

ZBORNIK RADOVA

# 16. SIMPOZIJ OVLAŠTENIH INŽENJERA GEODEZIJE

16th Symposium of Chartered Geodetic Engineers



## UPRAVLJANJE KRIZNIM SITUACIJAMA

The Role of Geodetic Surveyors in Disaster Management

25.-28. 10. 2023., POREČ



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

POREČ

25. - 28. listopada 2023.

# UPRAVLJANJE KRIZNIM SITUACIJAMA

*The Role of Geodetic Surveyors in  
Disaster Management*

*16. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije*

## ZBORNIK RADOVA

U suradnji s Council of European Geodetic Surveyors

# **IMPRESUM**

## **Naslov**

Upravljanje kriznim situacijama, Zbornik radova 16. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije

## **Izdavač**

Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije

## **Za izdavača**

Ivan Kalina, dipl. ing. geod.  
predsjednik Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije

## **Glavna urednica**

prof. dr. sc. Ivana Racetin, dipl. ing. geod.

## **Urednici**

prof. dr. sc. Mladen Zrinjski, dipl. ing. geod.  
prof. dr. sc. Robert Župan, dipl. ing. geod.

## **Tehnička urednica**

Klaudija Barić, bacc. admin. publ.

## **Oblikovanje i priprema**

Grafomark, Zagreb, listopad 2023.

ISBN 978-953-49258-4-3

CIP zapis je dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 001198435.

Copyright © Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, 2023.

## ORGANIZACIJSKI ODBOR

---

*Predsjednica:*

dr. sc. **Blaženka Mičević**, dipl. ing. geod.

*Članovi:*

**Adrijan Jadro**, dipl. ing. geod.

**Ivan Kalina**, dipl. ing. geod.

**Nataša Kapov Kostovski**, dipl. ing. geod.

**Antonija Majić**, dipl. ing. geod.

**Marko Mlinarić**, dipl. ing. geod.

**Vedran Peran**, mag. ing. geod. et geoinf.

**Pjero Puttilli**, dipl. ing. geod.

## ZNANSTVENO-STRUČNI ODBOR

---

*Predsjednica:*

prof. dr. sc. **Ivana Racetin**

Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Hrvatska

*Članovi:*

prof. dr. ir. **Joep (Johan) Crompvoets**

KU Leuven, Instituut voor de Overheid, Belgija

prof. **Zlatko Srbinoski**, PhD

Univerzitet "Sv. Kiril i Metodij", Gradežen fakultet, Sjeverna Makedonija

prof. dr. sc. **Branko Božić**

Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Srbija

dr. sc. **Demetris Demetriou**

Cyprus University of Technology, Department of Civil Engineering and Geomatics, Cipar

prof. dr. sc. **Željko Bačić**

Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Hrvatska

prof. dr. sc. **Mladen Zrinjski**

Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Hrvatska

prof. dr. sc. **Robert Župan**

Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Hrvatska

prof. dr. sc. **Vlado Ceti**

Sveučilište Sjever, Odjel za geodeziju i geomatiku, Hrvatska

doc. dr. sc. **Danijel Šugar**

Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Hrvatska

doc. dr. sc. **Olga Bjelotomić Oršulić**

Sveučilište Sjever, Odjel za geodeziju i geomatiku, Hrvatska



## UVODNIK

predsjednika Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije



Poštovane kolegice i kolege, cijenjeni članovi  
Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije,

pred nama je 16. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, osmišljen pod nazivom „The Role of Geodetic Surveyors in Disaster Management“ ili u hrvatskom prijevodu „Upravljanje kriznim situacijama“.

Svjedoci smo brojnih prirodnih katastrofa, kao što su snažni potres kod Petrinje 2020. godine (magnituda 6.4 MW), potres u Zagrebu (jačine 5.5 stupnjeva po Richteru), potresi u Turskoj i Siriji u veljači 2023. godine u kojima je uništen veliki broj objekata, cesta i mostova s tužnim posljedicama gubitka 58 000 ljudskih života te velike poplave u kolovozu 2023. godine u pojedinim područjima Slovenije, Austrije i Hrvatske. Stoga je ovaj 16. Simpozij osmišljen kao mjesto na kojem se treba propitivati trenutno stanje i uloga geodetske i geoinformatičke struke kroz „Upravljanje kriznim situacijama“. Trebam naglasiti da je naša stručnost i snalažljivost nezaobilazan faktor u upravljanju kriznim situacijama.

