preko 600 MB. DMR i DMP datoteke mogu zauzimati oko 5 MB memorije.

3, Metodologija

Obrada prostornih podataka obavljena je u besplatnim softverima otvorenog koda. Upotrijebljen je CloudCompare za obradu oblaka točaka te QGIS za grafički prikaz rezultata obrade. Odabrana su tri po-



Slika 2: Visinski prikaz terena dobiven zračnim snimanjem LiDAR-om

druĝja na kojima je obavljena kontrolna izmjera tere-
na neovisnim metodama u visinskom smislu primje-
nom terestriĝke metode i VPPS CROPOS-om. Konaĝni
rezultat obrade podataka predstavlja odstupanje vi-
sinskog prikaza terena LiDAR oblaka toĝaka.

3.1. Testna področja

Testna područja čine tri različite lokacije na području Republike Hrvatske. Izabrano je ruralno i urbano područje te dio koridora rijeke Save. Na odabranoj čestici ruralnog područja ne postoje izgrađeni objekti, ni visoka vegetacija (Slika 1). Na čestici urbanog područja postoje izgrađeni objekti, visoka vegetacija i podzidovi s naglim skokovima u visini. Na odabranom dijelu koridora rijeke Save postoji niska i visoka vegetacija.

3.2. Obrada podataka

Za svako testno područje obavljena je identična metodologija obrade. U CloudCompareu učitana su dva seta podataka. Oblak točaka preuzetih podataka dobivenih zračnim snimanjem LiDAR-om (Slika 2) i točke izmjerene neovisnim metodama. Alatom *Filter points by value* su iz LiDAR oblaka točaka filtrirane točke koje predstavljaju tlo prema atributima klasifikacije. Odstupanje oblaka točaka od izmjerenih dobiveno je upotrebom alata *Distance computation*. U alatu je

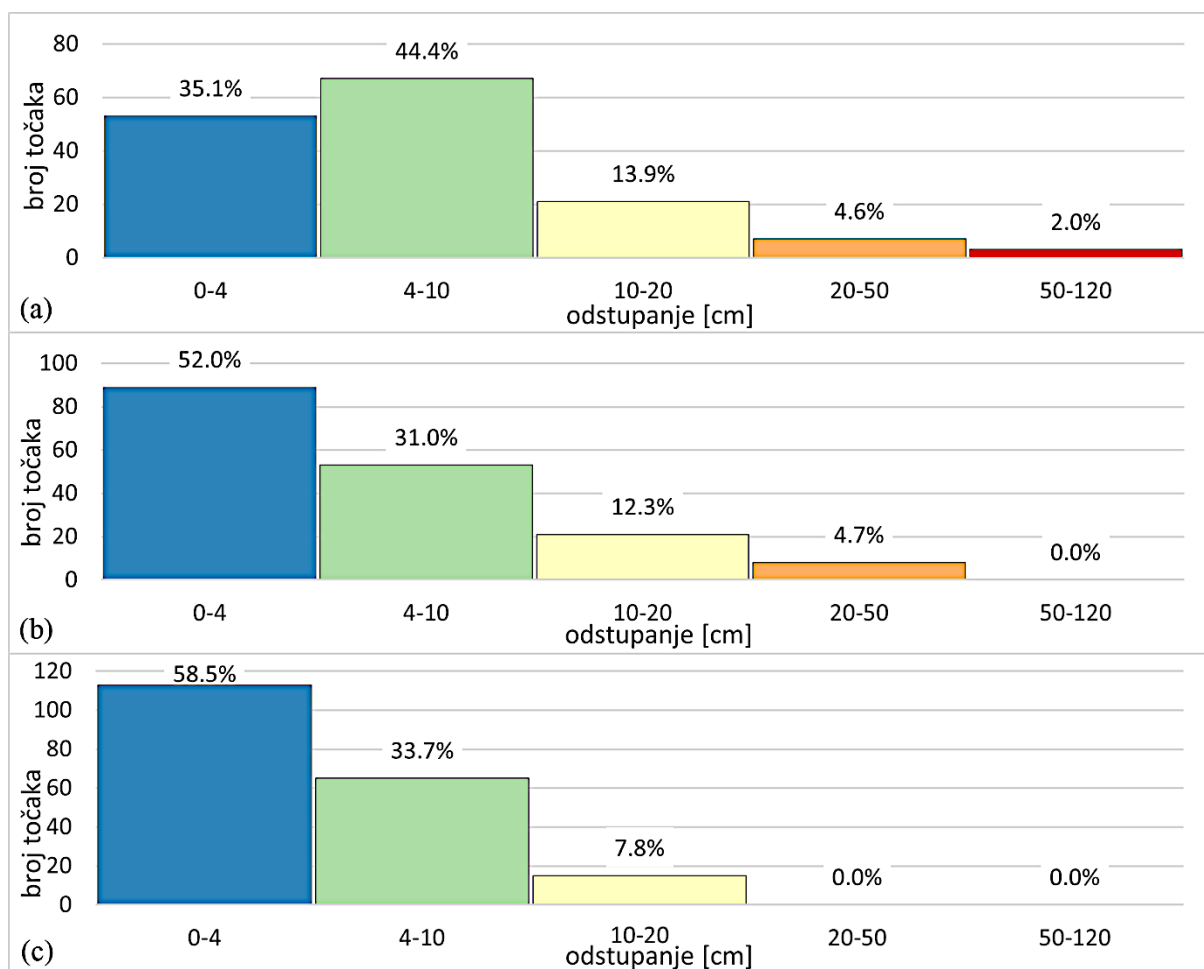
LiDAR oblak zadan kao referentna ploha. Udaljenost između izmjerene točke i referentne plohe dobivena je kao duljina mjerena duž normale referentne plohe koja je oko svake mjerene točke aproksimirana ravninom po metodi najmanjih kvadrata. U konačnici je svakoj izmjerenoj točki pridružen atribut udaljenosti do referentnog LiDAR oblaka točaka.

4. Komparativna analiza visinske komponente

Za sve točke terena određena je udaljenost od oblaka točaka dobivenog LiDAR-om do točaka mjerenih neovisnim metodama. U nastavku, prikazani su rezultati obavljene komparativne analize za: (a) urbani dio, (b) ruralni dio i (c) dio koridora rijeke Save. Ta su odstupanja grupirana u klase prema vrijednosti njihova iznosa (Tablica 1) te grafički prikazani histogramima (Slika 3). U ovom radu zadano je pet klasa. Interval prve klase je od 0 do 4 cm, tj. predstavlja visinsku točnost CROPOS VPP5-a. Interval druge klase je od 4 cm do 10 cm, zatim treća klasa od 10 cm do 20 cm, četvrta od 20 cm do 50 cm i u konačnici je interval posljednje klase od 50 cm do maksimalnog iznosa odstupanja na odabranim testnim područjima, odnosno 1,16 m kod urbanog područja.

Tablica 1: Iznos odstupanja točaka dobivenih LiDAR-om i neovisnim metodama

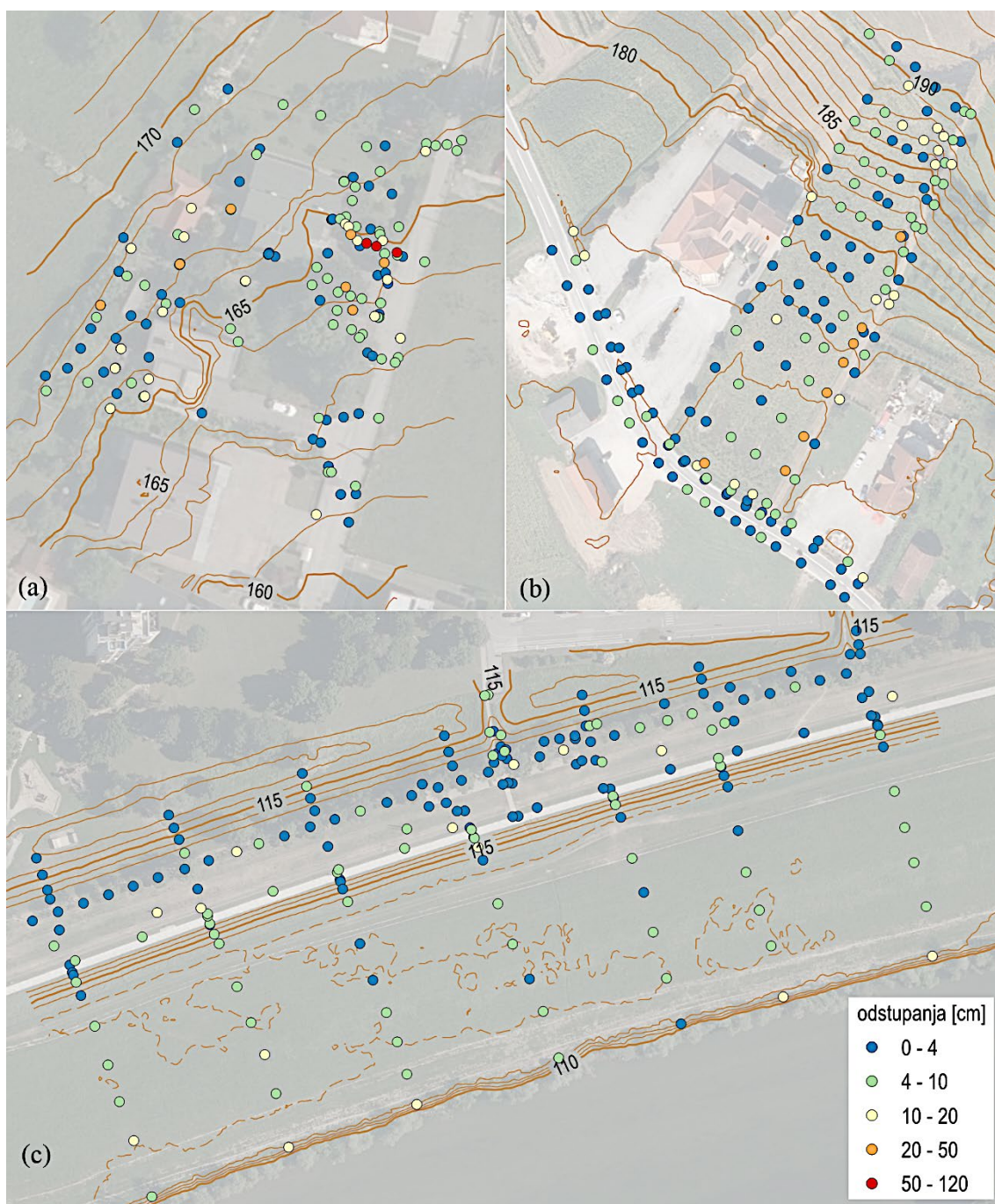
Odstupanje [cm]	urbano		ruralno		(c) koridor rijeke Save	
0 – 4	53	35,1 %	89	52,0 %	113	58,5 %
4 – 10	67	44,4 %	53	31,0 %	65	33,7 %
10 – 20	21	13,9 %	21	12,3 %	15	7,8 %
20 – 50	7	4,6 %	8	4,7 %	0	0,0 %
50 – 120	3	2,0 %	0	0,0 %	0	0,0 %
Ukupno	151	100,0 %	171	100,0 %	193	100,0 %



Slika 3: Histogrami odstupanja točaka za (a) urbano i (b) ruralno područje te (c) dio koridora rijeke Save

Iz rezultata je vidljivo da su na području dijela koridora rijeke Save dobivena najmanja odstupanja LiDAR oblaka točaka i točaka izmjerenih neovisnim metodama. Više od polovine točaka nalazi se unutar odstupanja 4 cm, dok se preko 90% točaka nalazi unutar odstupanja 10 cm (Slika 3c, 4c). Na ruralnom je području također više od polovine točaka unutar odstupanja 4 cm, a preko 80% je unutar odstupanja 10 cm (Slika 3b, 4b). Najveća odstupanja nalaze se uz poljski put koji se nalazi duž izmjerene čestice. Kod urbanog područja nalaze se najveća odstupanja. Tek jedna trećina izmjerenih točaka nalaze se unutar od-

stupanja 4 cm od LiDAR oblaka točaka, dok pojedine točke odstupaju i preko 1 m (Slika 3a, 4a). Uzrok tako velikim odstupanjima su nagli prijelazi visine terena, odnosno postojanje podzidova na izmjerenoj čestici. Pregledom LiDAR oblaka točaka ustanovljena je pogrešna automatska klasifikacija točaka na takvim mjestima. Također se javlja problem guste vegetacije i izgrađenih objekata koji onemogućuju gustu izmjeru točaka tla. Daljnjim pregledom oblaka točaka ustanovljeno je da su pojedini ravni krovovi objekata pogrešno klasificirani kao tlo te ne daju vjerodostojan prikaz terena bez ručne obrade podataka.



Slika 4: Odstupanja točaka za (a) urbano i (b) ruralno područje te (c) dio koridora rijeke Save

5. Zaključak

LiDAR je metoda laserskog skeniranja Zemljine površine, pri čemu se kreira oblak točaka koji je položajno i visinski definiran u 3D prostoru. U kontekstu inspekcije i nadzora građevinske infrastrukture, laserski uređaji omogućuju geodetskim inženjerima detektiranje oštećenja, deformacija i drugih promjena na konstrukcijama bez potrebe za fizičkim kontaktom ili prekidom rada sustava. Poseban značaj ima njihova sposobnost rada u stvarnom vremenu, uz visoku razlučivost i pouzdanost, čime se pridonosi sigurnosti i učinkovitosti infrastrukturnih sustava.

Projektom *Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa* obavljeno je zračno snimanje LiDAR-om za područje Republike Hrvatske te su produkti projekta oblak točaka te digitalni modeli reljefa (DMR) i digitalni modeli površina (DMP). Besplatno preuzimanje podataka i daljnja obrada omogućavaju jednostavno određivanje tipa terena te adekvatnu procjenu stanja i izloženost riziku te u konačnici podlogu za analize rizika od katastrofa, primarno potresa, poplava i požara otvorenih tipova. Analizirana visinska kompo-

nenta podataka ukazuje na vrlo visoku točnost obavljenog zračnog snimanja LiDAR-om te mogućnost upotrebe visinskih podataka u inženjerskim poslovima kao što su projektiranje novih građevina, katastar nekretnina i dr. Podaci dobiveni zračnim snimanjem LiDAR-om omogućuju izradu vjerodostojnog visinskog prikaza terena, ali uz obavezu kontrolu podataka neovisnim terenskim mjerenjima. Poseban se naglasak pritom odnosi na terene guste vegetacije, velikog stupnja izgrađenosti te naglim promjenama visine.

Literatura

Državna geodetska uprava (2009): Tehničke specifikacije za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografskoj projekciji Republike Hrvatske – HTRS96/TM, verzija 1.0, Državna geodetska uprava, Zagreb.

Državna geodetska uprava (2022a): Koridorno LiDAR snimanje iz zraka – specifikacija proizvoda, Državna geodetska uprava, Zagreb.

Državna geodetska uprava (2022b): LiDAR snimanje iz zraka – specifikacija proizvoda, Državna geodetska uprava, Zagreb.

Redovniković, L., Jakopec, A. (2024): Mogućnosti primjene jeftinog LiDAR sustava za geodetsku izmjeru, Zbornik radova – 17. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Poreč, 151-156.

Redovniković, L., Jakopec, A., Będkowski, J., Jagetić, J. (2025): The affordable DIY Mandeye LiDAR system for surveying caves, and how to convert 3D clouds into traditional cave ground plans and extended profiles, International Journal of Speleology, 53 (3), 1-7.

URL 1: Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa, <https://dgu.gov.hr/multisenzorsko-zracno-snimanje-republike-hrvatske-za-potrebe-procjene-smanjenja-rizika-od-katastrofa-6135/6135>, (3.7.2025.).

URL 2: Lidar podaci, <https://dgu.gov.hr/podnesite-zahhtjev-91/91>, (3.7.2025.).

Elevation Data Analysis Obtained LiDAR Aerial Survey

Abstract

The study analyses the elevation component of airborne LiDAR surveying. It explores the potential use of LiDAR data obtained through the submission of an official request form to the State Geodetic Administration (DGU). These data were acquired within the framework of the project Multisensor Aerial Surveying of the Republic of Croatia for Disaster Risk Reduction Assessment. For the purposes of the study, test areas were selected within the territory of the Republic of Croatia, and a comparative analysis was conducted between LiDAR-derived elevation data and elevation data collected using independent methods (terrestrial surveying and VPPS CROPOS). Elevation models were generated and presented for both urban and rural areas, as well as for a section of the Sava River corridor.

Keywords: *data modeling, DGU, LiDAR aerial survey, terrain elevation model.*

Geodetsko-seizmološki pristup u identifikaciji topografske amplifikacije: primjena LiDAR-a i HVSR metode u sjeverozapadnoj Hrvatskoj

Nikola Kranjčić¹, Davor Stanko², Jasmin Jug², Ante Rezo³, Vlado Cetl¹

¹ Sveučilište Sjever, Odjel za geodeziju i geomatiku, Jurja Križanića 1C, 42000 Varaždin Hrvatska, nkranjcic@unin.hr, vcetl@unin.hr

² Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska, dstanko@gfv.unizg.hr, jjug@gfv.unizg.hr

³ Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Mostaru, Matice hrvatske bb, 88000 Mostar, Bosna i Hercegovina, ante.rezo@fgag.sum.ba

Sažetak

U cilju prepoznavanja seizmički osjetljivih topografskih lokaliteta, provedena su integrirana istraživanja koja povezuju 3D topografsko snimanje iz zraka i geofizičku analizu mikroseizmičkog tremora. Korištenjem bespilotne letjelice DJI Matrice 350 RTK opremljene Zenmuse L2 LiDAR senzorom te GNSS uređajem Emlid Reach RS2, snimljeno je više lokaliteta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (Donja Višnjica, Gornje Jesenje, Jakopovec, Kapelšćak, Strmec i dr.). Obrada podataka provedena je u DJI Terra i Emlid Studio softverima, pri čemu su dobiveni detaljni digitalni modeli terena (DTM) visoke točnosti. Usporedno s geodetskim snimanjem provedena su mjerenja mikroseizmičkog nemira HVSR metodom, s ciljem identifikacije rezonantnih frekvencija tla i njihove korelacije s visinskim razlikama i nagibima terena te lokalnom geologijom. Rezultati pokazuju izraženu razliku osnovnih frekvencija između uzvisina i podnožja kod strmijih nagiba ($> 20\%$), što može ukazivati na pojavu topografske amplifikacije, pogotovo u istim geološkim formacijama. Na pojedinim lokalitetima zabilježena su i povijesna oštećenja starijih građevina (npr. sakralni i kulturni objekti) koja su u skladu s dobivenim seizmološkim podacima. Ova multidisciplinarna metodologija integrira geodetske, seizmološke i geomatičke pristupe te doprinosi razvoju digitalnih rješenja za analizu rizika i planiranje otpornijih prostora. Predloženi pristup predstavlja primjer kako geodezija/geomatika može doprinijeti razvoju pametnih rješenja za prostorno upravljanje do 2050. godine.

Ključne riječi: geodetsko-seizmološki pristup, topografska amplifikacija, LiDAR, HVSR metoda.

1. Uvod

Topografska amplifikacija (pojačanje gibanja tla uzrokovano morfologijom) jedan je od ključnih lokalnih učinaka koji mogu znatno utjecati na raspodjelu šteta u potresima, osobito u brdovitim područjima, posebice na strmijim nagibima i promjenama litoloških geoloških jedinica. U sjeverozapadnoj Hrvatskoj takvi su uvjeti prisutni na prijelazima između neogenskih klastita i trijaskih karbonata te uz rubove planinskih masiva (Medvednica, Ivanščica i dr.), što stvara predispozicije za lokalno pojačanje i usmjerenost seizmičkih valova na padinama i grebenima (Buech et al., 2010; Markušić et al., 2025). Nedavne reinterpretacije seizmičkog hazarda za zagrebačko područje naglašavaju važnost razlikovanja učinaka izvorišta, puta širenja i lokalnih uvjeta pri objašnjenju uočenih obrazaca oštećenja te pri određivanju realističnih parametara glavnih povijesnih potresa (npr. 1880. god.) i njihovih naknadnih udara (Markušić et al., 2025).

Za procjenu lokalnih učinaka u praksi se široko koristi HVSR metoda (eng. *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*) na ambijentalnoj buci (Nakamura, 1989; SESAME, 2004), ponajprije za određivanje predominantne frekvencije lokacije i indicaciju debljine sedimentnog pokrova do dubine osnovne stijene. Smjernice SESAME (2004) propisuju način mjerenja, obrade i kriterije pouzdanosti HVSR krivulja: u tipičnim uvjetima niže frekvencije upućuju na dublje strukture i mekše naslage, dok više frekvencije karakteriziraju plitke i kruće podloge. U našem širem području, kombinacija HVSR i geofizičkih mjerenja koristi se za izradu interpoliranih mikrozonacijskih karata kako bi se razlikovali stratigrafski od topografskih učinaka (Stanko et al., 2022). Predominantne (osnovne) HVSR frekvencije i interpolirane ili mjerene vrijednosti V_{s30} (srednja brzina S-valova do 30 m) dodatno pojašnjavaju lateralne promjene - kontraste seizmičkih brzina, koji mogu ukazivati na lokalizirane štete od potresa (Kramer, 1996; Stanko et al., 2022).

Povijesni zapis šteta od potresa 1880. godine u Zagrebu dodatno pokazuje da su sakralni i stariji zidani objekti na topografski istaknutim položajima često trpjeli razmjerno veća oštećenja (Kovač et al., 2025). Novije analize makroseizmičkih podataka za 1880. godinu upućuju da je dio uočenih intenziteta bio kumulativan (glavni potres + jak naknadni udar), pri čemu lokalni učinci — uključivo topografiju — objašnjavaju prostorna odstupanja između modeliranog polja na razini osnovne stijene i empirijski procijenjenih intenziteta za lokalne efekte (Markušić et al., 2025).

Konkretno za Hrvatsko Zagorje i SZ Hrvatsku, preliminarna terenska izvješća povezuju razlike predominantnih frekvencija između vrha i podnožja istih litoloških formacija s mogućom topografskom amplifikacijom. Primjeri uključuju Laz Bistrički (≈ 3.9 Hz na vrhu naspram ≈ 9.2 Hz u podnožju), Gornje Jesenje (≈ 6.5 – 10 Hz) i Strmec (≈ 2.7 – 3.5 Hz), uz dokumentirane strme nagibe (>20 – 30 %) i tragove klizišta (Stanko et al., 2024).

U posljednjem desetljeću brzo sazrijeva i uloga UAV-a i LiDAR-a u seizmičkom inženjerstvu: visokorezolucijski DTM-ovi i RGB ortofoto podloge omogućuju kvantitativnu morfometriju (nagibi, zakrivljenosti, izloženost), detekciju geomorfološki aktivnih zona (npr. reaktiviranih klizišta) te preciznu definiciju mjernih transekata za HVSR i druge geofizičke metode (Jaboyedoff et al., 2012; Turner et al., 2015). Studije provedene na istim lokalitetima pokazuju da kombinacija RTK/PPK GNSS-a, UAV LiDAR-a (Zenmuse L2) i standardizirane obrade (Emlid Studio, DJI Terra) isporučuje centimetarsku točnost geometrije, što je presudno za pouzdano povezivanje morfologije i HVSR rezultata (Kranjčić i Cetl, 2025).

Pregled povijesnih oštećenja sakralnih objekata nakon potresa 2020. i reinterpretacija arhivskih izvora (fotografije, izvješća, crkveni zapisi) potvrđuju ponavljajući obrazac povišene ranjivosti na izdignutim lokalitetima, odnosno u kontaktnoj zoni brdovitog reljefa i dolina (Kovač et al., 2025).

2. Metodologija

Razvoj istraživanja temeljen je na integriranom pristupu koji spaja suvremene geomatičke tehnike 3D kartiranja visoke rezolucije i geofizičke metode pasivne seizmologije, uz analizu povijesnih seizmičkih podataka. Metodologija obuhvaća četiri glavne faze: odabir lokacija i geološki opis, terenska geodetska mjerenja i obrada LiDAR podataka, seizmološka mjerenja HVSR metodom te analiza arhivskih izvora o potresima i štetama. Takav pristup omogućuje višedimenzionalnu procjenu potencijala topografske amplifikacije.

2.1. Odabir lokacija i geološki kontekst

Lokaliteti su odabrani prema sljedećim kriterijima:

- izraženi nagibi terena (>20 %) i morfološki kontrasti (grebeni, izdvojeni brežuljci),

- dostupnost otvorenih prostora ili područja bez vegetacijskog zaklona pogodnih za UAV let,
- povijesni zapisi o oštećenjima tijekom značajnih potresa (1880., 1905./1906., 2020.) i
- geološka raznolikost podloge (neogeni klastiti, trijaski karbonatni stijene, kvartarni sedimenti).

Analizirano je ukupno šest lokaliteta: Donja Višnjica, Gornje Jesenje, Jakopovec, Kapelščak, Laz Bistrički i Strmec. Geološka karta mjerila 1:100 000 i terenski uvid potvrdili su heterogenost litologije, što je preduvjet za razlikovanje topografskih od stratigrafskih efekata.

2.2. Geodetska mjerenja i LiDAR

Geodetska faza provedena je pomoću bespilotne letjelice DJI Matrice 350 RTK opremljene Zenmuse L2 LiDAR senzorom. Sustav integrira 3-osni IMU, višekanalni laserski skener i visoko precizni RTK GNSS prijemnik, što omogućuje prikupljanje do 240 000 točaka/sekundi s dometom od 450 m. GNSS podrška osigurana je pomoću Emlid Reach RS2 prijemnika, koji je radio u RTK/PPK režimu. Bazne stanice postavljene su na geodetski stabiliziranim točkama s poznatim koordinatama u službenom projekcijskom koordinatnom sustavu Republike Hrvatske (HTRS96/TM, visine u HVR571).

Obrada podataka izvedena je u dva koraka:

- GNSS obrada (Emlid Studio) – sinkronizacija letnih zapisa i GNSS mjerenja te PPK korekcije i
- LiDAR obrada (DJI Terra) – filtriranje povratnih signala, klasifikacija točaka (zemlja, vegetacija, objekti), generiranje digitalnog modela terena (DMT) i digitalnog modela površine (DMP).

Rezultat su DMT-i visoke rezolucije (grid 5 cm) i ortofoto mozaici koji omogućuju preciznu morfometrijsku analizu (nagibi, zakrivljenost, ekspozicija).

2.3. Seizmološka mjerenja HVSR metodom

Mjerenja mikrosezmičkog nemira provedena su HVSR metodom na odabranim profilima koji povezuju vrh i podnožje padine unutar iste litološke jedinice, čime se minimizira utjecaj stratigrafskih razlika.

Instrumentacija TROMINO se sastojala od triaksijalnog širokopojasnog seizmometra (0,1–50 Hz) spojenog na digitalni akvizicijski sustav, uz minimalno 30 minuta snimanja na svakoj točki. Podaci su obrađeni prema SESAME (2004) smjernicama:

- uklanjanje šumnih segmenata,
- band-pass filtriranje (0,5–20 Hz),
- izračun omjera spektra horizontalnih i vertikalne komponente i
- identifikacija predominantne frekvencije (f_0) i faktora pojačanja.

Na većini lokaliteta zabilježene su značajne razlike f_0 između vrhova i podnožja, što je preliminarno interpretirano kao učinak topografske amplifikacije.

3. Rezultati

Rezultati ovog istraživanja obuhvaćaju tri glavna segmenta:

1. Morfometrijsku analizu terena dobivenu iz UAV LiDAR podataka,
2. Rezultate HVSR mjerenja na odabranim lokalitetima i
3. Usporedbu s povijesnim zapisima o seizmičkim štetama.

3.1. Morfološke značajke terena

LiDAR snimanje bespilotnom letjelicom DJI Matrice 350 RTK sa Zenmuse L2 senzorom rezultiralo je digitalnim modelima terena (DMT) visoke prostorne rezolucije (5 cm). Analizom nagiba, zakrivljenosti i ekspozicije utvrđeno je:

- Svi analizirani lokaliteti imaju prosječne nagibe >20 %, dok Kapelščak i Gornje Jesenje dosežu i 32 %,

- Grebeni su često usmjereni okomito na očekivani smjer dolaska seizmičkih valova, što prema literaturi može pojačati amplitude (Buech et al., 2010),
- Detektirana su i potencijalna sekundarna geomorfološka obilježja poput starih klizišta i erozijskih kanala, što može dodatno modificirati propagaciju valova i
- DMT-ovi su poslužili za precizno pozicioniranje HVSR mjernih točaka duž „gore-dolje” profila, čime je osigurano da se analiziraju točno definirani morfološki kontrasti.

U nastavku su primjeri rezultata geodetskih mjerenja i LiDAR-a. Slika 1 prikazuje digitalni ortofoto na lokaciji Kapelščak, slika 2 oblak točaka dobiven LiDAR snimanjem, a slika 3 karakteristični profil oko željenog lokaliteta (na slici 1 je linija profila prikazana crvenom bojom).



Slika 1: Digitalni ortofoto lokacije Kapelščak s karakterističnom linijom profila



Slika 2: Oblak točaka lokacije Kapelščak

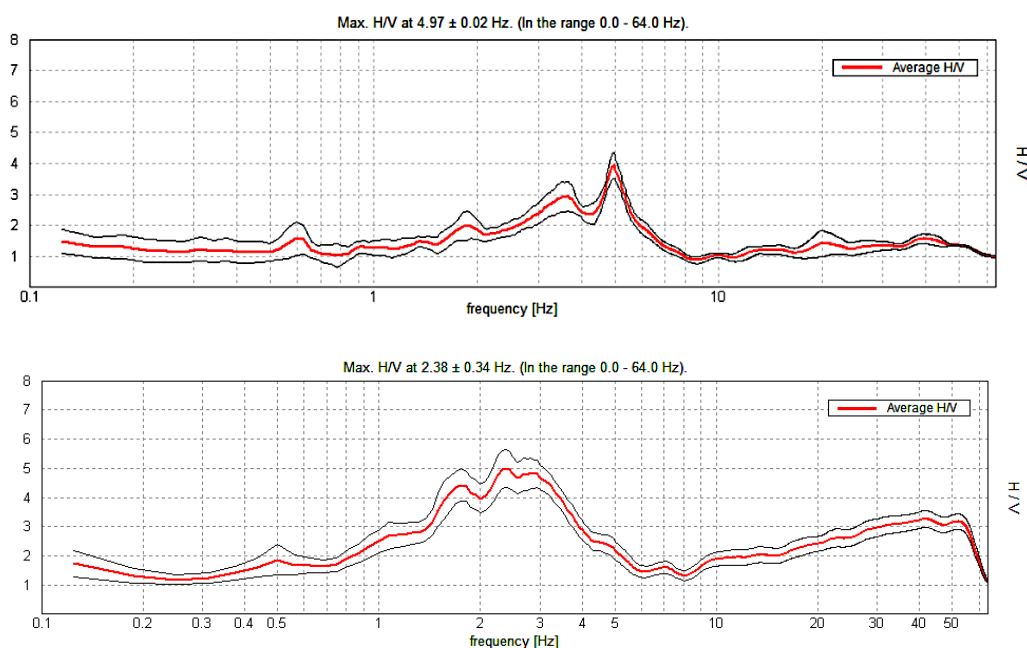


Slika 3: Karakteristični profil na lokaciji Kapelščak

3.3. Rezultati HVSR mjerenja

HVSR mjerenja pokazala su jasne razlike predominantnih frekvencija (f_0) između vrhova i podnožja što potencijalno ukazuje na topografsku amplifikaciju (tablica 1). Primjer rezultata HVSR mjerenja za lokaciju Kapelščak prikazan je na slici 4. Ključni zaključci iz HVSR analize ukazuju da su najveće razlike u osnovnim frekvencijama zabilježene na lokacijama s najstrmijim nagibima i izoliranim grebenima (npr.

Laz Bistrički, Kapelščak), a na području Strmca gdje je nagib blaži i greben širi razlike su manje. To potvrđuje teorijske činjenice da su topografski efekti izrazito lokalno orijentirani, pri čemu točkasta HVSR mjerenja mogu pomoći u interpretaciji i procjeni amplifikacije gibanja tla uzrokovano morfologijom topografije a samim time i većim oštećenjima u slučaju potresa.



Slika 4. HVSR krivulja na lokaciji Kapelščak. a) vrh brda (300 mnv) , b) podnožje brda (220 mnv)

Tablica 1: Rezultati HVRS mjerenja

Lokalitet	f_0 vrh (Hz)	f_0 podnožje (Hz)	Δf_0 (%)	Interpretacija
Laz Bistrički	3,94	9,16	132	Izražen kontrast, moguća rezonancija na vrhu
Gornje Jesenje	6,50	10,00	54	Srednje izražen kontrast, strmi greben
Strmec	2,66	3,50	32	Blagi kontrast, blage morfološke promjene
Kapelščak	4,97	2,38	104	Izrazita promjena, visoka padina
Donja Višnjica	3,06	5,40	76	Ujednačena litologija, razlika pripisana topografiji
Jakopovec	2,13	3,53	65	Umjeren kontrast, utjecaj orijentacije padine

Zaključak

Provedeno istraživanje pokazalo je da integrirani geodetsko-geomatički pristup – koji objedinjuje UAV LiDAR tehnologiju, precizna GNSS mjerenja i seizmološku HVSr metodu – predstavlja izuzetno učinkovit i skalabilan okvir za identifikaciju i kvantifikaciju topografske amplifikacije u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Primjena bespilotnog zrakoplova s LiDAR senzorom visoke rezolucije, u kombinaciji s geodetskom GNSS kontrolom, omogućila je izradu digitalnih modela terena centimetarske točnosti. Takvi modeli pružili su preciznu morfometrijsku osnovu za odabir i pozicioniranje HVSr mjernih profila, čime je osigurano da seizmološki podaci budu direktno povezani s točno definiranim morfološkim značajkama. HVSr mjerenja su, zahvaljujući ovoj geodetski preciznoj podlozi, pouzdano detektirala razlike predominantnih frekvencija između vrhova i podnožja unutar istih litoloških jedinica, potvrđujući prisutnost topografskog učinka. Time je demonstrirano kako spoj prostornih podataka visoke rezolucije i seizmoloških analiza omogućuje ne samo kvalitetniju interpretaciju rezultata, nego i njihovu georeferenciranu integraciju u daljnje prostorne i hazard analize. Korelacija povijesnih zapisa o štetama sa suvremenim geodetsko-seizmološkim nalazima dodatno potvrđuje da ovaj multidisciplinarni okvir može otkriti obrasce rizika koji bi ostali neprepoznati u klasičnim jedno-disciplinarnim pristupima. Ovakva metodologija ima izravnu primjenu u seizmičkoj mikrozonaciji, prostornom planiranju i zaštiti kulturne baštine, te predstavlja model koji se može uspješno preslikati i na druga seizmički aktivna područja s izraženim topografskim značajkama.

Zahvala

Izrada ovog rada podržana je kroz znanstveni projekt UNIN-TEH-25-1-7 Primjena umjetne inteligencije u geomatici, koji se provodi na Odjelu za geodeziju i geomatiku na Sveučilištu Sjever. Ovaj rad je financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom Amplifikacija seizmičkoga gibanja tla uzrokovana topografskim efektima u Sjevernoj Hrvatskoj [HR-ZZ-IP-2022-10-1296].

Literatura:

- Buech, F., Davies, T. R., Pettinga, J. R. (2010): The influence of topography on strong ground motion at ridges, *Engineering Geology*, 114(3–4), 110–123.
- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abellán, A., Derron, M. H., Loye, A., Metzger, R., Pedrazzini, A. (2012): Use of LIDAR in landslide investigations: a review, *Natural Hazards*, 61, 5–28.
- Kovač, S., Markušić, S., Stanko, D. (2025): Review of historical data on earthquake damage to sacral buildings in northwestern Croatia, *EGU General Assembly 2025*, Vienna, Austria.
- Kranjčić, N., Cetl, V. (2025): Geodetsko-seizmološki pristup u identifikaciji topografske amplifikacije: primjena LiDAR-a i HVSr metode u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, *Projektna studija, Sveučilište Sjever, Varaždin*.
- Kramer, S. L. (1996): *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Markušić, S., Herak, M., Herak, D., Ivančić, I. (2025): Reanalysis of historical earthquakes to improve seismic hazard assessment: Case study of the 1880 Zagreb earthquake, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 69, 22–40.
- Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quarterly Report of RTRI*, 30(1), 25–33.
- SESAME (2004): Guidelines for the implementation of the H/V Spectral Ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation, European Commission Project No. EVG1-CT-2000-00026.
- Turner, D., Lucieer, A., Watson, C. (2015): An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution UAV imagery, based on structure from motion point clouds, *Remote Sensing*, 7(4), 463–489.
- Stanko, D., Sović, I., Belić, N. & Markušić, S. (2022): Analysis of Local Site Effects in the Medjimurje Region (North Croatia) and Its Consequences Related to Historical and Recent Earthquakes. *Remote sensing*, 14, 4831, 23 doi:10.3390/rs14194831.
- Stanko, D; Sović, I; Markušić, S. (2024): Macroseismic data to characterize localized topographical damage patterns in Northern Croatia after 2020 Zagreb and Petrinja earthquakes // 4th European Regional Conference of IAEG Dubrovnik, Hrvatska, 08.10.2024-12.10.2024

Geodetic-Seismological Approach to Identifying Topographic Amplification: Application of LiDAR and the HVSR Method in Northwestern Croatia

Abstract

In order to identify seismically sensitive topographic sites, integrated research combining aerial 3D topographic surveying and geophysical analysis of microtremors was carried out. Using a DJI Matrice 350 RTK unmanned aerial vehicle equipped with a Zenmuse L2 LiDAR sensor and an Emlid Reach RS2 GNSS receiver, several sites in northwestern Croatia (Donja Višnjica, Gornje Jesenje, Jakopovec, Kapelščak, Strmec, etc.) were surveyed. Data processing was performed in DJI Terra and Emlid Studio software, resulting in highly accurate digital terrain models (DTM). In parallel with geodetic surveying, microtremor measurements were conducted using the HVSR method in order to identify the resonant frequencies of the ground and their correlation with elevation differences, slope gradients, and local geology. The results reveal significant differences in fundamental frequencies between hilltops and foothills on steeper slopes ($>20\%$), which may indicate the presence of topographic amplification, especially within the same geological formations. At certain sites, historical damage to older structures (e.g., sacral and cultural buildings) was also documented, consistent with the obtained seismological data. This multidisciplinary methodology integrates geodetic, seismological, and geomatics approaches, contributing to the development of digital tools for risk analysis and the planning of more resilient spaces. The proposed approach demonstrates how geodesy/geomatics can contribute to smart spatial management solutions by 2050.

Keywords: geodetic-seismological approach, topographic amplification, LiDAR, HVSR method

Utjecaj atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina elektrooptičkim daljinomjerom

Karlo Stipetić¹, Mladen Zrinjski¹, Krunoslav Špoljar¹, Antonio Tupek¹, Filip Cvrlija¹

¹Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska, karlo.stipetic@geof.unizg.hr, mladen.zrinjski@geof.unizg.hr, krunoslav.spoljar@geof.unizg.hr, antonio.tupek@geof.unizg.hr, filip.cvrlija@geof.unizg.hr

Sažetak

U ovom radu prikazana je analiza utjecaja atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina elektrooptičkim daljinomjerom. Precizno mjerene duljine potrebno je korigirati za utjecaj temperature, tlaka i relativne vlažnosti zraka. U svrhu provođenja ovog istraživanja izmjerene su duljine 100 m i 1000 m na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u različita doba dana i pri različitim atmosferskim uvjetima. Rezultati su detaljno analizirani i prikazani u numeričkom i grafičkom obliku.

Ključne riječi: *atmosferski parametri, elektrooptički daljinomjer, kalibracijska baza, precizno mjerenje duljina, prva brzinska korekcija duljine.*

1. Uvod

Sustavni utjecaji na mjerenja u geodeziji obuhvaćaju utjecaje okoline, mjernog instrumenta, mjernog postupka te atmosferskih uvjeta (Benčić i Solarić, 2008). Sustavne utjecaje na mjerenja možemo smanjiti ili u potpunosti eliminirati primjenom matematičkih postupaka. Na mjerenja duljina elektrooptičkim daljinomjerom najveći sustavni utjecaj imaju atmosferski parametri u trenutku mjerenja – temperatura zraka, tlak zraka i relativna vlažnost zraka (Benčić i dr., 1989, Rüeger, 1996). Elektrooptičko mjerenje duljina dio je geodetske svakodnevnice, stoga su brojna istraživanja provedena na ovu temu. Primjerice, skupina znanstvenika iz Rumunjske i Velike Britanije (Muriu i dr., 2017) provela je analizu utjecaja atmosferskih parametara pri mjerenju duljina elektrooptičkim daljinomjerom. Nastavno na prethodna istraživanja, odlučeno je obaviti vlastito istraživanje na tematiku preciznog mjerenja duljina te utvrditi koliko pojedini atmosferski parametar utječe na točnost mjerenja duljine elektrooptičkim daljinomjerom. Precizna geodetska mjerenja duljina obavljena su na stupovima kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Zrinjski i dr., 2022b) u 10 epoha tijekom jednog dana, na duljinama 100 m i 1000 m. Duljine su mjerene preciznim elektrooptičkim daljinomjerom Leica TC2003 u kombinaciji s preciznim prizmama Leica GPH 1P. Uz mjerenja duljina mjerene su i vrijednosti atmosferskih parametara pomoću uređaja Lufft XA1000, uz primjenu posebne temperaturne i higrometarske mjerne sonde Lufft 8130.TFF. U radu su izračunati i detaljno analizirani utjecaji atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina.

2. Metodologija

Istraživanje utjecaja atmosferskih parametara pri mjerenju duljina elektrooptičkim daljinomjerom uključivalo je terenska mjerenja na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te obradu i analizu podataka. Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu izgrađena je za potrebe ispitivanja i umjeravanja elektrooptičkih daljinomjera, ispitivanja točnosti novih tipova daljinomjera i postizanja jednoga zajedničkog mjerila pri mjerenju duljina do 6000 m na području Hrvatske (Solarić i dr., 1992, 2012).

2.1. Precizno mjerenje duljina elektrooptičkim daljinomjerom

Za duljine precizno mjerene elektrooptičkim daljinomjerom na kalibracijskoj bazi potrebno je uzeti u obzir sljedeće korekcije i redukcije (Zrinjski, 2010):

- adicijsku korekciju i korekciju zbog odstupanja mjerne frekvencije,
- atmosferske korekcije,
- redukciju na duljinu luka na srednjoj elipsoidnoj visini baze,
- redukciju duljine u horizontalnom smjeru na luk na srednjoj elipsoidnoj visini.

U ovome istraživanju primarno je provedena analiza utjecaja atmosferskih parametara pri preciznom elektrooptičkom mjerenju duljina, odnosno utjecaj atmosferskih korekcija pri preciznom mjerenju duljina. U atmosferske korekcije ubrajamo prvu brzinsku

korekciju duljine, drugu brzinsku korekciju duljine te korekciju zbog zakrivljenosti refrakcijske krivulje (Zrinjski i dr., 2019). U svrhu istraživanja izračunate su sve navedene korekcije iz mjerenih duljina, no samo

je prva brzinska korekcija značajnog iznosa te je jedino ona uzeta u obzir pri određivanju utjecaja atmosferskih parametara na mjerenje duljina.

2.1.1. Prva brzinska korekcija duljine

Prva brzinska korekcija odnosi se na korigiranje svake mjerenje duljine za utjecaj atmosferskih parametara – temperature zraka, tlaka zraka i relativne vlažnosti zraka u odnosu na model kojega izdaje proizvođač mjerne instrumenta. Prva brzinska korekcija za precizni elektrooptički daljinomjer Leica TC2003, primijenjen u ovom istraživanju (URL 1), računa se prema izrazu (Leica, 2000):

$$\Delta D_1 = \left\{ 283,04 - \left[\frac{0,29195 \cdot p}{(1 + \alpha \cdot t)} - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1 + \alpha \cdot t)} \cdot 10^{\chi} \right] \right\} \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

gdje su:

ΔD_1 – prva brzinska korekcija duljine [ppm],

p – tlak zraka [hPa],

$$\alpha = \frac{1}{273,16},$$

t – temperatura zraka [°C],

h – relativna vlažnost zraka [%],

$$\chi = \frac{7,25 \cdot t}{237,3 + t} + 0,7857.$$

U nastavku rada prikazan je i analiziran udio svakog od atmosferskih parametara u ukupnom iznosu prve brzinske korekcije duljine.

2.2. Instrumentarij primijenjen za mjerenje duljina

U svrhu preciznoga geodetskog mjerenja duljina, primijenjen je precizni elektrooptički daljinomjer Leica TC2003 (URL 1, slika 1 lijevo). Osnovne tehničke karakteristike elektrooptičkog daljinomjera Leica TC2003 prikazane su u tablici 1.

Za potrebe preciznog mjerenja duljina, neophodno je što preciznije izmjeriti i atmosferske parametre: temperaturu zraka, tlak zraka i relativnu vlažnost zraka te mjerenja korigirati za njihov utjecaj. Prema Solarić i dr. (2012), pogreška u mjerenju temperature od 1 °C uzrokuje pogrešku u mjerenoj duljini 1 mm na 1000 m. Iz ovoga proizlazi da ukoliko želimo duljine mjeriti s razinom točnosti 0,1 mm, potrebno je mjeriti temperaturu zraka s točnošću 0,1 °C. Zbog toga, uz uređaj za mjerenje atmosferskih parametara Lufft XA1000 primijenjena je precizna temperaturna i higrometerska sonda Lufft 8130.TFF (URL 2, slika 1 lijevo). Duljine su mjerene primjenom preciznih prizmi Leica GPH 1P (URL 3, slika 1 desno).

Tablica 1: Osnovne tehničke karakteristike preciznog elektrooptičkog daljinomjera Leica TC2003 (serijski broj: 439183) (prema Zrinjski, 2010)

Tehnička karakteristika	Iznos
Standardno odstupanje mjerenja duljina (do 300 m)	0,3 mm + 1 ppm
Standardno odstupanje mjerenja duljina (veće od 300 m)	1 mm + 1 ppm



Slika 1: Precizni elektrooptički daljinomjer Leica TC2003, uređaj za mjerenje atmosferskih parametara Lufft XA1000 s temperaturnom sondom Lufft 8130.TFF i precizna prizma Leica GPH 1P

2.3. Terenska mjerenja

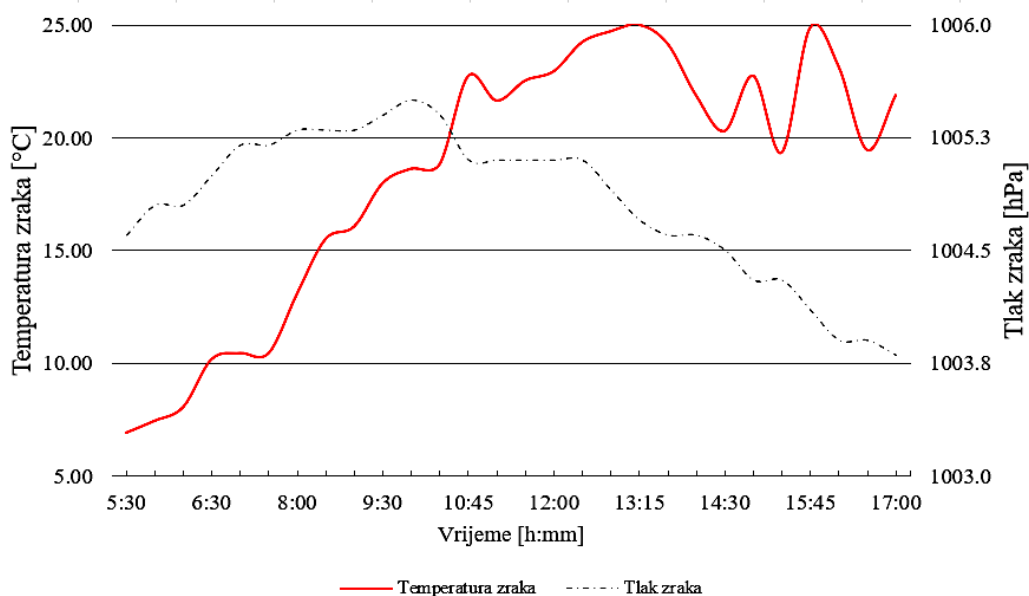
Terenska mjerenja obavljena su 13. svibnja 2025. godine. Duljine su mjerene elektrooptičkim daljinomjerom na stupovima kalibracijske baze udaljenim 100 m i 1000 m od početnog stupa na kojem se nalazio precizni elektrooptički daljinomjer. Duljine su mjerene u deset epoha, približno jednako vremenski raspoređenim tijekom dana. Prva epoha mjerenja duljina započela je u 5:30 sati, a posljednja epoha mjerenja započela je u 17:00 sati po lokalnom vremenu. Svaka duljina unutar jedne epohe mjerena je u šest ponavljanja.

2.4. Atmosferski uvjeti za vrijeme terenskih mjerenja

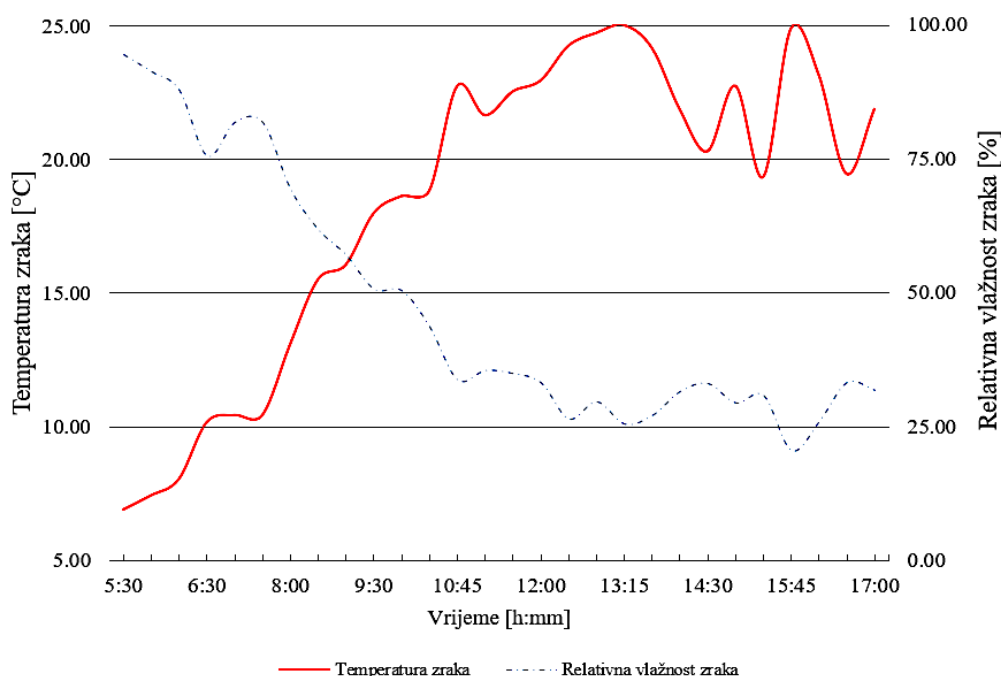
Za određivanje utjecaja atmosferskih parametara pri mjerenju duljina elektrooptičkim daljinomjerom po-

trebno je kvalitetno isplanirati radni dan. Tijekom terenskih mjerenja vremenski uvjeti trebaju biti povoljni, no poželjno je da su temperaturne razlike osjetne tijekom dana, odnosno da izračunati iznosi korekcija variraju što je više moguće. Isto vrijedi za tlak zraka i relativnu vlažnost zraka. Odnos temperature zraka i tlaka zraka tijekom mjerenja prikazan je na slici 2.

Sa slike 2 vidljivo je da su temperatura zraka i tlak zraka varirali tijekom dana obavljanja mjerenja. U 5:30 sati izmjerena je temperatura oko 6 °C, dok je tlak zraka bio oko 1004,6 hPa. U 17:00 sati izmjerena je temperatura zraka oko 22 °C, dok je tlak zraka iznosio oko 1003,8 hPa. Na slici 3 prikazan je odnos temperature zraka i relativne vlažnosti zraka. Relativna vlažnost zraka također je varirala tijekom dana mjerenja: u 5:30 sati iznosila je 95%, dok je pri kraju obavljanja mjerenja u 17:00 sati iznosila 32%.



Slika 2: Odnos temperature zraka i tlaka zraka tijekom mjerenja duljina



Slika 3: Odnos temperature zraka i relativne vlažnosti zraka tijekom mjerenja duljina

Vizualizacije atmosferskih parametara (slike 2 i 3) potvrđuju da je 13. svibnja 2025. bio povoljan dan za precizno geodetsko mjerenje duljina u svrhu određivanja utjecaja atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina, jer je evidentno variranje u vrijednostima atmosferskih parametara tijekom mjerenja duljina na kalibracijskoj bazi.

3. Analiza utjecaja atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina

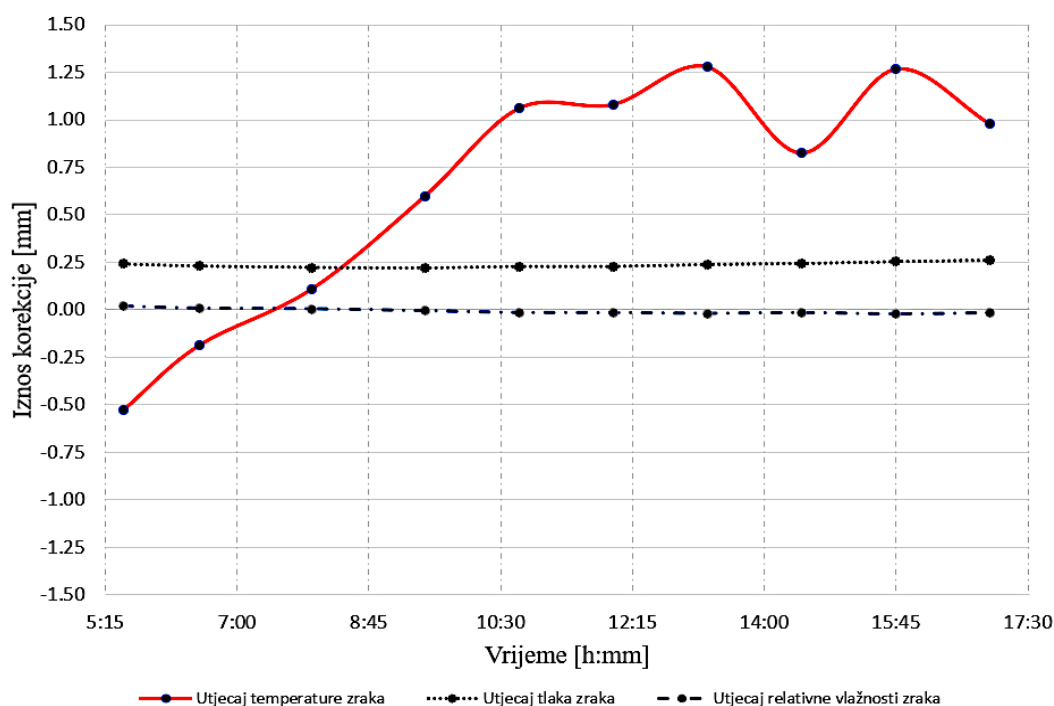
U svrhu ovog istraživanja izmjerene su duljine 100 m i 1000 m da bi se mogao usporediti ukupni iznos ko-

rekcije kojim je potrebno korigirati mjerenje duljine. U tablici 2 prikazane su mjerene duljine, korigirane duljine te iznosi korekcije po epohama mjerenja, za duljinu 100 m. Vidljivo je da su ukupne korekcije zbog utjecaja atmosferskih parametara varirale od $-0,26$ mm do $1,50$ mm, ovisno o dobu dana i atmosferskim parametrima.

Na slici 4 prikazan je utjecaj temperature zraka, tlaka zraka i relativne vlažnosti zraka u ukupnom iznosu prve brzinske korekcije za duljinu 100 m. Sa slike 4 zaključuje se da temperatura ima najveći utjecaj na iznos korekcije, čak i do $1,27$ mm, dok tlak zraka manje utječe na iznos korekcije, maksimalno do $0,26$ mm. Utjecaj relativne vlažnosti zraka gotovo je zanemariv na duljini 100 m, odnosno iznosa je manjeg od $-0,02$ mm.

Tablica 2: Iznosi korekcija za duljinu 100 m

Epoha [h:mm]	Mjerena duljina [m]	Korigirana duljina [m]	Iznos korekcije [mm]
5:30	99,9903	99,9900	$-0,26$
6:30	99,9902	99,9903	$0,05$
8:00	99,9896	99,9899	$0,34$
9:30	99,9894	99,9902	$0,81$
10:45	99,9891	99,9904	$1,27$
12:00	99,9893	99,9906	$1,29$
13:15	99,9890	99,9905	$1,50$
14:30	99,9891	99,9902	$1,06$
15:45	99,9890	99,9905	$1,50$
17:00	99,9889	99,9901	$1,23$



Slika 4: Utjecaj pojedinog atmosferskog parametra na ukupni iznos prve brzinske korekcije za duljinu 100 m

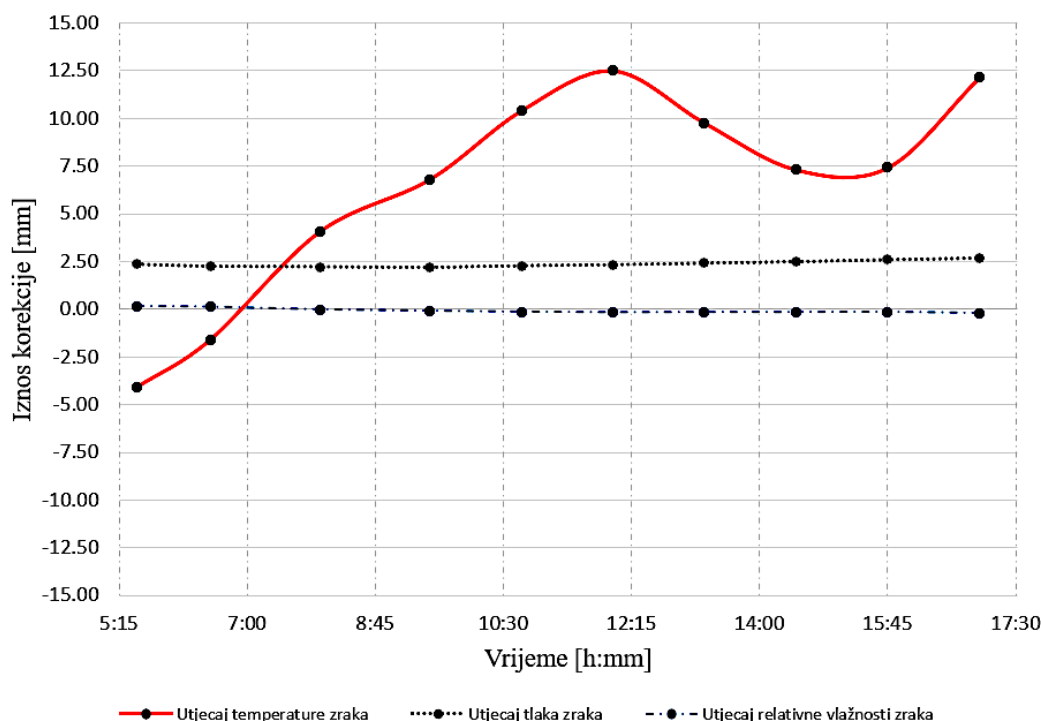
U tablici 3 prikazane su mjerene duljine, korigirane duljine te iznosi korekcija po epohama mjerenja, za duljinu 1000 m. Ukupne korekcije duljine zbog utjecaja atmosferskih parametara variraju od iznosa -1,54 mm do 14,68 mm.

Na slici 5 grafički je prikazan utjecaj temperature zraka, tlaka zraka i relativne vlažnosti zraka u ukupnom iznosu prve brzinske korekcije za duljinu 1000 m. Zaključuje se kako promjena temperature zraka najviše utječe na iznos korekcije mjerenja, iznosom i do 12,50 mm. Tlak zraka manje pridonosi ukupnom iznosu korekcije, oko 2,70 mm. Relativna vlažnost zraka najmanje utječe na ukupni iznos korekcije, iznosom oko

-0,21 mm. Za razliku od prethodnog slučaja (za duljinu 100 m), ovdje se iznosi korekcija temperature zraka, tlaka zraka i relativne vlažnosti zraka nikako ne mogu zanemariti. Prema slici 5, jasno je da udio korekcije zbog promjene temperature zraka od nominalne vrijednosti (12 °C za Leica TC2003) prelazi centimetarsku vrijednost, dok je udio korekcije zbog promjene tlaka zraka od nominalne vrijednosti (1013,25 hPa) u milimetarskim iznosima. Odstupanje relativne vlažnosti zraka od nominalne vrijednosti (60%), utječe na ukupni iznos korekcije submilimetarskim vrijednostima, no i dalje vrijednostima koje se nikako ne smiju zanemariti pri preciznom mjerenju duljina.

Tablica 3: Iznosi korekcija za duljinu 1000 m

Epoha [h:mm]	Mjerena duljina [m]	Korigirana duljina [m]	Iznos korekcije [mm]
5:30	1000,0016	1000,0001	-1,54
6:30	1000,0000	1000,0007	0,79
8:00	999,9974	1000,0037	6,30
9:30	999,9967	1000,0056	8,92
10:45	999,9929	1000,0055	12,56
12:00	999,9920	1000,0066	14,68
13:15	999,9916	1000,0037	12,04
14:30	999,9913	1000,0010	9,67
15:45	999,9910	1000,0009	9,90
17:00	999,9905	1000,0051	14,63



Slika 5: Utjecaj pojedinog atmosferskog parametra na ukupni iznos prve brzinske korekcije za duljinu 1000 m

Prilikom širenja elektromagnetski se val kreće kroz medij s promjenjivom temperaturom. Konstantni indeks loma postoji samo u izotropnom optičkom sredstvu, a atmosfera nije izotropno optičko sredstvo, već složeni medij s mjestimično vremenski varijabilnom gustoćom. Zbog toga, mjerenja je potrebno korigirati za utjecaj atmosferskih parametara (Benčić i dr., 1989). U idealnom slučaju, atmosferske parametre trebalo bi mjeriti na svakom dijelu mjerene duljine, što naravno nije moguće zbog praktičnosti. Primjer dobrog rješenja je kalibracijska baza PTB u Njemačkoj duž koje je postavljeno 60 senzora za mjerenje temperature zraka, dva senzora za mjerenje tlaka zraka te šest senzora za mjerenje relativne vlažnosti zraka (Zrinjski i dr., 2022a). Ukoliko nije moguće toliko detaljno planirati određivanje atmosferskih parametara, poželjno je mjeriti atmosferske parametre barem pored daljinomjera ili za još preciznija mjerenja na početku, sredini i kraju mjerene duljine (Carvajal Rodriguez i dr., 2021). Naravno, potrebno je odabrati mjerni senzor koji ima zadovoljavajuću točnost i po mogućnosti automatizirati postupak mjerenja atmosferskih parametara.

4. Zaključak

Ovim istraživanjem ispitan je utjecaj promjene temperature zraka, tlaka zraka i relativne vlažnosti zraka od nominalnih vrijednosti (12 °C, 1013,25 hPa, 60%) pri preciznom mjerenju duljina 100 m i 1000 m. Prva brzinska korekcija jedina ima mjerljiv utjecaj na iznos precizno mjerenih duljina, dok ostale korekcije i redukcije neće biti značajnog iznosa pri mjerenju duljina elektrooptičkim daljinomjerom.

Maksimalna temperatura zraka u danu mjerenja iznosila je 25 °C, što je 13 °C više u odnosu na nominalnu vrijednost temperature. Promjena temperature zraka ima najveći utjecaj na mjerenje duljina elektrooptičkim daljinomjerom, odnosno korekcija uzrokovana promjenom temperature od nominalne vrijednosti za duljinu 100 m iznosi 1,27 mm, dok za duljinu 1000 m iznosi 12,50 mm. Najveća promjena iznosa tlaka zraka od nominalne vrijednosti iznosi 9,55 hPa te je iznos korekcije 0,26 mm za duljinu 100 m, a 2,70 mm za duljinu 1000 m. Najizraženija promjena relativne vlažnosti zraka u odnosu na nominalnu vrijednost iznosi 35% što je utjecaj -0,02 mm za 100 m te -0,21 mm za 1000 m.

Za precizne geodetske radove koji zahtijevaju visoku razinu točnosti mjerenja, utjecaji atmosferskih parametara pri mjerenju duljina nikako se ne smiju zanemariti, odnosno mjerene duljine potrebno je korigirati prema matematičkom modelu kojega izdaje proizvođač geodetske mjerne opreme.

Literatura

- Benčić, D., Solarić, N. (2008): Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici, Školska knjiga, Zagreb.
- Benčić, D., Solarić, N., Lasić, Z. (1989): Problemi mjerenja duljina visokom točnosti elektrooptičkim daljinomjerima, *Geodetski list*, 43 (66), 4–6, 135–146.
- Carvajal Rodriguez, F. A., Koenig Veiga, L. A., Alcântara Soares, W. (2021): Temperature Acquisition System for Real Time Application of First Velocity Correction by EDM (Electronic Distance

Measurement), Geopanning: Journal of Geomatics and Planning, 8, 61–74.

Leica (2000): TPS – System 1000, User Manual, Leica Geosystems AG, Heerbrugg.

Murariu, G., Hahuie, V., Georgescu, L., Arseni, M., Iticescu, C., Murariu, A. G., Buhociu, F., Nistor, N. (2017): Study on the influence of atmospheric parameters on the accuracy of the geodetic measurements, Vol. 1796, Issue 1.

Rüeger, J. M. (1996): Electronic Distance Measurement, Fourth edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, University of New South Wales, Sydney NSW 2052, Australia.

Solarić, N., Solarić, M., Benčić, D. (1992): Projekt i izgradnja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Geodetski list, 46 (69), 1, 7–25.

Solarić, N., Barković, Đ., Zrinjski, M. (2012): Automatizacija mjerenja atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina, Geodetski list, 66 (89), 3, 165–186.

Zrinjski, M. (2010): Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Zrinjski, M., Barković, Đ., Baričević, S. (2019): Precise Determination of Calibration Baseline Distances, Journal of Surveying Engineering, 145 (4), 05019005, 1–9.

Zrinjski, M., Barković, Đ., Špoljar, K. (2022a): Pregled metoda preciznog umjeravanja kalibracijskih baza, Geodetski list, 76 (99), 1, 25–52.

Zrinjski, M., Špoljar, K., Barković, Đ., Baričević, S., Tupek, A. (2022b): 40 godina kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zbornik radova – 15. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb, 97–102.

URL 1: Leica TC2003, https://www.geotech.sk/downloads/Totalne-stance/TPS2000_brochure_en.pdf, (16. 6. 2025.).

URL 2: Lufft, Products, Lufft 8130.TFF, <https://www.lufft.com/products/discontinued-products-315/temperature-humidity-sensor-for-reference-measurements-1881/productAction/outputAsPdf/>, (17. 6. 2025.).

URL 3: Leica GPH 1P, https://shop.leica-geosystems.com/survey/accessory/geosystems/leica-gph1p-single-prism-precision-reflector/buy?srsId=Afm-BOoqV99w3W0sJz_9YK0fo1JqxZohWGhKIW-HOKHJa2Wje3pBMQAK-M, (30. 6. 2025.).

The Impact of Atmospheric Parameters on Precise Distance Measurement Using an Electro-Optical Distance Meter

Abstract.

This paper presents an analysis of the impact of atmospheric parameters on precise distance measurements using an electro-optical distance meter. Precisely measured distances need to be corrected for the effects of air temperature, air pressure, and relative humidity. For this research, distances of 100 m and 1000 m were measured at the calibration baseline of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, at different times of the day and under varying atmospheric conditions. The results were thoroughly analyzed and presented in both numerical and graphical form.

Keywords: *atmospheric parameters, calibration baseline, electro-optical distance meter, first velocity correction, precise distance measurement*

Sesija 3

Tehnološka budućnost

Voditelj: Hrvoje Tomić

Zamjenik voditelja: Marko Pavasović

Automatsko prepoznavanje promjena u skupovima podataka o 2D prikazima zgrada korištenjem podataka zračnog laserskog skeniranja

Hrvoje Matijević¹, Maja Šalinović², Bojan Đurin³, Ante Rezo⁴, Sara Mihaljević⁴, Vlado Cetl¹

¹ Sveučilište Sjever, Odjel za geodeziju i geomatiku, hmatijevic@unin.hr, vcetl@unin.hr

² Grad Makarska, maja.salinovic@makarska.hr

³ Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo, bdjurin@unin.hr

⁴ Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, ante.rezo@fgag.sum.ba, sara.mihaljevic@fgag.sum.ba

Sažetak

U radu je predstavljena metodologija za automatsku procjenu potpunosti podataka o 2D prikazu zgrada korištenjem podataka LIDAR zračnog snimanja. Metoda se temelji na usporedbi ciljnog skupa poligona zgrada i kontrolnog skupa poligona izgrađenih područja, uz identifikaciju viškova i propusta primjenom analize geometrijskih presjeka. Za prepoznavanje potencijalnih promjena u područjima koja su djelomično pokrivena zgradama razvijen je algoritam temeljen na generiranju i obradi poligonu upisanih krugova, čime se detektiraju kompaktna područja mogućih propusta u skupu podataka. Metodologija je ispitana na podacima Temeljne topografske baze za područje Grada Makarske te korištenjem LIDAR podataka prikupljenih u sklopu nacionalnog projekta multisenzorskog zračnog snimanja.

Ključne riječi: 2D prikaz zgrada, LIDAR, ažurnost podataka, najveća kružnica upisana u poligon.

1. Uvod

U današnje digitalno vrijeme u kojem se svi segmenti društva oslanjaju na podatke o prostoru, posebno je važno da ti podaci budu ažurni. Dobro poznavanje stanja ažurnosti podataka omogućiti će nadležnoj organizaciji pravilno planiranje kampanja njihovog održavanja.

Suvremene metode masovnog prikupljanja podataka metodama daljinskog istraživanja (foto senzori, LIDAR itd.) omogućavaju prikupljanje izuzetno velikih količina sirovih podataka u razmjerno kratkom vremenu. Korištenjem tako prikupljenih podataka mogu se ažurirati drugi skupovi podataka. No, korištenjem tako prikupljenih podataka moguće je, s ciljem ostvarivanja uvida u stanje njihove ažurnosti odnosno cjelovitosti, i prepoznavati promjene nastale u drugim skupovima podataka. Potpunost skupa podataka se sukladno normi HRN EN ISO 19157 (HZN, 2023) kvantificira putem suvišnosti (element skupa koji ne predstavlja entitet koji postoji u stvarnom svijetu) i ispuštenosti (entitet iz stvarnog svijeta za kojeg nema prikaza u skupu).

U radu je opisana metoda kojom je moguće prepoznavati elemente suvišnosti i ispuštenosti u podacima 2D prikaza zgrada korištenjem klasificiranih podataka LIDAR zračnog snimanja. S obzirom na činjenicu da se ne radi o istim skupovima (LIDAR podaci nisu prikazi zgrada nego izgrađenih područja),

treba očekivati neke ustupke u razini detaljnosti informacija koju se mogu dobiti.

U prvom dijelu rada je na teoretskoj razini opisana primijenjena metodologija dok drugi dio rada opisuje njezinu konkretnu primjenu na podacima jedne jedinice lokalne samouprave.

2. Metodologija

2.1. Pronalaženje viškova i propusta

Suvišnost i ispuštenost u skupu podataka je moguće pronalaziti metodom analize geometrijskih presjeka njihovih preklapajućih područja. U nastavku, kada koristimo pojam „preklapanje“ to se odnosi na topološki prostorni odnos „overlaps“ kako je definirano u (OGC, 2011).

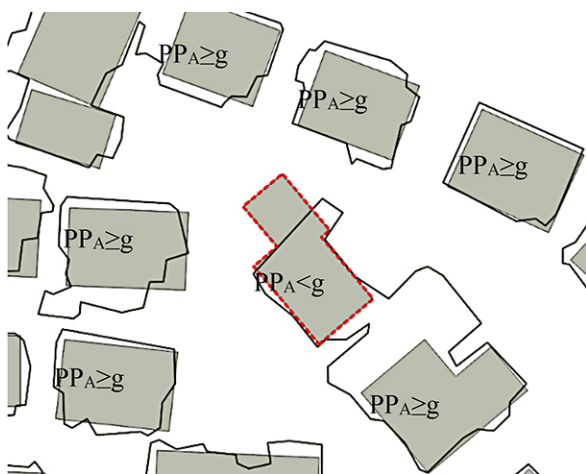
Neka postoji skup ciljnih poligona A , skup kontrolnih poligona B i skup njihovih geometrijskih presjeka C . Svaki $c \in C$ je definiran kao područje na kojem se točno jedan $a \in A$ i točno jedan $b \in B$ preklapaju. Elementi C su materijalizirani kao geometrijski presjeci elemenata iz A i B . Sada za pojedini $a \in A$ definiramo funkciju postotka preklopa (PP). Postotak preklopa elementa skupa A (PP_A) je definiran kao omjer površi-

ne (Pov) geometrijske unije svih $c \in C$ koji su prostorno sadržani u promatranom $a \in A$. Ukupna površina $a \in A$ je definirana kao $Pov(a)$. Formula za $PP_A(a)$ je:

$$PP_A(a) = \frac{Pov(U\{c \in C \mid c \subseteq a\})}{Pov(a)}$$

Korištenjem funkcije PP_A jednostavno prepoznamo one $a \in A$ koji su sigurno suvišni jer $a \in A$ je sigurno višak ako je $PP_A(a)=0$. U nastavku opisujemo kako se korištenjem istog izraza pronalaze vjerojatni viškovi.

Promatramo jedan ciljni poligon koji se djelomično preklapa s jednim kontrolnim poligonom. Ako je postotak preklopa manji od tražene granične vrijednosti g smatra se da se radio o višku. Obrnuto, ako je postotak preklopa veći ili jednak g , smatra se da je do razlike došlo zbog nepreciznosti podataka ili zbog generalizacije jednog ili oba poligona. Ovi viškovi su „vjerojatni” te ih je potrebno dodatno provjeriti. Primjer prepoznavanja vjerojatnog viška s vrijednosti $g=0,8$ je prikazan na slici 1.



Slika 1: Jedan prepoznati višak (poligoni sa sivom ispunom su ciljni, a poligoni bez ispune su kontrolni)

Za pronalaženje ispuštenosti ili propusta se koristi jednostavnija formula jer nije potrebno promatrati postotak već samo da li preklap postoji ili ne. Formula za $PP_B(b)$ je:

$$PP_B(b) = Pov(U\{c \in C \mid c \subseteq b\})$$

Element $b \in B$ je sigurno propust ako je $PP_B(b)=0$. Pojam propust se ovdje koristi uvjetno. Svaki element

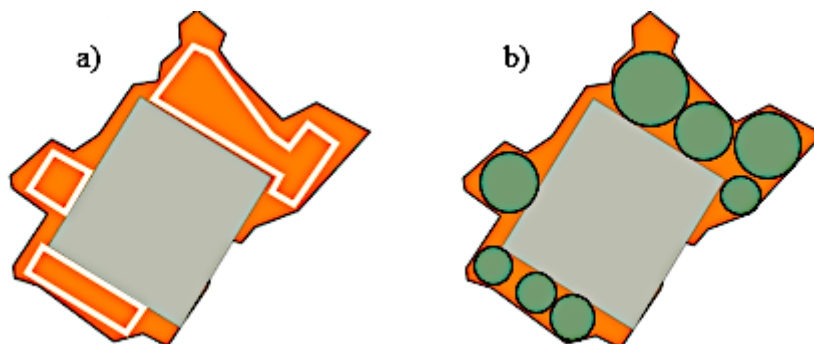
ovako prepoznati element kontrolnog skupa ne predstavlja nužno jedan propust već ih može sadržavati i više jer kontrolni poligoni prikazuju izgrađena područja, a ne zgrade.

2.2. Rad s preostalim izgrađenim područjima

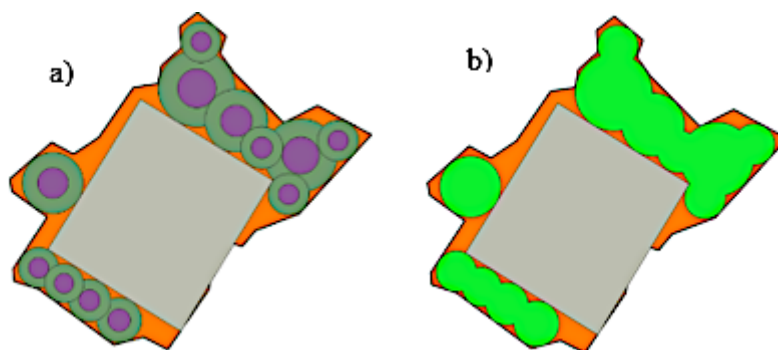
Preostala izgrađena područja su ona područja u kojima postoje poligoni ciljnog skupa (dakle, nisu propusti), ali postoji i značajan dio područja koji nije prekriven poligonima ciljnog skupa. Zbog toga se pretpostavlja da se u tom dijelu dogodila promjena odnosno da su prisutni propusti. Sada jednostavnim računanjem preostale nepokrivene površine se može kvantificirati potencijalne propuste. No zbog različite domene podataka (zgrade i izgrađena područja) samo će dio te preostale površine biti relevantan. Iz te ukupne površine želimo izdvojiti dijelove za koje se može pretpostaviti da predstavljaju pojedine zgrade.

Pitanje je kako prepoznati kompaktna područja u kojima se može očekivati pojavljivanje pravilnog poligona određene veličine, odnosno odvojiti takva područja od ostalih za koje se pretpostavlja da ne prikazuju pojedinačne nove zgrade. Pretpostavimo da postoji proizvoljni poligon izgrađenog područja (narančasto na slici 2 a) koji je djelomično pokriven zgradama (sivo na slici 2). Manualno se lako prepoznaju potencijalne građevine u nepokrivenom području (bijeli poligoni na slici 2 a). Kako bi automatski prepoznali takva područja, primijenili smo tehniku sličnu onoj razvijenoj za ugnježđivanje nepravilnih oblika u radu (Jones, 2014). Ideja je slijedno pronalaziti unutar promatranog području najveći mogući upisani krug te uklanjati područje koje je zauzeo taj krug sve dok više nije moguće pronaći krug nekog zadanog najmanjeg polumjera (Slika 2 b). Kada su svi mogući krugovi generirani, dobije se konačni poligon kao geometrijska unija onih pronađenih krugova koji se, uvećani za neki izabrani iznos, preklapaju. Takva unija će prelaziti preko zadanih granica (granica kontrolnog poligona i poligona postojećih zgrada) pa je na kraju potrebno konačni rezultat opet smanjiti za isti iznos. Taj poligon može predstavljati područje u kojem se nalazi zgrada.

Pristup kod kojeg se krugovi prvo uvećavaju u svrhu prepoznavanja preklopa pa se rezultat njihovog uniranja smanjuje da se dobije konačni poligon je osjetljiv na izbor faktora uvećavanja. Taj faktor i ne mora biti konstantan odnosno može ovisiti na primjer o



Slika 2: Izgrađeno područje s preklapljenom jednom zgradom i manualno predviđenim propustima (a) i s najvećim mogućim ucrtanim krugovima (b)



Slika 3: Zauzimajući i generirajući krugovi (a) i konačni poligon (b)

polumjeru pojedinog kruga. Nadalje, u koraku smanjivanja je onda složenije smanjivati dijelove konačnog poligona s različitim faktorima smanjenja.

Zbog toga smo uveli drugačiji pristup. Za svaki pronađeni krug (veći krugovi na slici 3 a) generira se i drugi krug, smanjenog polumjera i zauzima se područje tog smanjenog kruga (manji krugovi na slici 3 a).

Temeljem toga, veličina slijedećeg potencijalnog kruga u blizini predmetnog kruga može biti većeg polumjera, pod uvjetom da to ne priječi neka druga granica kontrolnog poligona ili neki drugi prethodno generirani krug. Također, kao posljedica opisanog, i središte slijedećeg kruga u blizini predmetnog kruga može biti bliže središtu predmetnog kruga. Izvorno pronađeni krug nazivamo generirajući, a krug smanjenog polumjera zauzimajući. Polumjer zauzimajućeg kruga (rz) se dobije množenjem polumjera generirajućeg kruga (rg) s faktorom (fs) prema formuli $rz = fs * rg$.

Kada traženje u kontrolnom poligonu više ne pronalazi niti jedan generirajući krug dovoljno je napraviti geometrijska uniju onih generirajućih krugova koji se preklapaju (Slika 3 b). Na ovaj način se prirodno stvara preklap susjednih krugova te se smanjuje „izgubljeni“ prostor između dvaju susjednih krugova. Svaki konačni poligon vizualno upućuje na mogućnost postojanja jednog kompaktnog izgrađenog područja.

Rezultati dobiveni opisanom metodom neposredno ovise o dva parametra. To su najmanji (granični) polumjer za generirajućeg kruga te faktor smanjenja polumjera generirajućeg kruga fs. S povećavanjem fs će se dobiti precizniji rezultati, ali će se i povećati broj iteracija odnosno broj pronađenih krugova. Za vrijednost $fs=0,5$ (kao u primjeru na slici 3 a) svaki generirajući krug će dodirivati u jednoj točki susjedne zauzimajuće krugove, pod uvjetom da to ne priječi neka drugi zauzimajući krug ili dio kontrolnog poligona.

3. Provedba na konkretnim podacima

U svrhu probne provedbe opisane metodologije, proveli smo analizu stanja potpunosti podataka 2D prikaza zgrada Temeljne topografske baze RH (TTB), na području jedinice lokalne samouprave (JLS) Grad

Makarska. Korišteni su LIDAR podaci prikupljeni i klasificirani u sklopu projekta „Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“.

3.1. Priprema podataka

Kontrolni poligoni koje smo koristili u sklopu eksperimenta su generirani iz LIDAR podataka. Uz preduvjet da su podaci prethodno klasificirani, prvo je potrebno točke zgrada klasterirati. To smo proveli DBSCAN algoritmom, slično kako kreće i postupak u radu (Li i dr., 2022). Nakon toga za svaki klaster želimo dobiti 2D poligon područja projekcije svih točaka u horizontalnu ravninu. Korištenje klasične konveksne ljuske nije prikladno za ovo jer se ne može očekivati da će tlocrti zgrada činiti konveksne poligone. Zato smo za svaki dobiveni klaster točaka generirali poligone područja alpha-shape algoritmom (Edelsbrunner, 2011; Asaeeedi i dr., 2017), a kako se slično pristupa i u (Liu i dr., 2024).

Konkretno, razvili smo jednostavnu Python skriptu koja učitava sve zadane oblake točaka, izdvoji točke zgrada, na njima provedbe DBSCAN klasteriranje te za svaki klaster generira poligon alpha-shape algoritmom. Generiralo se 2495 poligona izgrađenog područja unutar granica predmetne JLS.

Koristili smo alpha-shape implementaciju (URL1) koju smo prilagodili kako bi omogućili generiranje poligona s unutrašnjim granicama (izvorna implementacija ne podržava generiranje unutrašnjih granica). Za klasteriranje smo koristili DBSCAN implementaciju iz scikit-learn biblioteke (URL2).

DBSCAN algoritam je vrlo osjetljiv na pravilno postavljanje dvaju parametara, polumjera pretraživanja (epsilon ili eps) i minimalnog broja susjednih točaka (minSamples ili minPoints). Empirijski smo za predmetni skup LIDAR podataka kao optimalne vrijednosti pronašli $eps=0,7$ i $minSamples=10$. Smanjivanjem vrijednosti eps na 0,6 počinju se pojavljivati artefakti u generiranim poligonima (Slika 4).

Slično se događa promjenom vrijednosti minSamples. Dalje, rad alpha-shape algoritma ovisi o vrijednosti parametra alpha za kojeg smo također empirijski odredili vrijednost 0,5. S ciljem brže provedbe različitih algoritama računalne geometrije u fazi analize,



Slika 4: Razlika generiranih poligona alpha-shape algoritmom ovisno o postavci eps (lijevo eps=0,7 i desno eps=0,6)

poligone generirane alpha-shape algoritmom smo na kraju pojednostavili Douglas-Peucker algoritmom (URL3) s postavkom 0,5 za toleranciju.

3.2. Provedba i rezultati

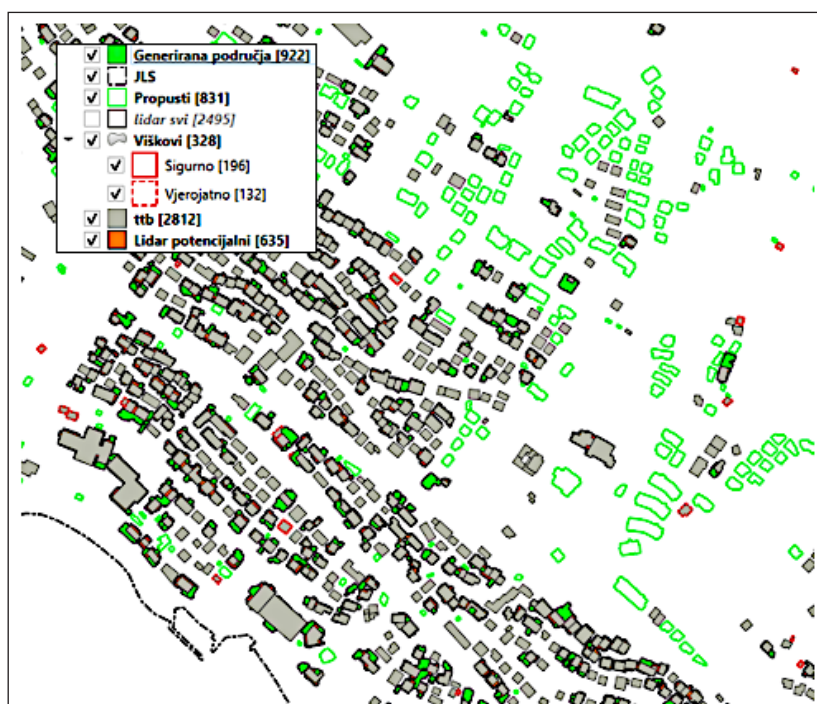
Poligone izgrađenih područja i poligone TTB zgrada smo učitali u geoprostornu relacijsku bazu podataka. Sve daljnje analize smo proveli putem SQL upita u bazi podataka. Konkretno, koristili smo Spatialite bazu kojoj smo pristupali korištenjem QGIS-a.