Uz glavnu temu Simpozija, bit će vam kroz niz sesija, predavanja i panela, predstavljene i brojne druge aktualne teme u geodetsko-geoinformatičkoj struci. Siguran sam da će se i na ovom Simpoziju, kroz predavanja i rasprave, iskristalizirati mnoštvo novih ideja i kvalitetnih rješenja, koja ćemo moći primjenjivati u budućim kriznim situacijama i različitim izazovima koji će se naći pred našim stručnjacima.

Kao i prethodnih godina, na Simpozij su pozvani brojni gosti iz Hrvatske i Europe, koji će nam prenijeti svoja iskustva te prezentirati rezultate svojih istraživanja.

Zahvaljujem se Organizacijskom i Znanstveno-stručnom odboru Simpozija, pozvanim predavačima, gostima iz Hrvatske i inozemstva, autorima radova, recenzentima članaka, voditeljima sesija, sponzorima i izlagačima. Veliko hvala svim kolegama koji su svojim nesebičnim zalaganjem i radom doprinijeli organizaciji ovog Simpozija.

Na kraju se zahvaljujem svima vama, sudionicima, koji ste svojim dolaskom podržali 16. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije u Poreču te vam u svoje osobno ime i u ime Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije želim dobrodošlicu na Simpozij i ugodan boravak.

*Predsjednik Hrvatske komore  
ovlaštenih inženjera geodezije  
Ivan Kalina, dipl. ing. geod.*

## UVODNIK

predsjednice Znanstveno-stručnog odbora 16. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije



Poštovane kolegice, cijenjeni kolege,

ovogodišnji, 16. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije odvija se pod nazivom „Upravljanje kriznim situacijama“ (engl. naziv je „The Role of Geodetic Surveyors in Disaster Management“). Promatrajući svijet oko nas lako je uočiti nepredvidivost prirode. Ona čovječanstvu, gotovo svakodnevno, priređuje različite krizne situacije. Takve situacije nastaju, kako zahvaljujući elementarnim nepogodama, tako i pod izravnim ili neizravnim djelovanjem čovjeka. Gledajući globalno tu su tsunamiji, uragani, najezde kukaca, mnoge zarazne bolesti, pa i COVID-19 itd. Gledajući samo na područje naše zemlje, svjedoci smo štete koju uzrokuju brojni potresi, požari, tuče, poplave, pijavice, suše, oluje itd. Pitanje koje se logično nameće u tom okruženju jeste kako spriječiti nastanak takvih pojava. Ukoliko to nije moguće, pitanje je kako umanjiti štetne posljedice takvih događanja. Geodetsko-geoinformatička struka, kako u zemlji, tako i u Europi i u cijelom svijetu ima svoju iznimno značajnu ulogu u prevenciji, ali i u upravljanju kriznim situacijama. Ovim Simpozijem smo željeli donijeti novine u struci na tom području.

Zbornik radova 16. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije podijeljen je u pet neovisnih cjelina. Pristiglo je 18 radova, od kojih je njih šest fokusirano na temu Simpozija „Upravljanje kriznim situacijama“. Četiri rada obuhvaćaju temu Interaktivnog grafičkog modeliranja. Uvijek atraktivne teme su Sadašnjost i budućnost geodezije i Suvremene tehnologije koje također sadrže po četiri rada. Zahvaljujući suvremenim tehnologijama, Simpozij će se održati u mješovitom (hibridnom) obliku, uživo i putem digitalnih komunikacijskih sredstava. Kao i prethodnih godina prati nas podrška i sudjelovanju članova CLGE-a (The Comité de Liaison des Géomètres Européens) te Simpozij ima međunarodni karakter.