Implementacija pronalaženja suvišnosti i ispuštenosti, prema metodologiji opisanoj u poglavlju 2.1 je trivijalna pa je ne opisujemo u detalje. Uz postavku $g=0,8$ dobili smo 831 ispuštenih poligona s ukupnom površinom od 149637 m², 196 sigurnih suvišnih i 132 vjerojatna suvišna poligona.

U nastavku se bavimo preostalim izgrađenim područjima za koja se može očekivati da se dogodila promjena. Spatialite raspolaže implementacijom algoritma pronalaženja najmanje ucrtane kružnice pa smo i rad s preostalim područjima (prema opisu u poglavlju 2.2)

implementirali u cijelosti korištenjem geoprostornih SQL upita (koristili smo toleranciju od 0,1). Primijenili smo sljedeće postavke. Pošto u predmetnom skupu TTB podataka zgrada s najmanjom površinom ima površinu od približno 20 m² krenuli smo od pretpostavke kvadratnog oblika zgrada. To daje duljinu stranice kvadrata od približno 4.5 metara. Temeljem toga smo u prvom koraku filtriranja pronašli sva područja u koja je moguće ucrtati kvadrat s duljinom stranice od 4.5 metara. To smo proveli traženjem područja u koja je moguće ucrtati krug polumjera barem 2.25 metara. Dobili smo 635 takvih potencijalnih izgrađenih područja s ukupnom površinom nepokrivenom postojećim zgradama od 154832 m².

Na tim područjima smo generirali ucrtane krugove s minimalnim polumjerom generirajućeg kruga u iznosu od 2.25 metra. Uz postavku faktora smanjenja kruga $fs=0,5$ nakon uniranja svih krugova dobili smo ukupno 922 generirana potencijalna područja ukupne površine 73573 m². Vizualizacija suvišnih, ispuštenih te generiranih kompaktnih poligona u preostalim područjima za dio predmetne JLS je dana na slici 5.



Slika 5: Vizualizacija rezultata za dio izgrađenog područja predmetne JLS

S obzirom na to da je ukupna površina dobivena metodom ucrtavanja krugova približno upola manja od ukupnog nepokrivenog područja dobivenog jednostavnim oduzimanjem postojećih poligona zgrada od potencijalnih područja, može se zaključiti da ova-ko kvantificirani propusti daju realniji uvid u promjene na izgrađenosti.

Korištenjem dobivenih podataka moguće je provoditi i različite daljnje analize. Na primjer jednostavno je dobiti odgovor koliko ima potencijalno novo izgrađenih područja s površinom između 50m² i 150m², što je u konkretnom slučaju 70. Također, postavljanjem očekivane površine većine zgrada može se površinske informacije pretvoriti u konkretne brojeve zgrada.

4. Zaključak

U okviru istraživanja smo razvili metodologiju za procjenu potpunosti podataka o 2D prikazu zgrada korištenjem LIDAR podataka o izgrađenim područjima. Korištenjem razvijene metodologije je moguće eksplicitno pronalaziti suviše u skupu podataka o zgradama. Također, moguće je procijeniti površinu koju pokrivaju ispušteni, a onda i procjenjivati vjerojatne brojeve ispuštenih uz određene pretpostavke.

S obzirom na to da je u ovoj fazi istraživanja provedena samo vizualna kontrola dobivenih rezultata, potrebno je u narednoj fazi provesti precizniju ocjenu kvalitete dobivenih rezultata. Nadalje, U svrhu dobivanja preciznijih podatka o propustima, bilo bi potrebno umjesto izgrađenih područja iz LIDAR podataka generirati podatke o zgradama odnosno njihovim 2D prikazima.

Temeljem ovog, otvaraju se potencijalna područja za daljnje istraživanje. Na primjer može se detaljnije proučiti ideja korištenja omjera površine i broja krugova koji ju čine kako bi se prepoznali uzorci, na primjer izduljeni uski poligoni. Također, spajanjem središta krugova koji čine poligon možda moglo bi se izvlačiti zaključke o njegovom obliku. S druge strane, moguće je mijenjati razinu generalizacije poligona generiranih alpha-shape algoritmom te promatrati ponašanje rezultate provedbe različitih analiza.

Zahvala

Izrada ovog rada podržana je kroz znanstveni projekt UNIN-TEH-25-1-7 Primjena umjetne inteligencije u geomatici, koji se provodi na Odjelu za geodeziju i geomatiku na Sveučilištu Sjever.

Literatura

Asaeedi, S., Didehvar, F., Mohades, A. (2017): α -Concave hull, a generalization of convex hull. Theoretical Computer Science, 702, 48-59.

Edelsbrunner, H. (2011): Alpha shapes-a survey. In Tessellations in the sciences: Virtues, techniques and applications of geometric tilings.

HZN (2023): Geoinformacije -- Kvaliteta podataka -- 1. dio: Opći zahtjevi (ISO 19157-1:2023; EN ISO 19157-1:2023)

Jones, D. R. (2014): A fully general, exact algorithm for nesting irregular shapes. Journal of Global Optimization, 59(2), 367-404.

Li, X., Qiu, F., Shi, F., Tang, Y. (2022): A recursive hull and signal-based building footprint generation from airborne LiDAR data. Remote Sensing, 14(22), 5892.

Liu, K., Ma, H., Zhang, L., Gao, L., Xiang, S., Chen, D., Miao, Q. (2024): Building outline extraction using adaptive tracing alpha shapes and contextual topological optimization from airborne LiDAR. Automation in Construction, 160, 105321.

OGC (2011): OpenGIS Implementation Standard for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture, URL1: alphashape 1.3.1, <https://github.com/bellockk/alphashape>, (12. 08. 2025.)

URL 2: scikit-learn 1.7.1 DBSCAN, <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.DBSCAN.html>, (12. 08. 2025.)

URL 3: Shapely 2.1.1 shapely.simplify, <https://shapely.readthedocs.io/en/stable/reference/shapely.simplify.html>, (12. 08. 2025.)

Automatic change recognition in 2D building footprint datasets using airborne laser scanning data

Abstract

This paper presents a methodology for the automatic assessment of the completeness of 2D building footprints data using airborne LIDAR data. The method is based on comparing a target dataset of building footprint polygons with a control dataset of built-up area polygons, identifying omissions and commissions through geometric intersection analysis. To detect potential omissions in areas partially covered by buildings, an algorithm was developed based on generating and processing maximal circles inscribed in polygon, thereby identifying compact zones of potential new construction. The methodology was tested on the Basic Topographic Database data for the City of Makarska, using LIDAR data collected as part of a national multisensor aerial survey project.

Keywords: *2D building footprints, LIDAR, Largest circle inscribed in polygon, Data up-to-datedness.*

Katastar infrastrukture, važnost točnih i pravovremenih informacija o infrastrukturi – interakcija širokopojasne elektroničke komunikacijske infrastrukture i geodetske struke –

Franjo Ambroš¹, Paulina Božičković¹, Vedran Stojnović¹

¹GEOprem d.o.o - Osijek, Email: franjo.ambros@geoprem.hr

Sažetak

Evidencija o vodovima u Hrvatskoj je regulirana 1973. godine kao republički zakon jedne od republika bivše države. Period od preko pedeset godina postavlja pred nas obvezu osvrnuti se na učinke tog propisa na evidentiranje, održavanje, ekonomske učinke, sigurnost i utjecaj na okoliš. Uloga pojedine infrastrukture na život građana je značajna. Ovo se vidi i po znatnim iznosima koje svaka sredina troši za izgradnju i održavanje. U radu se daje prikaz geodetskih metoda snimanja, razvoj opreme i servisa te reguliranje djelatnosti kroz propise. Navode se istraživanja koja ukazuju na značajne uštede izbjegavanja kidanja vodova. Ukazuje se i na tržišni potencijal mreže izgrađenih vodova. Daje se kritički prikaz na točnost prikupljenih podataka o vodovima, odgovornost za oštećenja vodova. Ukazuje se na ulogu kritične infrastrukture u velikim havarijama i ratu. Posebno se apostrofira elektronička komunikacijska infrastruktura bazirana na svjetlovodnoj tehnologiji, njen utjecaj na razvoj gospodarstva i građana te potencijal za povećanje geodetske produktivnosti kao i potencijal za upravno postupanje pri geodetskim izmjerama. Razvoj i umrežavanje državnih registara, s osvrtnom na ključne registre Republike Hrvatske o nekretninama o kojima skrbi geodetska struka. Ova infrastruktura uz informatičku podršku predstavlja značajan iskorak u dostupnosti informacija o svakoj nekretnini i registraciji stvarnih i zakonskih prava na njoj. Time se približavamo točki razvoja geodetske struke opisanoj kao Industrija 5.0

Ključne riječi: *katastar infrastrukture, točnost geodetskog snimanja vodova, uloga širokopojasne infrastrukture na geodetsku djelatnost*

1. Uvod

Pogled s vremenskim odmakom na temu infrastrukture i njenog evidentiranja ponekad je potrebno ponovo preispitati. Autor kao aktivan sudionik procesa, te ekipa koja je stasala na uslugama koji su temeljeni na zakonima i pravilnicima, koji su regulirali ovo područje, žele svoje iskustvo i dileme iznijeti sa željom da se procesi geodetskih izmjera ravnopravno provode na nekretninama i infrastrukturi kao dobru u privatnom ili državnom vlasništvu.

Geodetska djelatnost time ovladava područjem koje je u Hrvatskoj razvijala desetljećima. Trud se danas vidi, ali se ne naglašava dovoljno čime se stvara utisak da je sve uređeno i postupci pravilno propisani. Pri tome informacije o položaju infrastrukture predstavljaju garanciju zaštite te infrastrukture, a time i neometane gospodarske aktivnosti.

Metode položajne registracije infrastrukture razvijale su se sukladno tehničkim potrebama održavanja.

Dokumentiranje infrastrukture provodio je vlasnik/ upravitelj infrastrukture. Dokumentacija je bila podijeljena na evidentiranje položaja i evidentiranje tehničkih i eksploatacijskih karakteristika. Specifičnosti pojedine infrastrukture važne za funkcioniranje sustava bile su detaljno prikazane u vidu shematskih prikaza, tabela ili navođenjem pojedinih specifičnosti (promjer i broj vodiča ili cijevi, materijal, godina izgradnje i dr.). Infrastruktura se gradila nadzemno, a postepeno i podzemno/podvodno te je metoda položajne registracija bila sve složenija. U pravilu, položaj je definiran od čvrstih objekata odmjeravanjem. Ova metoda, u geodeziji poznata kao lučni presjek, postajala je nepouzdana kod održavanja kada su se počeli obnavljati/rušiti objekti od kojih je vršeno odmjeravanje.

Geodetska struka se pred izazovom, kakvo rješenje ponuditi.

Slijedila su tematska savjetovanja, prikupljala su se iskustva o načinu funkcioniranja sustava održavanja infrastrukture i analizirala rješenja komunalnih poduzeća o postojećim načinima dokumentiranja. Katastar Grada Zagreba je oko 1967. godine počeo koristiti geodetske metode za snimanje, za prikaz položaja pripremljene su tehničke karte vodova u mjerilu 1:500 koje su nastale od postojećih katastarskih planova uvećavanjem.

2. Razvoj katastra instalacija/ vodova/infrastrukture

Normiranje postupka izmjere počinje donošenjem Pravilnika o metodama i načinu rada pri premjeru podzemnih instalacija i objekata, Službeni list SFRJ (1969). Ovaj Pravilnik za infrastrukturu uvodi termin instalacije. Pet godina kasnije donijeti su republički i pokrajinski zakoni koji reguliraju geodetsko snimanje infrastrukture. Republika Hrvatska je prva od svih republika i autonomnih pokrajina bivše države donijela Zakon o katastru vodova, Narodne novine (1973). Donošenjem ovih zakona uvodi se termin vodovi, koji je egzistirao do donošenja Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, Narodne novine (2016). Tada se uvodi termin infrastruktura.

Evidentiranje vodova u istočnoj Europi bila je obveza države, a u zapadnoj Europi evidentiranje vodova je provodio upravitelj/vlasnik. Održavanje sustava vodova ovisi o kvalitetnoj dokumentaciji. Za očekivati je da vlasnik ima aktualnu („ažurnu“) dokumentaciju.

Hrvatska se opredijelila za dvostruku evidenciju: upravitelj voda vrši geodetsku izmjeru i izrađuje elaborat koji predaje katastru, državnoj instituciji. Dokumentiranje tehničkih i funkcionalnih karakteristika upravitelj vrši u vidu interne dokumentacije, često uz napomenu da se radi o podacima označenim kao „službena tajna“.

Za evidentiranje položaja podzemne infrastrukture je najvažnije da se u slučaju potrebe vod može brzo locirati. Zato su se razvile i druge metode lociranja vodova: tragač kabela, detektor vibracija, georadar, Šarlah(2016). Dokumentacija je presudna za sagleđavanje potencijalnih problema pri lociranju infrastrukture (paralelni vodovi, detalji križanja raznih vodova). Osoba koja se bavi održavanjem vodova, mora imati iskustvo o načinima postavljanja vodova u raznim razdobljima.

Geodetske metode u evidentiranju i kartiranju vodova te iskustvo interpretacije tehničke dokumentacije ukazuje i na potencijalno novo zanimanje u kome su znanja geodetske struke garancija ekonomičnog postupanja.

Donošenjem zakona o katastru vodova 1973. aktualizirala se i tema o tajnosti vodova, kako o položaju tako i o njihovoj svrsi i tehničkim karakteristikama. Vodovi telekomunikacija, energetike te vode spadaju u kritičnu infrastrukturu koja mora zadržati elemente tajnosti. Vodovi telekomunikacija, zbog važnosti za narodnu obranu, smatrani su objektima za koje

je dokumentacija tajna. Katastar vodova zamišljen je kao javna evidencija, pa je bilo nužno uskladiti zakonsko postupanje sa zaštitom pojedinice infrastrukture.

Prevladao je kompromis. Položaj voda u prostoru nije tajna, dokumentacija o funkcioniranju i kapacitetima (kapacitet kabele, broj cijevi kabelske kanalizacije, podaci o izvodima i telefonskim centralama) ostaje interna dokumentacija (tajna) i ne dostavlja se katastru.

Da bi se naglasila važnost pojedinog voda on je bio klasificiran kao vod od interesa za državu, županiju ili grad/općinu. Danas je djelatnost, u čijoj su službi vodovi, određena kao djelatnost od interesa za Republiku Hrvatsku, propisima iz pojedinih djelatnosti (energetika, elektronička komunikacijska infrastruktura, vodoopskrba i dr.).

Teme kojima se rad bavi produbljuju i pojašnjavaju probleme iznijete u radu Ambroš i dr. (2016). Autori traže pozornost geodetske struke jer prepoznaju priliku i potrebu da se dio geodetskih stručnjaka specijalizira za poslove vezane za infrastrukturu. Postupci pri izmjeri i održavanju te uspostava jedinstvene baze infrastrukture opisana je u Pravilniku o katastru infrastrukture, Narodne novine (2021), a o funkcioniranju sustava više u radu Sustav katastra infrastrukture u Republici Hrvatskoj (Bakija Lopac i Rupiće, 2023).

3. Katastar vodova u funkciji izbjegavanja velikih šteta

U procesima fokusiranim na infrastrukturu, od 1974. godine geodetska struka je aktivno sudjelovala u svim fazama planiranja, projektiranja, izgradnje i održavanja. Upravitelji vodova su sve više stjecali povjerenje u geodetske podatke o infrastrukturi i počeli ih razmjenjivati pri planiranju kopanja na javnim površinama. Izmjena informacija o položaju vodova posebno se dinamizirala izradom digitalnih prikaza položaja voda. Problem geodetsko nesnimljenih vodova, položenih prije donošenja zakona, rješavao se kolegijalnom suradnjom upravitelja, često koordiniran odjelom katastra za infrastrukturu. Posljedično ovo je rezultiralo izbjegavanje šteta „kidanjem“ i potrebom pokretanja utvrđivanja kaznene odgovornosti propisane člankom 216. Kaznenog zakona, Narodne novine (2011).

3.1. Očekivana točnost geodetskog snimanja infrastrukture

Evolucija propisane točnosti geodetskog snimanja vodova je kontinuiran proces uvjetovan potrebama i dostupnim instrumentima, a posebno iskustvu geodetskog stručnjaka koji tijekom snimanja provodi prvu generalizaciju trase. Izborom točaka na krivudavo položenoj infrastrukturi moguće je vjerno prikazati trasu primjenjujući pravila generalizacije. Pravilnik o katastru vodova, Narodne novine (1977): točnost vodova je propisao točnošću karata na kojima si se vodovi kartirali (1:5000/1:10000).

Utjecaj na točnost geodetskog snimanja vodova imali su i uvjeti u kojima su se mjerenja odvijala: raskopan

teren kod ortogonalne i otežano dogledanje kod polarne metode, krivudava trasa, dubina rova i dr. U pravilu se nije utvrđivala nadmorska visina voda nego se bilježila dubina ukopavanja.

Satelitsko pozicioniranje sljedeći je iskorak. Bilo je potrebno odrediti elemente za transformaciju iz Hrvatskog geodetskog datuma (HDKS5 i HDKS6) u svjetski geodetski datum (WGS 84). Geodetski fakultet Zagreb s projektom je započeo prije domovinskog rata kao civilni a tijekom i poslije u projektni tim su kooptirani i časnici geodetske struke iz Hrvatske vojske. Više u radu Preliminarni rezultati GPS mreže „Zagorje 92“ i ispitivanje kvalitete dijela postojeće triangulacijske mreže prvog reda, Bilajbegović i dr. (1992).

Geodeti su ovu tehnologije odmah počeli koristiti u vidu RTK metode za inženjerske poslove ili kao statičke metode u određivanju prostornih vektora za potrebe precizno definiranih koordinata.

Procjenjuje se da je ta tehnologija omogućila povećanje geodetske produktivnosti oko 30%. Hrvatska je krajem 2008. godine u službeni upotrebu pustila CROPOS. Potencijal povećanja produktivnosti ovog sustava na izmjeru vodova procjenjujemo oko 50%. Na produktivnost geodetskih izmjera ova usluga ima velik potencijal uz neke organizacijske izmjene.

Pred geodetskom strukom je novi izazov, kako povećati produktivnost odvajanjem postupaka izmjere i upravnog postupanja.

3.2. Razvoj novih mogućnosti u snimanju infrastrukture

Geodetska struka, prateći inovacije primijenjene na novim instrumentima, spada u struke koje se intenzivno transformiraju. Ovo nije današnji trend već je to kontinuirani povijesni proces. Danas se on ubrzava. Primjena 3D skeniranja nudi novi iskorak. Nudi povećanu produktivnost i povećanu točnost bez potrebe za generalizacijom. Testiranja koja smo proveli u našoj tvrtki ukazuju na nove mogućnost, ali smo detektirali i nove vještine i znanja koje mora imati stručnjak koji se bavi skeniranjem i obradom. Ova metoda je ubrzala i izradu geodetskih situacija za potrebe projektiranja infrastrukture.

4. Uloga kritične infrastrukture s osvrtnom na domovinski rat

U radu je energetska, vodovodna i elektroničko komunikacijska infrastruktura apostrofirana kao kritička. Već sama klasifikacija kritičnom ukazuje na potencijalnu krizu društva i gospodarstva ako dolazi do problema u njenoj funkcionalnosti. Ove se krize preveniraju načinom izgradnje, preventivnim održavanjem i dokumentiranjem svih bitnih elemenata za funkcioniranje. Jedan od tih elemenata je i katastar infrastrukture koji prevenira nehotična kidanja vodova/infrastrukture. U ratu je kritička infrastruktura meta agresije. Na ovo ukazuju sve analize ratnih sukoba pa tako i domovinski rat, a posebno danas

aktualno ratno stanje u Ukrajini. To ukazuje da s dokumentacijom treba pažljivo postupati.

Da je ona kao takva potencijalna meta ukazuje i nestajanje dokumentacije katastra vodova parka prirode Plitvička jezera poslije oslobođanja. O iskustvima u zaštiti katastarske i gruntovne dokumentacije u istočnoj Hrvatskoj za vrijeme domovinskog rata više u radu Ambroš i Čurik (1997).

5. Elektronička komunikacijska infrastruktura i njena uloga za prosperitet zajednice

U okviru Strategije Europa 2020 Europska komisija je 2010 objavila inicijativu pod nazivom Digitalni plan za Europu (DAE) (URL 1).

Dokument ima 7 prioriteta područja:

1. stvaranje jedinstvenoga digitalnog tržišta,
2. poboljšanje interoperabilnosti informacijskih i komunikacijskih proizvoda i usluga,
3. poticanje povjerenja i sigurnosti na internetu,
4. osiguranje pružanja znatno bržeg pristupa internetu,
5. poticanje ulaganja u istraživanje i razvoj,
6. poboljšanje digitalne pismenosti, znanja i e-uključivosti,
7. primjena informacijskih i komunikacijskih tehnologija u rješavanju ključnih izazova društva, kao što su klimatske promjene, povećanje troškova zdravstvene skrbi i starenje stanovništva.

Obveze su podijeljene na europsku razinu i na razinu država EU.

Obveze država:

- izraditi operativne strategije brzog interneta i osigurati javno financiranje, uključujući strukturalne fondove za područja koja nisu pokrivena privatnim investicijama;
- uspostaviti pravni okvir za koordinaciju javnih radova u vezi sa smanjivanjem troškova iskorištenja mreža (eng. *network rollout*);
- promicanje implementacije i korištenja modernih on line usluga (e-government, on-line zdravstvo, pametne kuće, digitalne vještine, sigurnost i sl.)

U vrijeme objave ove inicijative Hrvatska je bila u pretpristupnoj fazi ulaska u Europsku uniju:

9. 12. 2011. je potpisala Ugovor o pristupanju s Europskom unijom; 22. 1. 2012. održan je referendum o pristupanju; 1. 7. 2013. je postala 28 članica Europske unije.

Ulaskom Hrvatske u Europsku uniju od Hrvatske se očekivalo da problem brzog interneta postavi prioritarnim.

Ovi su procesi Hrvatsku zatekli nespremnom. Vlada Republike Hrvatske je državnu telekomunikacijsku tvrtku, Hrvatski telekom, prodala (35 % dionica) 5. 10.

1999. Njemačkoj telekomunikacijskoj kompaniji (DT). Nije bilo za očekivati da će proces investiranja ponovno započeti, jer je nekoliko godina (1991-1999) provedena intenzivna dogradnja infrastrukturnih kapaciteta ali uglavnom na temeljnoj mreži.

5.1. Geodetska djelatnost u telekomunikacijama

Zakon o katastru vodova iz 1973. godine bio je povod za veću angažiranost geodeta. Ispočetka kao vanjskih izvođača, a potom kao članova multidisciplinarnog tima koji se bavio katastrofom vodova i izradom tehničke dokumentacije, pribavljanje geodetskih podloga za potrebe projektiranja, prikupljanje podataka o infrastrukturi ostalih upravitelja vodova, a potom i na određivanje budućih trasa infrastrukture.

Analiza geodetskih poslova u okviru znanstvenog projekta Optimizacija telefonske mreže i novih usluga obavljen je u Elaboratu TELZIS, Ambroš i dr. (1992) koji je ukazao na ekonomski potencijal nove organizacije tehničke dokumentacije. U to vrijeme u HT je bilo zaposleno 82 geodetska stručnjaka. Bila je to najveća koncentracija geodeta u jednoj tvrtki u Hrvatskoj.

Državna geodetska uprava, u to vrijeme, je ulagala napore da se područje katastra infrastrukture primjerenom uredi. Bila je to prilika da se saznanja iz jednog projekta pretoče u drugi pod nazivom: Projektno rješenje početnih programa i početne strukture podstava prostorno-plansko-graditeljske geodezije, Ambroš i dr. (1994). Za katastar vodova je predloženo da ga vodi upravitelj. Vidljivost bi osigurao katastar kroz javni uvid u položaj voda. Podaci katastra vodova i podaci zemljišne knjige osigurali bi vodovima rješavanje imovinsko pravnog statusa.

U okviru savjetničkih usluga izrađena je 2015. godine Studija uspostave nacionalnog integriranog geoinformacijskog sustava infrastrukture vodova. Studiju je DGU prezentirala upraviteljima vodova u Hrvatskoj, nije javno publicirana nego se koristila kao interni akt u daljem razvoju sustava.

Ideje iznijete u studiji su realizirane s nekim modifikacijama. Danas se s kritičkim odmakom možemo osvrnuti na dio podataka iz repozitorija koji bi morao biti ograničeno dostupan. Izloženost uvidu u dokumentaciju o EKI (broj cijevi u kanalizaciji i njihova zauzetost), za repozitorij nije presudan.

5.2. Ovisnost geodetske djelatnosti o širokopojasnom pristupu internetu

Analize o funkcioniranju CROPOS-a Grgić i dr. (2009) ukazivale su da u korištenju VPPS servisa imamo otežano rješavanje geodetskih mjerenja. Na nekim lokacijama sustav je imao dugu inicijalizaciju ili se inicijalizacija nije mogla postići. Suočeni s tim problemom odlučili smo se za istraživanje uzroka ovog problema. Rezultati su objavljeni u radu: Mobilni Internet u funkciji CROPOS-a i povećanju geodetske produktivnosti, Toplek i dr. (2013).

Ovaj problem je i danas prisutan. On je posljedica načina kako je koncesija dodijeljena mobilnim operato-

rima. Posljedice na geodetsku produktivnost ne treba naglašavati.

6. Vodovi elektroničke komunikacijske infrastrukture i sinergijsko djelovanje s ostalom infrastrukturom i senzorima

Za funkcioniranje EKI električno napajanje moraju imati i korisnik i digitalni čvor. Time funkcioniranje komunikacijskog sustava postaje ovisno o električnom napajanju. Preuzimanje električne struje iz alternativnih izvora u mrežu utječe na stabilnost napona mreže. Operator električne mreže mora napon regulirati kontinuirano. Umrežavanje senzora koji će regulirati napon moguće je svjetlovodnim kabelima. Time dva do sada neovisna sustava postaju ovisni o međusobnom funkcioniranju.

U cilju sigurnog funkcioniranja, o toj sinergijskoj ulozi, mora se voditi računa. Elektronička komunikacijska infrastruktura ima potencijal i za umrežavanje brojila potrošnje, pa tako dolazimo do učinkovitije i pravednije naplate, jer se stanje brojila može očitati u realnom vremenu na cijelom području. Daljinsko očitavanje plinskih brojila, vodomjera, umrežavanje senzora za praćenje kvalitete zraka, senzora za nadzor parkiranja, EKI čini infrastrukturom koja mijenja poslovne i organizacijske modele društva.

7. Vlasništvo infrastrukture i uređenje odnosa s vlasnicima nekretnina

Do promjene društvenih odnosa U Hrvatskoj dolazi donošenjem novog Ustava, Narodne novine (1990). Vlasništvo doživljava transformaciju iz društvenog u određenog titulara. Infrastruktura postaje vlasništvo države/jedinica lokalne i regionalne samouprave a potom slijedi privatizacija pojedinih segmenata infrastrukture. Započeti procesi nisu u potpunosti okončani do danas.

Pozitivnim propisima RH svako investiranje u infrastrukturu podrazumijevalo je i reguliranje imovinsko pravnih odnosa između vlasnika infrastrukture i vlasnika katastarske čestice preko koje je prolazila trasa infrastrukture. Zatečena infrastruktura bez obzira na to što joj je titular određen ostala je u nereguliranom imovinskopравnom odnosu. Bez riješenih imovinsko pravnih odnosa vlasnik infrastrukture je u potencijalno nepovoljnom položaju po pitanju održavanja i rekonstrukcije infrastrukture. Više u radu Pravna zaštita upravitelja vodova, Ambroš i dr. (2010).

Zakon o elektroničkim komunikacijama, Narodne novine (2008), prvi, odnose između vlasnika nekretnina i vlasnika elektroničke komunikacije infrastrukture uređuje za postojeću infrastrukturu. Uveden je pojam pravo puta po uzoru na zapadnu Europu. Do

tada su se imovinsko pravni odnosi na infrastrukturi uređivali pravom služnosti. Pravo puta postaje zakonsko pravo bez klauzule o uknjižbi u zemljišnu knjigu. Reguliranje postupka i utvrđivanje naknade za pravo puta rješavalo se podzakonskim aktima. Imovinskopravno uređenje infrastrukture se odgađaju, ili je otežano, zbog neusklađenosti katastra i zemljišne knjige sa stanjem na terenu.

Iako je zemljišna knjiga ustrojena na povjerenju odluke sudova uvažavaju stvarno stanje na terenu na štetu principa povjerenja u zemljišnu knjigu. Osim zanemarivanja principa povjerenja sporan je i princip objektivnosti dužine trase kabela po katastarskoj čestici ako ona nije registrirana po principima katastra.

8. Zaključak

Održavanje infrastrukture ovisi o točnoj i dostupnoj dokumentaciji. Prijedlozi koji slijede su proizašli iz dugogodišnjeg iskustva rada na sustavu infrastrukture vodova.

Katastar infrastrukture je registar čijim korištenjem u miru preveniramo kidanja, u ratu on ima ulogu pronalazača alternativnih rješenja u slučaju da je infrastruktura meta.

Sadržaj katastra infrastrukture treba sadržavati samo trase i objekte infrastrukture.

Repozitorij infrastrukture informatički povezati s registrom katastra nekretnina i zemljišnom knjigom.

Izvršiti provjeru podataka u repozitoriju infrastrukture i klasificirati podatke sukladno točnosti.

Revizija bi se trebala provoditi kontinuirano, principom da barem svake pete godine isto područje prođe provjeru.

Svaki upravitelj registriran u repozitoriju treba imati imenovanu stručnu osobu ili ugovorenu tvrtku (minimalno na pet godina), koja bi u reviziji sudjelovala.

Geodetska struka kao jedan od značajnih korisnika širokopojasnog pristupa internetu, mora inicirati promjenu principa pokrivanja teritorija signalom mobilnog interneta.

Školovanje geodetskih stručnjaka mora obuhvatiti i principe projektiranja infrastrukture.

Literatura:

Ambroš, F., Šarić, D. (1992): Elaborat telekomunikacijski zemljišni sustav (TELZIS), HPT, Direkcija telekomunikacija, Sektor razvoja TK usluga i informatike, Zagreb, 1-44.

Ambroš, F., Radić, Z. (1994): Projektno rješenje početnih programa i početne strukture podsustava prostorno-plansko-graditeljske geodezije, ISOT, Zagreb.

Ambroš, F., Čurik, Z. (1997): Zaštita katastarske, geodetske i gruntovne dokumentacije u ratnim

uvjetima s osvrtnom na Slavoniju i Baranju, Prvi hrvatski kongres o katastru, Zagreb.

Ambroš, F., Zec, D., Slivac, V., Štimac, M. (2010): Pravna zaštita upravitelja vodova, Četvrti kongres o katastru, Zagreb, 309-317.

Ambroš, F., Bajt, J., Rulj, A., Skelin, M. (2016): Special Legal Regimes Pertaining to Infrastructure – the Task of Geodetic Profession to Create a Technical Base for the Application of Legal Regulations Pertaining to Infrastructure, International Symposium on Engineering Geodesy SIG 2016, Varaždin.

Bakija Lopac, A., Rupiće, A. (2023): Sustav katastra infrastrukture u Republici Hrvatskoj, V kongres o katastru u BiH, rad u zborniku, Neum.

Bilajbegović, A., Solarić, M., Bačić, Ž., Ambroš, F., Barković, Đ., Kuhar, M., Cigrovski-Djetelić, B., Stjepan, V., Ivković, M., Džapo, M. (1992): Preliminarni rezultati GPS mreže „Zagorje 92“ i ispitivanje kvalitete dijela postojeće triangulacijske mreže prvog reda, Geodetski list br 4, 232-245.

Grgić, I., Bjelotomić, O., Repanić, M., Lučić, M., Bašić T. (2009): CROPOS u funkciji velikih geodetskih projekata, 1: CROPOS konferencija, HGD i DGU, Zagreb.

Toplek, G., Bilajbegović, D., Štimac, M., Ambroš, F. (2013): Mobilni Internet u funkciji CROPOS-a i povećanju geodetske produktivnosti, 3. CROPOS konferencija, DGU, Geodetski fakultet Zagreb, HKOIG, Opatija.

Šarlah, N. (2016) : Izdelava modela georadarskih opazovanj za evidentiranje gospodarske infrastrukture, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, doktorska disertacija, Ljubljana.

Narodne novine (1973): Zakon o katastru vodova, Narodne novine, broj 44/1973.

Narodne novine (1977): Pravilnik o izradi i održavanju katastra vodova, Narodne novine broj 2/1977.

Narodne novine (1990): Ustav Republike Hrvatske, Narodne novine broj: 56/90, 135/97, 08/98, 113/00, 124/00, 28/01, 41/01, 55/01, 76/10, 85/10, 05/14.

Narodne novine (2011): Kazneni zakon, Narodne novine broj: 125/11, 144/12, 56/15, 61/15, 101/17, 118/18, 126/19, 84/21, 114/22, 114/23, 36/24.

Narodne novine (2016): Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, broj 121.

Narodne novine (2018): Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, Narodne novine, 112/18, 39/22, 152/24.

Narodne novine (2021): Pravilnik o katastru infrastrukture, Narodne novine, 77/2021.

Službeni list SFRJ (1969): Pravilnik o metodama i načinu rada pri premjeru podzemnih instalacija i objekata, Službeni list SFRJ, broj 49/1969.

URL 1: <https://mpudt.gov.hr/arhiva-rdd/glavni-izbornik/projekti-i-eu-projekti/arhiva-projekata/digitalni-plan-za-europu-engl-digital-agenda-for-europe/28841> (28. 08. 2015).

Utility Cadastre, the importance of accurate and timely infrastructure information – a review of the interaction of broadband electronic communications infrastructure and the geodetic profession –

Abstract

Utility infrastructure registration was regulated in Croatia in 1973 as a republic law of one of the republics of the former state. A period of over fifty years imposes on us the obligation to review the effects of this regulation on the registration, maintenance, economic effects, safety and environmental impact. The role of individual infrastructure in the lives of citizens is significant. This is also seen in the significant amounts that each region spends on the construction and maintenance of infrastructure. The paper provides an overview of geodetic surveying methods, the development of equipment and services, and the regulation of activities through regulations. Papers that point to significant savings from avoiding utility ruptures are investigated and cited.

The market potential of the built utility networks is also indicated. The accuracy of the collected data on utilities is critically reviewed, and responsibility for damaging of utility infrastructure is highlighted. The role of critical infrastructure in major accidents and war is highlighted.

Special emphasis is placed on the electronic communication infrastructure based on fiber optic technology, its impact on the development of the economy and citizens, and the potential for increasing geodetic productivity, as well as the potential for administrative procedures in geodetic surveys. Development and networking of state registers, with a focus on the key registers of the Republic of Croatia on real estate that are led by the geodetic profession. This infrastructure, with IT support, represents a significant step forward in the availability of information on each real estate and the registration of real and legal rights to it. This brings us closer to the point of development of the geodetic profession, described as Industry 5.0.

Keywords: *utility cadastre, accuracy of geodetic line surveying, role of broadband infrastructure in geodetic activity.*

Preporuke za utvrđivanje uvjeta oblikovanja građevnih čestica za izgradnju pasivnih solarnih obiteljskih kuća

Dubravko Špoljarić¹

¹TEHNIKA d.d., Ulica grada Vukovara 274, Zagreb, Hrvatska, dubravkospoljaric@yahoo.com

Sažetak

Strateško i prostorno planiranje povezano s izgradnjom obiteljske kuće sustavan je postupak gdje se na temelju važećih prostornih planova omogućava izdavanje temeljne dokumentacije (lokacijska informacija, lokacijska dozvola) za ishođenje građevinske dozvole, te ostalih akata o gradnji u svrhu realizacije kvalitetnog stanovanja. U radu je Pasivna Solarna Gradnja opisana kao pojam kvalitetnog stanovanja kojem treba težiti. Naglasak istraživanja bio je ustanoviti koliko je postojeća prostorno planska dokumentacija pogodna za provedbu pasivne solarne gradnje obzirom da je potrebno zadovoljiti dodatne prostorno tehničke zahtjeve poput usmjerenosti zgrade (obiteljske kuće), iskoristivosti sunčevog svjetla i oblika zgrade (obiteljske kuće). Analizirani su prostorni planovi s ciljem određivanja univerzalne (općenite) građevne čestice iz Odredbi za provođenje pojedinog plana istražujući uvjete oblikovanja građevnih čestica. Preduvjet za odabir planova bio je da se na referentnom broju uzoraka ravnomjerno obuhvati cijeli prostor Republike Hrvatske sa svim regionalnim i lokalnim karakteristikama. Istraživanje je pokazalo da je postojeća prostorno planska dokumentacija prema oblikovanju minimalne veličine građevne čestice dostatna za izvedbu pasivne solarne gradnje obiteljske kuće. Međutim, pojedine odredbe poput: maksimalne izgrađenosti čestice, maksimalnog koeficijenta iskoristivosti, najveće dopuštene visine zgrade, udaljenost od međe i susjednih zgrada nije moguće u potpunosti ostvariti, već je potrebno ograničiti i podrediti prostorno tehničkim propisima pasivne solarne gradnje. Doprinos završnog rada možemo sagledavati kroz Preporuke za utvrđivanje uvjeta oblikovanja građevnih čestica za izgradnju pasivnih solarnih kuća koje ni na koji način ne mogu naštetiti dosadašnjoj doktrini prostornog planiranja.

Ključne riječi: *građevna čestica, odredbe za provođenje, pasivna solarna kuća, usmjerenost.*

1. Uvod

Pasivna gradnja pojam je koji se koristi od 1990-ih od kada je izgrađena prva probna zgrada s ciljem istraživanja mogućnosti uštede energenata (u ovom slučaju za grijanje) i kvalitete stanovanja. Pojam pasivna gradnja odnosi se na gradnju kuće koja za normalno funkcioniranje ne treba aktivni sustav za grijanje. Ono na što treba obratiti pozornost kod izgradnje takvih kuća je prirodno okruženje (klimatski uvjeti), orijentacija kuće, a samim time i nagib zemljišta na kojem se nalazi, te način projektiranja (oblik, izolacija, materijali).

Koncept solarne gradnje nije tako suvremen kako se to na prvi pogled čini. Naime, u literaturi se spominje solarna kuća odnosno Sokratova kuća koja pokušava iskoristiti sve blagodati prirodnih obilježja prostora, a smanjiti negativan utjecaj vjetrova, hladnoće, preveliku temperaturu.

Povezavši suvremenu tehnologiju, istraživanja te tradicionalne metode planiranja, projektiranja i izgrad-

nje kuća u korist kvalitetnog stanovanja proizlazi pojam Pasivna solarna gradnja koji se isto tako uvriježio u praksi, a obuhvaća sve ranije navedeno.

Obzirom da je energetska učinkovita gradnja kao instrument kroz strateške i zakonodavne dokumente postala obvezujuća, tako je potrebno omogućiti realne preduvjete za pasivnu solarnu gradnju kao najsvjetliji predstavnik energetske učinkovitosti kroz prostorno plansku dokumentaciju. Pritom će se istražiti vrijednost najmanje površine građevne čestice za izgradnju obiteljskih kuća. Zadatak ovog rada promjena je paradigme odnosno pristupa planiranju građevnih čestica, ulica i usmjerenosti.

Cilj istraživanja je približiti pasivnu solarnu gradnju, uklopiti je u sustav strateškog i prostornog planiranja, za razliku od dosadašnjih entuzijastičnih i točkastih primjera realiziranih projekata.

2. Katastarska čestica vs građevna čestica

1) Katastarska čestica (eng. PARCEL, PLOT)

Prema Zakonu o državnoj izmjeri i katastru nekretnosti (Narodne novine, 2018) katastarska čestica definirana je kao: „dio područja katastarske općine odnosno katastarskog područja na moru određen brojem katastarske čestice i njezinim granicama“. U određenim situacijama potrebno je spojiti nekoliko katastarskih čestica kako bi nastala odgovarajuća građevna čestica, dok je u nekim slučajevima potrebno parcelirati pojedinu katastarsku česticu kako bi mogli odrediti građevnu česticu. Ovakva situacija očituje se kad je katastarska čestica unutar građevnog područja i izvan njega.

2) Građevna čestica

Građevna čestica je jedna ili više ili dio više katastarskih čestica koje se nalaze unutar građevnog područja naselja. Građevna čestica je u načelu jedna katastarska čestica čiji je oblik, smještaj u prostoru i veličina u skladu s prostornim planom te koja ima pristup na prometnu površinu sukladan prostornom planu. (Narodne novine, 2013). Orijentaciju građevne čestice bismo mogli opisati kao; smjer bočnih međa građevne čestice u odnosu na ulični pojas (regulacijski pravac), položaj pročelja zgrade u odnosu na strane svijeta i osunčanost. U daljnjem tekstu usmjerenje ili usmjerenost građevne čestice. U nastavku ćemo se usredotočiti na građevnu česticu kao instrument ostvarenja izgradnje u prostoru.

3) Građevinska parcela (njem. Parzelle < franc. parcelle < pučki lat. particella < klas. lat. particula: djelić).

Građevinska (građevna) parcela opisuje se kao zemljište namijenjeno za gradnju (gradilište). Često se građevinska parcela naziva „gradilište“, ali je pravilnije nazvati je gradilištem onda kad i dok se na njoj gradi.

3. Pasivna kuća / Pasivna solarna kuća

Pasivna kuća je standard gradnje i izolacije koji opisuje potrošnju energije, a pasivna solarna kuća je koncept gradnje koji se koristi još od antičkog doba (Žakula, 2015.) i vrlo je podređena sunčevom zračenju. Idealna pasivna solarna kuća za održavanje ugodne temperature ne koristi nikakve pokretne mehaničke uređaje niti naprave.

Najkraće se pasivna kuća može opisati kao građevina bez aktivnog sustava za zagrijavanje konvencionalnim (fosilnim) izvorima energije. Popularnije se u stručnom žargonu naziva „kućom bez grijanja“. Još je jasniji naziv „jednolitarska kuća“, jer se energetska potrošnja može izraziti samo jednom litrom loživog ulja po m² godišnje. (URL 1).

Pasivna kuća nije nova tehnologija gradnje već dosljedno izvedena nisko-energetska zgrada. Sama zgrada i njezina funkcija potpuno je tradicionalna (Zbašnik Senegačnik, 2009).

Koncept pasivnih kuća izrađen je prvi put kao probni projekt 1991. u Darmstadtu (Kranichstein). Razvio ga je dr. sc. Wolfgang Feist (Passivhaus Institut). Taj se prototip u praksi pokazao na takav način, da je nastao standard pasivnih kuća, koje se na tržištu pojavljuju od 1998. godine (Zbašnik Senegačnik, 2009).

Važno je napomenuti da se pasivne kuće konceptualno i tehnološki ne razlikuju previše od tradicijske gradnje. Pritom je potrebno razmotriti obilježja pasivne solarne gradnje.

3.1. Temeljna načela planiranja gradnje pasivnih kuća

Standard pasivne kuće nalaže strogo poštivanje određenih uvjeta već pri samom planiranju kako bi pasivni principi mogli funkcionirati u praksi. U nastavku su navedeni uvjeti pasivne gradnje o kojima treba voditi računa već u fazi odabira terena i procesa projektiranja te određeni uvjeti koje je potrebno poštivati prilikom odabira i ugradnje materijala i tehnologija;

1. orijentacija (usmjerenost)
2. iskoristivost sunčevog svijetla
3. oblik zgrade (kuće)
4. hijerarhija prostora (tlocrta)
5. tehnologija gradnje
6. toplinska izolacija
7. otvori – smještaj i veličina
8. zaštita od ljetnog pregrijavanja

Prva tri uvjeta više su vezana uz prostorno planiranje nego za projektiranje i tehnologiju gradnje, te su u radu detaljnije opisani i obrađeni.

U literaturi i dostupnim materijalima često se u kontekstu održivosti, energetske učinkovitosti, pasivne solarne gradnje spominje sintagma „odabrati odgovarajuće zemljište“ (zemljište odgovarajuće površine, nagiba terena, orijentacije, neopterećeno zasjenjenjem sa susjednih parcela) ili smjestiti (orijentirati) zgradu na odgovarajući način. Međutim, u realizaciji takav pristup nije jednostavan, odnosno ne svodi se na razinu odabira već ovisi o mnogo čimbenika na koje se ne može utjecati, a vrlo su ograničavajući. Prvenstveni razlog je usitnjenost građevinskih čestica, nesređenost imovinsko-pravnih odnosa, neuređenost građevinskog područja (infrastruktura), zanemarivanje struke u području prostornog planiranja, odredbe za provođenje koje se često naslanjaju na dosadašnju praksu.

4. Oblik i veličina građevne čestice prema prostorno-planskoj dokumentaciji

Na temelju Zakona o prostornom uređenju (Narodne novine, 2013) Prostorni planovi imaju snagu i pravnu prirodu podzakonskog propisa, donose se na držav-

Tablica 1: Opći parametri minimalne građevne čestice

Veličina građevne čestice	400,00 m ²
Oblik je definiran širinom i dužinom čestice	16,00 x 25,00 m
Minimalni tlocrt objekta	50,00 m ²
Koeficijent maksimalne izgrađenosti čestice	0.35 (140 m ²)
Koeficijent iskoristivosti	400 m ²
visina (3 nadzemne razine)	11 m
Minimalna udaljenost od međe	h/2, 4,00; 3,00; 1,00 m

noj, područnoj (regionalnoj) i lokalnoj razini. Prostorni plan obvezno sadrži:

- odredbe za provođenje prostornog plana
- grafički dio
- obrazloženje

S obzirom da je tema ovog rada pasivna solarna gradnja, naglasak je na prostornim planovima lokalne razine, jer je njima detaljno regulirana i uređena gradnja. Prostorni planovi lokalne razine su; prostorni plan uređenja Velikog grada (PPUVG), prostorni plan uređenja grada (PPUG), prostorni plan uređenja općine (PPUO), generalni urbanistički plan (GUP) i urbanistički plan uređenja (UPU). Prostorne planove lokalne razine donosi skupština Grada Zagreba, gradsko vijeće, odnosno općinsko vijeće.

Zašto su analizirani prostorni planovi lokalne razine s najmanjom detaljnošću? Željela se utvrditi opća predodžba građevne čestice, kojima se planovi lokalne razine bave, ali da se u odnosu na detaljnije planove (GUP, UPU, DPU) izbjegnu interne specifičnosti pojedinog područja. Svrha analize Odredbi je jedinstveni opći opis građevne čestice na razini cijele države.

Zadatak ovog poglavlja je istražiti prostorne planove radi utvrđivanja minimalne površine građevne čestice odnosno prosječne vrijednosti oblika i veličine čestice za izgradnju obiteljske kuće na području Republike hrvatske radi buduće analize osnovnih preduvjeta za pasivnu solarnu gradnju. Motiv odabira planova je bio ravnomjerno obuhvatiti što je više moguće područje Republike Hrvatske, s naglaskom na karakteristike regionalne i klimatološke podjele.

Analizom je obrađeno 12 planova (PP Grada Zagreba, 4 PPUVG, 6 PPUG, 1 PPUO). Pritom je ustanovljena srednja veličina građevne čestice za izgradnju samostojeće obiteljske kuće od 415 m² i poželjnog oblika odnosno pravokutnih dimenzija 16 m x 25 m koja će se u daljnjem radu koristiti kao optimalna veličina u kontekstu pasivne solarne gradnje.

4.1. Oblikovanje građevne čestice

Pod pojmom oblikovanje građevne čestice misli se na: oblikovanje građevne čestice s obzirom na vrstu i smještaj obiteljske kuće, usmjerenosti građevne čestice, pristup s javne prometnice i nagib zemljišta.

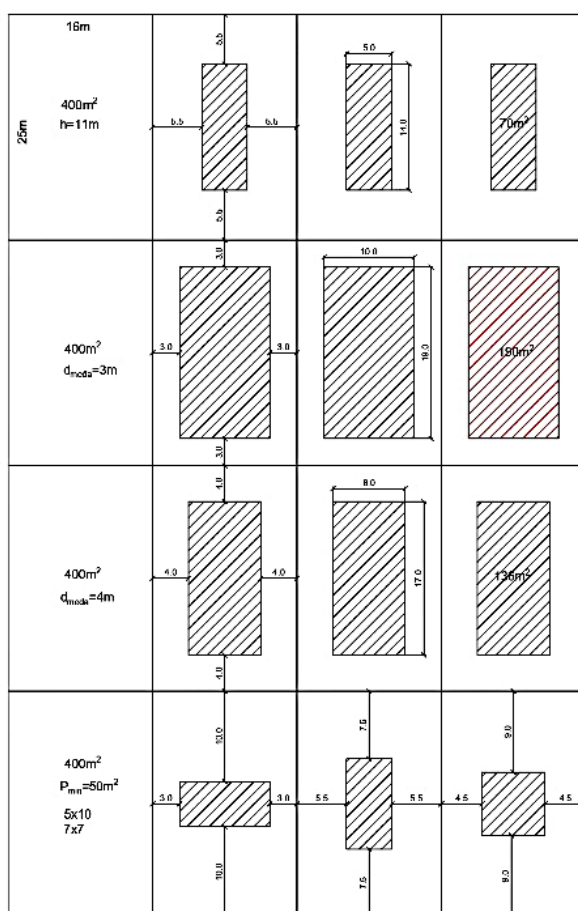
Prema zakonu građevna čestica unutar građevnog područja zapravo je jedna ili više katastarskih čestica ili njihovih dijelova te je oblikovanje nove građevne čestice (u odnosu na postojeće katastarske čestice) moguće jedino na temelju zakonom propisanog akta.

Parcelacija neizgrađenog građevinskog zemljišta moguća je na temelju odredbi za provođenje urbanističkih planova uređenja. Međutim u praksi je odgovarajuća parcelacija i prikaz građevnih čestica vrlo otežana zbog nepravilnog oblika i veličine katastarskih čestica koje u primjerima mogu biti iznimno malih površina.

4.1.1. Smještaj obiteljske kuće na građevnoj čestici

Svaki plan za sebe ima snagu podzakonskog akta, te je kao takav neovisan i primjenjiv. Međutim, analizom reprezentativnog broja planova željelo se doći do srednje, opće, sveobuhvatne slike opisa građevne čestice i mogućnostima gradnje slobodnostojeće obiteljske kuće na njoj.

Grafički prikaz (Slika 1) pokazuje usporedbe pojedinih uvjeta za gradnju iz prostorno planske dokumentacije i njihovu međusobnu korelaciju. Obzirom da je usporedbom hipotetski istaknuta najmanja površina građevne čestice 400,00 m² pravokutnog oblika 16,00 x 25,00 m, mogu se promatrati mogućnosti smještaja kuće u odnosu na odredbe iz prostorno planske dokumentacije. Naravno da se radi o pretpostavljenim vrijednostima i da se u stvarnosti ne može očekivati takav raspored, međutim biti će prikazan kao teorijska vrijednost u svrhu daljnje analize, za izradu detaljnijih planova (UPU) ili možda plana naselja. Ako se prihvati srednja hipotetska visina (3 nadzemne razine) obiteljske kuće 11,00 m, tada se prema većini propisa o udaljenosti kuća od međe h/2 dolazi do vrijednosti od 5,50 m. Takvim rasporedom proizlaze dimenzije obiteljske kuće 5,00 x 14,00 m tlocrtne površine 70,00 m². Ako se iskoristi dozvoljena udaljenost kuće od međe u nekim planovima od 3,00 m, proizlazi tlocrtna površina od 190,00 m² što premašuje maksimalnu vrijednost izgrađenosti parcele prema pretpostavljenom koeficijentu od 0.35, dok udaljenost od 4,00 m zadovoljava navedene kriterije. U polovici analiziranih planova navedene su i minimalne tlocrtne površine objekata na građevnoj čestici, te je ustanovljena srednja vrijednost od 50,00 m² prema kojoj su proizašle moguće dimenzije obiteljske kuće 5,00 x 10,00 m (pravokutnik, 1:2) i 7,00 x 7,00 m (kvadrat).



Slika 1: Shematski prikaz smještaja kuće na građevnoj čestici

U stvarnosti je moguće izvesti nebrojene kombinacije oblika kuća, pogotovo što položaj i oblik kuće najčešće ovisi o nepravilnom obliku i veličini katastarske čestice, međutim radi specifičnosti pasivne solarne gradnje i minimalne veličine čestice analizirane su mogućnosti dimenzije 5x10 i 7x7 uz već spomenutu katnost od 3 nadzemne razine.

Usmjerenost građevne čestice i pristup s ulične mreže

Koristeći pojam `pristup s javnih prometnih površina` zapravo se misli na uličnu mrežu i njenu usmjerenost, koja ima veliku ulogu u samom oblikovanju građevne čestice, ali i kvaliteti korištenja prostora.

Uz već spomenutu osunčanost stambenog prostora, pravo na svjetlo (Narodne novine, 1996) i upadni kut zimskog Sunca (20-21°), Matić (1988) navodi: „Da bi se postiglo petosatno dnevno osunčanje objekata koji se nalaze na 45° sjeverne geografske širine, u prosincu i siječnju kao najhladnijim zimskim mjesecima, razmak između redova objekata okrenutih prema jugu treba biti 2.5x visina objekata u redu ispred“.

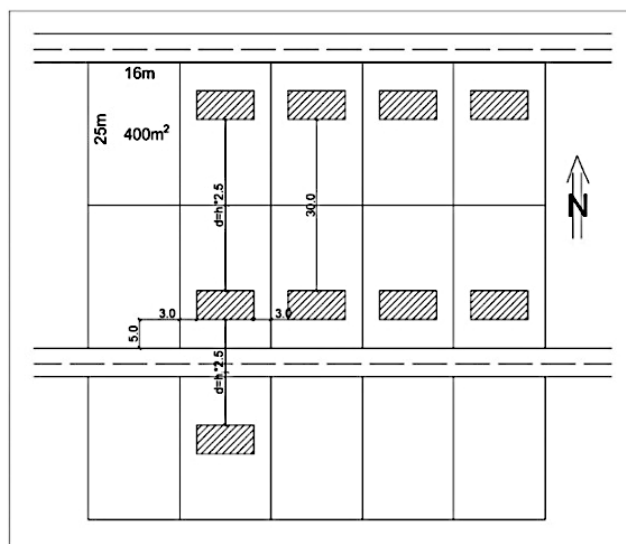
Prema tome na slici 2 vidljivo je da razmak između kuća od 30-ak metara zadovoljava kriterij dovoljne udaljenosti, uz pretpostavku visine kuća 11,00 m dobiva se neophodni razmak 27,50 m. Veliku ulogu predstavlja i širina ulice koja ovisno o sadržaju i infrastrukturalnoj mreži može biti i puno širih dimenzija.

5. Prijedlog smjernica za utvrđivanje oblika, orijentacije i minimalne veličine građevnih čestica za izgradnju pasivnih solarnih obiteljskih kuća

Svrha je ovih smjernica ukazati na bitne čimbenike koje bi trebalo razmotriti i obuhvatiti prilikom strateškog i prostornog planiranja s ciljem što kvalitetnije i ispunjenije eksploatacije prostora za stanovanje. To su: Oblik građevne čestice, Usmjerenost građevne čestice, Najmanja površina građevne čestice, Osunčanost pročelja, Visina zgrade (kuće).

Na oblik građevne čestice ne treba gledati kao na striktno zadanu formu (kvadrat, pravokutnik), jer kao što je već spomenuto u praksi je katastarska čestica ekvivalent građevnoj, a vrlo često su nepravilnog oblika i morfologije. Poželjno je da čestica nije trokutnog oblika zbog manje iskoristivosti prostora, ali pritom nije zabranjeno. Građevna čestica može biti mnogokutnog oblika, međutim povećanjem broja kutova i stranica smanjuje se potencijal pristupa uličnoj mreži.

Isto tako poželjno je da građevna čestica nije preuska, jer formalno može zadovoljiti ostale parametre međutim postaje nefunkcionalna. U nekim plano-



Slika 2: Poprečno postavljene čestice pri usmjerenju ulice istok zapad

vima je regulirana minimalna i maksimalna širina (s ulične strane), pa i dužina čestice.

Kada se govori o usmjerenosti građevne čestice zapravo se misli na dio prostora koji omogućava odgovarajuću usmjerenost zgrade (obiteljske kuće) na njoj. Važno je pritom spomenuti da usmjerenost parcele ovisi o pristupu na uličnu mrežu, međutim položaj pristupa ili prilaza građevnoj čestici ne mora biti krucijalan za organizaciju prilaza i prostora u kući. Postoje primjeri gdje se parcelama prilazi iz svih smjerova, a korisnost prostora i kuće usmjerena je na jug.

Na usmjerenost kako čestice tako i kuće može utjecati više čimbenika. Uz već spomenutu usmjerenost prema ulici, tu je usmjerenost prema konfiguraciji terena, usmjerenost zbog pogleda (na more, na padinu, na grad, točkasti izolirani motiv).

6. Rasprava i zaključak

Temeljni motiv analize je bio; može li se građevna čestica od 400 m² primijeniti za pasivnu solarnu gradnju. U radu je prikazano da se na građevnoj čestici 400,00 m² može realizirati pasivna solarna kuća s 3 nadzemne razine (prizemlje, kat, potkrovlje/uvučeni kat). Pritom su uvjeti za pasivnu solarnu gradnju uzročno posljedično vezani u odnosu; smještaj objekta, visina kuće, udaljenost između objekata.

Međutim, i u prostornim i urbanističkim planovima s većim stupnjem detaljnosti se određeni parametri ograničavaju, reguliraju, specificiraju. Na taj način neke univerzalne formule za najmanju površinu građevne čestice koja bi zadovoljila sve kriterije nema.

Slijedom navedenog željelo se utvrditi omogućava li postojeća prostorno planska dokumentacija realizaciju pasivne gradnje, odnosno može li se ostvariti u realnoj situaciji.

Ono što dovodi do Analize primjera nedostatak je jasnih izvora, literature, uputa, smjernica o opisu odnosno veličini i obliku građevne čestice. Najmanja površina građevne čestice opisana je u svakom planu zasebno. Međutim, nema univerzalno analizirane građevne čestice koja bi bila ishodišna točka planiranja građevnog područja.

Prilikom planiranja važno je obuhvatiti osunčanost pasivnih obiteljskih kuća kao potpunu afirmaciju i ostvarenje potencijala pasivne gradnje. Prvenstveno se misli na Sunce, koje nije nužno promatrati samo kao energetske resurs u vidu svjetlosne i toplinske energije.

Literatura

Matić, M. (1988): Energija i arhitektura, Školska knjiga Zagreb.

Narodne novine (2018): Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, 112/18, 39/22.

Narodne novine (2013): Zakon o prostornom uređenju, 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19, 67/23.

Narodne novine (1996): Zakon o vlasništvu i drugim stvarnim pravima, 91/96, 68/98, 137/99, 22/00, 73/00, 129/00, 114/01, 79/06, 141/06, 146/08, 38/09, 153/09, 143/12, 152/14, 81/15, 94/17.

Zbašnik Senegačnik, M. (2009): Pasivna kuća, SUN ARH Zagreb.

Žakula, B. (2015.): Energetska učinkovitost i održiva gradnja, Fakultet ekonomije i turizma "Dr. Mijo Mirković" Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli (<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:137:933611>).

URL 1: Pasivna kuća – uvod, Korak u prostor (<https://korak.com.hr/korak-025-ozujak-2009-pasivna-kuca-uvod/>) (04. 05. 2023.).

Recommendations for determining the design conditions for the passive solar family house building lots

Abstract

Strategic and physical planning related to the construction of a family house is a ongoing process, based on the adopted physical plans, which enables the issuing of the demanded documentation (location information, location permit) for obtaining a building permit, along with other building documents that will ensure the realization of quality housing demands.

In this paper, the Passive Solar Construction is described as a concept of quality housing that should be strived for. The emphasis of the research was to find out how suitable the existing physical planning documentation for performing the passive solar construction, which demands additional urban and technical requirements (the orientation of the building, the utilization of sunlight and the building shape).

The physical plans were analyzed with a goal of determining the omni-general building lot conditions, derived from the planning ordinances of a particular plan dealing with the obligatory conditions for the building lots design. The plans were chosen on the prerequisite idea that they should cover as different as possible of the Croatian territory, considering the regional and local attributes.

The provided research has proved that the existing physical (and urban) plans are sufficient for the implementation of passive solar construction of a family house, speaking of the minimum size of the building lot. However, certain ordinances such as: maximum lot coverage and floor area ratio, along with the maximum building height, building distance from the lot lines and the neighboring buildings cannot be fully accomplished. Therefore, it is necessary to limit and subordinate following the spatial technical regulations for passive solar construction.

The contribution of this final paper can be viewed through the Recommendations for determining the building lot design conditions for the construction of passive solar family houses. These Recommendations are not, in any way, in opposition with the existing physical and urban planning doctrine.

Keywords: *building lot, passive solar house, planning ordinances, building position.*

Izrada kartografskih podloga za potrebe prostornoga planiranja

Vladimir Baričević¹, Luka Babić¹, Bojan Linardić¹, Jelena Bubrig¹, Ivan Landek¹, Nikolina Jurić¹

¹ Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, Zavod za prostorni razvoj, Dežmanova 10, 10000 Zagreb, Hrvatska, zavod@mpgi.hr

Sažetak

Razvoj i napredak države u mnogočemu ovisi o prostornom planiranju. Prostornim planiranjem osiguravaju se uvjeti za korištenje (gospodarenje), zaštitu i upravljanje prostorom Republike Hrvatske te isključivim gospodarskim pojasom Republike Hrvatske kao osobito vrijednim i ograničenim nacionalnim dobrom, te se, time, ostvaruju pretpostavke za društveni i gospodarski razvoj, zaštitu okoliša i prirode, vrsnoću gradnje i racionalno korištenje prirodnih i kulturnih dobara. Prostorno planiranje provodi se donošenjem prostornih planova koji se sastoje od tekstualnog i grafičkog (kartografskog) dijela. Podloge za izradu grafičkog dijela prostornog plana su službene karte koje se izrađuju u skladu s propisima iz područja državne izmjere i katastra nekretnina te druge službene rasterske karte i vektorski skupovi podataka. Međutim, samostalno, službene državne karte ne zadovoljavaju u potpunosti potrebe prostornog planiranja. Zbog toga je potrebno pristupiti izradi ciljanih tematskih karata iz službenih podataka Državne geodetske uprave i drugih službenih evidencija. U radu se daje prikaz vrsta podataka koji služe za izradu tematskih karata koje se dodatno izrađuju za potrebe prostornoga planiranja. Također, opisana je razlika u načinu izrade planova prije i nakon donošenja novog Pravilnika o prostornim planovima te primjena odnosno rad u Informacijskom Sustavu Prostornog Uređenja (ISPU).

Ključne riječi: ISPU, kartografske podloge, prostorno planiranje, tematske karte za prostorno planiranje.

1. Uvod

Prostorno planiranje kao interdisciplinarna djelatnost institucionalni je i tehnički oblik za upravljanje prostornom dimenzijom održivosti, kojom se, na temelju procjene razvojnih mogućnosti u okviru zadržavanja osobnosti prostora, zahtjeva zaštite prostora te očuvanja kakvoće okoliša i prirode, određuje namjena prostora/površina, uvjeti za razvoj djelatnosti i infrastrukture te njihov razmještaj u prostoru, kao i uvjeti za urbanu preobrazbu i urbanu sanaciju izgrađenih područja te uvjeti za ostvarivanje planiranih zahvata u prostoru (NN 67/23).

Prostornim planovima se, u svrhu ostvarivanja ciljeva prostornoga uređenja, sukladno s načelima prostornoga uređenja, uređuje svrhovita organizacija, korištenje i namjena prostora te uvjeti za uređenje, unaprjeđenje i zaštitu prostora Države, županija, gradova i općina.

Svaki prostorni plan obvezno sadrži odredbe za provedbu prostornog plana, grafički dio i obrazloženje. Odredbe za provedbu prostornog plana sadrže, u obliku pravne norme, odvojeno, odredbe kojima se propisuju uvjeti provedbe zahvata u prostoru od smjernica za izradu prostornih planova užih područja i od mjera za urbanu sanaciju, ako su takve mjere potrebne, u slučajevima propisanim Zakonom o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19, 67/23). Grafički dio prostornog plana sastoji se od kartografskih prikaza na koje upućuju odredbe

za provedbu prostornog plana. Obrazloženje prostornog plana sadrži polazišta (analizu), ciljeve prostornog uređenja i obrazloženje planskih rješenja.

Prostorno planiranje provodi se izradom prostornih planova raznih razina, od državne preko županijske do lokalne razine.

Prostorni planovi državne razine su Državni plan prostornog razvoja, Prostorni plan isključivoga gospodarskog pojasa Republike Hrvatske, prostorni plan nacionalnog parka, prostorni plan parka prirode i drugi prostorni plan područja posebnih obilježja čija je obveza donošenja propisana Državnim planom prostornog razvoja te urbanistički plan uređenja izdvojenog građevinskog područja izvan naselja za gospodarsku i/ili javnu namjenu državnog značaja.

Prostorni planovi područne (regionalne) razine su prostorni plan županije, Prostorni plan Grada Zagreba i urbanistički plan uređenja izdvojenog građevinskog područja izvan naselja za gospodarsku i/ili javnu namjenu županijskog značaja. Na lokalnoj razini donose se prostorni plan uređenja grada, odnosno općine, generalni urbanistički plan i urbanistički plan uređenja.

Prostorni planovi izrađuju se i donose u elektroničkom obliku, a mogu se, po potrebi, ispisati na papir. Ispisom elektroničkog oblika prostornog plana na papir dobiva se analogni oblik prostornog plana.

Tablica 1: Pregled izrade prostornih planova prema Pravilnicima

Pravilnik (NN 152/2023)	Pravilnik (NN 106/1998)	Mjerilo prikaza
DPPR	-	1:500 000
PPIGP	-	1:500 000
PPPPPO	PPPPPO	1:100 000
PPŽ	PPŽ	1:100 000
PPGZ	PPGZ	1:25 000
PPU	-	1:25 000
-	PPUO/G	1:25 000
GUP	GUP	1:10 000 ili 1:5000
UPU	UPU	1:5000 ili 1:2000 ili 1:1000
-	DPU	1:500 ili 1:1000

Prostorni planovi izrađuju se putem Informacijskog sustava prostornoga uređenja (ISPU), kroz module ePlanovi (za nositelje izrade) i ePlanovi editor (za izrađivače). Na taj način osigurana je jednoznačnost pri izradi prostornih planova kao i njihova međusobna usklađenost. Svaki prostorni plan mora biti u skladu sa Zakonom o prostornom uređenju i propisima donesenim na temelju tog Zakona. Prostorni plan niže razine mora biti usklađen s prostornim planom više razine, odnosno prostorni plan užeg područja mora biti usklađen s prostornim planom širega područja iste razine. Svi prostorni planovi moraju međusobno biti usklađeni.

Izrada planova u elektroničkom obliku putem ISPU sustava, gdje nije definirano mjerilo, omogućava izradu planova svih raspona mjerila (u teoriji od 1:1 prema sitnijima). Sustav omogućuje približavanje ili udaljšavanje pregleda prema potrebi te bi se moglo zaključiti da je mjerilo promjenjivo. Međutim, Pravilnik o prostornim planovima (NN 152/23) u Prilogu 4 definira mjerila u kojima se prikazuju određeni prostorni planovi. Tablica 1 prikazuje usporedbu izrade prostornih planova prema mjerilu izrade prema starom i novom Pravilniku.

Iz navedenog proizlazi da se kartografski prikazi prostornih planova izrađuju u širokom rasponu mjerila, od vrlo krupnih M 1:500 do sitnih M 1:500 000.

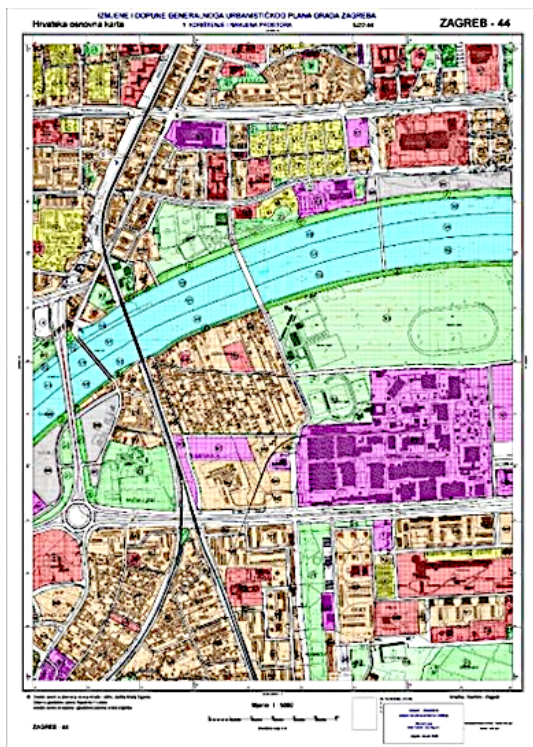
2. Razlike u izradi prostornih planova stare i nove generacije

Prostorno planiranje razvilo se iz urbanizma kad su urbanisti, početkom 20. stoljeća, uvidjeli da je nemoguće raditi generalni urbanistički plan iole većih gradova, a da se ne promotre problemi okolice grada, tj. regije koja ga okružuje (Marinović-Uzelac, 2001). U Republici Hrvatskoj razvoj prostornog uređenja počinje 1967. g. kada je donesen prvi Zakon o prostornom planiranju i uređenju prostora u SR Hrvatskoj. Prvi prostorni planovi općina i gradova te prostorni planovi područja posebnih obilježja (npr. turistička područja na Jadranu) počinju se izrađivati početkom 70-ih godina prošloga stoljeća. Osamdesetih godina prošlog stoljeća razvija se mreža prostornih planova u cijeloj tadašnjoj SR Hrvatskoj, no sustav je bio fragmentiran (Slika 1). Tek nakon osamostaljena Republike Hrvatske 1994. g. donesen je Zakon o prostornom uređenju (NN 30/94), kojim je uređen novi sustav izrade i donošenja prostornih planova (državni, županijski, gradski/općinski). To je bio početak suvremenog hrvatskog sustava prostornog planiranja. 1997. godine izrađen je prvi prostorni plan Republike Hrvatske (PPRH).



Slika 1: GUP ZG (1986.g.) (MPGI)

Pravilnik o sadržaju, mjerilima kartografskih prikaza, obveznim prostornim pokazateljima i standardu elaborata prostornih planova (NN 106/1998) trebao je olakšati i ujednačiti izradu prostornih planova svih razina. Jačanjem računalna prostorni planovi izrađivali su se pomoću CAD programskih rješenja što je uvelike ubrzalo i olakšalo izradu (Slika 2). S vremenom su i podloge za izradu prostornih planova postajale sve dostupnije (HOK, katastarski plan, DOF, TK i dr.).



Slika 2: GUP ZG (2006.g.) (MPGI)

Računala i nova programska rješenja nisu u potpunosti riješila sva pitanja i sve potrebe prostornih planera. Prilikom izrade korištene su različite granice obuhvata PP te tako nije prekriveno cijelo područje RH. CAD-om izrađeni planovi ne omogućuju prostorne analize (nema atributa). Planer nije mogao napraviti analizu koliko je bilo planirano npr. površine neke namjene odnosno kolika je promjena nastala u odnosu na novi plan. Svaka izmjena i dopuna PP upravo se i izrađuje radi napretka i poboljšanja životnih uvjeta ljudi, a koje nije moguće utvrditi na brz i jednostavan način. Nadalje, pojedini županijski zavodi za prostorni razvoj imali su specifične potrebe prilikom izrade plana za koje Pravilnikom nisu bila predviđena rješenja.

Sve te nesukladnosti otklonjene su donošenjem novoga Pravilnika (NN 152/23) koji propisuje izradu prostornih planova kroz ISPU sustav. ISPU sustav temelji se na GIS načinu rada, što znači da su svi podaci pohranjeni u bazu podataka. Podaci se ne mogu učitati u bazu podataka ako nisu topološki ispravni, ispravne atributizacije i sl. Postoji velik broj međusobnih kontrola i pravila koja to ne dopuštaju. Budući da se radi o bazi podataka omogućeno je brzo i jednostavno pretraživanje, razne analize za široki spektar potreba, jednostavno praćenje promjena u prostoru, jednoznačna simbologija i dr.

3. Izvori podataka za izradu podloga/karata

Osnovni izvor za izradu karata za potrebe PP su službene državne karte. Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (NN 112/18, 39/22, 152/24) definira da je Državna geodetska uprava (DGU) osim za izradu službenih državnih karata odgovorna za izradu i održavanje Temeljne topografske baze podataka (TTB) u koju se pohranjuju podaci topografske izmjere. Iz podataka TTB-a Državna geodetska uprava uspostavlja topografske i kartografske baze podataka. Topografske i kartografske baze podataka osnova su za izradbu i održavanje službenih državnih karata.

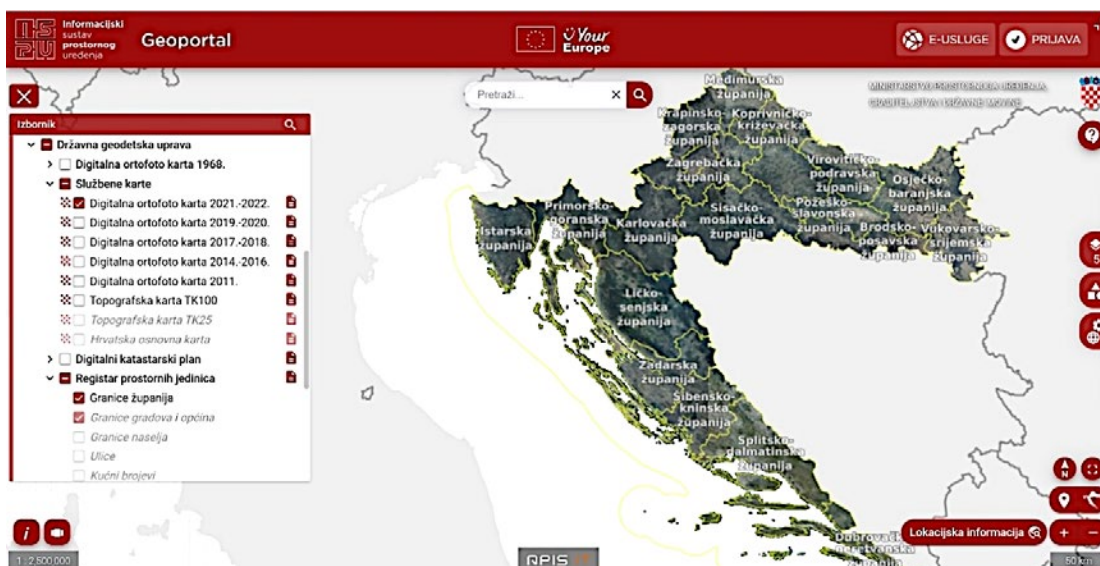
Katastar nekretnina je evidencija koja sadrži podatke o česticama zemljine površine i zgradama koje trajno leže na zemljinoj površini ili ispod nje te o posebnim pravnim režimima na zemljinoj površini.

Digitalna ortofoto karta (DOF) je službena državna karta dobivena postupkom ortorektifikacije snimaka (zračnih, satelitskih). DOF nema deformacija uzrokovanih nagibom kamere (tijekom snimanja) ili reljefa, geometrijski je uskladena s kartografskom projekcijom, jedinstvenog mjerila što omogućuje točno mjerenje i preklapanje drugih geografskih podataka, učinkovito kombinirajući vizualne detalje fotografije s preciznim mjerilom i mogućnostima mjerenja karte.

Satelitski sustavi (Sentinel-1/2, Landsat) danas omogućuju dosljedno i višegodišnje kartiranje izgrađenih površina na razini grada, države i svijeta. Operativni proizvodi poput Global Human Settlement Layer (GHSL) (Pesaresi et al., 2022). i World Settlement Footprint (WSF) (Marconcini et al., 2022) izdvajaju izgrađene piksele u 10–30 m prostornoj razlučivosti i u više vremenskih presjeka, pa se povećanje izgrađene površine može kvantificirati kao razlika između epoha (npr. 1990–2015–2020). Time je moguće pratiti obrasce ekstenzije (novi rasteri izgrađenosti), zgušnjavanja (porast gustoće unutar postojećih granica) te izračunavati pokazatelje poput SDG 11.3.1 (odnos stope potrošnje prostora i rasta stanovništva). GHSL-ovi skupovi GHS-BUILT i prateće baze (Urban Centre Database) već se koriste za globalno (DLR. GUF) i europsko izvještavanje, a metodologija je standardizirana i otvorena, što olakšava dosljednost između gradova i regija.

LiDAR (Light Detection and Ranging) predstavlja ključan izvor podataka za izradu detaljnih visinskih modela i tematskih kartografskih podloga. Primarnom obradom oblaka točaka generiraju se digitalni model terena (DMT) i digitalni model površina (DMP) (Axelsson, 2000)., iz kojih je moguće izvedeno dobiti niz proizvoda: sjenčane prikaze (eng. hillshade), nagibe, ekspozicije, modele vidljivosti ili analize poplavnih područja (Dottori et. al 2022). Kombinacijom DMT-a i DMP-a računa se normalizirani DMP (nDMP) koji opisuje visinu objekata iznad tla (zgrade, vegetacija i dr.), što omogućava analize urbanih struktura, vegetacijskog pokrova i infrastrukturnih zahvata.

LiDAR podaci, također, čine osnovu za izradu trodimenzionalnih (3D) prikaza prostora. To uključuje fotorealistične ili generalizirane 3D modele zgrada



Slika 3: ISPU (<https://ispu.mgipu.hr/#/>)

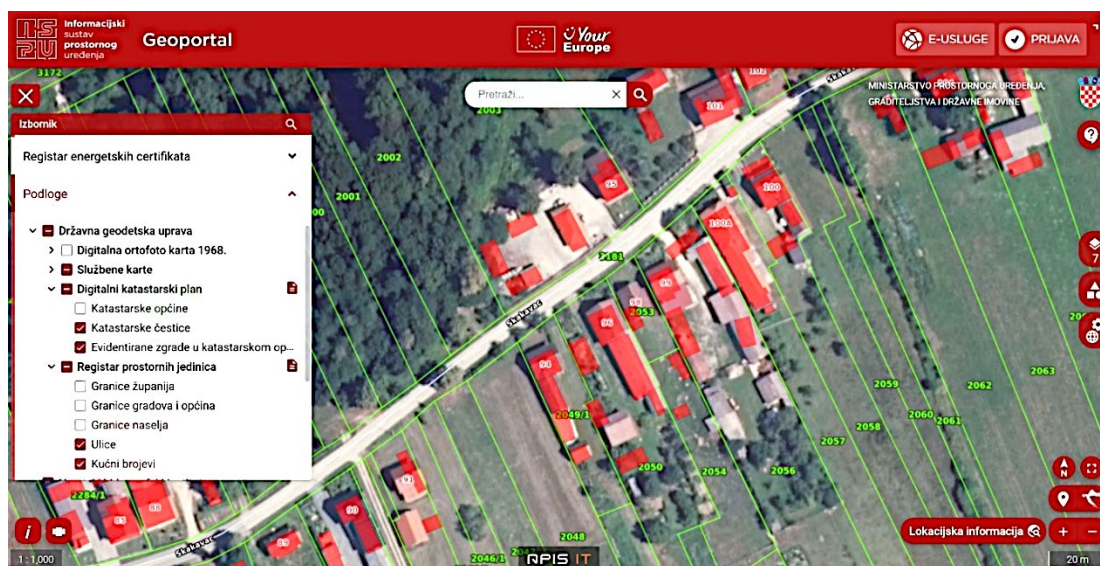
te koncept digitalnih blizanaca urbanih područja, koji integriraju prostorne podatke s informacijama o korištenju prostora i infrastrukturnim sustavima. Takvi modeli podržavaju vizualizaciju urbanog razvoja, prostorne simulacije (npr. procjena utjecaja poplava ili širenja buke) te participativno planiranje jer omogućuju razumljiv prikaz planiranih promjena i scenarija. Time LiDAR, samostalno ili u kombinaciji s drugim geoinformacijskim izvorima (npr. ortofoto, katastar, BIM), postaje nezaobilazan alat u suvremenom prostornom uređenju.

4. Podloge za prostorno planiranje

Kartografska podloga za izradu prostornih planova je karta. Karta je umanjena, matematički određeni i generalizirani prikaz Zemljine površine (ili njezinog

dijela) na ravni, u skladu s određenim kartografskim pravilima i u odgovarajućem mjerilu. Na karti se prikazuju prirodne i društvene pojave pomoću znakova, boja i oznaka, a njezina je svrha orijentacija, analiza i prijenos prostornih informacija (Frančula, i dr., 2020). Međunarodna kartografska organizacija definira kartu kao simbolizirani prikaz geografske stvarnosti koji predstavlja odabrane značajke ili karakteristike, rezultat kreativnog napora autora u provedbi izbora, a namijenjena je za upotrebu kada su prostorni odnosi od primarne važnosti. (URL 1)

Prema Zakonu o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (NN 112/18, 39/22, 152/24) Državna geodetska uprava nadležna je za topografsku izmjeru i izradbu službenih državnih karata i to Hrvatske osnovne karte (HOK) u mjerilima 1:5000 ili 1:10 000, digitalnih ortofotokarata (DOF) u mjerilima 1:2000, 1:5000 i sitnijem, detaljnih topografskih karata (DTK) u mjerilima od 1:25 000 do 1:250 000, preglednih topografskih karata (PTK) u mjerilu 1:300 000 i sitnijem.



Slika 4: ISPU, katastarski podaci (<https://ispu.mgipu.hr/#/>)

Tablica 2: Pregled izrade HOK-a prema godinama izrade

Razdoblje izrade HOK-a	Br. listova
1954-1958	60
1960-1969	1114
1970-1979	2459
1980-1989	4690
1990-1998	1057
2001	11
Nije izrađeno	410

ISPU sustav koristi karte DGU-a kao podloge pri izradi prostornih planova (slika 3).

Za izradu prostornih planova vrlo krupnog mjerila (M 1:500, M 1:1000 i M 1:2000) prostorni planeri najčešće koriste podatke katastra zemljišta. Podaci se koriste unutar ISPU sustava koji uvijek poziva aktualne podatke (stanje ažurirano prethodnoga dana) (slika 4). Međutim, podaci o posjedu i vlasništvu na pojedinoj katastarskoj čestici preuzimaju se iz sustava Uređena zemlja (URL 2). Katastarski podaci su 2D, što prostornim planerima ne daje potpuni uvid u prostor. Taj se nedostatak nadoknađuje pregledom visinske predstave na HOK-u, TK25 ili se iz aerofotogrametrijskih i/ili LIDAR podataka izrađuje digitalni model terena (DMT) i/ili digitalni model površina (DMP). Kao podloga koristi se i Digitalni ortofoto (DOF), istinski ortofoto (true DOF), a može se koristiti i satelitski snimak vrlo visoke rezolucije.

Urbanistički planovi uređenja i generalni urbanistički plan koji se izrađuju u mjerilima M 1:5000 do M 1:10 000 za podlogu koriste Hrvatsku osnovnu kartu (HOK). HOK se izradio za cijelo urbano područje Republike Hrvatske. Nedostatak je taj što je ta karta zastarjela jer se radila od 1956. g. do 2001.g. (Tablica 2).

Najmladi podatak star je 24 godine što za potrebe prostornog planiranja predstavlja veliki problem iz razloga što je ta karta skoro neupotrebljiva zbog starosti podataka koje prikazuje Stari prostorni planovi u kombinaciji s HOK mogu pomoći kao povijesni, ulazni podatak pri izradi novoga prostornog plana. Korištenje podataka TTB-a ima potencijal riješiti nedostatak starosti HOK/ODK. Prostorni planovi uređenja gradova i općina izrađuju se u mjerilu M 1:25 000. Kao podloga može se koristiti topografska karta TK25. Kako topografska karta sadrži velik broj informacija, podataka, znakova, boja i dr., ponekad nije najbolje rješenje jer prostorni plan ne dolazi do izražaja. Zato se izrađuju tematske karte iz vektorskih podataka dobivenih izradom TK25 primjenjujući posebnu simbologiju.

Prostorni planovi područja posebnih obilježja i prostorni planovi županija pokrivaju velika područja pa se izrađuju u M 1:100 000. DGU raspolaže topografskim kartama navedenog mjerila koje su izrađene u periodu 1964. do 1984. g. Međutim, smatra se da su to vrlo stari podaci i da ne mogu dovoljno dobro prikazati predmetna područja. Višegodišnjim programom službene državne kartografije za razdoblje 2025.–2034. planirana je izrada topografskih karata

mjerila 1:100 000. Kako bi se premostilo to razdoblje, izradit će se tematske karte za potrebe prostornog planiranja u M 1: 100 000.

Prostorni planovi državne razine, Državni plan prostornog razvoja i Prostorni plan isključivog gospodarskog pojasa obuhvaćaju područje cijele Republike Hrvatske pa i malo šire (dio područja susjednih država). DGU ne raspolaže preglednom topografskom kartom tako sitnog mjerila pa je stoga Zavod pristupio izradi iste. Prilikom izrade korišteni su službeni podaci (DGU, MORH) pomoću kojih su izrađivane podloge za pojedine planove državne razine.

Tematska kartografija je do sada navedena kao jedan od načina izrada kartografskih podloga prilikom izrade prostornih planova. Cilj tematske kartografije je isticanje sadržaja pojedinog prostornoga plana, a ujedno davanje dovoljno točnih i kvalitetnih informacija o položaju tog plana u prostoru, čitanje i određivanje pojedinih lokacija ili površina određenog značenja ili namjene. Međutim, tematsku kartografiju prostorni planeri i urbanisti uvelike koriste i za druge namjene kao što su razna izvješća, analize, projekte, stručne studije i slično. Tematska karta je kartografski prikaz najrazličitijih tema iz prirodnog i društvenog (privrednog, socijalnog i kulturnog) područja, koje su neposredno vezane za prostor (Lovrić, 1988).