Zahvaljujem se čelništvu Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije i Organizacijskom odboru Simpozija na iznimno produktivnoj suradnji te članovima Znanstveno-stručnog odbora na aktivnom sudjelovanju u organiziranju Simpozija. U ime Znanstveno-stručnog odbora imam potrebu zahvaliti se i djelatnicima tajništva Komore, koji su nam pružili značajnu podršku u realizaciji svih pripremnih aktivnosti Simpozija. Veliko hvala i recenzentima i autorima radova te vama, sudionicima skupa, bez kojih ne bismo mogli uspješno organizirati ovogodišnji Simpozij.

Očekujem da ćemo tijekom trajanja 16. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije dobiti odgovore na neka otvorena pitanja glavne teme Simpozija, ali i dobiti mnoštvo novih informacija o podtemama pri-mjenjivim u našoj struci. Želim vam uspješan rad Simpozija i lijepo druženje!

*Predsjednica Znanstveno-stručnog odbora  
16. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije  
prof. dr. sc. Ivana Racetin, dipl. ing. geod.*

# SADRŽAJ

## **SESIJA 1: INTERAKTIVNO GRAFIČKO MODELIRANJE**

<b>Adam Vinković, Lucian Jerak, Stanislav Frangeš, Robert Župan</b> 3D kartografski prikaz stare jezgre grada Zadra .....	11
<b>Robert Župan, Stanislav Frangeš, Mario Grabovac, Ivana Racetin</b> Interaktivni turistički servis i karte Imotskog na mobitelima .....	17
<b>Vlado Cetl, Hrvoje Matijević, Danko Markovinović, Darko Šiško</b> Od 3D modela do digitalnih blizanaca gradova .....	25
<b>Mladen Zrinjski, Antonio Tupek, Ante Polović, Tomislav Novosel, Milan Vidoš, Krunoslav Špoljar</b> Geodetska izmjera i modeliranje osi dimnjaka .....	31

## **SESIJA 2: SADAŠNJOST I BUDUĆNOST GEODEZIJE**

<b>Franjo Ambroš, Vedran Stojnović, Milan Ivanović</b> Ekonomski položaj geodetske djelatnosti kao potencijalna kriza .....	41
<b>Nikola Vučić, Vlado Cetl, Sanja Šamanović</b> Prema uspostavi multifunkcionalnog 4D katastra .....	49
<b>Zvonimir Nevistić, Željko Bačić, Marko Rakocija</b> Ispitivanje softverskih rješenja za inspekcijsko snimanje dronovima .....	57
<b>Danijel Šugar, Ana Kliman</b> Doprinos satelitskog sustava Galileo razvoju servisa CROPOS-a .....	63

## **SESIJA 3: SUVREMENE TEHNOLOGIJE**

<b>Dijana Uljarević, Ivan Kovačević, Blaž Vidmar</b> Prikupljanje prostornih podataka na teže dostupnim područjima uporabom lidar senzora na bespilotnom zrakoplovu te uporaba podataka za potrebe analize stanja u kriznim situacijama .....	71
<b>Ivan Racetin, Josip Peroš, Marina Tavra</b> Utjecaj parametara vanjske orijentacije na položajnu točnost modela određenog pomoću UAV fotogrametrije za potrebe topografskog kartiranja .....	77
<b>Mateo Gašparović, Marko Vukić</b> Razvoj metodologije za pronalazak optimalne lokacije za sadnju maslina .....	83
<b>Dubravko Gajski, Katarzyna Dziegielewska-Gajski</b> Primjena kosih aerosnimki u kriznim situacijama .....	91

## **SESIJA 4: UPRAVLJANJE KRIZNIM SITUACIJAMA 1**

<b>Martina Baučić, Frane Gilić, Leona Kovačić</b> E-CITIJENS – Sustav za upravljanje hitnim situacijama zasnovan na građanskom novinarstvu .....	99
---	----

<b>Dino Dobrinić, Damir Medak, Samantha Rajković</b> Primjena Google Earth Engine platforme u procjeni i kartiranju poplavnih područja ...	105
<b>Olga Bjelotomić Oršulić, Sanja Šamanović, Danko Markovinović, Bojan Đurin</b> Korištenje Copernicusovog CEMS servisa za detekciju obuhvata elementarnih nepogoda pri upravljanju kriznim situacijama na području Republike Hrvatske .....	111
<b>Ilija Grgić</b> Uspostava DR lokacije podatkovnog centra DGU .....	117
<b>Irena Magdić</b> Podaci registra prostornih jedinica u funkciji upravljanja kriznim situacijama .....	119