5. Zaključak

Prostorno planiranje je interdisciplinarna djelatnost i upravljačka aktivnost koja se bavi organizacijom, korištenjem i zaštitom prostora radi usklađivanja društvenih, gospodarskih ekoloških i kulturnih potreba. To je usmjeravanje razvoja prostora tako da se postigne ravnoteža između gospodarskog rasta, kvalitete života i očuvanja okoliša. Cilj je racionalno korištenje zemljišta jer je zemljište ograničeni resurs, zaštita prirodnih resursa, uravnotežen gospodarski i društveni razvoj, zaštita okoliša i kulturne baštine, sigurnost stanovništva i očuvanje krajobraza i podizanje kvalitete života. Prostorno planiranje u Republici Hrvatskoj zakonski je određeno. Prostorni planovi izrađuju se državnoj, županijskoj i lokalnoj razini.

Izrada prostornih planova provodi se kroz ISPU sustav. ISPU sustav temelji se na GIS načinu rada gdje su svi podaci pohranjeni u bazu podataka uvažavajući pritom topološke relacije. Temelj za izradu prostornih planova su kartografske podloge. Izvori podata-

ka za izradu kartografskih podloga ovise o mjerilima prikaza prostornih planova. Za prostorne planove krupnog mjerila najčešće se koriste katastarski podaci, DOF i true DOF. Za prostorne planove lokalne i županijske razine koriste se podaci HOK-a, TK i vektorski podaci TTB-a iz kojih se izrađuju tematske karte. Za prostorne planove nacionalne razine izrađuju se posebne tematske karte sitnog mjerila. Korištenje podataka multispektralnih i hiperspektralnih satelitskih snimaka visoke i vrlo visoke rezolucije te velike vremenske učestalosti uvelike podiže kvalitetu i mogućnosti analiza prostora te tako povećava kvalitetu izrade prostornih planova. Podaci LiDAR-a također predstavljaju ključan izvor podataka za izradu detaljnih visinskih modela i tematskih kartografskih podloga. LiDAR podaci čine osnovu za izradu trodimenzionalnih (3D) prikaza prostora. To uključuje fotorealistične ili generalizirane 3D modele zgrada te koncept digitalnih blizanaca urbanih područja.

Državna geodetska uprava osigurava veliku količinu osnovnih podataka koji su potrebni pri izradi kartografskih podloga ili u samom procesu izrade Prostornoga plana. Pojedine prostorne podloge trenutno nisu dostupne, ali su planirane višegodišnjim programom službene državne kartografije. Za sve ostale potrebe izradit će se posebne podloge i tematske karte koristeći službene podatke kako bi istaknule sadržaj i čitljivost prostornog plana kako stručnjacima tako i svekolikoj javnosti.

Literatura:

Axelsson, P. (2000). "DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2–3), 138–147.

Dottori, F., Alfieri, L., Bianchi, A., Skoien, J., and Salamon, P.: A new dataset of river flood hazard maps for Europe and the Mediterranean Basin, *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 1549–1569, <https://doi.org/10.5194/essd-14-1549-2022>, 2022

Frančula, N., Lapaine, M., Jazbec, I.P. (2020): Kartografski rječnik, Dominović, Zagreb

Lovrić, P. (1988): Opća kartografija, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.

Marinović-Uzelac, A. (2001): Prostorno planiranje, Dom i svijet, Zagreb

Pesaresi, M., Schiavina, M., Politis P., Freire, S., Krasnodebska, K., Uhl, J.H., Carioli, A., Corbane, C., Dijkstra, L., Florio, P., Friedrich, H.K., Gao, J., Leyk, S., Lu, L., Maffenini, L., Mari-Rivero, I., Melchiorri, M., Syrris, V., Van Den Hoek, J., Kemper, T. (2024): "Advances on the Global Human Settlement Layer by joint assessment of Earth Observation and population survey data"

Marconcini, M., Metz-Marconcini, A., Ureyen, S., Palacios-Lopez, D., Hanke, W., Bachofer, F., Zeidler, J., Esch, T., Gorelick, N., Kakarla, A., Paganini, M., Strano, E., (2020). "Outlining where humans live: the World Settlement Footprint 2015."

URL 1: <https://icaci.org/mission/> (25. 08. 2025.).

URL 2: <https://oss.uredjenazemlja.hr/> (25. 08. 2025.).

Creation of cartographic bases for spatial planning purposes

Abstract

The development and progress of the state largely depends on spatial planning. Spatial planning ensures the conditions for the use (management), protection and management of the space of the Republic of Croatia and the exclusive economic zone of the Republic of Croatia as a particularly valuable and limited national asset, and thus creates the prerequisites for social and economic development, environmental and nature protection, quality of construction and rational use of natural and cultural assets. Spatial planning is carried out by adopting spatial plans consisting of a textual and graphic (cartographic) part. The basis for the creation of the graphic part of the spatial plan are official maps that are produced in accordance with regulations in the field of state surveying and real estate cadastre, as well as other official raster maps and vector data sets. However, official state maps alone do not fully meet the needs of spatial planning. Therefore, it is necessary to start creating targeted thematic maps from official data of the State Geodetic Administration and other official records. The paper provides an overview of the types of thematic maps that are additionally produced for the needs of spatial planning, as well as a list of criteria and conditions for the creation of this type of cartographic basis. Also, the difference in the method of preparing plans before and after the adoption of the new Ordinance on Spatial Plans and the application and work in the Spatial Planning Information System (ISPU) is described.

Keywords: ISPU, cartographic bases, spatial planning, thematic maps for spatial planning.

Kako virtualni asistenti mijenjaju upravljanje zemljištem

Lucija Gašparović¹, Ivo Pažanin¹

¹Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, Hrvatska, lucija.gasparovic@ericssonnikolatesla.com, ivo.pazanin@ericssonnikolatesla.com

Sažetak

Digitalna transformacija javne uprave predstavlja ključan korak u modernizaciji administrativnih procesa i poboljšanju kvalitete usluga prema građanima. Upravljanje zemljištem kao temelj upravljanja prostorom, također se uključuje u ovaj proces. Hrvatska prati svjetske trendove i svrstava se među prve europske zemlje, uz Nizozemsku i Latviju, koje primjenjuju virtualne asistente u upravljanju zemljištem kako bi unaprijedile pristup informacijama i pojednostavile interakciju s korisnicima. Cilj virtualnog asistenta je pružiti brz, jednostavan i personaliziran pristup informacijama o nekretninama i uslugama vezanim uz katastar i zemljišnu knjigu. Virtualni asistenti smanjuju administrativno opterećenje omogućujući korisnicima da dobiju informacije o javnim uslugama na jednostavan i pristupačan način, koristeći prirodan jezik, bez potrebe za pretraživanjem kataloga javnih usluga. Razvoj ovog alata temelji se na analizi stvarnih korisničkih upita prikupljenih iz službe za korisnike, čime se osigurava visoka razina relevantnosti i učinkovitosti odgovora. Na temelju tih podataka trenira se umjetna inteligencija koja omogućuje da virtualni asistent razumije kontekst i potrebe korisnika te u stvarnom vremenu pruža točne i prilagođene informacije. Na portalu Uređena zemlja, virtualni asistent znatno ubrzava i olakšava dohvat službenih i neslužbenih isprava. Trenutačna funkcionalnost virtualnog asistenta svrstava se u četvrtu razinu digitalizacije prema klasifikaciji Europske komisije, koja uključuje dvosmjernu komunikaciju i djelomičnu automatizaciju procesa. U budućnosti je moguća integracija s velikim jezičnim modelima (engl. Large Language Models – LLM) čime bi se usluga podigla na petu razinu digitalizacije, gdje sustav proaktivno predlaže rješenja, a korisnik daje samo potvrdu.

Ključne riječi: digitalna transformacija, umjetna inteligencija, upravljanje zemljištem, virtualni asistent

1. Uvod

Prije uvođenja digitalnih servisa, izdavanje izvataka iz zemljišne knjige ili katastarskog plana zahtijevalo je niz koraka: fizički dolazak u katastarski ili zemljišno-knjižni ured, podnošenje zahtjeva, uplatu propisane takse i čekanje na dokument. Terenska mjerenja obavljala su se GNSS opremom, dok su katastarski planovi ažurirani ručno. Takvi su postupci bili vremenski zahtjevni, podložni pogreškama pri unosu podataka te ograničeni radnim vremenom za stranke nadležnih službi.

Početne faze digitalizacije (razine 1–3) obilježila je objava mrežnih kataloga usluga i PDF obrazaca za preuzimanje. Unatoč tome, korisnici su i dalje morali samostalno pretraživati INSPIRE/GML servise te interpretirati složene XML formate. Uvođenje portala *Uređena zemlja* i ZIS-OSS (Zajednički informacijski sustav zemljišnih knjiga i katastra – engl. *One Stop Shop*) sustava označilo je prelazak na četvrtu razinu digitalizacije: omogućena je dvosmjerna elektronička predaja zahtjeva za digitalni geodetski elaborat, praćenje statusa predmeta te automatsko ažuriranje katastarskih slojeva iz sustava Državne geodetske uprave. Ipak, ostvarivanje tih usluga i dalje je zahtijevalo poznavanje prava i terminologije vezane uz katastar i zemljišnu knjigu.

Cilj rada je prikazati evoluciju geodetskih i zemljišno-knjižnih usluga; od ručnih postupaka, preko četvrte razine elektroničkih servisa, do primjene virtualnih asistenata kao ključnog elementa pete razine digitalizacije, te analizirati tehnička i pravna ograničenja njihove implementacije. Poseban naglasak stavlja se na pravni okvir za izdavanje elektroničkih isprava te potencijalne funkcionalnosti za proaktivno savjetovanje korisnika. Rad pruža smjernice za uspješan prijelaz na višu razinu digitalizacije u uslugama upravljanja zemljištem te razmatra mogućnosti integracije velikih jezičnih modela (engl. *Large Language Models* – LLM) i razvoja geodetske baze znanja. Tema je posebno aktualna danas zbog brzog razvoja umjetne inteligencije i sve veće potrebe javne uprave za alatima koji omogućuju dostupnost usluga građanima u realnom vremenu, na jednostavan i zanimljiv način.

2. Općenito o virtualnim asistentima

Virtualni asistenti su konverzijski sustavi temeljeni na umjetnoj inteligenciji (engl. Artificial Intelligence – AI) koji omogućuju korisnicima interakciju u prirod-

Tablica 1. Primjeri virtualnih asistenata u javnoj upravi

Država/Asistent	Vrsta	Tipična razina autonomije	Kratak opis
Hrvatska / OSS virtualni asistent	Hibridni	2–3 (Suradnik/Konzultant)	Pruža informacije o statusu katastarskih i zemljišnoknjižnih predmeta, stanje nekretnina i promjene te pomaže pri pristupu izdacima.
Portugal/e-Portugal	Hibridni	2–3 (Suradnik/Konzultant)	Pomaže pri interakciji sa državnim službama
Estonija/Bürokratt	Platforma	2–3 (→ 4 u pilotima)	Pristup javnim uslugama putem virtualnih asistenata na više kanala.
Latvija /UNA	AI (NLP)	2–3 (Suradnik/Konzultant)	Informira o postupcima registracije poduzeća.
SAD/myPHX311	Hibridni	2 (Suradnik)	Glavni kanal za gradske informacije i prijave.

nom jeziku umjesto kroz statične izbornike ili obrasce. Modul za razumijevanje jezika identificira korisnikovu namjeru i entitete, dok dijaloški menadžer vodi tok razgovora i dohvaća podatke iz internih sustava ili API-ja (engl. Application Programming Interfaces). Takav pristup smanjuje greške i olakšava pristup uslugama, osobito korisnicima bez stručnog znanja (McTear, 2017).

2.1. Povijest razvoja

Razvoj virtualnih asistenata započinje programom ELIZA, prvim sustavom koji je simulirao dijalog koristeći unaprijed definirane uzorke (Weizenbaum, 1966). Tijekom 1980-ih pojavljuju se ekspertni sustavi poput MYCIN-a, a statistička era NLP-a (engl. *Natural language processing* - NLP) značajno poboljšava sposobnosti generalizacije sustava iz podataka. Ključni napredak slijedi nakon 2010. godine razvojem dubokog učenja (engl. *Deep Learning*), uključujući RNN (engl. *Recurrent Neural Networks*), Word2Vec i BERT modele, što omogućava kontekstualno razumijevanje i generiranje teksta. Revolucionarni korak predstavlja razvoj generativne umjetne inteligencije (engl. *Generative AI*), koja koristi LLM poput GPT-serije (Brown i dr., 2020). Njihova sposobnost generalizacije i učenja iz velikih količina podataka čini ih posebno vrijednima u situacijama gdje je potrebna visoka razina prilagodbe i razumijevanja jezika. Napredan primjer je venecijanski VA za povijesni katastar, koji upit pretvara u SQL/Python, dohvaća podatke i generira vizualizaciju (Karch i dr., 2025).

2.2. Vrste virtualnih asistenata

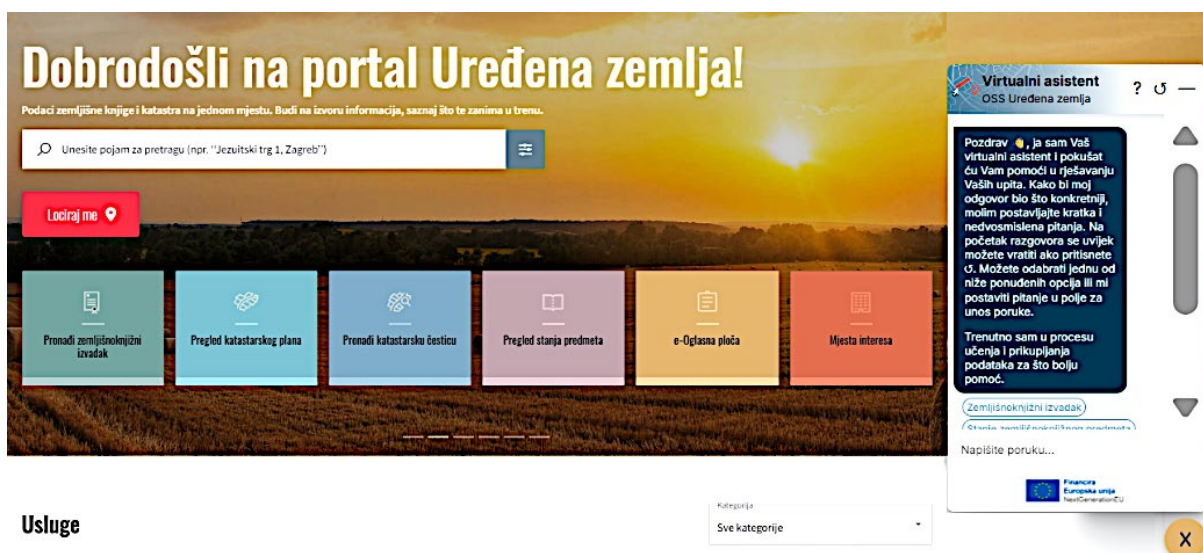
Kao primjer jedne od klasifikacija uzima se IBM-ova (URL 1) podjela na šest tipova virtualnih asistenata:

1. Asistenti temeljeni na izbornicima i gumbima - vode korisnika kroz unaprijed definirana „stablo“ odluka;
2. Asistenti temeljeni na pravilima - oslanjaju se na unaprijed dogovorene dijaloške tokove i ključne riječi;

3. Asistenti temeljeni na umjetnoj inteligenciji (NLP/AI) - koriste modele za klasifikaciju namjera i prepoznavanje entiteta, čime postižu veću fleksibilnost u razumijevanju različitih formulacija upita u zatvorenoj domeni (Tur i De Mori, 2011);
4. Glasovni asistenti - dodaju slojeve za prepoznavanje i sintezu govora na postojeće dijaloške sposobnosti;
5. Generativni AI asistenti (LLM) - produciraju odgovore i sažetke na temelju velikih jezičnih modela, pa nude veću pokrivenost tema, ali zahtijevaju utemeljenje u izvorima i kontrole kvalitete;
6. Hibridni asistenti - kombiniraju deterministična pravila za kritične korake (identitet, ovjere, validacije) s AI/LLM fleksibilnošću u ostatku procesa, što je česta praksa u reguliranim djelatnostima.

Kao okvir za dizajn i upravljanje rizikom, primjenjuje se koncept razine autonomije. Lance (2021) definira pet razina autonomije virtualnih asistenata, a razina se odabire prema procesu i prihvatljivom riziku.

1. Razina – Operator: korisnik upravlja svakim korakom, a agent izvršava zadane naredbe. Najčešće se primjenjuju asistenti temeljeni na izbornicima i gumbima.
2. Razina – Suradnik: agent obavlja jednostavne zadatke uz stalni nadzor korisnika. Najčešće se koriste asistenti temeljeni na pravilima te AI asistenti.
3. Razina – Konzultant: agent rutinski rješava zadatke, a za složenije situacije traži potvrdu korisnika. Često uključuje generativne AI asistente uz RAG pristup te hibridne asistente.
4. Razina – Odobravatelj: agent samostalno vodi proces, dok korisnik povremeno odobrava ili intervenira. Tipični primjeri su hibridni asistenti i generativni AI.
5. Razina – Promatrač: agent djeluje potpuno autonomno, a korisnik nadzire i reagira samo na iznimke. Uglavnom se primjenjuju generativni AI i hibridni asistenti.



Slika 1: Virtualni asistent na portalu Uređena Zemlja (URL 6)

2.3. Virtualni asistenti u javnom sektoru

Napredak u tehnologijama umjetne inteligencije potaknuo je novi val interesa za implementaciju virtualnih asistenata u javnom sektoru. Pandemija bolesti COVID-19 ubrzala je njihovu implementaciju. Europska i međunarodna praksa pokazuje kako se virtualni asistenti uvode na nacionalnim portalima i agencijama u državama poput Portugala (URL 2), Estonije (URL 3), Latvije (URL 4) kao i na razini gradova poput Phoenix, USA (URL 5), pri čemu se složeniji slučajevi i dalje eskaliraju prema službenicima. Dodatno, hrvatski primjer uključuje i OSS virtualni asistent na portalu Uređena zemlja, koji građanima olakšava dohvat informacija i izvadaka (URL 6).

Kao što je prikazano u tablici 1, većina aktualnih rješenja u javnom sektoru cilja razine 2–3 (Suradnik/Konzultant): agent stabilno rješava rutinske upite, dok se za složenije korake traži potvrda korisnika ili se slučaj preusmjerava službeniku/korisničkoj podršci. Ovi primjeri pokazuju da virtualni asistenti u raznim regulatornim uvjetima mogu značajno unaprijediti dostupnost, brzinu i kvalitetu javnih usluga, a u kontekstu upravljanja zemljištem otvaraju mogućnost da korisnik prirodnim jezikom zatraži izvadak, provjeri status čestice ili dobije upute bez prethodnog poznavanja stručnih parametara.

3. Primjena virtualnih asistenata u upravljanju zemljištem

Upis zemljišta temeljna je sastavnica sustava upravljanja zemljištem, koja pruža pravni okvir za evidentiranje i upravljanje vlasničkim pravima. Katastar i zemljišna knjiga nemaju samo ulogu evidentiranja vlasništva i osiguravanja odgovora na pitanje „Tko što posjeduje?“ već djeluju i kao društveno odgovorne institucije. S obzirom na razvoj tehnologije (umjetna inteligencija, virtualni asistenti, automatizacija) potrebno je istražiti njihovu dodatnu vrijed-

nost i odrediti na koji način mogu biti korisne u sustavu upravljanja zemljištem te koje bi bile društvene posljedice njihove primjene (Vos, 2024).

3.1. Mogućnosti virtualnih asistenata

Kao prikaz mogućnosti pozitivnih promjena koje virtualni asistenti mogu donijeti upravljanju zemljištem najbolje ilustrira rješenje primijenjeno u Republici Hrvatskoj na portalu Uređena zemlja (URL 6), odnosno virtualni asistent koji nudi niz funkcionalnosti koje nadilaze samo brzo odgovaranje na korisničke upite. Osim tehničke pouzdanosti, njegova najveća vrijednost leži u povećanju dostupnosti usluga građanima i rasterećenju administrativnog sustava. Kroz prirodni jezik korisnici mogu zatražiti izvatke iz zemljišne knjige i druge javne isprave, provjeriti status katastarskog i zemljišnoknjižnog predmeta ili dobiti upute o podnošenju zahtjeva, bez potrebe za poznavanjem stručne terminologije. Dodatno, u privatnom dijelu portala za koji je potrebna prijava putem NIAS-a (Nacionalni identifikacijski i autentifikacijski sustav), virtualni asistent može korisniku ispisati nekretnine na kojima je upisan korisnikov OIB u zemljišnoj knjizi i katastru te ishoditi službene isprave (URL 7).

Spomenuti virtualni asistent izrađen je kako bi osigurao brze i responzivne odgovore korisnicima, s ciljem da svaki odgovor bude generiran u roku od 2-5 sekunde od primitka korisničke poruke. Izrađen je na platformi RASA, odnosno platformi za razvoj virtualnog asistenta koja na svim okolinama ima dvije instance, kako bi u slučaju kvara jedne instance sustav i dalje bio raspoloživ i korisnici bivaju preusmjereni na drugu instancu čime se osigurava stabilnost i raspoloživost sustava korisnicima u svakom trenutku.

3.2. Izazovi prilikom implementacije

Tijekom razvoja virtualnog asistenta za upravljanje zemljištem u Hrvatskoj (slika 1), nailazi se na niz izazova vezanih uz razumijevanje i tumačenje zemljišnoknjižnih podataka, što je i u teoriji prepoznato kao

jedno od ključnih područja primjene umjetne inteligencije – obrada nestrukturiranih podataka (Gubitosa, 2025). Konkretno, jedan od složenijih problema bio je omogućiti asistentu da razlikuje pojmove i kontekste u situacijama kada se katastarske općine istog naziva nalaze pod različitim nadležnim odjelima ili kada su uneseni podaci (npr. broj katastarske čestice) nestrukturirani na većoj razini, te mogu sadržavati brojke, slovne oznake i znakove. Rješavanje ovog problema zahtijevalo je uvođenje mehanizama za semantička razjašnjenja i povezivanje unosa s metapodacima, poput institucijske nadležnosti. Umjetna inteligencija, posebno algoritmi strojnog učenja i obrade prirodnog jezika, omogućili su sustavu da se "nauči" nositi s takvim varijacijama kroz analizu stvarnih primjera i identifikaciju pravilnosti u podacima. Ovi primjeri jasno pokazuju da kvaliteta i konzistentnost ulaznih podataka značajno utječu na uspješnost implementacije alata umjetne inteligencije (Mohammed i dr., 2025), što potvrđuje i iskustvo drugih institucija koje se bave digitalizacijom zemljišnih knjiga. Također, brojni izazovi povezani su s kompleksnošću hrvatskog jezika kao takvog.

1. Hrvatski jezik je flektivan, što znači da zbog morfološke složenosti ista riječ može imati više oblika (npr. čestica, česticom, česticu) te virtualni asistent mora razumjeti različite oblike iste riječi i povezati ih s istim pojmom u bazi. Teško je predvidjeti koje će sve oblike riječi korisnici upotrebljavati u razgovoru te to može otežavati pretrage.
2. Korisnici sustava također koriste različite termine za isti pravni ili tehnički pojam: npr. vlasnički list, vlastovnica, izvadak iz grunтовnice, grunтовni izvadak - sve su sinonimi za izvadak iz zemljišne knjige. Potrebna je semantička analiza i geografska prilagodba odgovora. Virtualni asistent mora imati dobro popunjenu leksičku bazu sinonima i razumjeti kontekst, kako bi znao da se radi o istom zahtjevu.
3. Korištenje kolokvijalnog jezika i nepravilno strukturirani upiti (npr. *kako doć do papira od moje zemlje?*) razlog su zašto je važno pri razvoju virtualnog asistenta koristiti NLP alate za normalizaciju i raditi na detaljnom prepoznavanju namjera. Upravljanje zemljištem koristi preciznu pravnu tehnologiju koju korisnici ne razumiju uvijek. Virtualni asistent mora znati razumjeti „običan jezik“ i povezati ih sa stručnim izrazima bez gubitka značenja.

Upravo zato razvoj virtualnog asistenta ne može biti jednokratni projekt, već zahtijeva stalno održavanje i prilagodbu, kako bi se osiguralo da sustav ostane uskladen s jezičnim varijacijama i promjenama u zakonodavnom okviru.

3.3. Budući razvoj virtualnih asistenata

Budući razvoj virtualnog asistenta u području upravljanja zemljištem mogao bi se usmjeriti prema funkcijama koje nadilaze samo osnovno dohvaćanje i ispis podataka te izdavanje isprava. Jedna od važnih nadogradnji bila bi mogućnost proaktivnog obavješćavanja korisnika putem sustava informacija o svim

promjena vezanih uz određenu česticu ili vlasnika, poput promjena vlasništva, upisa tereta ili pokretanja pravnih postupaka. Uz to, virtualni asistent mogao bi provoditi automatiziranu provjeru potpunosti dokumentacije prije podnošenja zahtjeva, čime bi se potencijalno smanjila učestalost pogrešaka ili nepotpunih prijava. Napredne funkcionalnosti mogle bi uključivati interaktivno vođenje korisnika kroz složene administrativne postupke nudeći korisne i personalizirane upute (OECD, 2024). Primjenom tehnologija za prepoznavanje i obradu dokumenata, asistent bi mogao automatski izdvajati relevantne podatke iz dostavljenih ugovora ili izvadaka te skratiti postupak administrativnih procesa. Naposljetku, uvođenje višejezične podrške omogućilo bi stranim državljanima jednostavnije snalaženje u evidencijama katastra i zemljišne knjige Republike Hrvatske. Sve navedeno je samo dio funkcionalnosti koje bi mogle postati standard u razvoju virtualnih asistenata u području upravljanja zemljištem.

4. Zaključak

Uvođenje virtualnih asistenata u područje upravljanja zemljištem predstavlja važan korak prema višoj razini digitalizacije javne uprave te se pokazalo kao pozitivna promjena ne samo u brzini i jednostavnosti komunikaciji građanima već i značajno unapređuje učinkovitost službenika te transparentnost postupaka. Time se potvrđuje uloga virtualnih asistenata kao mosta između složene pravne i tehničke terminologije s jedne strane, kao i praktičnih potreba korisnika s druge. Budući razvoj virtualnog asistenta trebao bi biti baziran na proaktivnom informiranju korisnika, automatiziranoj provjeri dokumentacije, vođenju kroz složene administrativne postupke, inteligentnoj obradi dokumenata i višejezičnoj podršci. U konačnici, virtualni asistent ne treba promatrati samo kao tehnički alat, nego i kao instrument kojim upravljanje zemljištem jača svoju društvenu odgovornost, dostupnost i održivost u digitalnom dobu. Na taj način, virtualni asistent ne predstavlja samo tehničku inovaciju već i strateški alat u izgradnji moderne javne uprave usmjerene na korisnika.

Literatura

Brown, T. B. i dr. (2020): Language Models are Few-Shot Learners, Cornell University, Computation and Language department.

Gubitosa, B. (2025): Unlocking the Power of Unstructured Data with AI, Riverty, Data learning center.

Karch, T. i dr. (2025): LLM-Powered Agents for Navigating Venice's Historical Cadastre, Cornell University, Software Engineering department.

Lance, E. (2021): Identifying a Set of Autonomous Levels for AI-Based Computational Legal Reasoning, MIT Computational Law.

McTear, M. (2017): *The Conversational Interface: Talking to Smart Devices*, Springer, Cham.

Mohammed, S. i dr. (2025). *The Effects of Data Quality on Machine Learning Performance*, *Information Systems*, 32, 1-18.

OECD, (2024): *Governing with Artificial Intelligence: Are governments ready?*. Paris: OECD Publishing.

Tur, G. i De Mori, R. (2011): *Spoken Language Understanding: Systems for Extracting Semantic Information*, Wiley, Hoboken.

Vos, J. (2024): *Land Administration as a Social Responsible and Sustainable Institution, using Artificial Intelligence in times of Climate Change*. U: XXIII IPRA-CINDER International Congress of Registration Law.

Weizenbaum, J. (1966): ELIZA — A computer program for the study of natural language communication between man and machine, *Communications of the ACM*, 9(1), 36–45.

URL 1: IBM – Types of Chatbots, <https://www.ibm.com/think/topics/chatbot-types>, (11. 08. 2025.)

URL 2: Governo de Portugal – Assistente Virtual com Inteligência Artificial vai apoiar os cidadãos no

acesso aos serviços públicos, <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc23/comunicacao/noticia?i=assistente-virtual-com-inteligencia-artificial-vai-apoiar-os-cidadaos-no-acesso-aos-servicos-publicos>, (11. 08. 2025.)

URL 3: Bürokratt – Estonia’s virtual assistant platform, <https://burokratt.ee/en>, (11. 08. 2025.)

URL 4: Register of Enterprises of the Republic of Latvia – Uzņēmumu reģistrs atklāj pirmo publiskās pārvaldes virtuālo asistentu Latvijā – UNA, <https://www.ur.gov.lv/lv/jaunumi/aktualitates/uznemumu-registrs-atklaj-pirmo-publiskas-parvaldes-virtualo-asistentu-latvija-una/>, (11. 08. 2025.)

URL 5: City of Phoenix – 2023–24 Summary Budget Book (navod o virtualnom asistentu), https://www.phoenix.gov/content/dam/phoenix/budgetsite/budget-books/2023-24_summary_budget_book.pdf, (11. 08. 2025.)

URL 6: OSS Uredena zemlja – Virtualni asistent, <https://uredjenazemlja.hr/oss-virtualni-asistent/>, (11. 08. 2025.)

URL 7: OSS Uredena zemlja – Korisnički priručnik za virtualnog asistentu, [blob:https://oss.uredjenazemlja.hr/b64a8167-ff2e-44a0-bcec-a4f1410d1998](https://oss.uredjenazemlja.hr/b64a8167-ff2e-44a0-bcec-a4f1410d1998) (20. 08. 2025.)

How Virtual Assistants are transforming Land Administration

Abstract

The digital transformation of public administration is a key step in modernizing processes and improving service quality for citizens. Land administration, as the foundation of spatial management, is also part of this transformation. Croatia is among the first European countries, alongside the Netherlands and Latvia, to apply virtual assistants in land administration to improve access to information and simplify user interaction. The main goal of a virtual assistant is to provide fast and personalized access to information on real estate and land registry services. By enabling communication in natural language, virtual assistants reduce the administrative burden, shorten processing times, and increase transparency. Developed on real user inquiries, the system adapts to user needs and provides accurate answers in real time. On the portal Uredena zemlja, the virtual assistant significantly simplifies access to documents and services. Current functionality corresponds to the fourth level of digitalization defined by the European Commission, while future integration with large language models could elevate the service to a fifth level, where the system proactively proposes solution and the user only confirms them.

Keywords: *artificial intelligence, digital transformation, land administration, virtual assistant.*

Digitalizacija procesa obilježavanja kroz Sustav novih izmjera

Martina Nemet¹, Stjepan Grđan², Dario Kašmo²

¹ Državna geodetska uprava – Sektor za katastarski sustav, Gruška ulica 20, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska, martina.nemet@dgu.hr

² IGEA d.o.o., Frana Supila 7/B (2.kat), 42000 Varaždin, Hrvatska, stjepan.grdjan@igea.hr, dario.kasmo@igea.hr

Sažetak

Državna geodetska uprava uspostavila je Sustav novih izmjera (SNI) kao središnju digitalnu platformu za upravljanje katastarskim izmjerama (URL 1). U okviru Višegodišnjeg programa katastarskih izmjera građevinskih područja 2021.–2030., razvijen je modul za obilježavanje, s ciljem digitalizacije postupka kojim se, sukladno Zakonu o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, na terenu u nazočnosti nositelja prava utvrđuju granice katastarskih čestica radi njihove službene evidencije. U ovom radu opisane su osnovne funkcionalnosti modula za obilježavanje, koji omogućuje uvoz i usporedbu inicijalnih katastarskih i zemljišnoknjižnih podataka, grafičko definiranje područja obuhvata u Web GIS pregledniku, uređivanje podataka o strankama i ažuriranje na temelju servisnog dohvata iz OIB sustava, izradu planova obilježavanja i generiranje poziva uz mogućnosti otpreme putem ePošte, te objavu relevantne dokumentacije na eOglasnoj ploči DGU. Modul također omogućava unos i ažuriranje podataka prikupljenih na terenu, izradu terenskih i uredskih zapisnika te pripremu elaborata i plana obilježavanja. Digitalni tijek rada i integracija s državnim servisima doprinose standardizaciji postupaka obilježavanja, povećanju učinkovitosti i ubrzanju procesa, smanjenju mogućnosti pogrešaka te jačanju pravne sigurnosti, čime se značajno unaprjeđuje provedba katastarskih izmjera i upravljanje evidencijama o nekretninama.

Ključne riječi: digitalizacija, Državna geodetska uprava, katastarska izmjera, obilježavanje, SNI.

1. Sustav novih izmjera (SNI)

Sustav novih izmjera (SNI) je središnja digitalna platforma Državne geodetske uprave za upravljanje katastarskim izmjerama koji je počeo s radom sredinom 2019. godine (u svojoj inicijalnoj verziji), razvila ga je tvrtka IGEA d.o.o.

SNI je aplikativno rješenje koje omogućava vođenje evidencije ugovora katastarske izmjere i tehničkog nadzora, praćenje izvršenja svih aktivnosti i radnji u postupku izrade elaborata katastarske izmjere, učitavanje podataka elaborata katastarske izmjere u razmjenskom formatu uz odgovarajuće kontrole (DGU, 2020) (Slika 1).

Novim modulom *Obilježavanje* digitaliziran je i proces obilježavanja granica katastarskih čestica i evidentiranja relevantnih podataka. Ovaj modul pruža podršku geodetskim izvoditeljima u postupku uređivanja inicijalnih podataka službenih evidencija, evidentiranje podatka o zgradama, izradu planova obilježavanja, izradu i slanje poziva na obilježavanje te izradu terenskih i uredskih zapisnika.

SNI aplikativno rješenje koristi više vrsta korisnika:

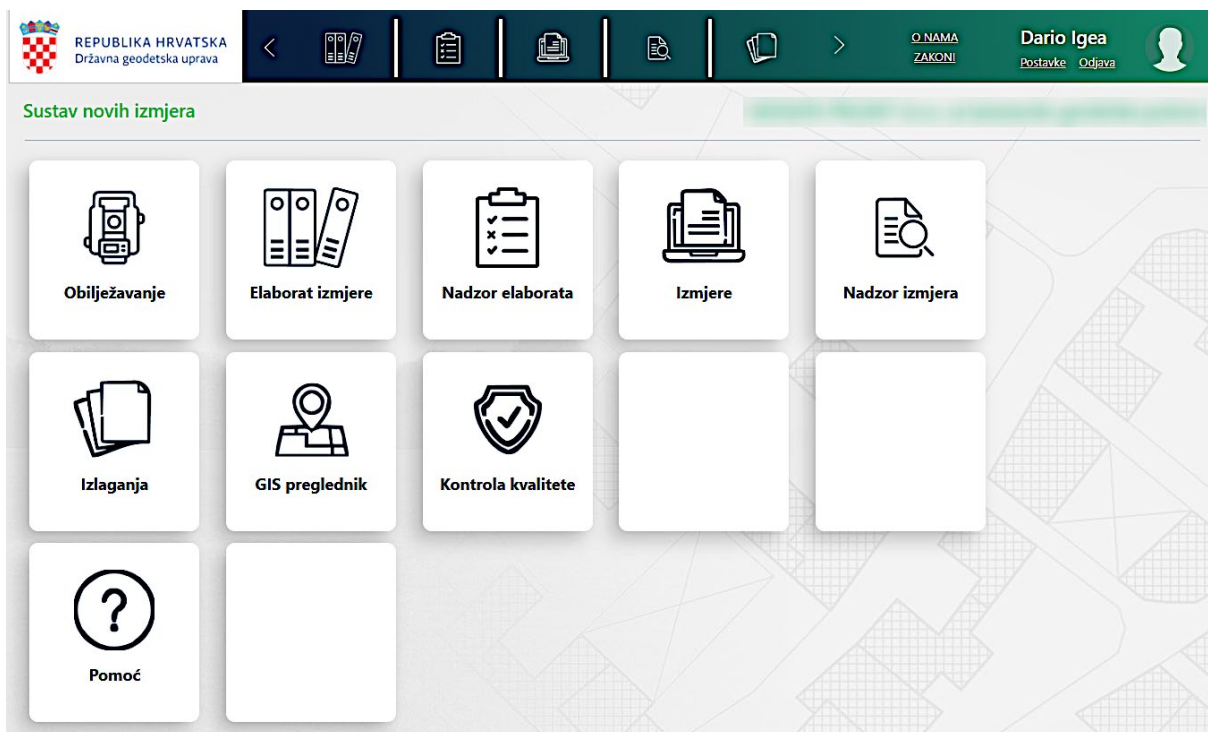
- *Središnji ured DGU* izrađuje planove katastarskih izmjera (modul *Planiranje*), vodi podatke o ugovorima katastarskih izmjera (*Ugovor*), prati radove na katastarskim izmjerama uz komunikaciju sa geodetskim izvoditeljima putem sustava (*Nadzor*

izmjere i *DGU Nadzor*), pregledava i preuzima učitane podatke elaborata izmjere (*Izmjere*)

- *PUK-ovi* i *GUKGP Grada Zagreba* imaju uvid u izvršenje poslova katastarskih izmjera uz mogućnost preuzimanja rezultata radnji izvoditelja i tehničkog nadzora (*KT ured nadzor*)
- *Ovlašteni geodetski izvoditelj* sudjeluje u praćenju katastarskih izmjera kao izvršitelj izmjere ili kao tehnički nadzor. Kao izvršitelj izmjere (*Elaborat izmjere*) izrađuje Dinamički plan katastarske izmjere te izvršava aktivnosti i radnje prema odobrenom planu uz učitavanje rezultata radnji. Obavlja tehnički nadzor izvršenih radnji (*Nadzor elaborata*). Učitava podatke elaborata katastarske izmjere u SNI razmjenskom formatu (*Izmjere*) ili preuzima podatke za izmjere za koje obavlja tehnički nadzor (*Nadzor izmjera* - prije praćenja izmjera kroz sustav).

Od ostalih funkcionalnosti modulom *Izlaganja* korisnici mogu provjeriti aktualne podatke sa lokacije izlaganja, modulom *GIS preglednik* mogu se pregledati podaci izmjera i izlaganja na karti, a u modulu *Kontrola kvalitete* vrši se kontrola digitalnog katastarskog plana u CAD formatu i kompletnog elaborata katastarske izmjere u sklopu ZIP datoteke.

Zadnjom nadogradnjom sustava pušten je u rad i modul *Obilježavanje*.



Slika 1: SNI početna stranica s modulima korisnika ovlaštenog geodetskog izvoditelja (URL 2)

2. Modul Obilježavanje

Modul *Obilježavanje* geodetskim izvoditeljima u postupku katastarske izmjere pruža podršku u procesu planiranja i provedbe obilježavanja katastarskih čestica te prikupljanja podataka o nekretninama i nositeljima prava odnosno izradu terenskog, a kasnije i uredskog zapisnika. Na ovaj način automatizira se priprema podataka elaborata katastarske izmjere u SNI razmjenskom formatu.

2.1. Ključne funkcionalnosti

2.1.1. Ugovor, područje obuhvata, projektni zadatak

Podaci o ugovorima, području obuhvata i projektnom zadatku se u modulu Obilježavanje prikazuju na temelju podataka koje Središnji ured DGU evidencira u modulu Ugovori Sustava Novih Izmjera. Kroz modul Obilježavanje izvoditelju je omogućen upis i izmjena nekoliko osnovnih (internih) podataka o ugovoru i projektnom zadatku.

Poligon područja obuhvata moguće je pregledati na karti modula Obilježavanje.

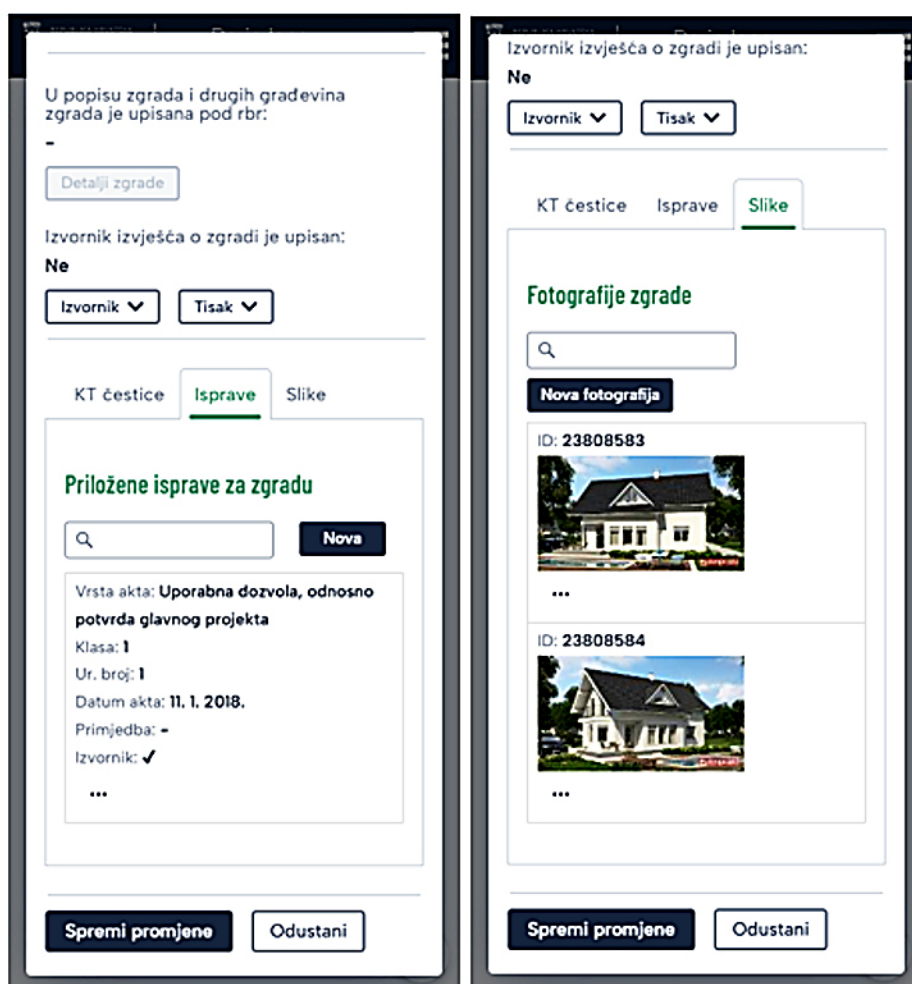
2.1.2. Označavanje čestica u području obuhvata

Na temelju grafike poligona područja obuhvata sustav automatski postavlja česticama iz isporučenih službenih katastarskih i zemljišnoknjižnih podataka oznaku je li čestica unutar ili izvan obuhvata. Ove oznake je moguće i ručno uređivati. Čestice obuhvata mogu biti označene kao predmetne, one koje su uključene u katastarsku izmjeru ili susjedne, one koje neposredno graniče s česticama koje su uključene u katastarsku izmjeru (Slika 2). Ovime se osigurava da i nositelji prava na česticama koje neposredno graniče s obuhvatom katastarske izmjere sudjeluju u postupku obilježavanja međa.

Za čestice obuhvata izrađuje se usporedba i identifikacija katastarskih i zemljišnoknjižnih podataka kroz

KT čestice											
Popis kat. čestica iz katastarskog operata											
Čestica u obuhvatu: Da = predmetna čestica											
Rbr. podr.	Naziv kat. općine ^ MBR	Broj kat. čestice ^	Predmetna	Dio	Susjedna	Obiljež.	Adresa čestice	Površina (m ²) t površina	Izvor Mjerilo	Izvoditelj	Ručno (ZIS ID)
1	DRVENIK 330698	*18	✓	-	-	✓	ČINKOVO	169 165,00	kt 2880		- (18733023)

Slika 2: Tabela popis katastarskih čestica s osnovnim informacijama i postavljenim oznakama



Slika 3: Učitavanje isprava za zgradu i fotografija zgrada – prikaz na mobilnom uređaju

automatizirani proces uspoređivanja brojeva čestica ili na temelju identifikacije iz inicijalnih podataka.

2.1.3. Usporedba i identifikacija katastarskih i zemljišnoknjižnih čestica

Za čestice obuhvata radi se usporedba ili identifikacija katastarskih i zemljišnoknjižnih čestica ovisno o katastarsko-zemljišnoknjižnom stanju. U slučaju istovjetnog ili uvjetno istovjetnog stanja sustav automatski povezuje čestice istog broja. Moguće je i ručno povezati čestice ili urediti već upisane veze. Sustav iz inicijalnih podataka upisuje i službenu identifikaciju čestica.

2.1.4. Popis zgrada

Paralelno s pripremom podataka za obilježavanje moguće je evidentirati i podatke o zgradama na postojećim česticama. Nakon upisa općih podataka i upisa zgrade u sustav uz zgradu možemo učitati priložene isprave ili fotografije s terena (Slika 3).

Sustav na temelju upisanih podataka generira PDF datoteku Izvješća o zgradi a omogućeno je i učitavanje izvornika Izvješća o zgradi.

Podaci zgrada i priložene isprave koriste se u izradi uredskog zapisnika te pripremi elaborata katastarske izmjere.

2.1.5. Stranke u postupku

Podaci o osobama iz službenih katastarskih i zemljišnoknjižnih podataka se uređuju i strukturiraju kako bi se osobama mogli poslati pozivi na obilježavanje (Slika 4). Uređivanje podataka o osobama znatno ubrzava dohvaćanje podatka o osobama putem servisa OIB sustava. Višestruki zapisi istih osoba iz iste ili iz različitih evidencija mogu se objediniti u jedinstveni zapis čime se minimizira količina poziva i time smanjuju troškovi izvoditelja. Spajanje stranaka je poluautomatiziran proces pri čemu se za stranke s upisanim OIB-o jednom akcijom mogu odabrati svi ostali zapisi osobe s istim OIB-om te spojiti u jedinstveni zapis. Izvoditelju je omogućen i ručni unos podataka o strankama za stranke koje nisu upisane u evidencije a nisu upisale svoje podatke putem javnog dijela modula Obilježavanje.

2.1.6. Plan obilježavanja

Nakon označavanja čestica obuhvata i uređivanja podataka o strankama, pristupa se izradi planova obi-

Stranke u postupku

Popis osoba iz katastarskog operata i glavne knjige

Izvor: Portal (javni upis) Područje obuhvata: dio k.o. ŽEŽEVICA Aktivne

Izvor	Obuhvat	Prezime i ime osobe Adresa	OIB	Prava	Stranac	Imo adresa	Potpuna adresa	Aktivna	
PORTAL	PREDMETNI	Horvat Ivan BOLČIĆI 1, ŽEŽEVICA, 21250 ŠESTANOVAC	88306056812	-	-	-	✓	✓	...

Veličina stranice 10 Prikazani zapisi 1 – 1 od 1

Slika 4: Pregled stranaka upisanih putem javnog dijela modula Obilježavanje

lježavanja. Plan se može definirati kao prostorna grupa, gdje se čestice dodaju ručno ili odabirom na karti (Slika 5), ili kao grupa vezana uz nositelja prava, pri čemu se automatski uključuju sve čestice na kojima je odabrana osoba upisana.

U plan obilježavanja automatski se uključuju katastarske i zemljišnoknjižne čestice na temelju usporedbe i identifikacije, zajedno sa svim osobama evidentiranim u popisu stranaka. Sljedeći korak obuhvaća generiranje PDF poziva za sve stranke, neovisno o potpunosti adrese, pri čemu se pozivi za stranke s nepotpunom adresom ne mogu otpremiti putem servisa ePošta, već se objavljuju na oglasnoj ploči DGU. Uz poziv je moguće priložiti dodatne dokumente, a trenutačno se standardno prilaže uputa za obilježavanje zemljišta. Dostava poziva prati se kroz modul Obilježavanje, pri čemu se statusi dostave i digitalne dostavnice automatski dohvaćaju iz sustava ePošta.

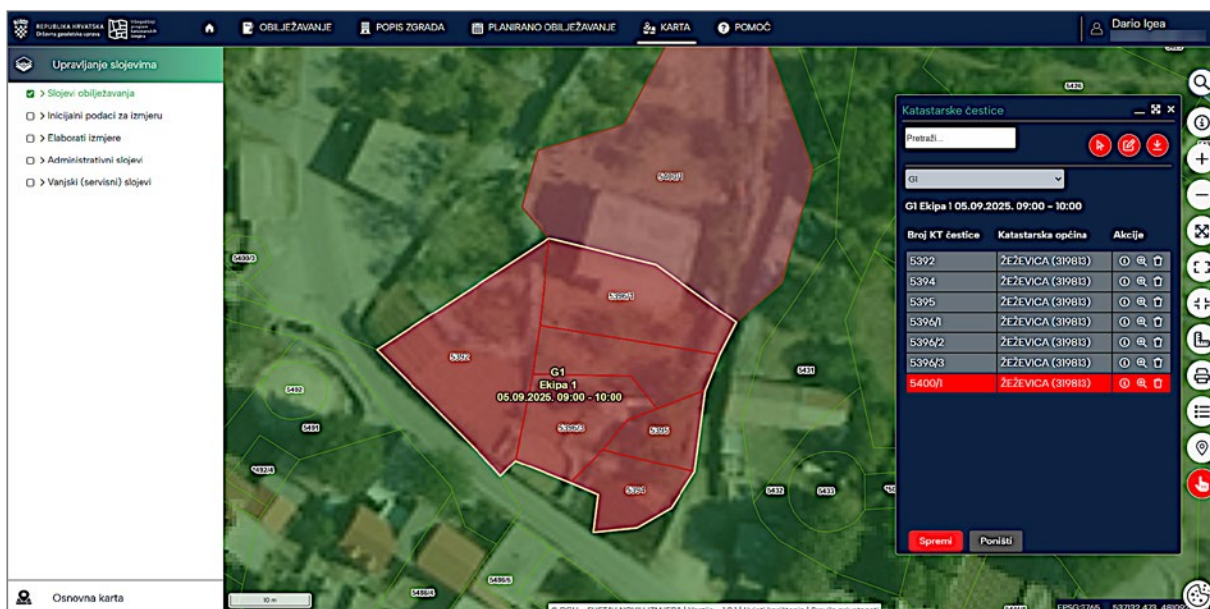
2.1.7. Zapisnik o obilježavanju

Sustav pri generiranju zapisnika automatski dodjeljuje broj zapisnika i privremeni broj nove čestice, uz mogućnost ručnog unosa. Radi digitalizacije pro-

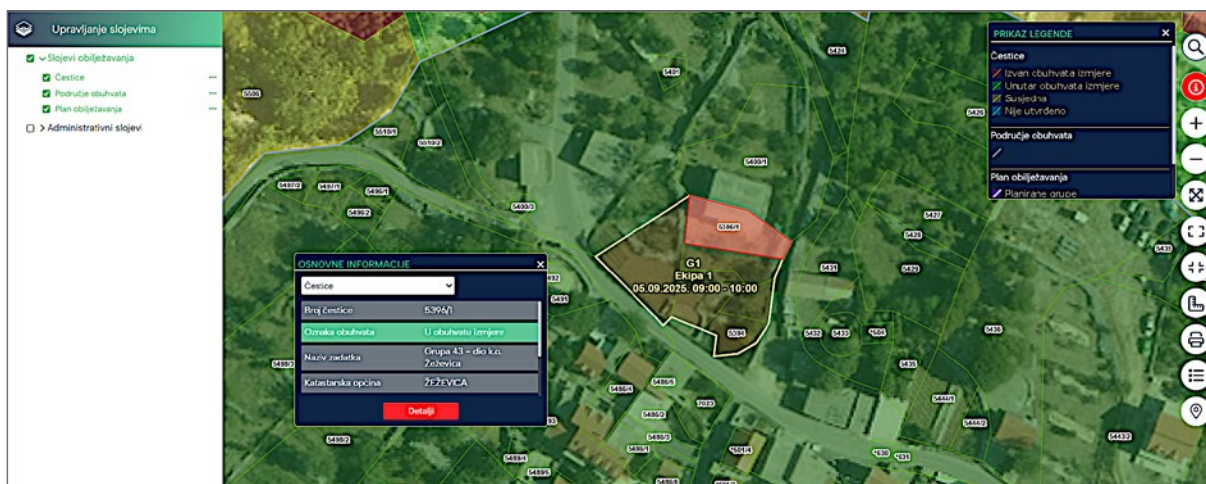
cesa omogućeno je da izvoditelj već na terenu, kroz modul *Obilježavanje*, evidentira status i način obilježavanja čestice, vrstu međnih oznaka te postojanje spornih međa. Za stranke se unose podaci o osobnoj iskaznici, nadležnoj policijskoj upravi i eventualnom opunomoćeniku, dok se prisutne stranke potpisuju grafičkim digitalnim potpisom na tabletu. U zapisnik se također upisuju dostavljene isprave koje su temelj za upis u evidencije, a stranke se uvrštavaju u Indikacije (Popisni list) automatiziranim funkcijama ili ručnim unosom. Iz popisa zgrada moguće je automatski dodati u zapisnik sve zgrade s pripadajućih čestica a potom neke i obrisati. Sustav generira PDF zapise terenskog i uredskog zapisnika, a podržano je i učitavanje izvornika u slučaju izrade zapisnika izvan sustava ili ručnog potpisivanja stranaka.

2.1.8. Elaborat katastarske izmjere

Po izradi svih zapisnika pokreće se izrada elaborata katastarske izmjere u kojem sustav automatski povezuje knjižne podatke, upisane u zapisnik o obilježavanju, i grafičke podatke, iz učitano digitalnog katastarskog plana. Kod učitavanja DKP-a vrše se ge-



Slika 5: Uređivanje plana obilježavanja na karti



Slika 6: Pregled podataka o čestici i planu obilježavanja kroz javni dio

ometrijske, topološke i sadržajne kontrole grafičkih podataka.

Pomoću učitane datoteke plana obrojčavanja u zapisnicima se automatski ažuriraju podaci službenog broja katastarske čestice i katastarske općine.

Proces završava generiranjem knjižnih podataka SNI razmjenskog formata uz prethodne kontrole sadržajnosti i konzistentnosti podataka. Planiranim nadogradnjama omogućit će se automatsko slanje podataka u SNI modul Izmjere bez potrebe preuzimanja i ponovnog učitavanja podataka.

2.2. Javni dio

Modul Obilježavanje ima i javni dio kroz koji svi zainteresirani građani mogu provjeriti nalazi li se njihova čestica u obuhvatu izmjere i pregledati službene podatke čestice iz katastarskog operata. Javnom dijelu modula Obilježavanja pristupa se putem poveznice na stranicama Višegodišnjeg programa katastarskih izmjera (URL 3) ili direktno putem URL modula *Obilježavanje* Sustava novih izmjera (URL 4).

Osobe koje imaju pravni interes, a nisu evidentirane u službenim evidencijama, mogu upisati svoje podatke kako bi iskazale interes i sudjelovali u postupku katastarske izmjere.

Za pojedinu česticu može se provjeriti je li upisana u plan obilježavanja te dobiti osnovne informacije plana obilježavanja kao datum i vrijeme obilježavanja, naziv izvoditelja i kontakt podatke (Slika 6).

3. Zaključak

Sustav novih izmjera (SNI) predstavlja jedan od ključnih informatičkih alata Državne geodetske uprave u provedbi katastarskih izmjera u Republici Hrvatskoj. Kao centralna platforma, omogućuje praćenje svih

faza izmjera, standardizaciju postupaka i razmjenu podataka između različitih sudionika procesa. Time se osigurava učinkovitija provedba Višegodišnjeg programa katastarskih izmjera građevinskih područja 2021.–2030., dok DGU dobiva snažan instrument za koordinaciju i nadzor nad geodetskim poslovima.

U sklopu sustava, modul Obilježavanje ima posebnu ulogu jer digitalno podržava geodetske izvoditelje u provedbi jednog od najvažnijih koraka katastarske izmjere – postupka obilježavanja međa. Zahvaljujući digitalnim funkcionalnostima modula – od definiranja obuhvata, uređivanja podataka o osobama, generiranja poziva, do izrade zapisnika i elaborata – čine cijeli proces standardiziranim, bržim, točnijim i dostupnijim svim geodetskim izvoditeljima koji sudjeluju u postupku katastarskih izmjera. Istodobno, javni dio modula građanima pruža brz i jednostavan uvid u podatke o njihovim česticama i planovima obilježavanja, čime se povećava transparentnost postupka i potiče aktivno sudjelovanje u katastarskoj izmjeri.

Literatura

DGU (2020): Brošura Državne geodetske uprave, Državna geodetska uprava.

URL 1: Državna geodetska uprava, <https://dgu.gov.hr/> (28. 08. 2025.).

URL 2: Sustav novih izmjera, <https://sni.dgu.hr/> (28. 08. 2025.).

URL 3: <https://www.visegodisnjiprogram.dgu.hr/> (28. 09. 2025.).

URL 4: <https://sni.dgu.hr/obiljezavanje/> (17. 09. 2025.).

Digitalization of the demarcation process through the New Survey System

Abstract

The State Geodetic Administration has established the New Survey System (SNI) as a central digital platform for managing cadastral surveys. Within the framework of the Multiannual Program of Cadastral Surveys of Construction Areas 2021–2030, a Demarcation Module has been developed with the aim of digitalizing the procedure by which, in accordance with the Act on State Survey and Real Estate Cadastre, the boundaries of cadastral parcels are determined in the field in the presence of right holders for the purpose of their official registration.

This paper outlines the core functionalities of the Demarcation Module, which enables the import and comparison of initial cadastral and land registry data, graphical definition of coverage areas in a Web GIS browser, management and updating of party data via service retrieval from the Personal Identification Number (OIB) system, preparation of demarcation plans and the generation of invitations with dispatch options via ePost (ePošta), as well as the publication of relevant documents on the DGU eNotice Board (eOglasna ploča). The module also supports the entry and updating of field-collected data, the preparation of field and office reports, and the generation of survey documentation including demarcation and numbering plans.

The digital workflow and integration with national services contribute to the standardization of demarcation procedures, improvement of efficiency and process acceleration, reduction of error margins, and strengthening of legal certainty. These advancements significantly enhance the implementation of cadastral surveys and the management of real estate records.

Keywords: *cadastral survey, demarcation, digitalization SNI, State Geodetic Administration.*

SDGE – više od pet godina primjene

Stjepan Grđan¹, Martina Nemet², Maja Čorak², Ana Vichra¹

¹ IGEA d.o.o., Frana Supila 7/B (2.kat), 42000 Varaždin, Hrvatska, stjepan.grdjan@igea.hr, ana.vichra@igea.hr

² Državna geodetska uprava – Sektor za katastarski sustav, Gruška ulica 20, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska, martina.nemet@dgu.hr, maja.corak@dgu.hr

Sažetak

Sustav digitalnih geodetskih elaborata (SDGE), u produkcijskom radu od 1. rujna 2018., predstavlja centralnu digitalnu platformu za izradu i obradu geodetskih elaborata u Republici Hrvatskoj. Više od pet godina kontinuiranog korištenja pokazalo je da se SDGE razvio u pouzdan i napredan sustav, koji se kroz vrijeme kontinuirano nadograđivao novim funkcionalnostima, prilagođavao zakonodavnim izmjenama i potrebama korisnika. Sustav danas obuhvaća sve ključne aspekte digitalne izrade geodetskih elaborata, uključujući interoperabilnost s drugim državnim sustavima, digitalnu arhivu, sustav kontrole kvalitete i korisničku podršku. Uz više od 3000 aktivnih korisnika i kontinuirani rast udjela digitalno predanih elaborata, SDGE predstavlja dokaz uspješne digitalne transformacije u području izrade geodetskih elaborata u Hrvatskoj. Ovaj rad daje pregled razvoja i proširenja funkcionalnosti SDGE-a kroz razdoblje od više od pet godina primjene, analizira ključne statističke pokazatelje korištenja te opisuje kontinuiran razvoj usmjeren na proširenje digitalnih funkcionalnosti i jačanje operativne učinkovitosti sustava.

Ključne riječi: *Digitalizacija, Digitalni geodetski elaborat, e-Usluge, Katastar, SDGE.*

1. Uvod

Digitalna transformacija u području katastarsko-geodetskih poslova u Republici Hrvatskoj započela je produkcijskim radom Sustava digitalnih geodetskih elaborata (SDGE) u rujnu 2018. godine. SDGE je od samih početaka zamišljen kao središnja platforma koja omogućuje standardiziranu i transparentnu izradu, obradu i predaju geodetskih elaborata u elektroničkom obliku, uz osiguranu interoperabilnost s drugim državnim sustavima. Njegovo uvođenje nadovezalo se na reformske aktivnosti u okviru nacionalnog programa „Uređena zemlja“, s ciljem podizanja razine pravne sigurnosti u prometu nekretnina i ubrzavanja zemljišnoknjižnih i katastarskih postupaka.

Tijekom više od pet godina primjene SDGE se pokazao kao nezaobilazan alat geodetske struke. Njegova stalna nadogradnja odražava tehnološki razvoj, zakonske promjene te prijedloge i potrebe korisnika. U ovom radu prikazuju se najznačajnije nadogradnje te analiza statističkih pokazatelja korištenja SDGE-a, s ciljem prikaza njegova rasta, uloge i značaja u procesu digitalizacije katastarsko-zemljišnoknjižnog sustava.

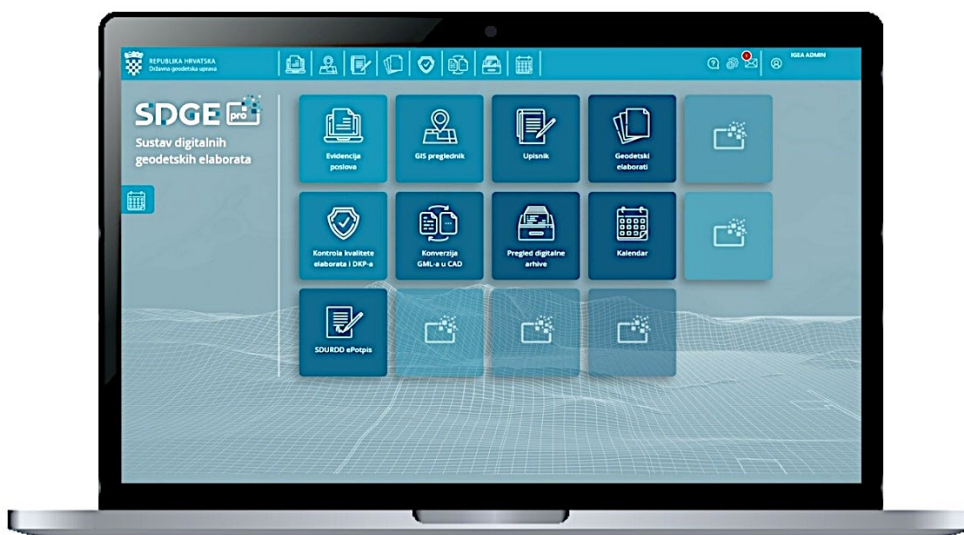
2. Sustav digitalnih geodetskih elaborata (SDGE)

Sustav digitalnih geodetskih elaborata (SDGE) predstavlja aplikativno rješenje bazirano na web tehnologijama, dostupno svim ovlaštenim geodetskim izvođačima putem internetskog preglednika. Sustav je u vlasništvu Državne geodetske uprave, a razvila ga

je tvrtka IGEA d.o.o. Njegova osnovna namjena je osigurati kvalitetan i standardiziran alat za izradu digitalnih geodetskih elaborata, prateći cjelokupan proces – od preuzimanja službenih podataka, pripreme i izrade elaborata, do njihove predaje u nadležni katastarski ured radi pregleda i potvrđivanja (URL 1).

SDGE se sastoji od niza specijaliziranih modula koji pokrivaju različite aspekte rada: vođenje evidencije poslova i predmeta, pristup službenim prostornim podacima putem WebGIS preglednika, konverziju podataka između GML i CAD formata, pristup digitalnoj arhivi (SDA), kao i administrativnu podršku i sustav korisničke pomoći (Slika 1). Posebno važnu ulogu ima modul za izradu geodetskih elaborata, koji korisnicima omogućuje strukturiran i vođen radni proces kroz jasno definirane korake. Time se smanjuje mogućnost pogrešaka, ubrzava postupak izrade te korisnicima u svakom trenutku pruža pregled statusa izrade DGE. Jednako značajan je i modul za kontrolu kvalitete grafičkog dijela elaborata, čija je zadaća provjera geometrijske, topološke i atributne konzistentnosti podataka u skladu s tehničkim specifikacijama.

SDGE je u skladu s današnjim tehnološkim standardima web servisima povezan s ključnim sustavima Državne geodetske uprave (ZIS, OSS, Geoportal DGU, RPJ i SDA) iz kojih se preuzimaju potrebni podaci i potvrde za izradu digitalnih geodetskih elaborata (Grđan i dr., 2018). Osim toga, sustav je integriran i s vanjskim servisima javne uprave poput OIB servisa (preko GSB sabirnice), e/m Potpis platforme za digitalno potpisivanje dokumenata te ePošta usluge za elektroničku dostavu.



Slika 1: Sučelje SDGE sustava

3. Rast i razvoj SDGE sustava kroz nadogradnje

DGE sustav se kontinuirano razvija i nadograđuje s ciljem unaprjeđenja funkcionalnosti i prilagodbe potrebama geodetske struke. Kao takav, nije statična aplikacija, već dinamična platforma koja prati tehnološki razvoj, zakonodavne promjene i prijedloge korisnika. Kroz niz nadogradnji uvedeni su novi moduli i funkcionalnosti, unaprijeđeni postojeći moduli te osigurana bolja integracija s drugim sustavima javne uprave. U nastavku izdvajamo najznačajnije nadogradnje koje su obilježile rast i razvoj SDGE sustava, te korisnicima omogućile znatan napredak u izradi digitalnih geodetskih elaborata.

3.1. Funkcionalna proširenja sustava i moduli

Ova skupina nadogradnji obuhvaća širenje funkcionalnosti SDGE-a kroz nove vrste i svrhe elaborata, specijalne slučajeve te uvođenje dodatnih modula i alata za učinkovitiji rad korisnika.

- Omogućena izrada elaborata za evidentiranje izvedenog stanja cesta (GE24), komunalne infrastrukture (GE25), vodnih građevina (GE26) i željezničke infrastrukture (GE27)
- Uvedene posebne svrhe izrade elaborata (npr. GE13, GE18, GE20, GE22 – izrada elaborata bez mjerenja i kopije katastarskog plana za održavanje)
- Podrška za složenije slučajeve: ručni unos ZK podataka, izrada elaborata s više ZK tijela, s upisanim pravom građenja, podzemnim zgradama ili sa susjednim česticama s oznakom izvora „t“ i „k“
- Uvođenje novih modula: Evidencija poslova, Kalendar s podsjetnicima i automatskim upisom rokova, Ticketing sustav za korisničku podršku
- Redizajn javnog dijela SDGE s prikazom osnovne statistike i GIS karte izrađenih DGE po PUK-ovima te redizajn sučelja za registrirane korisnike

3.2. Kontrola kvalitete i standardizacija podataka

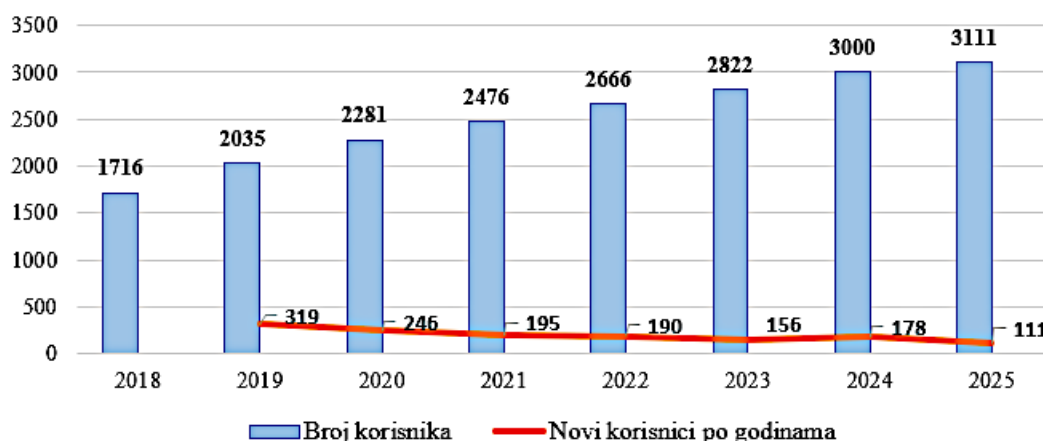
Cilj ovih nadogradnji bio je povećati kvalitetu i pouzdanost izrađenih elaborata kroz stalna unaprjeđenja kontrolnih mehanizama i usklađivanje s tehničkim specifikacijama.

- Konstantne dorade kontrole kvalitete (KKDKP)
- Uvedena kontrola sastavnih dijelova elaborata i implementacija novih pravila kontrole digitalnog potpisa
- Kontrola sadržaja i sastavnih dijelova analognih elaborata (naslovne stranice, format, čitljivost, parametri za ovjeru)
- Kontrola sadržaja skice izmjere i nadopunjavanje generiranjem DXF datoteka
- Prikaz određenih rezultata kontrole skice izmjere u Web GIS pregledniku
- Dorade SDGE-a sukladno izmjenama i dopunama Tehničkih specifikacija za DKP i DGE

3.3. Integracije s drugim sustavima i registrima

SDGE je kroz nadogradnje osnažio povezanost s ključnim registrima DGU i drugim tijelima javne uprave, što je korisnicima omogućilo brži i jednostavniji pristup relevantnim podacima.

- Slanje zahtjeva za izdavanje potvrde o kućnom broju
- Servisna rezervacija i dohvat novih brojeva katastarskih i ZK čestica
- Servisni dohvat ZIS šifarnika i servisno zaprimanje akata iz ZIS-a (zaključci, plaćanje pristojbi, provedba)
- Povezivanje na OIB servis putem državne sabirnice (GSB)



Slika 2: Broj aktivnih korisnika SDGE sustava po godinama

- Pretraga i pregled podataka RPJ i DKP u sklopu Web GIS preglednika
- Povezivanje na oglasnu ploču DGU (uz mogućnost upisa više terenskih uvidaja)
- Pregled podataka digitalne arhive (SDA) i DOF podloga svih generacija, uključujući skenirane katastarske planove i alat za preklapanje slojeva

3.4. Digitalni potpis, dostava i infrastrukturna podrška

Ove nadogradnje omogućile su potpunu digitalizaciju procesa potpisivanja i dostave dokumenata, čime je ostvaren važan iskorak u ukupnoj digitalizaciji poslovnih procesa.

- Digitalno potpisivanje i verifikacija potpisa od strane ovlaštenih inženjera geodezije (OIG) izvan SDGE sustava i potpisivanje dokumenata generiranih u SDGE serverskim certifikatom
- Potpuna integracija s e/m Potpis platformom SDURDD za digitalno potpisivanje dokumenata i mogućnost potpisivanja svih sastavnih dijelova elaborata u jednoj transakciji
- Korištenje servisa ePošta za elektroničku dostavu, uključujući posrednu dostavu i digitalnu povratnicu
- Migracija produkcijske, testne i edukacijske baze podataka na nove poslužitelje i uspostava arhivske baze podataka za završene i provedene elaborate

4. Statistika korištenja SDGE sustava od početka rada do 30.6.2025. godine

Praćenje statističkih pokazatelja korištenja SDGE sustava od njegova pokretanja omogućuje jasniji uvid u dinamiku prihvatanja digitalnog načina izrade i predaje geodetskih elaborata. Podaci prikazani u nastavku obuhvaćaju razdoblje od početka rada sustava, 01. rujna 2019. godine do 30. lipnja 2025. godine i dobiveni su iz sustava SDGE i ZIS-a.

Od početka rada SDGE sustava ostvareni su sljedeći osnovni pokazatelji:

- broj kreiranih DGE u SDGE: 329.970,
- broj konverzija GML-a u CAD: 1.415.100,
- broj kreiranih predmeta u SDGE: 426.272,
- broj poslova kontrole kvalitete: 1.621.949,
- više od 30.900 riješenih prijava na korisničkoj podršci SDGE.

U analizama koje slijede obuhvaćeni su podaci o broju korisnika SDGE sustava, raspodjela izrađenih digitalnih geodetskih elaborata prema svrsi, usporedba broja analognih i digitalnih elaborata predanih u ZIS s ukupnim brojem elaborata kreiranih u SDGE te pregled ukupno predanih digitalnih geodetskih elaborata po područnim uredima za katastar i njihovim sjedištima.

4.1. Broj korisnika SDGE sustava

Od pokretanja SDGE sustava u rujnu 2018. godine broj korisnika kontinuirano raste. U prvoj godini evidentirano je 1.716 korisnika, a do 30. lipnja 2025. taj broj se povećao na aktivnih 3.111 korisnika, što predstavlja gotovo dvostruko povećanje u razdoblju od sedam godina. Najveći godišnji prirast zabilježen je u 2019. godini (+319 novih korisnika), nakon čega se godišnji prirast usporio, ali i dalje ostaje iznad 150 novih korisnika godišnje. Slika 2 prikazuje trend rasta broja korisnika.

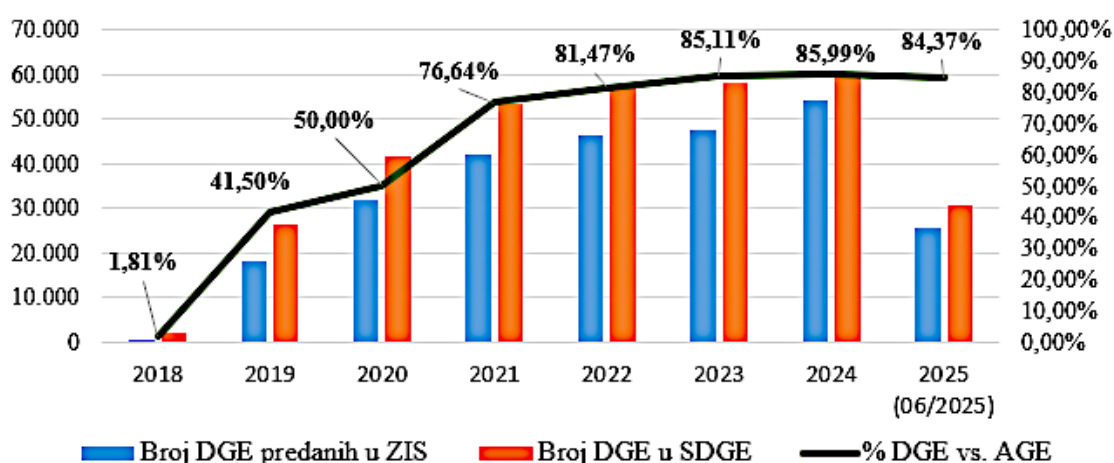
Podaci jasno pokazuju da je u počecima SDGE sustava postojao velik interes geodetske zajednice, što potvrđuje snažan rast broja korisnika u prvim godinama primjene. Činjenica da i dalje godišnji prirast stabilno veći od 150 korisnika potvrđuje trajni interes i važnost primjene sustava.

4.2. Izrađeni i predani geodetski elaborati u SDGE i ZISu

Analiza podataka od 2018. godine nadalje pokazuje jasan prijelaz s analognih na digitalne geodetske elaborat. Dok je u zadnjem kvartalu 2018. udio digitalnih elaborata bio zanemariv (samo 1,81% u odnosu na analogne), već 2019. godine bilježi se značajan

Tablica 1: Prikaz usporedbe analognih (AGE) i digitalnih (DGE) geodetskih elaborata po godinama

Godina	Broj AGE predanih u ZIS	Broj DGE predanih u ZIS	Broj DGE u SDGE	Udio predanih DGE u ZIS u odnosu na ukupan broj elaborata
2018.	39.446	727	2.036	1,81 %
2019.	25.561	18.136	26.459	41,50 %
2020.	31.754	31.754	41.720	50,00 %
2021.	12.795	41.988	53.236	76,64 %
2022.	10.555	46.408	57.137	81,47 %
2023.	8.337	47.641	58.151	85,11 %
2024.	8.793	53.964	60.526	85,99 %
do 07/2025.	4.721	25.475	30.705	84,37 %
UKUPNO	141.962	266.093	329.970	



Slika 3: Grafički prikaz broja DGE u SDGE, predanih u ZIS i % DGE vs. AGE

skok na 41,5%. Godina 2020. označila je prekretnicu – po prvi put broj digitalnih elaborata (31.754) izjednačio se s brojem analognih, čime je ostvareno 50% udjela.

Detaljan pregled kretanja broja analognih i digitalnih elaborata po godinama dan je u tablici 1 i grafičkom prikazu koji uključuje broj DGE izrađenih u SDGE, broj DGE predanih u ZIS i njihov postotni udio u odnosu na ukupni broj geodetskih elaborata (Slika 3). Iz podataka je vidljivo da od 2021. nadalje digitalni elaborati postaju dominantni. Udio DGE raste sa 76,64% u 2021. na gotovo 86% u 2023. i 2024. godini, trend se nastavlja i u prvoj polovici 2025. godine.

Od početnih skromnih udjela 2018., već nakon dvije godine digitalni elaborati preuzeli su jednak udio kao analogni, a od 2021. godine uvjerljivo dominiraju. U posljednje tri godine njihov udio se stabilno održava iznad 80%, čime je SDGE sustav postao potvrđen kao primarni alat za izradu i predaju elaborata. Vidljivo je da je broj izrađenih DGE u SDGE nešto veći od broja predanih u ZIS, što upućuje na to da se određeni elaborati iako izrađeni digitalno i dalje predaju analognim putem. Ovaj podatak ističe prostor za dodatna poboljšanja i otvara mogućnost da se u narednom razdoblju dodatno poveća prelazak na digitalnu predaju.

Tablica 2: Udio broja digitalnih geodetskih elaborata u SDGE po broju svrha

Broj svrha	Udio DGE po broju svrha
1	47,82 %
2	35,54 %
3	15,21 %
4	1,36 %
5	0,06 %

Tablica 3: Top 5 svrha elaborata kreiranih u SDGE

Ukupan broj DGE	Naziv svrhe
185.179	GE11 - evidentiranje, brisanje ili promjena podataka o zgradama ili drugim građevinama
172.208	GE14 - evidentiranje stvarnog položaja pojedinačnih već evidentiranih katastarskih čestica
97.817	GE1 - dioba ili spajanje katastarskih čestica
18.222	GE3 - provedba rješenja o utvrđivanju građevne čestice
13.374	GE4 - provedba građevinske dozvole, odnosno drugog akta na temelju kojega je izgrađena građevina

Tablica 2 daje analitički prikaz udjela broja digitalnih geodetskih elaborata izrađenih u SDGE sustavu prema broju svrhe izrade, čime se dobiva uvid u strukturu i rasprostranjenost pojedinih vrsta postupaka. Tablica 3 prikazuje pet najzastupljenijih svrha elaborata.

4.3. Pregled predanih DGE u ZIS po PUKovima i sjedištima PUKa

Tablica 4 daje pregled ukupno predanih digitalnih geodetskih elaborata (DGE) u ZIS po područnim uredima za katastar (PUK-ovima) i njihovim sjedištima. Iz prikazanih podataka vidljivo je da je najveći broj elaborata predan u PUKu Split. Uz Split, visoke vrijednosti broja predanih elaborata bilježe još i priobalni

PUKovi Pula-Pola, Zadar, Rijeka i Šibenik, dok se na kontinentalnom području na toj razini nalaze još jedino GP Zagreb i PUK Zagreb.

Zaključak

Statistički pokazatelji korištenja SDGE sustava i pregled njegovih nadogradnji jasno potvrđuju da je SDGE primarni alat za izradu i predaju geodetskih elaborata u Republici Hrvatskoj. Broj korisnika SDGE-a kontinuirano raste od njegova uvođenja, dok udio digitalnih elaborata u odnosu na analogne već nekoliko godina prelazi 80%. Važnu ulogu u tom

Tablica 4: Prikaz ukupno predanih DGE u ZIS po PUKovima i sjedištima

NAZIV	CIJELI PUK	PUK SJEDIŠTE
PUK Split	37.197	5.641
PUK Pula-Pola	32.254	12.706
GP Zagreb	23.784	23.784
PUK Zadar	21.904	16.231
PUK Zagreb	21.482	0
PUK Rijeka	19.694	5.640
PUK Šibenik	18.621	16.083
PUK Osijek	9.802	4.985
PUK Karlovac	8.787	2.861
PUK Varaždin	8.591	4.263
PUK Krapina	8.251	691
PUK Sisak	7.881	2.482
PUK Vukovar	7.547	829
PUK Dubrovnik	6.480	3.174
PUK Koprivnica	5.780	2.974
PUK Čakovec	5.720	4.780
PUK Gospić	5.071	1.307
PUK Bjelovar	4.787	2.596
PUK Slavonski Brod	4.534	3.840
PUK Virovitica	4.237	1.820
PUK Požega	3.689	3.151

procesu imao je i projekt „Edukacija službenika DGU u svrhu podrške korištenju sustava digitalnih geodetskih elaborata“, financiran iz Europskog socijalnog fonda, a realiziran tijekom 2022. i 2023. godine. Kroz edukaciju više od 300 katastarskih službenika i 600 geodetskih izvoditelja osnaženi su kapaciteti za rad u SDGE-u, čime je znatno olakšana podrška korisnicima i ubrzano prihvaćanje sustava u praksi (URL 2). Istodobno, kroz brojne nadogradnje uvedene su nove funkcionalnosti, poboljšani moduli i proširene integracije s drugim sustavima, čime se sustav kontinuirano prilagođavao tehnološkom razvoju, zakonskim izmjenama i potrebama korisnika.

Prikazani podaci potvrđuju da je SDGE donio mjerljive učinke: skraćeno je vrijeme izrade, ovjere i provedbe elaborata, smanjen rizik od grešaka kroz automatske kontrole, standardiziran postupak izrade, osigurana digitalna pohrana, povećana transparentnost i smanjeni troškovi.

Daljnji razvoj SDGE-a odvijat će se kroz kontinuirane nadogradnje, a očekuje se i primjena alata umjetne inteligencije (AI) radi dodatnog unaprjeđenja pojedinih funkcionalnosti. U pripremi su nove nadogradnje poput izrade elaborata u djelomično harmoniziranim katastarskim općinama (s predmetnim česticama u BZP-u i katastru zemljišta), puna funkcionalnost prijave korisnika putem NIASa, izrade elaborata s inicijalnim GML podacima koji uključuju i susjedne

katastarske općine, kao i funkcionalnosti izrade digitalnih elaborata u katastarskim uredima, koja je već implementirana i čeka početak primjene. Navedene nadogradnje dodatno će osigurati visoku razinu učinkovitosti, pouzdanosti i kvalitete, dok je SDGE već dokazao svoju ulogu ključnog nositelja digitalne transformacije katastarsko-zemljišnoknjižnog sustava u Republici Hrvatskoj.

Literatura

Grđan, Stjepan; Horvat, Krešimir; Matijević, Hrvoje (2018): Interoperabilnost u primjeni – primjer sustava digitalnih geodetskih elaborata, ZBORNIK RADOVA 11. SIMPOZIJA OVLAŠTENIH INŽENJERA GEODEZIJE. Zagreb: Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, str. 80-84.

URL 1: Državna geodetska uprava, <https://dgu.gov.hr/vijesti/uvodjenje-u-produkcijski-rad-sustava-digitalnih-geodetskih-elaborata-sdge/4837>, (29. 08. 2025.).

URL 2: Državna geodetska uprava, <https://dgu.gov.hr/vijesti/pocetak-provedbe-edukacija-u-sklopu-projekta-edukacija-sluzbenika-dgu-u-svrhu-podrske-koristenju-sustava-digitalnih-geodetskih-elaborata/5773>, (29. 08. 2025.).

SDGE – More than Five Years of Proven Application

Abstract

The System of Digital Geodetic Elaborates (SDGE), in operational use since 1 September 2018, represents the central digital platform for the preparation and processing of geodetic elaborates in the Republic of Croatia. More than five years of continuous use have shown that SDGE has developed into a reliable and advanced system, continuously upgraded with new functionalities, adapted to legislative changes, and aligned with user needs. Today, the system encompasses all key aspects of digital geodetic elaborates, including interoperability with other national systems, a digital archive, quality control mechanisms, and user support. With more than 3,000 active users and a steadily growing share of digitally submitted elaborates, SDGE stands as evidence of a successful digital transformation in the field of geodetic elaborates in Croatia. This paper provides an overview of the development and expansion of SDGE functionalities over more than five years of implementation, analyses key usage statistics, and outlines the direction of continuous development aimed at expanding digital functionalities and strengthening the system's operational efficiency.

Keywords: *Cadastre, Digitalization, Digital Cadastral Elaborate, e-Services, SDGE.*

Sesija 4

Tehnologija na moru i vodama,
zakonska regulativa,
suvremeni katastar

Voditelj: Ivan Racetin

Zamjenik voditelja: Ante Marendić

Model podataka za prostorno planiranje na moru

Luka Babić¹, Robert Paj¹, Vladimir Baričević¹, Jelena Bubrig¹, Bojan Linardić¹, Nikolina Jurić¹

¹ Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, Ulica Republike Austrije 14, Zagreb, Hrvatska, Luka.Babic@mpgi.hr, Robert.Paj@mpgi.hr, Vladimir.Baricevic@mpgi.hr, Jelena.Bubrig@mpgi.hr, Bojan.Linardic@mpgi.hr, Nikolina.Juric@mpgi.hr

Sažetak

Izrada modela podataka predstavlja temeljni preduvjet za osiguranje organiziranog i harmoniziranog prikupljanja, upravljanja i vizualizacije prostornih podataka, kao i za provedbu sveobuhvatnih prostornih analiza. Postojeći modeli prostornih podataka koji se trenutačno koriste u Europi (INSPIRE) te u Hrvatskoj (CROTIS i STOKIS) izrađeni su primarno za kopnene primjene te stoga obuhvaćaju ograničen broj tema i atributa potrebnih za prostorno planiranje na moru, kako u položajnom tako i u opisnom smislu. Dosadašnje prostorno planiranje na moru u Republici Hrvatskoj provodilo se u okviru kopnenih prostornih planova uključivanjem područja pomorskog dobra u njihov obuhvat. Drugim riječima, modeli izvorno namijenjeni planiranju na kopnu primjenjuju se na morsko okruženje. U ovom radu analiziraju se razlike između postojećih modela podataka u Hrvatskoj i onih potrebnih za prostorno planiranje na moru. Nadalje, prikazuju se primjeri modela podataka za prostorno planiranje na moru i europske inicijative usmjerene na harmonizaciju prostornog planiranja na moru na paneuropskoj razini. U radu se daje osvrt i na izazove s kojima se suočavaju izrađivači prostornih planova mora u Hrvatskoj, a koje nije moguće riješiti isključivo izradom modela podataka mora.