## ***SESIJA 5: UPRAVLJANJE KRIZNIM SITUACIJAMA 2***

<b>Zlatko Srbinoski, Zlatko Bogdanovski, Filip Kasapovski, Tome Gregovski, Filip Petrovski</b> Application of Geodesy in Crisis Management .....	123
---	-----

# SESIJA 1

INTERAKTIVNO GRAFIČKO  
MODELIRANJE

# 3D kartografski prikaz stare jezgre grada Zadra

Adam Vinković<sup>1</sup>, Lucian Jerak<sup>2</sup>, Stanislav Frangeš<sup>1</sup>, Robert Župan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, avinkovic@geof.hr, sfranges@geof.hr, rzupan@geof.hr

<sup>2</sup> Ericsson Nikola Tesla Servisi d.d., Krapinska 45, Zagreb, Hrvatska, lucian.jerak@gmail.com

## Sažetak

Razvojem alata za trodimenzionalno (3D) modeliranje prostora izrada 3D kartografskih prikaza postala je jednostavnija i pristupačnija, pa su karte koje vizualiziraju sve tri dimenzije prostora sve kvalitetnije i dostupnije. U ovom radu opisan je postupak izrade jednog takvog 3D kartografskog prikaza. Tijek izrade kartografskog prikaza sastoji se od nekoliko faza. Prva obuhvaća prikupljanje i obradu prostornih podataka, druga definiranje objekata prikaza i određivanje pravila kartografske generalizacije, a treća oblikovanje kartografike za 3D prikaz. Kao područje istraživanja odabrana je stara jezgra Grada Zadra, a u okviru rada izrađen je 3D model upotrebom softvera SketchUp Pro 2021 koji je poslužio kao osnova za izradu završnog kartografskog prikaza. Uređivanje vanjskih elemenata karte te završna izrada karte izvedena je u softveru Inkscape.

**Ključne riječi:** 3D kartografski prikaz, 3D model, Inkscape, SketchUp, Zadar

## 1. Uvod

Kartografija tokom čitave ljudske povijesti predstavlja neizostavan dio našeg razumijevanja prostora i okoline. Od samih početaka, ljudi su imali potrebu prikupljati informacije o svojoj okolini i prikazivati ih na kartama. Dvodimenzionalni (2D) prikazi dugo su bili jedini način prikaza prostornih podataka. Zahvaljujući napretku tehnologije u posljednjih nekoliko desetljeća, izrada trodimenzionalnih (3D) kartografskih prikaza postala je jednostavnija i pristupačnija, a to je rezultiralo sve većom kvalitetom i kvantitetom karata koje vizualiziraju sve tri dimenzije prostora.

Današnji korisnici imaju sve zahtjevnije potrebe (i želje) pri upotrebi karata, pri čemu se događa da 2D prikazi ponekad ne zadovoljavaju njihove potrebe. 3D kartografski prikazi omogućuju široku primjenu u modeliranju prostora i zamjenjuju 2D prikaze u mnogim područjima. 3D vizualizacija prostora pruža detaljniji i realističniji prikaz, pružajući korisniku više informacija. Ova dostupnost, jednostavnost i kvaliteta informacija omogućuje korisnicima da provode kvalitetne analize i donose bolje odluke prilikom korištenja i proučavanja 3D kartografskih prikaza (Frangeš i dr., 2021). Zahvaljujući različitim softverima specifično dizajniranim za izradu 3D modela i karata, proces izrade 3D modela i karata postao je znatno jednostavniji. Ovi softveri omogućuju pristup svim potrebnim podacima za izradu tih modela i karata. Stoga, 3D kartografski prikazi sve više nalaze primjenu u našoj svakodnevici, bilo kroz prostorno planiranje, informacijske usluge (npr. turističke karte), upravljanje gradovima i kriznim situacijama ili vođenje i razvoj različitih gospodarskih djelatnosti. Glavni cilj ovog rada je detaljno prikazati proces izrade jednog trodimenzionalnog kartografskog prikaza.