Ključne riječi: Model podataka mora; MSP Direktiva; Isključivi gospodarski pojas; prostorno planiranje mora

1. Uvod

Model podataka u kontekstu prostornih podataka predstavlja formalni, apstraktni opis kako se stvarne pojave (prostorni objekti) i njihova svojstva strukturirano prikazuju u informacijskom sustavu, uključujući tipove objekata, njihove atribute, odnose, ograničenja te pravila za izradu i dokumentiranje aplikacijskih shema. U praksi se izrađuje kao konceptualni model (npr. u UML-u) temeljen na General Feature Modelu (GFM), koji se zatim transformira u fizičke modele i formate kodiranja (npr. GML radi pohrane, razmjene i analize podataka (ISO 2025., EC-JRC 2014., OGC 2001.).

Izradom i primjenom modela osiguravaju se ujednačena i jednoznačna pravila za sve sudionike u procesu prikupljanja, upravljanja i vizualizacije prostornih podataka. Uredene podatke moguće je koristiti za izradu sveobuhvatnih prostornih analiza i izradu izvještaja (opisnih, statističkih i/ili grafičkih). Sveobuhvatne analize posebno su važne u domeni prostornoga planiranja u kojem je potrebno uskladiti potrebe i zahtjeve brojnih zainteresiranih strana ili investitora, s ograničenjima i potrebama kojima se štiti nacionalne i javne interese.

U Europskoj uniji (EU), prostorno planiranje na kopnu usko je vezano uz INSPIRE temu Korištenje zemljišta (URL1). Tema je podijeljena u dvije kategorije:

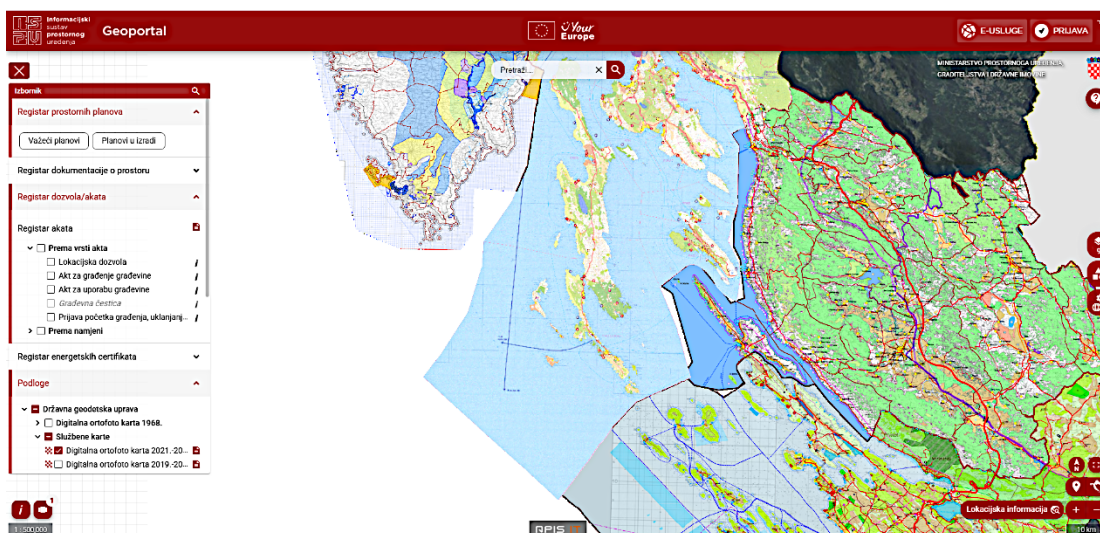
- Postojeća uporaba zemljišta koja objektivno opisuje upotrebu i funkciju područja kakva je bila i efektivno i dalje postoji u stvarnom okruženju

- Planirana uporaba zemljišta koja odgovara prostornim planovima, koje su izradila odgovorna tijela (službene ustanove), a opisuju moguću uporabu zemljišta u budućnosti (URL2)

U Hrvatskoj su u upotrebi modeli prostornih podataka bazirani na INSPIRE temi postojeće uporabe zemljišta, koje je izradio DGU pod nazivom CROTIS i STOKIS.

Međutim, postoje ključne razlike između prikupljanja, kartiranja i prikaza podataka na kopnu u odnosu na more. Na kopnu se kartiraju prvenstveno značajke koje se nalaze na, odnosno iznad površine, dok je za sveobuhvatno kartiranje morskih područja potrebno kartirati površinske, zatim značajke koje se nalaze ispod površine (vodeni stupac, dno i ispod dna), ali i trendove njihovih promjena kroz vrijeme. Ukratko: morski modeli moraju rutinski obuhvatiti 3D/4D, vremensku promjenjivost, vertikalne datume vezane uz plimu/oseku, pokretne i difuzne granice, te podatke o pokrivenosti (rastere/polja vrijednosti), dok se terestrički modeli češće oslanjaju na stabilnije 2D/2.5D objekte i ortometrijske datume.

INSPIRE tehnička grupa za morska područja i oceanografske geografske značajke (INSPIRE 2024) izričito navodi vrste, odnosno tipove podataka (features vs. coverages) kojima se prikazuju morske značajke. Morska fizika/kemija (valovi, temperatura, slanost) često se modelira kao coverages (rasterske/rešetka-



Slika 1: Pregled županijskih prostornih planova primorskih županija na portalu ISPU

ste površine i volumeni), dok se morska područja i slične značajke prikazuju vektorski. Morski fenomeni (struje, fronte, plime) su snažno vremenski promjenjivi, pa modeli i usluge često uključuju 4D (x-y-z-t) te standarde poput OGC/ISO coverages i O&M/SOS (kako ih INSPIRE profilira za opažanja) (Bauman & Escriu 2019.).

2. Prostorno planiranje na moru

2014. g usvojena je direktiva za prostorno planiranje na moru (PPnM), poznata pod nazivom MSP Direktiva (eng. Maritime Spatial Planning Directive – MSP Directive). MSP Direktivom definiran je okvir za prostorno planiranje morskog područja, a ona sama bazirana je na okvirima Integrirane pomorske politike (IPP) EU, interakciji kopna i mora i prekograničnoj suradnji u skladu s UNCLOS-om (United Nations Convention on the Law Of the Sea).

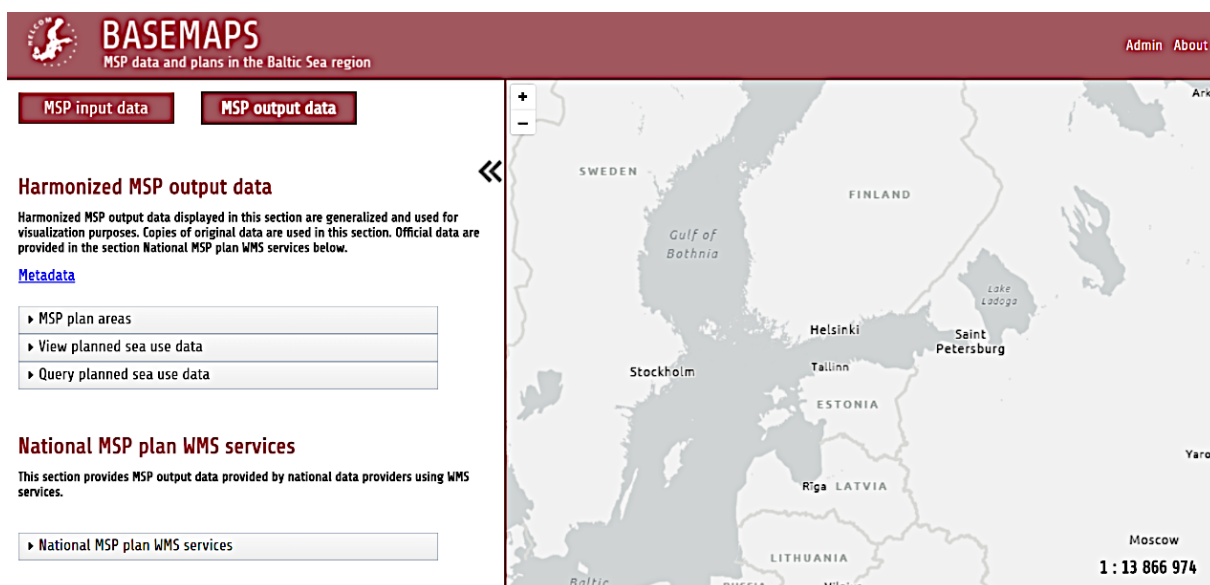
Sukladno MSP Direktivi, države članice (DČ) utvrđuju prostornu i vremensku raspodjelu relevantnih postojećih i budućih aktivnosti i načina korištenja u njihovim morskim vodama kako bi pridonijele ciljevima Direktive. Pritom, između ostalog, uzimaju u obzir interakciju kopna i mora, okolišne, gospodarske i socijalne aspekte te sigurnosne aspekte, ali i organiziraju korištenje najboljih dostupnih podataka. Pri provedbi organizacije podataka, DČ dužne su koristiti se relevantnim instrumentima i alatima, uključujući one koji su već dostupni u okviru IPP-a i drugih relevantnih politika Unije, kao što su oni navedeni u Direktivi 2007/2/EZ poznatijoj kao INSPIRE Direktiva.

Važno je naglasiti da je primjena MSP Direktive obavezna za DČ u IGP-u i u području teritorijalnog mora do granice koja je definirana MSP Direktivom ako im prostornim planiranjem na kopnu nije, istovremeno bilo obuhvaćeno i prostorno planiranje na moru. U Republici Hrvatskoj je prostornim planiranjem na kopnu primorskih županija obuhvaćeno i područje

mora do granice s IGP-om (proglašen 2021. godine), odnosno na području pomorskog dobra, te je time zadovoljena obveza postojanja prostornih planova na moru koja je bila definirana direktivom za područje teritorijalnog mora. Nasuprot tome, za područje IGP-a je prostorni plan u procesu izrade (PP IGP).

U Republici Hrvatskoj prostorno planiranje uređeno je Zakonom o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19 i 67/23). Prostorno planiranje morskog područja posebna je cjelina zakona, uvedena nakon stupanja na snagu MSP Direktive, u kojoj su definirane vrste planova kojima može biti obuhvaćeno planiranje na moru te uvjeti i obaveze vezani uz prostorno planiranje na moru. Planovi koji mogu uključivati planiranje na moru uključuju državnu, županijsku ali i lokalne razine. Postojeći Zakon uvjetuje cjelovito razmatranje područja za koje se izrađuje plan, suradnju sa susjednim državama, kako DČ tako i onima koje nisu u EU, jednako kao i u MSP Direktivi. Uz navedeno, propisana je i obaveza izvještavanja i dostave izrađenih prostornih planova Europskoj komisiji (EK). Prostorno planiranje je razrađeno po vrstama planova i detaljnije opisano i definirano u Pravilniku o prostornim planovima.

S obzirom na obvezu izvještavanja i činjenicu da prostorni planovi stupanjem na snagu stječu status podzakonskog akta, od presudne je važnosti osigurati ujednačenost, a time i jednoznačnost prostornih planova svih razina (nacionalne, županijske, lokalne) i vrsta na razini cijele Republike Hrvatske. Prva inicijativa i korak poduzet u tom smjeru bilo je uvođenje u Zakon tzv. planova nove generacije. Nakon Zakonskog definiranja obveze izrade i donošenja planova u elektroničkom obliku, donesen je novi Pravilnik o prostornim planovima, u kojemu su razrađena pravila izrade, te u konačnici izrađen Informacijski Sustav Prostornoga Uređenja (ISPU), u koji su implementirana sva pravila te je propisana obaveza provedbe postupka donošenja plana kroz ISPU (Slika 1). Ovim koracima osigurana je harmonizacija planova na nacionalnoj razini.



Slika 2: Izlazni podaci za PPnM na BASEMAPS portalu

Zakonom o prostornom uređenju za obuhvat prostornih planova propisano je da je obuhvat prostornog plana prostorna ili administrativno određena cjelina za koju se donosi ili je donesen prostorni plan. To, ovisno o razini i vrsti prostornog plana, znači da se za obuhvat uzimaju granice iz registra prostornih jedinica. Međutim, razgraničenje na moru za području (regionalnu) odnosno županijsku razinu nije provedeno, dok za lokalnu čak nije ni predviđeno. Ova problematika opisana je u radu Linardić i dr. 2022. Rezultat je da, za obuhvate prostornih planova za prostorno planiranje na moru, ne postoji jednoznačno i jedinstveno razgraničenje što je dovelo do odstupanja granica obuhvata među susjednim županijskim planovima. Rješenje za ovaj izazov ne može se pronaći kroz izradu modela nego zahtjeva suradnju i međusobnu koordinaciju nadležnih nacionalnih tijela jer se radi o administrativnom problemu.

Izrađivanje svih prostornih planova kroz jedinstveni sustav (ISPU) olakšava ispunjavanje obveze izvještavanja i dostave prostornih planova EK. EK je, zbog prikupljanja planova iz svih DČ, pokrenula proces izrade ujednačenog modela podataka za prostorno planiranje na moru kroz tehničku ekspertnu grupu. U nastavku su opisani postojeći i razvijeni modeli za PPnM na razini EU.

3. Modeli podataka mora u EU

Jedna od najstarijih i dugovječnijih inicijativa za planiranje i očuvanje mora je HELCOM VASAB. Komisija za zaštitu Baltičkog morskog okoliša (eng. The Baltic Marine Environment Protection Commission), poznata i kao Helsinki Commission (HELCOM) osnovana je 1974 godine kao međuvladina organizacija i regionalna konvencija za Baltičko more koju su potpisale sve baltičke obalne države. Cilj konvencije je zaštita Baltičkog mora od svih izvora zagađenja sa zemlje te iz zraka i mora, kao i očuvanje biološke raznolikosti te promicanje održive uporabe morskih resursa.

BASEMAPS (Slika 2) (URL3) je postojeće robusno operativno rješenje unutar HELCOM infrastrukture prostornih podataka, s uspostavljenim tokom podataka i iskustvom u objedinjavanju PPnM unutar HELCOM-VASAB kooperacije morskih područja. Rješenje slijedi INSPIRE principe bazirane na temi uporabe zemljišta. Radi se o jednostavnom 2D modelu podataka s generaliziranom kodnom listom. Jednostavno je za primjenu te sadrži operativni uvoz podataka i validacijske alate.

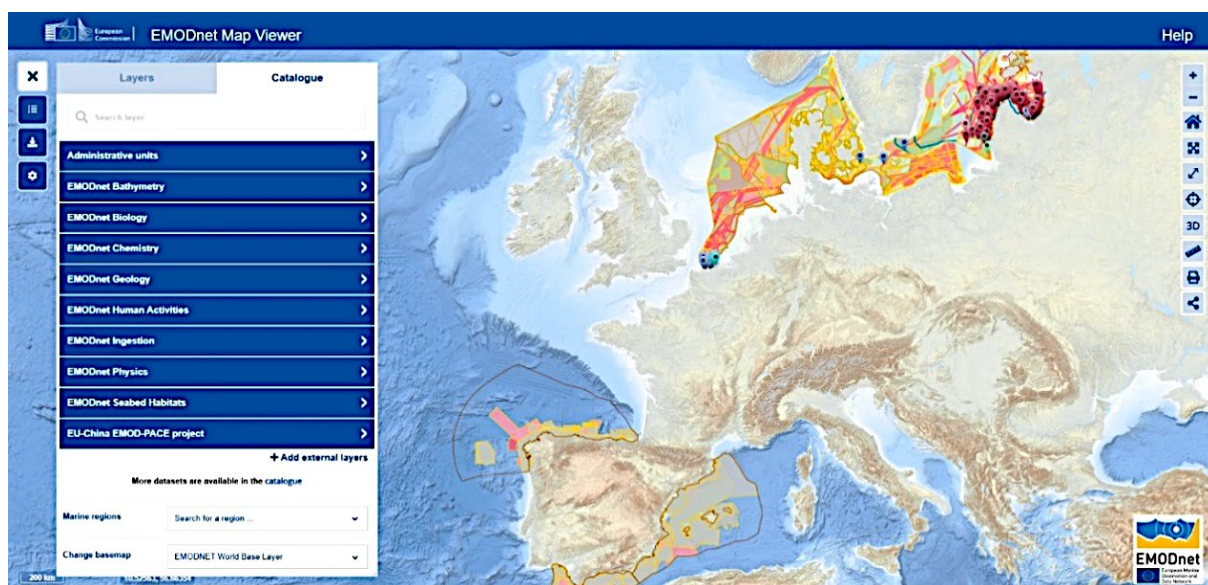
Razvoj INSPIRE MSP modela počeo je s Morskim pilot projektom EC Joint Research Centre (JRC) 2014-2016 te se zatim nastavio kroz PLASMAR projekt (Setting the bases for Sustainable Maritime Spatial Planning in Macaronesia; INTERREG-V 2017-2020) i Macaronesian Maritime Spatial Planning (MarSP) projekte.

Razvoj je inicijalno bio baziran na principu ekosistema prilagođenog biogeografskim obilježjima Makronezijske regije (Azuri, Madeira i Kanarsko otočje). Ukupno su korištena četiri Copernicus Marine Service (CMEMS) proizvoda fokusirana na 17 parametara kojima su generirana 77 nova produkta.

Prvotno je testirana mogućnost primjene INSPIRE modela podataka za terestričko planiranje Planirane uporabe zemljišta (eng. Planned Land Use) za planiranje na moru. Testovi su pokazali da je terestrički model robusan i može se upotrijebiti za PPnM, ali uz gubitak detalja i informacija specifičnih za morske uporabe. Da bi ga se upotrebljavalo za PPnM, model podataka Planirane uporabe zemljišta mora biti prilagođen za planiranje morskih aktivnosti i prostor mora.

Posljedično je proširen INSPIRE model podataka kako bi pokrio potrebe PPnM:

1. Uvedeni su dodatni obavezni atributi, specifična uporaba, vertikalna komponenta zoniranja i kategorija namjene (planirano, rezervirano, potencijalno i sl.)



Slika 3: EMODNet preglednik podataka o moru i oceanima

2. Za izbjegavanje nedorečenosti (ambiguiteta), izrađen je prošireni INSPIRE registar/vokabular za specifične uporabe za more koji može biti proširivan po potrebi i na zahtjev
3. Razvijen je standard za ujednačenu simbologiju (Kartografski ključ) – osiguran kao stilovi slojeva (Styled Layer Descriptor - SLD)

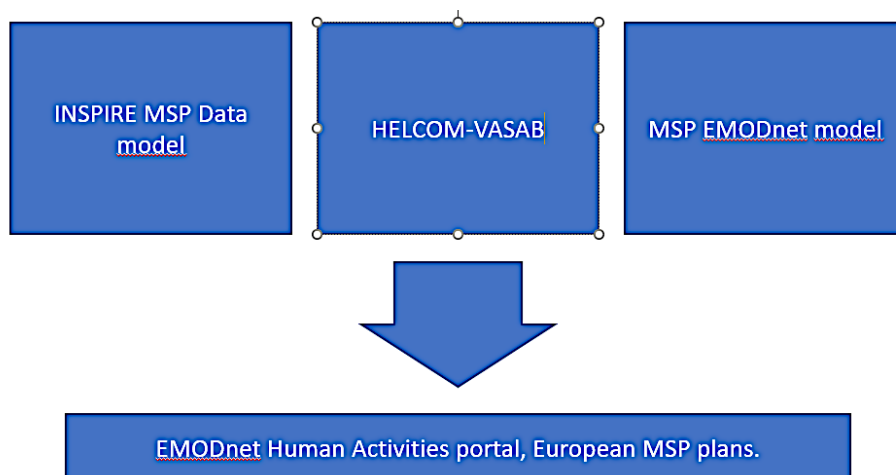
U Listopadu 2019. održana je radionica s temom "Podaci za PPnM" za razmjenu znanja i iskustava među stručnjacima koji se bave prikupljanjem podataka za PPnM. Slijedom rezultata radionice, osnovana je Tehnička ekspertna grupa (eng. Technical Expert Group - TEG) za prostorno planiranje mora (TEG-MSP), a sve kako bi se pojačao dijalog unutar europske zajednice za PPnM.

2021. g. je kreiran set podataka za prostorno planiranje na moru u EU za Europsku mrežu za opažanje i podatke o moru (eng. European Marine Observation and Data Network – EMODnet, Slika 3). Podaci su

rezultat sakupljanja i harmonizacije setova podataka iz različitih izvora. Proces harmonizacije uključivao je prilagođavanje PPnM koje su razvile države članice za uporabu u zajedničkom modelu podataka, koji je kreiran iz INSPIRE konceptualnog modela Planirane uporabe zemljišta kao što je opisano u Kaitaranta et al. (2021).

Dakle, EMODnet je tehničko rješenje za harmonizaciju podataka prostornih planova mora u svrhu osiguravanja ujednačenog sloja PPnM za područje cijele Europe. U tu svrhu izrađen je model podataka pod nazivom MSP EMODnet model i izdane specifikacije za njega (Leadbetter et al. 2023, Abramic et al. 2023).

TEG-MSP je, u konačnici, predložila korištenje bilo kojeg od tri modela podataka (Slika 4) koji su „spremni za korištenje”, s obzirom da je sva tri moguće jednostavno integrirati u EMODnet geoportal Ljudskih aktivnosti (EMODnet Human Activities) (Slika 3).



Slika 4: Razvijeni modeli podataka za MSP na razini EU

4. Izrada modela podataka mora u RH

Postojeći službeni modeli prostornih podataka u Hrvatskoj temelje se prvenstveno na:

1. INSPIRE aplikacijskim shemama (Nacionalna Infrastruktura Prostornih Podataka, NIPP - svi aneksi),
2. nacionalnim modelima (katastar, zemljišne knjige, ISPU, katastar komunalne infrastrukture),
3. sektorskim i specijaliziranim modelima (okoliš, more, promet, demografija).

Jednako kao i za ranije navedeni INSPIRE MSP model, i u hrvatskim službenim modelima podataka uočeni su nedostaci za potrebe planiranja na moru. Na primjer, nedostaju atributne vrijednosti (npr. vertikalna distribucija – ispod dna, dno, vođeni stupac i ostalo), a teme nisu usklađene s preporukama TEG-MSP, odnosno nisu obuhvaćene sve teme definirane za ulazne podatke. Isto vrijedi i za izlazne podatke, odnosno prostorne planove za koje je model za prostorno planiranje definiran i implementiran u ISPU (npr. nedostaje atributno definiranje vrste/razine PP, statusa PP - na snazi, u izradi i sl., statusa objekta plana – postojeće, planirano, zabranjeno, rezervirano i drugo).

U sklopu rada na integraciji kopnenih i morskih podataka, HHI je pokrenuo inicijative za razvoj Infrastrukture prostornih podataka za more (eng. Maritime Spatial Data Infrastructure, MSDI) kao proširenje NIPP-a (eng. National Spatial Data Infrastructure NSDI) koje obuhvaća i morske regije, a relevantno je za prostorne teme iz Aneksa III, dok Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine (MPGI) radi na usklađivanju morskih regija u PP IGP, što je direktno povezano s INSPIRE temom morskih područja (eng. Sea Regions).

Međutim, potrebno je poduzeti daljnje korake za harmonizaciju i usklađenje hrvatskih modela podataka koji uključuju područje mora s EU razinom radi ispunjavanja obveza koje su propisane MSP Direktivom. Kako bi se to postiglo, potrebna je suradnja sa svim dionicima (državnim, javnim, istraživačkim i drugim institucijama) koje prikupljaju i obrađuju podatke relevantne za morska područja te strukturiranje i harmonizacija podataka u skladu sa preporukama TEG-MSP.

Teme ulaznih podataka predviđene EMODNet modelom koje se dostavljaju za pregled u EMODNet preglednik prikazane su na slici 5. Upotrebu tih tema te uređivanje i razmjenu podataka na razini Republike Hrvatske potrebno je jasno definirati i propisati te obvezati sve dionike na njihovu primjenu.

S tim ciljem je MPGI u svoj program za razdoblje 2024.-2028. uvelo izradu modela podataka mora kojoj će prethoditi izrada studije Modela podataka mora. Studijom je potrebno predvidjeti i uzeti u obzir sve postojeće modele u Hrvatskoj (npr. CROTIS/STOKIS, Pravilnik o prostornom planiranju i dr.) preporuke za korištenje MSP modela na EU razini (INSPIRE MSP i MSP EMODnet), potrebe različitih dionika

u upotrebi prostora mora kao što su razna državna i javna tijela te instituti, ali i istraživačke organizacije, lokalno stanovništvo i gospodarstvenici. Sve to potrebno je u svrhu sveobuhvatnog definiranja informacija potrebnih za izradu prostornih planova, analiza stanja u prostoru i izradu podloga iz analiza.

	Data cluster 1
Marine & Coastal Environment	
	Data cluster 2
Marine & Coastal Conservation and Designated sites	
	Data cluster 3
Oceanographic characteristics and Climate	
	Data cluster 4
Coastal Land use and Planning	
	Data cluster 5
Operative maritime activities and Planning	
	Data cluster 6
Socio-economic information	
	Data cluster 7
Governance information	

Slika 5: Teme ulaznih podataka sukladno EMODNet MSP modelu

Zaključak

Izrada i primjena modela podataka mora potrebna je kako bi se ostvario cilj harmonizacije prikupljanja, obrade i prikaza prostornih podataka. Harmonizacijom se planira postići ubrzanje izrade podloga i prostornih planova te analiza stanja u prostoru.

Preduvjet je izrada modela za prikupljanje i razmjenu podataka baziranog na primjerima dobre prakse proizašlim iz istraživanja provedenim prilikom izrade INSPIRE i EMODNet MSP modela podataka.

S obzirom na niz novih inicijativa, kao što su inicijativa Destination Earth (URL4) u sklopu EU strategije za podatke za stvaranje visokopreciznog digitalnog modela Zemlje te iz nje proizašao zahtjev za izradu digitalnog blizanca mora do 2030. u sklopu Europskog pakta o oceanima, potrebno je uspostaviti proširiv model kako bi se osigurala fleksibilnost i mogućnost jednostavne nadogradnje modela.

Sažeto rečeno postojeći modeli i sustavi raspolaganja i analizeorskog područja u RH imaju brojne nedostatke. Uspostava jedinstvenog, standardiziranog i harmoniziranog sustava je preduvjet za pojednostavljenje i ubrzanje procesa nadzora, upravljanja i održivog razvojaorskog prostora koji je od iznimne važnosti za RH kao i svaku drugu pomorsku zemlju. Prvi korak u tom smjeru i temelj o kojemu ovisi kvaliteta takvog sustava je model koji ga definira. Model mora biti jasan, sveobuhvatan, ali i sposoban za prilagodbu u slučaju promjena. Kroz studiju Modela podataka mora bit će izrađena polazišna analiza i dane preporuke za izradu Modela podataka mora.

Literatura

Abramic, A., Norton, D., Sarretta, A., Menegon, S., Katsika, M., Gekas, V., Rybka, K., Fernández-Palacios, Y. (2023). Maritime Spatial Planning Data Framework (MSPdF). How to structure input data for MSP process, monitoring & evaluation. Produced by Technical Expert Group (TEG) on Data for MSP. Supported by CINEA and DG MARE (EC). 45p. Doi: 10.2926/440667

Baumann, P., Escriu, J. INSPIRE coverages: an analysis and some suggestions. Open geospatial data, softw. stand. 4, 1 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40965-019-0059-x>

European Commission. (2014). INSPIRE D2.5: Generic Conceptual Model (Version 3.4). Joint Research Centre (JRC). <https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/d2.5>

INSPIRE Knowledge Base (2024) D2.8.III.15 Data Specification on Oceanographic geographical features – Technical Guidelines. https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/publications/inspire-data-specification-oceanographic-geographical-features-technical-guidelines_en

International Organization for Standardization. (2025). Geographic information — Rules for application schema (ISO Standard No. 19109:2025). ISO. <https://www.iso.org/standard/82924.html>

Kaitaranta, J., Ballesteros, M., Santiago, J., Sarretta, A., McDougall, C., Abramic, A. (2021). Proposal for making harmonized MSP plan data available across

Europe, Produced by Technical Expert Group (TEG) on Data for MSP. Supported by CINEA and DG MARE (EC). 21p. Doi: 10.2926/029516.

Leadbetter, A., Conway, A., Attard, A., Campillos-Llanos, M., Kaitaranta, J., O'Sullivan, D., Tello, O., Tray, E., Sarretta, A., Souf, A., Suzanne, J.B., Vaitis, M., Zimmer, C. (2023) Metadata Standard for Maritime Spatial Plans. A common structure to describe data associated with maritime spatial plans. Produced by Technical Expert Group (TEG) on Data for MSP. Supported by CINEA and DG MARE (EC). 22p. Doi: 10.2926/751919

Linardić, Bojan ; Paj, Robert ; Premužić, Margareta ; Landek, Ivan (2022) Prostorno planiranje morskih područja i granice na moru // Zbornik radova – 15. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije. Zagreb: Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, 2022. str. 141-145

Open Geospatial Consortium. (2001). OGC Abstract Specification: Topic 5 – Features. OGC. <https://www.ogc.org/docs/as/05>

URL1: <https://inspire.ec.europa.eu/theme/lu> (28.8.2025.)

URL2: <https://inspire.ec.europa.eu/applicationschema/plu> (28.8.2025.)

URL3: <https://basemaps.helcom.fi/> (28.8.2025.)

URL4: <https://destination-earth.eu/destination-earth/> (28.8.2025.)

Data Model for Maritime Spatial Planning

Abstract

The development of data models constitutes a fundamental prerequisite for ensuring the organized and harmonized collection, management, and visualization of spatial data, as well as for the implementation of comprehensive spatial analyses. Existing spatial data models currently in use across Europe (INSPIRE) and in Croatia (CROTIS and STOKIS) have been conceived primarily for terrestrial applications and thus encompass only limited themes and attributes required for maritime spatial planning, both in positional and descriptive terms. To date, maritime spatial planning in the Republic of Croatia has been undertaken within the framework of terrestrial spatial plans, by incorporating maritime domain areas into the scope of these plans. In effect, models originally designed for land-based planning have been applied to the marine environment. This paper examines the discrepancies between the existing data models in Croatia and those necessary for maritime spatial planning. Furthermore, it presents examples of data models for maritime spatial planning and European initiatives aimed at harmonizing maritime spatial planning at the pan-European level. The paper also provides examples of challenges faced by maritime spatial planners in Croatia that cannot be resolved solely through the development of maritime data models.

Keywords: *Maritime data model; MSP Directive; Exclusive Economic Zone; maritime spatial planning*

Razvoj Web GIS sustava za automatsku detekciju antropogenih promjena u obalnom pojasu Hrvatske korištenjem visokorezolucijskih satelitskih snimaka

Ivan Tekić¹, Mirna Bušić², Bruno Čaleta¹, Luka Raspović¹, Luka Stemberga², Branimir Radun¹

¹ OIKON d.o.o. – Institut za primjenjenu ekologiju, Trg Senjskih uskoka 1, 10020 Zagreb, Hrvatska, itekic@oikon.hr, bcaleta@oikon.hr, lraspovic@oikon.hr, bradun@oikon.hr

² LIST LABS d.o.o., Palinočevačka 49, 10000 Zagreb, Hrvatska, mirna.busic@listlabs.net, luka.stemberga@listlabs.net

Sažetak

Satelitske snimke postaju ključan alat u modernoj geodetskoj i geoinformatičkoj praksi, osobito kada je riječ o kontinuiranom praćenju prostora, detekciji promjena i podršci u različitim stručnim i operativnim kontekstima. Njihova primjena više nije ograničena na znanstvena istraživanja, već se sve češće koristi u svakodnevnim prostornim problemima – od otkrivanja bespravne gradnje i promjena u korištenju zemljišta, do praćenja stanja okoliša i nadzora nepristupačnih područja. Prednosti uključuju dostupnost podataka, mogućnost usporedbe kroz vrijeme, široku pokrivenost i smanjenje potrebe za terenskim obilascima. Razvojem metoda strojnog učenja i alata za geoprostornu analizu, satelitske snimke danas se mogu automatizirano obrađivati, klasificirati i interpretirati kroz web aplikacije, čime se značajno ubrzava donošenje odluka i povećava učinkovitost stručnjaka. Korištenjem takvih rješenja moguće je unaprijediti nadzor nad prostorom, ali i omogućiti nove oblike digitalne geodetske prakse. U radu je prikazan konkretan primjer primjene satelitskih snimaka kroz razvoj aplikacije za detekciju ilegalnih aktivnosti u obalnom prostoru u sklopu projekta realiziranog u suradnji s Europskom svemirskom agencijom (ESA). Projekt predstavlja spoj suvremenih tehnologija daljinskih istraživanja i stvarnih potreba korisnika, s ciljem automatizacije nadzora obalnog pojasa i unaprjeđenja sustava ranog upozoravanja.

Ključne riječi: *Satelitske snimke, Detekcija promjena, Strojno učenje, Tehnologije opažanja zemlje*

Uvod

Europski obalni pojas izložen je snažnim antropogenim pritiscima, a Republika Hrvatska u tom pogledu nije iznimka. Velik dio hrvatskoga priobalnog područja uključen je u ekološku mrežu NATURA 2000, što dodatno naglašava njegovu vrijednost, ali i osjetljivost. Ipak, unatoč zakonskoj zaštiti, godinama se provodi devastacija nasipavanjem obale i izgradnjom ilegalnih objekata, što značajno ugrožava biološku raznolikost i krajobraznu vrijednost prostora. Na primjeru Splitsko-dalmatinske županije, tijekom 2019. godine putem interaktivnog portala evidentirane su 352 prijave devastacije pomorskog dobra, dok je do srpnja 2021. taj broj porastao na više od 500 slučajeva. Problem postojećeg sustava jest njegova reaktivnost: devastacije se prijavljuju tek kada ih građani uoče, uglavnom u blizini naseljenih područja ili prometnica. U izoliranim područjima – poput udaljenih dijelova srednjodalmatinskih otoka – devastacije često ostaju nezabilježene, a njihovi učinci postaju vidljivi tek u uznapredovaloj fazi, kada je šteta često nepovratna. Dodatni izazov je i nedostatak učinkovitoga inspeksijskog nadzora, što onemogućuje pravovremeno sankcioniranje nezakonitih aktivnosti. Time

se potvrđuje kako nedostatak sustavnog praćenja pomorskog dobra predstavlja ozbiljan problem za održivo upravljanje obalnim prostorom. Rješenje se sve više traži u primjeni EO tehnologija (*Earth Observation* - Opažanje Zemlje) i metoda strojnog učenja. Korištenjem satelitskih podataka i algoritama za automatsku detekciju i klasifikaciju promjena moguće je uspostaviti sustav nadzora koji, za razliku od postojećeg modela temeljenog na prijavama trećih strana, omogućava proaktivno praćenje promjena na obali u gotovo stvarnom vremenu (1–5 dana). Takav pristup pruža tehnološku osnovu za alate ranog upozoravanja i učinkovitije upravljanje priobalnim okolišem.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja i cilj projekta

Monitoring obalnih područja temeljen na daljinskim istraživanjima trenutno se provodi raznim metodama koje se razlikuju po svrsi, točnosti i prostorno-vremenskoj rezoluciji, od LIDAR-a do kamera na

dronovima. Unatoč sposobnosti EO tehnologija da pruže široki spektar prostorno-vremenskih podataka potrebnih za povijesne i aktualne analize te globalnu pokrivenost, njihova primjena suočava se s nizom tehničkih i metodoloških izazova. Među glavnim ograničenjima su nedostatak kapaciteta i infrastrukture, pitanje točnosti i dostupnosti proizvoda, visoki troškovi te ograničena institucionalna prihvaćenost (Zhao i sur., 2021).

EO tehnologije, uključujući napredni diferencijalni interferometrijski radar sa sintetiziranom aperturom (InSAR) i optičke senzore, već se neko vrijeme koriste za nadzor obalnih područja i procjenu rizika povezanih s podizanjem razine mora, slijeganjem tla i prirodnim opasnostima (Zhao i sur., 2021). InSAR je osobito koristan za detekciju promjena elevacije tla u obalnim zonama, dok su multispektralne i hiperspektralne satelitske snimke učinkovite za kartiranje pokrova tla i identifikaciju materijala i uvjeta (Klemas, 2010; Finkl i Makowski, 2014).

Rad Luijendijka i suradnika (2018) označio je značajan pomak u proučavanju morske obale korištenjem višedesetljetnih globalnih satelitskih snimaka za procjenu povijesnih stopa erozije. Naknadni napor u EO-baziranom praćenju obala usmjereni su na korištenje kompozitnih satelitskih snimaka za precizno određivanje obalnih linija i razvoj digitalnih sustava za analizu obalne linije (DSAS) koristeći pasivne i aktivne satelitske senzore. Znanost iza ovoga područja je dobro razrađena, s brojnim radovima koji obrađuju različite senzore i metodologije za detekciju položaja i promjena obalnih linija s visokom točnošću (Smith i sur., 2021; Dewi i sur., 2017; Mujaabar i Chandrasekar, 2011). Ovo je dovelo do razvoja i brojnih alata i aplikacija, poput CoastSat toolboxa (Vos i sur., 2019) i CASSIE toolboxa (Almeida i sur., 2021).

EO proizvodi za upravljanje obalnim područjima postali su precizniji i usmjereniji na praktičnu primjenu (Copernicus European Ground Motion Service, EU H2020 CyanoAlert i CoastObs projekti, itd.). Međutim, većina ovih projekata fokusirana je na razvoj in-situ promatranja u svrhu EO-baziranog praćenja kvalitete vode i određivanja linije obale. Proizvodi usmjereni na automatiziranu detekciju promjena na obalnim područjima uzrokovanih ljudskim djelovanjem su trenutno rijetki.

Cilj projekta „Development of a Coastal Monitoring System in Croatia“, financiranog od strane Europske svemirske agencije (ESA) i kojeg zajednički provode OIKON d.o.o. i LIST LABS d.o.o., jest razvoj automatiziranog, gotovo realno-vremenskog sustava za praćenje antropogenih promjena u ekosustavu hrvatske obale. Sustav će koristiti satelitske podatke za detekciju (kartiranje) i klasifikaciju ljudskih utjecaja poput neovlaštene gradnje duž obale, drobljenja stjenovitih obala radi stvaranja šljunčanih plaža, izgradnje ilegalnih vezova za plovila, odlaganja građevinskog materijala, nasipanja krškog litoralnog područja neodobrenim šljunkom te pretjeranog uklanjanja vegetacije i betoniranja. Projekt se razvija kroz jasno definirane razine tehnološke spremnosti (Techno-

logy Readiness Levels, TRL), koje osiguravaju sustavni napredak od koncepta do operativnog primjenjivog proizvoda.

U prvoj fazi, TRL 3, 2021. i 2022. godine provedena je Proof of Concept (PoC) demonstracija kojom je, na temelju postojećih metoda i alata u EO sektoru, potvrđena tehnička izvedivost metode za detekciju i klasifikaciju različitih klasa pokrova zemljišta u obalnom području te praćenja njihove promjene na temelju Sentinel-2 satelitskih snimaka. Ovim je postavljeno temelj za daljnji razvoj sustava.

Sljedeća faza usmjerena je na dostizanje TRL 6, što podrazumijeva demonstraciju prototipa u relevantnom operativnom okruženju, planirano do ožujka 2026. godine. U tom će se okviru razviti i testirati Web GIS aplikacija namijenjena praćenju i evidenciji detektiranih promjena u priobalju, s fokusom na Splitsko-dalmatinsku županiju. Sustav koristi strojno učenje za klasifikaciju terena putem satelitskih snimaka obale, a geoprocenjski algoritmi uspoređuju podatke između razdoblja radi analize i klasifikacije detektiranih promjena.

Razvit će se prototip web usluge za detekciju ovih promjena u gotovo realnom vremenu korištenjem satelitskih snimaka Sentinel-2 i PlanetScope. Sustav će izdvajati i dostavljati informacije o detektiranim promjenama s visokom prostornom i vremenskom rezolucijom te točnošću. Za klasifikaciju obalnih scena i detekciju promjena tijekom vremena koristit će se model strojnog učenja (ML). Geoprostorni algoritmi za naknadnu obradu usporedit će razlike između razdoblja radi klasifikacije promjena i pružanja statističkih uvida. Za podršku backend dijela koristit će se arhitektura sustava temeljena na Pythonu, s mikroservisima radi skalabilnosti i modularnosti, dok će korisničko sučelje (UI) sadržavati interaktivnu kartu koja omogućuje korisnicima interakciju s detektiranim promjenama.

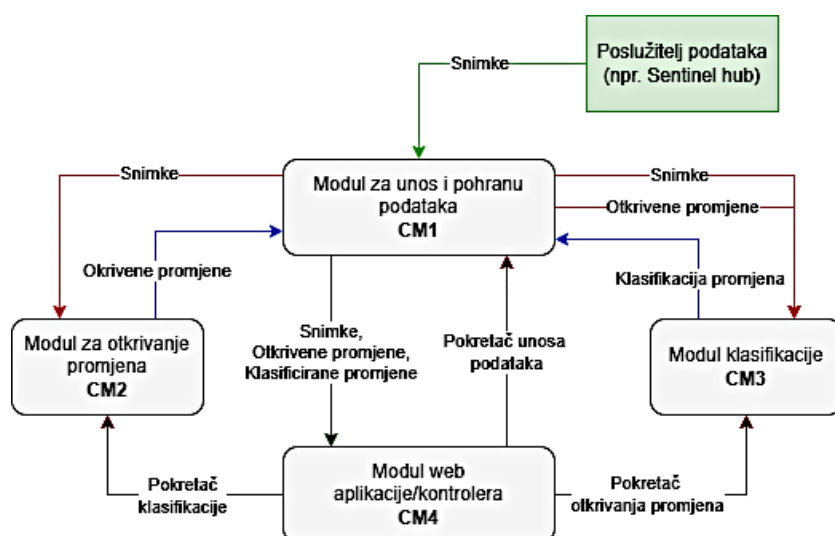
Područje istraživanja obuhvaća prostor Splitsko-dalmatinske županije, odabrane kao jednog od krajnjih korisnika sustava. Analiza se provodi u pojasu od 100 metara prema kopnu i 100 metara prema moru od obalne linije, čime se fokus stavlja na najugroženiji dio priobalja gdje su pritisci ljudskih aktivnosti najizraženiji.

3. Metodologija

3.1. Pregled sustava

Sustav je organiziran u četiri funkcionalna modula, ulazno-izlaznim točkama i mjerljivim pokazateljima uspješnosti (Slika 1):

- CM1 – Unos, predobrada i pohrana podataka
- CM2 – Otkrivanje promjena
- CM3 – Klasifikacija promjena
- CM4 – Aplikacijski sloj i orkestracija



Slika 1. Shematski prikaz razvijanog sustava prema modulskim komponentama (CM)

Primarni izvori podataka za ovaj sustav su multispektralne snimke Sentinel-2 (L2A i L1C nivoa obrade) s prostornom rezolucijom od 10 m i periodičnošću snimanja od 3 do 5 dana, radarske snimke Sentinel-1 GRD s rezolucijom od 10 m te multispektralne snimke PlanetScope s vrlo visokom prostornom rezolucijom od približno 3 m, koje se koriste za detekciju sitnih zahvata i verifikaciju promjena.

Proces predobrade podataka uključuje reproprojekciju i koregistraciju snimaka, maskiranje oblaka na optičkim snimkama, te logaritamsku transformaciju radarskih podataka. Uz to, izračunavaju se vegetacijski indeksi i teksturalne značajke snimaka, dok se po potrebi primjenjuje analiza glavnih komponenti (PCA) radi redukcije dimenzionalnosti podataka, pri čemu se održava performansa modela.

Otkrivanje promjena (CM2) temelji se na nenadziranom pristupu koji koristi K-means grupiranje u kombinaciji s PCA redukcijom dimenzionalnosti. Rezultat ovog postupka su pikseli označeni kao potencijalna mjesta promjena, što značajno smanjuje računalno opterećenje buduće obrade eliminirajući piksele bez zabilježenih promjena.

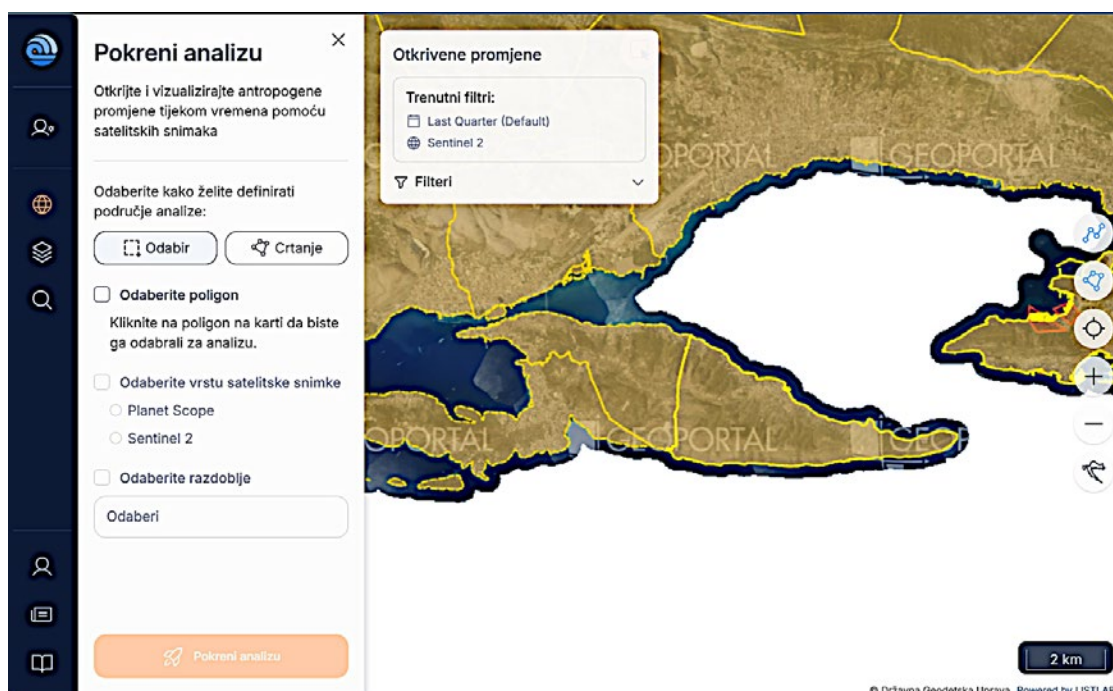
Klasifikacija promjena (CM3) provodi se nadziranom pikselnom klasifikacijom na prethodno filtriranim pikselima, pri čemu se generira distribucija vjerojatnosti za različite klase pokrova zemljišta. Statistička komparacija između dvaju setova klasifikacija, izvedena putem fuzzy pristupa temeljenog na vjerojatnostima klasa, omogućuje izdvajanje značajnih promjena od manje značajnih. Model nadzirane klasifikacije treniran je na temelju ručno označenih uzoraka ground-truth, razvijenih u suradnji s krajnjim korisnicima. Ground-truth podaci razlikuju sljedeće kategorije terena koje služe za klasifikaciju terena: more, izgrađene površine (betonirane i asfaltirane površine i građevine), šljunčane plaže, pješčane plaže, golo tlo, travnate površine, vegetacija (grmlje i stabla), kamenita obala i plovila. Sustav implementira upravljanje verzijama modela i skupova podataka što osigurava ponovljivost i transparentnost analize.

Validacija modela provodi se standardnom podjelom podataka u omjeru 70/10/20 za trening, validaciju i testiranje. Za procjenu kvalitete klasifikacije koriste se ključne metrike: ukupna točnost (Overall Accuracy, OA), preciznost (Precision), odziv (Recall) te Kappa koeficijent, koji zajedno pružaju sveobuhvatan uvid u performanse modela. Operativni cilj sustava postavljen je na minimalnu ukupnu točnost veću od 90% (OA > 0,9) i Kappa vrijednost veću od 0,9, uz posebnu kontrolu lažno pozitivnih detekcija kako bi se smanjile pogrešne identifikacije promjena.

3.2. Preliminarni rezultati

Analiza podataka dobivenih satelitima Sentinel-1 i Sentinel-2 pokazuje obećavajuće rezultate pri klasifikaciji glavnih tipova pokrova u obalnom području. Sustav uspješno detektira i razlikuje ključne klase poput mora, izgrađenih površina i vegetacije, postižući ukupnu točnost veću od 80%, omogućujući time pouzdanu detekciju glavnih tipova ilegalnih antropogenih aktivnosti u obalnom pojasu. Međutim, među izazovima valja istaknuti nedovoljnu sposobnost razlučivanja srodnih kategorija kao što su golo tlo, šljunak i pijesak, koje pokazuju ukupno točnost od 50-60% što nameće potrebu za grupiranjem ovih klasa kako bi se poboljšala pouzdanost klasifikacije. Zbog prostorne rezolucije od 10 m, Sentinel sateliti nisu sposobni detektirati najsitnije promjene na obalnom pojasu.

S druge strane, podaci visoke prostorne rezolucije s platforme PlanetScope pokazuju točnost klasifikacije iznad 90%, što potvrđuje ključnu ulogu rezolucije u preciznoj identifikaciji i kvantificiranju antropogenih promjena na obalnim područjima. Međutim, jedan od izazova vezanih uz korištenje PlanetScope snimaka je problem s točnom koregistracijom podataka, što može ograničiti pouzdanost promjena detektiranih u vremenskim nizovima. Kako bi se ovaj problem ublažio i eventualno u potpunosti riješio, razvijeni su specijalizirani in-house algoritmi za korekciju i usklađivanje snimaka, čime se značajno povećava kvaliteta



Slika 2. Prikaz razvijenog korisničkog sučelja buduće Web GIS aplikacije

i konzistentnost ulaznih podataka za klasifikaciju i analizu promjena.

Dosadašnji rezultati ukazuju na izvodljivost predložene metodologije, no potrebna je dodatna evaluacija na većem prostoru i kroz duži vremenski period kako bi se potvrdila robusnost i operativna primjenjivost sustava. Daljnji razvoj uključuje optimizaciju algoritama, proširenje klasifikacijskih klasa te sustavno testiranje u različitim obalnim okruženjima Republike Hrvatske.

4. Web GIS aplikacija kao produkt

4.1. Oblikovanje zahtjeva

Prije implementacije sustava provedene su radionice i vođeni razgovori s potencijalnim krajnjim korisnicima (županijskim službama, inspekcijama) s ciljem prevođenja postojećih procesa u konkretne zahtjeve sustava. Kroz zajedničko planiranje tijekom rada, od pojave slučaja do zatvaranja predmeta, identificirana su ključna uska grla: reaktivnost sustava, nedostatak uvida u povijest promjena te nepovezanost terenskih opažanja s uredskim postupcima. Na temelju tih uvida definiran je skup slučajeva uporabe — uključujući pregled novih promjena na karti, pretraživanje područja, pribavljanje i izvoz rezultata za određeno područje te validaciju rezultata (potvrdu ili odbijanje uz bilješku i fotografiju) — koji su potom pretočeni u korisničke i systemske zahtjeve. Operativne kategorije usklađene su s tranzicijama klasa pokrova zemljišta i obalnim kontekstom kako bi se osiguralo da nalaz proizašao iz analitičkih postupaka posjeduje neposredno pravno-operativno značenje.

Radi smanjenja neizvjesnosti u fazi razvoja izrađeni su high-fidelity wireframeovi budućeg sučelja visoke vjernosti. Njihova je uloga bila višestruka: omogućena je rana provjera upotrebljivosti, postignuto usuglašavanje terminologije te ostvareno precizno povezivanje elemenata sučelja s izlazima analitičkih modula. Istodobno, navedeni su wireframeovi poslužili kao temelj za početak razvoja Web GIS aplikacije.

4.2. Softverska arhitektura

Web GIS aplikacija objedinjeno je mjesto orkestracije i korisničkog pristupa: osigurava protočnost podataka između snimki, klasifikacije i detekcije promjena, te pruža alate za vizualizaciju, analizu i upravljanje rezultatima u obalnom pojasu.

Poslužiteljski sloj temelji se na Django REST Frameworku. Zadužen je za upravljanje korisnicima i ulogama (autentikacija/autorizacija), izlaganje programskog sučelja (REST API), orkestraciju pozadinskih zadataka i vođenje dnevnika revizije. Asinkrone obrade pokreću se putem RabbitMQ-a i Celeryja, što omogućuje da nove satelitske snimke budu automatski preuzete, obrađene i objavljene bez ručne intervencije. Modul upravlja statusima nalaza, bilješkama i prilogama te priprema izvoze u uobičajene GIS formate. Prostorni podaci i atributi čuvaju se u PostgreSQL bazi sa PostGIS ekstenzijom. Velike datoteke pohranjuju se u distribuirano spremište objekata (MinIO).

Korisničko sučelje razvijeno je koristeći React.js JavaScript biblioteku, uz TypeScript za statičku tipizaciju i OpenLayers kao kartografsku biblioteku unutar React komponenti (Slika 2). U središtu se nalazi interaktivna karta sa rezultatima detekcije promjena i klasifikacije, sa intuitivnim izbornikom s lijeve strane koji omogućava korisnicima korištenje različitih alata i slojeva.

5. Zaključak

U radu je prikazan integrirani pristup automatiziranoj detekciji i klasifikaciji antropogenih promjena u obalnom pojasu putem EO tehnologija, te način na koji se analitički rezultati operacionaliziraju kroz Web GIS aplikaciju za evidenciju promjena kroz vrijeme. Preliminarni rezultati na području Splitsko-dalmatinske županije potvrđuju pouzdanost metodologije (OA >85% u ranim iteracijama) i primjenjivost za proaktivni nadzor.

Sljedeći korak je demonstracija na razini TRL-6: u prvoj polovici 2026. planira se testiranje prototipa u relevantnom operativnom okruženju, zajedno s krajnjim korisnicima (ovlaštenim inspekcijskim i upravljačkim službama). U ovoj fazi prototip će se koristiti na stvarnim slučajevima hrvatskog priobalja, uz praćenje definiranih KPI-jeva (točnost, lažno pozitivni nalazi, vrijeme od ingest-a do prikaza, dostupnost sustava), formalnu validaciju nalaza te dokumentiran audit procesa (tko/što/kada).

Nakon TRL-6 slijedi put preko TRL-7 i TRL-8 (skaliranje, „otvrdnjavanje“ sustava, sigurnost, otpornost i integracije) prema TRL-9, koji podrazumijeva potpuno operativan sustav dokazan u realnim uvjetima i institucionalno usvojen u redovitim procesima nadležnih tijela.

Literatura

European Space Agency (ESA). (2016). Technology Readiness Levels Handbook for ESA.

Almeida, L. P., Efraim de Oliveira, I., Lyra, R., Scaranto Dazzi, R. L., Martins, V. G., & Henrique da Fontoura Klein, A. (2021). Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. *Environmental Modelling and Software*, 140(March), 105033. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105033>

Dewi, R. S., Bijker, W., & Stein, A. (2017). Change vector analysis to monitor the changes in fuzzy shorelines. *Remote Sensing*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/rs9020147>

Finkl, C. W., & Makowski, C. (2014). *Remote Sensing and Modeling: Advances in Coastal and Marine Resources* (2014th ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06326-3>

Klemas, V. (2011). Remote sensing techniques for studying coastal ecosystems: An overview. *Journal of Coastal Research*, 27(1), 2–17. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-1000103.1>

Li, R., Gao, X., Shi, F., & Zhang, H. (2023). Scale Effect of Land Cover Classification from MultiResolution Satellite Remote Sensing Data. *Sensors*, 23(13). <https://doi.org/10.3390/s23136136>

Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., & Aarninkhof, S. (2018). The State of the World's Beaches. *Scientific Reports*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>

Sheik, M., & Chandrasekar. (2011). A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system. *Geo-Spatial Information Science*, 14(4), 282–293. <https://doi.org/10.1007/s11806-011-0551-7>

Smith, K. E. L., Terrano, J. F., Pitchford, J. L., & Archer, M. J. (2021). Coastal wetland shoreline change monitoring: A comparison of shorelines from high-resolution worldview satellite imagery, aerial imagery, and field surveys. *Remote Sensing*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/rs13153030>

Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019).

CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software*, 122, 104528. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>

Zhao, Q., Pan, J., Devlin, A., Xu, Q., Tang, M., Li, Z., Zamparelli, V., Falabella, F., Mastro, P., & Pepe, A. (2021). Integrated analysis of the combined risk of ground subsidence, sea level rise, and natural hazards in coastal and delta river regions. *Remote Sensing*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/rs13173431>

URL 1: <https://www.pomorskodobro.dalmacija.hr/> (19.8.2025.)

Development of a Web GIS System for Automatic Detection of Anthropogenic Changes in the Coastal Zone of Croatia Using High-Resolution Satellite Imagery

Abstract

Satellite imagery is becoming a key tool in modern geodetic and geoinformation practice, especially when it comes to continuous spatial monitoring, change detection, and support in various professional and operational contexts. Its application is no longer limited to scientific research but is increasingly used in everyday tasks – from detecting illegal construction and land-use changes to monitoring environmental conditions and supervising inaccessible areas. The advantages include data availability, the ability to compare over time, broad coverage, and reduced need for field inspections. With the development of machine learning methods and geospatial analysis tools, satellite imagery can now be automatically processed, classified, and interpreted through web applications, significantly accelerating decision-making and increasing the efficiency of professionals. The use of such solutions makes it possible to enhance spatial monitoring while also opening the door to new forms of digital geodetic practice. This paper presents a concrete example of application through the development of an application for detecting illegal activities in the coastal zone, carried out in cooperation with the European Space Agency (ESA). The project represents a fusion of modern remote sensing technologies and real user needs, with the aim of automating coastal zone monitoring and improving the early warning system.

Keywords: *Satellite imagery, Change detection, Machine learning, Earth Observation*

Nekretnine, postupci evidentiranja i sporovi oko granica vlasništva

– uloga stalnih sudskih vještaka i procjenitelja iz područja geodezije –

Franjo Ambroš¹, Vladimir Slivac¹, Perica Mihaljević¹, Ivan Sambunjak², Josip Vejmelka³

¹ GEOprem d.o.o - Osijek, Email: franjo.ambros@geoprem.hr

² LAND ING d.o.o., Osijek, Hrvatska, Email: office@landing.hr

³ Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb, Hrvatska, Email: josip.vejmelka@hkoig.hr

Sažetak

Uloga nekretnina na području Republike Hrvatske mijenjala se tijekom povijesti. To je imalo za posljedicu da su se i postupci evidentiranja i preoblikovanja nekretnina te važnost vlasništva također prilagođavali potrebama. U radu se ukazuje na zakone, pravilnike i tehničke postupke evidentiranja i promjene zakona o vlasništvu koji su nekretninama dali značaj koji je u tom trenutku smatran primjerenim. Osnovna jedinica nekretnina je katastarska čestica, a evidencija je ustrojena po katastarskim općinama. Hrvatska ima preko 14 milijuna katastarskih čestica, evidentiranih u 3397 katastarske općine. O evidenciji brine 112 katastarskih i 108 zemljišnoknjižnih ureda. Temelj za položaj i oblik nekretnine je geodetska izmjera, koja se na našim prostorima provodila kontinuirano s većim ili manjim intenzitetom. Sa žaljenjem možemo zaključiti da je na preko 60% teritorija Hrvatske u službenoj uporabi geodetska izmjera koja je obavljena prije više od 150 godina. Posljedično možemo očekivati pravnu nesigurnost za državu kao i za njene građane. Sve ovo generira potencijalne sporove koji se pretežno reflektiraju na granice i vlasništvo nekretnina. Stalni sudski vještaci geodetske struke, a u posljednje vrijeme i drugih struka kao multidisciplinarni timovi, pružaju pomoć sudu za objektivni prikaz nekretnina bilo o stanju evidentiranja u službenim evidencijama ili procjeni vrijednosti nekretnine ili okrnjenosti nekretnine izgradnjom infrastrukture na njoj.

Ključne riječi: *povijest evidentiranja nekretnina, stanje evidencija nekretnina u Hrvatskoj, pravna nesigurnost vlasništva, uloga sudskih vještaka u sporovima oko nekretnina*

1. Uvod

Pojam nekretnina vezan je za dio omeđenog prostora koji ne mijenja položaj. Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina Narodne novine (2018) u članku 21. navodi: *Katastar nekretnina je evidencija koja sadrži podatke o česticama zemljine površine i zgradama koje trajno leže na zemljinoj površini ili ispod nje te o posebnim pravnim režimima na zemljinoj površini.* Isti Zakon u članku 23. pobliže definira osnovnu prostornu jedinicu: *Katastarska čestica dio je područja katastarske općine odnosno katastarskog područja na moru određen brojem katastarske čestice i njezinim granicama.* Zakonom o vlasništvu na dijelovima zgrada SL FNRJ (1959) uvodi se princip stjecanja vlasništva na dijelovima zgrada. Uvođenjem stana kao nekretnine koja se može registrirati u javnim evidencijama, uveden je princip horizontalne diobe (etažiranje). Vertikalna (parcelacija) i horizontalna dioba (etažiranje), čine okosnicu evidentiranja nekretnina te se sukladno tome mogu urediti granice među njima.

Članak 2. Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina Narodne novine (2018) uvodi i registar zgrada,

kao poslove od interesa za Republiku Hrvatsku čime geodetska struka proširuje djelatnost i odgovorna je za ustrojavanje i vođenja još jednog državnog registra.

Zakon o vlasništvu i drugim stvarnim pravima, Narodne novine (1996), članak 2, nekretninu definira: *Nekretnine su čestice zemljine površine, zajedno sa svime što je sa zemljištem trajno spojeno na površini ili ispod nje, ako zakonom nije drukčije određeno.*

Iz zakonskih definicija proizlazi da jedinstvo nekretnina proizlazi iz jedinstva katastarske čestice i zgrada na njoj bilo da su one iznad ili ispod zemljine površine. Veza vodova komunalne i gospodarske infrastrukture s katastarskom česticom je u zakonu definirana zakonskim izuzecima ili posebnim pravnim režimima. Članak 23. Pravilnika o katastru zemljišta, Narodne novine (2007) navodi 17 posebnih pravnih režima na katastarskoj čestici. Ovi pravni režimi ne izvlašćuju vlasnika ali definiraju ograničenje koja on ima u raspolaganju svojom nekretninom. Ova ograničenja su predmet posebnih zakona.

Sukladno Zakonu o vlasništvu i drugim stvarnim pravima Narodne novine (1996) od 1997. uvedeno je pravo građenja kao institut više titulara vezanih za katastarsku česticu. Vlasništvo katastarske čestice i vlasništvo građevina na katastarskoj čestici mogu imati različite titulare, Belaj (2003). Institut prava građenja u europskoj praksi ima svoju povijest, Simonetti (2012). Saznanje o ovoj povijesti u sudskim predmetima može objektivizirati status promatrane nekretnine.

Nastajanje registra o nekretninama i vlasničkim odnosima na njima u Europi datira iz doba Napoleona, te njegovog povijesnog zakonika Civil code. Austro-ugarska je napredne ideje toga doba pokušala kroz propise uvesti na području svoje vladavine. Evidencija je rađena postupnim prilagođavanjima sve dok Car Franjo I 1817. godine nije donio Carski patent kojim je i tadašnja Hrvatska počela evidentirati nekretnine temeljem izmjere po principu stabilnog katastra. Prilagođavanje katastra stvarnim potrebama je i danas proces. Dinamiku procesa određuju potrebe, metode i instrumenti mjerenja, obrada i interpretacija podataka mjerenja.

Bez kontinuiranog osiguranja budžeta, temeljni princip gospodarske djelatnosti na katastru nekretnina, ugrožen je kontinuitet i ekonomičnost održavanja registra o nekretninama, a tome i pravna sigurnost države i građana koji ovise o zemljišnim registrima, Ambroš i dr (2023).

Vlastita nekretnina, nepovredivost doma, gospodarska djelatnost koja se na/u nekretninama odvija, hipotekarni potencijal nekretnine, svi ovi elementi u određenom trenutku mogu generirati emocije koje su ponekad racionalne a ponekad iracionalne. Emocija nije pošteđen pojedinac kao ni država. Uglavnom se emocije kanaliziraju na granicu, površinu i vrijednost nekretnine.

2. Počeci suvremenog katastra

Carskim patentom iz 1817. godine počinje evidencija posjeda na cijelom području austrougarske monarhije. Karakteristika te izmjere su grafička metoda, hvatni sustav za duljinu, odnosno četvorni hvat (čhv) za površinu, stupnjevi za mjerenje kuteva (horizont oko stajne točke podijeljen na 360°) i jedinstveno mjerilo prikaza izmjerenih podataka 1:2880, namjena fiskalna. Određeno je jedanaest lokalnih koordinatnih sustava. Područje Hrvatske prikazano u četiri koordinatna sustava. Jedan koordinatni sustav, Kloštar Ivanički, ima ishodište na području Hrvatske, Solarić (2010).

Reforme koje je Austrougarska provodila a čiji temelj je bila katastarska izmjera imale su za cilj državi osigurati stalni prihod od poreza, motivirati stanovništvo za ostanak na zemlji davanjem ustupaka za koje je država garantirala. Katastarska izmjera je bila u službi reformi koje je carevina provodila kao tehnička, organizacijska, motivacijska mjera, fokusirana na povećanje produktivnosti poljoprivredne proizvodnje. Kako se radilo o veoma zahtjevnom poslu, on je

u početku povjeren vojnim mjernicima koji su s izmjerom započeli po cijeloj carevini.

3. Registri nekretnina i zakoni koji reguliraju vlasništvo nad nekretninama

Ovaj rad se bavi nekretninama i granicama pa je važno odvojiti tipove nekretnina koje imaju egzaktno granice od nekretnina koje imaju opisne granice. Granice katastarskih čestica i granice teritorija države imaju egzaktno granice, dok granice dijelova nekretnina (etažne nekretnine) imaju grafičke/rjeđe egzaktno granice, teritorij regije ima opisne granice. Potrebno je napomenuti da na nekretnini mogu postojati i druge granice: granice posebnih pravnih režima, kultura, boniteta, granice preuzetih iz prostornih planova itd. Pod pojmom egzaktno određene granice podrazumijeva se koordinatama definirana lomna točka svake nekretnine.

3.1. Referentni koordinatni sustavi

Svaka država autonomno određuje referentni koordinatni sustav (geodetski datum) za svoje područje. Koordinata kao lokacijski identifikator povezuje prostorne informacije i omogućava vizualno sagledavanje prostornih odnosa. Sagledavanje odnosa može biti u više dimenzija: plošni (2D), prostorni (3D) i vremenski (3D+t). Korektna vizualizacija podrazumijeva da su i nekretnine i ostale informacije prikazane u istom geodetskom datumu.

Između geodetskih datuma postoji funkcionalna ovisnost, pa se podaci iz jednog u drugi geodetski datum mogu/trebaju transformirati. U Europi je registrirano sedamdeset koordinatnih referentnih sustava (podaci NIPP), od toga trideset u Hrvatskoj, URL 1. To traži poznavanja karakteristike svakog sustava u kome su prikazani podaci.

Za vizualnu interpretaciju prostornih podataka koriste se kartografske projekcije koje deformiraju pojedine elemente prikaza što laicima daje lažni prikaz pojedinog problema koji se interpretira. Ovo sve ukazuje na složenost prostornih evidencija i zaključivanja o nekretninama koje se promatraju i odnosima s drugim prostornim informacijama.

U Hrvatskoj je katastar zemljišta/nekretnina prikazan u više geodetskih datuma:

- Austrougarska izmjera – 4 datuma (Bečki, Krimski, Budimpeštanski i Kloštar- Ivanički) + visinski datum (HVR5 1875)
- Jugoslavija - 1 datum (HDKS1901/XYZ;) + visinski datum (HVR5 1875)
- SFRJ/Republika Hrvatska -2 datuma (HDKS1901/GK 5 i HDKS1901/GK 6) + 2 visinska datuma (HVR51875 i HVR571)
- Republika Hrvatska – 1 datum (HTRS96/TM od 1. siječnja 2010.) + 2 visinska datuma (HVR51875 i HVR571).

Karakteristike odabranog geodetskog datuma direktno utiče na iskazanu površinu svake odabrane nekretnine.

Nekretnine evidentirane u katastru po principu katastra nekretnina smatraju se uređenima ukoliko međne točke postoje. U slučaju uništenje međne točke slijedi obnova po nekom od 4 principa iz članka 103. Zakona o vlasništvu i drugim stvarnim pravima, Narodne novine (1996).

3.2. Kako reducirati sporove oko uređenja međa

Izmjera svake katastarske čestice podrazumijeva tehnički i upravni postupak u kome sudjeluje vlasnik i susjedi. U postupku se međa materijalizira međnom oznakom. Svaka međna točka tijekom izmjere dobiva i prostorne koordinate. Podaci o njima su deponirani u katastru i geodetskim elaboratima.

Međna oznaka je podložna nehotičnom ili hotimičnom uništenju. Sve ovo potencijalno katastarsku česticu čini neuređenom.

Spor oko uređenja međa spada u vanparnički postupak. Među uređuje sud uz asistenciju geodetskog vještaka. Stranke autonomno odlučuju hoće li među urediti prema katastarskom stanju ili ne.

Usvajanjem principa da je koordinata međne točke isto što i njena stabilizacija izbjegla bi se definicija neuređene nekretnine, a time i potreba da se međa uređuje uz prisustvo suda.

3.3. Katastarska čestica kao temeljna nekretnina

Katastar zemljišta, ozakonjen Carskim patentom iz 1817. godine, najveći je i najsloženiji registar nekretnina u Hrvatskoj. Karakteriziraju ga tri glavna segmenta: lokacija, posjed i vlasništvo. Svaki segment ima svoju povijest, namjenu i pravno i ekonomsko utemeljenje. U namjeri da se katastar zemljišta osuvremeniti država je postupanja i postupke izmjere periodično novelirala kroz dopune postojećih zakona ili donošenjem novih.

4. Lokacija, posjed, vlasništvo i korištenje nekretnine

Sporove koje generiraju neuređene nekretnine proizlaze iz postupanja pri održavanju registra i zakonskih rješenja na temelju kojih su održavani registri o nekretninama. Taj oblik postepenog prilagođavanja ima za posljedicu rješenja koja se razlikuju po dijelovima Hrvatske.

Karakteristika Hrvatske je migracija stanovništva i napuštanje i zanemarivanje posjeda nekretnine dok je nasljeđivanje vlasništva provođeno kontinuirano. Vlasništvo je uredno knjiženo na svakog nasljednika bez obzira što on nije bio posjednik dijela ili cijele nekretnine. Postupke oko priznavanja vlasništva dosjelošću izbjegavali su suvlasnici pa i država. Komasacija i aron-

dacija u Hrvatskoj je provedena na oko 6% područja pa nije došlo do objedinjavanja malih parcela u veće. Velik broj parcela (preko 14 milijuna) i velik broj upisanih titulara na njima (oko 60 milijuna) pred geodetsku struku i sudove postavlja velik teret koji nije rješiv u primjerenom roku. Postupak imovinsko pravnog uređenja nekretnine je lociranje nekretnine u prostoru te utvrđivanje stvarnih i zakonskih prava na njima.

Zbog lokacije svaka je katastarska čestica posebna. Potreba za klasifikacijom je nametnula potrebu za detektiranjem sličnih obilježja kako bi se stvorile grupe sličnih obilježja radi pravičnije raspodjele pri agrarnim operacijama, razvrgnuću suvlasništva, razrezivanju poreza, procjene tržišne vrijednosti i dr. Posebnost nekretnine proizlazi i iz njene okoline (pristupni put, blizina atraktivnih sadržaja ili blizina tržišta). Prostorni planovi ukazuju i na druge elemente prostora. Svojim odredbama nude viziju oblikovanja nekretnina kako bi određeno područje imalo maksimalne učinke za razvoj. Proces privođenje planiranoj namjeni temelji se na interesima, zakonu i tehničkim normama. Sinergijskim djelovanjem, uz stručno vodene procese, može se bez konfliktno preoblikovati prostor. Prostorni plan ima snagu zakona kada se usvoji. Umijeće odredbi za provođenje je izbjegavanje nepotrebnih normi i naglašavanje bitnih odredbi.

Katastarska čestica kao oblikovana i omeđena nekretnina ima svog titulara: posjednika/vlasnika. Evidenciju posjednika, u katastru zemljišta, je vodio katastar (posjedovni list), a vlasnika zemljišna knjiga (zk izvadak).

Danas je za registar nekretnina uvriježen termin baza zemljišnih podataka (BZP). Što podrazumijeva dio identičnih podataka katastarske i zemljišne knjige. Ujedno je to i razgraničenje nadležnosti: uložak A je u nadležnosti katastra, dok je za uložak B nadležan sud.

Propuštanjem registracije posjednika kao korisnika nekretnine, zanemarujemo činjenicu da su nam u postupcima priznavanja vlasništva dosjelošću dokazi o rokovima prepušteni vještaku geodetske struke ili svjedocima, umjesto državnom organu.

4.1. Ograničenja u korištenju nekretnina

U Hrvatskoj je vlasništvo ustavna kategorija. To znači da je svatko ovlašten raspolagati svojom nekretninom u granicama koje ne narušavaju prava drugih. Ta se ograničenja nekad protežu na područje, a nekad samo na susjednu nekretninu. Ograničenja se ovdje navode samo zbog ilustracije složenosti. Iako u našem pravu vlasništvo na katastarskoj čestici nije definirano visinom i dubinom, zakonom se ono može limitirati. Koristima iz podzemlja (ugljikovodici, mineralne sirovine) se vlasnici mogu iz vlastiti u pravilu u korist države. Ograničenja mogu biti i u vidu zabrana korištenja pojedine nekretnine za određenu namjenu (gradnja na poljoprivrednom zemljištu). Ograničenja mogu biti i tehničke i pravne prirode bez zadiranja u korištenje nekretnine (zabrana parcelacije poljoprivrednog zemljišta čime se stvaraju parcele manje od hektara). Posebna su ograničenja imisijske (dim, buka, neugodni mirisi, otpadne i oborinske vode) koje ugrožavaju neposredne nekretnine.

5. Vrijednost nekretnine kao ekonomski čimbenik

U Hrvatskoj je uvriježeno stanovište da nekretnine jamče blagostanje vlasniku. Preko 90% građana Hrvatske ima u svom vlasništvu/suvlasništvu stambenu nekretninu. Detaljnije analize o kvaliteti tih nekretnina ukazuju da dio nekretnina nije adekvatan za stanovanje, ili postoje vlasničke i druge prepreke da se one stave u funkciju stanovanja. Nekretnine u funkciji poljoprivredne proizvodnje također kroz rascjepkanost ne jamče racionalnu poljoprivrednu proizvodnju. Razlog za te dileme su u nepostojanju stambene i poljoprivredne politike. Depopulacija ovaj problem gura u drugi plan jer se broj nekretnine po stanovniku povećava. Nasljeđivanjem se nekretnine fizički ili vlasnički cijepaju i time stvaraju složeni međuljudski odnosi. Dio vlasnika izlaz nalazi u zanemarivanju nekretnine ili gubljenju interesa za uređenje vlasničkih odnosa. Iskustvo na izmjerama ukazuje da je ovo samo odgođena reakcija jer se emocije prema nekretninama povećavaju saznanjem da bi one mogle postati ekonomski interesantne. Odgovor treba tražiti u odgovarajućoj politici u funkciji prosperiteta zajednice.

5.1. Procjena vrijednosti nekretnina

Cilj geodetskih izmjera je stvaranje samovlasničkih odnosa na nekretnini. Vlasništvom katastarske čestice svaki sudionik dobije odgovarajuću vrijednost. Ta bi vrijednost bila proporcionalna suvlasničkom dijelu nekretnine prije izmjere. Ukoliko katastarska čestica ima više obilježja koja utječu na vrijednost procjenu treba provoditi po dijelovima katastarske čestice ili po dijelovima građevina na toj čestici.

Procjenu nekretnina provodi se sukladno Zakonu o procjeni vrijednosti nekretnina, Narodne novine (2015). Procjenitelj je osoba s posebnim vještinama za prepoznavanje karakteristika nekretnine koje određuju tržišnu vrijednost ili određuju potencijalnu korist od neke nekretnine. Uvriježeno je mišljenje da su to stalni sudski vještaci određenih područja. Geodeti kao stalni sudski vještaci, iako osnivaju i vode javne evidencije o nekretninama i infrastrukturi, u fazi su borbe da dokažu da su ravnopravni partneri ostalim strukama u procjeni vrijednosti nekretnina. Da bi to postigli trebaju se dodatno obrazovati te u Zakon o obavljanju geodetske djelatnosti unijeti odredbu da je procjena nekretnine i imovine stručni geodetski posao koji obavljaju ovlaštene inženjeri geodezije. Ovime bismo u naše zakonodavstvo unijeli odredbu iz Dodatka 1 Koda ponašanja za europske geodete, Narodne novine (2019).

Dodatno obrazovanje iz područja procjena nekretnina moguće je provesti u okviru Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije, kao stalna stručna edukacija.

6. Dileme oko zemljišnih registara

Većina građana Hrvatske uvjerenja je da o nekretninama sve znaju. Stvarnost je drugačija. Sustavno

istraživanja o znanju vlasnika o zemljišnim registrima u Hrvatskoj nema. Ovo pred geodetsku struku postavlja više dilema:

- Kome registri o nekretninama trebaju te tko ih treba financirati?
- Koje izmjene zakona treba inicirati da se broj „neuređenih“ nekretnina smanji?
- Što treba poduzeti da se nezainteresirani vlasnici/suvlasnici privremeno ili trajno izvlaste?
- Kojim znanjima geodetske struke mora ovladati da bi suvereno pomogla vlasnicima?

6.1. Mogu li ovo biti odgovori na postavljene dileme

Registri o nekretninama daju dokaz da vlasnik ima neko stvarno pravo na katastarskoj čestici. Taj dokaz je važan za fizičku, pravnu ili drugu osobu koja može biti vlasnik. Vlasnici nekretnina trebaju financirati registre o nekretninama proporcionalno broju nekretnina koje imaju u vlasništvu/veličini/vrijednosti nekretnine.

U Zakon o vlasništvu i drugim stvarnim pravima unijeti odredbu da je katastarska čestica omeđena ako postoje medne oznake ili koordinate određene u postupku prelaza katastarske čestice iz katastra zemljišta u katastar nekretnina. Medne oznake su deponirane u geodetskim elaboratima i na digitalnom katastarskom planu. Koordinate jamči Državna geodetska uprava.

Za očekivati je da će se zadržavanje nekretnine demotivirati ako se vlasnicima uvede obveza financiranja registra. Vlasnika koji se ogлуši na financijsku obvezu treba ovršiti i/ili izvlastiti.

Iskustvo iz sudskih postupaka ukazuje da ovlaštene inženjeri geodezije, kao i imenovani stalni sudski vještaci moraju svoja znanja proširivati i produbljivati, a često s drugim strukama multidisciplinarno rješavati probleme. Stalnim sudskim vještacima za produbljivanjem znanja trebala bi poslužiti i Pravosudna akademija.

7. Zašto se vlasnici spore oko nekretnina

Interpretacija podataka iz registara o nekretninama koji su se postepeno preoblikovali ima za posljedicu pokušaj mijenjanja zatečenog stanja na terenu na način da se izmjene podaci u katastru. Pri čemu se stanke pa i svjedoci u dokazivanju koriste subjektivnim doživljavanjem prostora. Digitalizacija i homogenizacija katastarskih planova često pred stalne sudske vještake postavljaju dileme koje su mede ispravne, one koju tvrde svjedoci ili podaci katastra. Na ovu dilemu upozoreno je na Šesnaestom simpoziju OIG.

HKOIG je na tu temu izdala Smjernice za korištenje i prijenos podataka katastarskih evidencija na teren, URL2.

Katastarske izmjere građevinskog područja, koje su u tijeku, primjer su kako se vlasnicima mogu ponuditi rješenje koja rješavaju njihove višedesetljetne probleme: razvrgnuće suvlasništva parcelacijom, okrupnjavanjem zemljišta, formiranjem zajedničkih pristupnih puteva, brisanjem upisanih hipoteka. Ovaj posao je zamišljen kao multidisciplinaran. Geodeti omeđavaju i mjere nekretnine, računaju površine dok pravnik (u ekipi izvođača radova) analizira upisane podatke o posjednicima i vlasnicima i priprema rješenja za obnovu zemljišne knjige.

8. Zaključak

Znanje o javnim registrima o nekretninama koje vode geodeti predstavlja obvezu i priliku širenja djelatnosti i na područja koja su do sada djelomično zanemarena: etažno vlasništvo, procjena vrijednosti nekretnina te ustrojavanje funkcionalnih registara države (katastar zagađivača, klizišta, prikupljanje informacija o prostoru u svrhu zaštite okoliša, registra mineralnih sirovina, registra potencijalnih eksploatacijskih polja ugljikovodika, izvora i akumulacije pitke vode, prikupljanje podataka važnih za obranu zemlje ...).

Odgovornost za prostor nije samo geodetska obveza nego i stručnjaka drugih profila pa se multidisciplinarnost i projektni pristup nude kao rješenje.

Uloga države kao organizatora ovih procesa ne iscrpljuje se samo na zakonskim rješenjima i provođenju nadzora, nego i vođenju registra svojih nekretnina te formiranja budžeta kako bi se procesi izmjera kontinuirano provodili.

Literatura:

Ambroš, F., Stojnović, V., Ivanović, M. (2023): Ekonomski položaj geodetske djelatnosti kao potencijalna kriza, 16. simpozij OIG, HKOIG, Poreč, 2023

Belaj, V. (2003): Osnivanje, zaštita i prestanak prava građenja, Pravni vjesnik, broj 19, Osijek, 2003

Simonetti, P. (2012): Evolucija ustanove superficijarnog prava i usporedba s pravom građenja, Zbornik Pravnog fakulteta Sveučilišta Rijeka, br 1, (3-35), Rijeka, 2012

Solarić, M (2010): Ishodišta koordinatnih sustava prve katastarske izmjere u Hrvatskoj, Treći hrvatski kongres o katastru, HGD Zagreb, 2010, Hrvatska

Narodne novine (1996): Zakon o vlasništvu i drugim stvarnim pravima, NN broj 91/96, , 137/99, 22/00, 73/00, 129/00, 114/01, 79/06, 141/06, 146/08, 38/09, 153/09, 143/12, 152/14, 81/15, 94/17, Zagreb

Narodne novine (2007): Pravilnik o katastru zemljišta, NN broj 84/2007, Zagreb

Narodne novine (2018): Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, NN broj 112/18, 39/22, 152/24, Zagreb

Narodne novine (2015): Zakon o procjeni vrijednosti nekretnina, NN broj 78/15, Zagreb

Narodne novine (2019): Kodeks strukovne etike u obavljanju stručnih geodetskih poslova ovlaštenih inženjera geodezije, NN broj 3/2019, Zagreb

Službeni list FNRJ (1959), Zakon o vlasništvu na dijelovima zgrada SL FNRJ broj 16/1959

URL 1: <https://www.nipp.hr/default.aspx?id=3114> (27.8.2025)

URL 2: Smjernice za korištenje i prijenos podataka katastarskih evidencija na teren, <https://api.hkoig.hr/storage/dokumenti/izdanja-hkoig/smjernice-za-web.pdf>, HKOIG, 2023 (27.8.2025)

Real estate, registration procedures and disputes over property boundaries

– the role of permanent court experts and appraisers in the field of geodesy –

Summary

The role of real estate in the territory of the Republic of Croatia has changed throughout history. This had the consequence that the procedures for registering and reshaping real estate and the importance of ownership were also adapted to the needs. This professional article point out to the laws, regulations and technical procedures for registering and changes in property laws that gave real estate the significance that was considered appropriate at that time. The basic unit of real estate is the cadastral parcel, and records are organized by cadastral municipalities. Croatia has over 14 million cadastral parcels. recorded in 3397 cadastral municipalities. Records are handled by 112 cadastral and 108 land registry offices. The basis for the position and shape of the real estate is the geodetic survey, which was carried out continuously in our area with greater or lesser intensity. We regret that we can conclude that over 60% of the territory of Croatia is in official use of geodetic surveys, which were carried out more than 150 years ago. Consequently, we can expect legal insecurity for the state as well as for its citizens. All this generates potential disputes that mainly reflect on borders and real estate ownership. Permanent court experts from the geodetic profession, and recently also from other professions, as multidisciplinary teams, provide assistance to the court for an objective presentation of the real estate, either on the state of recording in official registers or the assessment of the value of the real estate or the deterioration of the real estate due to the construction of infrastructure on it.

Key words: *history of real estate registration, state of real estate records in Croatia, legal uncertainty of ownership, role of court experts in real estate disputes*

SPONZORI

generalni



zlatni



TEHNOMEHANIKA d.o.o.

srebrni



brončani



GEOMATIKA d.o.o.
za izmjernu, projektiranje i inženjering
BANA JE LAČICA 30, 21240 TRILJ
OIB: 74645378611
tel.: 021/285-930, 01/2119-171
e-mail: geomatika@geomatika.hr
www.geomatika.hr



GEOMETRICUS d.o.o.
GEODETSKA MJERENJA



Geoprojekt d.d.
Opatija



Zavod za
fotogrametriju d.d.

Pokrovitelji



Zoran Milanović
predsjednik Republike Hrvatske



REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo prostornoga uređenja,
graditeljstva i državne imovine



REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo poljoprivrede,
šumarstva i ribarstva



REPUBLIKA HRVATSKA
Državna geodetska uprava



OPĆINA BOL
MUNICIPALITY OF BOL