## 2. Materijali i metode

### 2.1. Područje istraživanja

Za potrebe istraživanja odabrano je područje koje obuhvaća staru jezgru grada Zadra. Zadar se nalazi na srednjem Jadranu, u sjevernoj Dalmaciji, te predstavlja političko, gospodarsko, obrazovno i prometno središte Zadarske županije. Područje koje je obuhvaćeno kartom prostire se na 25 četvornih kilometara. Prema popisu stanovništva iz 2021. godine, Grad Zadar ima 70,829 stanovnika, što ga čini drugim najvećim gradom u Dalmaciji i petim najvećim gradom u Republici Hrvatskoj (URL 1).

Zadarski poluotok, odnosno stara jezgra grada predstavlja kolijevku zadarske povijesti. Karakteriziraju ga visoki bedemi koji ga okružuju, a koji su bili izgrađeni u svrhu zaštite grada od neprijatelja. Osim samih bedema u gradu prevladavaju pretežito zgrade romaničkog stila, gdje je vidljiv utjecaj Rimskog Carstva. Uz crkve i ostalu kulturno-povijesnu baštinu u samoj jezgri nalaze se i stambene zgrade, restorani, muzeji te mnogi drugi trgovački, upravni te stambeni objekti. Specifičan je i raspored ulica koji čini pravilnu mrežu, odnosno ulice se sijeku pod pravim kutom zbog čega definiraju pravilne oblike četvrti. Pravilnu mrežu ulica karakteriziraju ulica *cardo* i *decumanus*. *Cardo* predstavlja jednu od dviju glavnih ulica rimskih gradova koja se proteže u smjeru sjever-jug, dok *decumanus* predstavlja drugu glavnu ulicu koja je smještena okomito na *cardo* te se proteže u smjeru istok-zapad (URL 2). Glavna i najšira je *cardo maximus*, odnosno *decumanus maximus*, a na presjeku tih dviju glavnih ulica nalazi se glavni trg. Uz glavni trg,





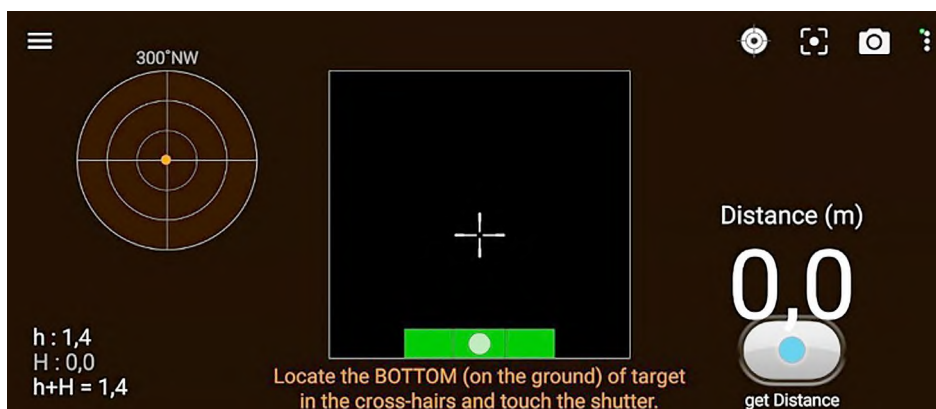
Slika 1: Pogled iz zraka na Morske orgulje i Pozdrav suncu (URL 4)

grad uljepšavaju i ostali trgovi od kojih se najviše izdvajaju Narodni trg, Trg tri bunara, Trg pet bunara, Trg Petra Zoranića i ostali (URL 3). Na obali okrenutoj prema zadarskom arhipelagu nalazi se i gradska riva koja zajedno s Pozdravom Suncu i Morskim orguljama čini jednu od najljepših turističkih atrakcija u staroj jezgri (Slika 1).

## 2.2. Prikupljanje podataka

Za potrebe izrade 3D kartografskog prikaza stare jezgre Grada Zadra prvotno je bilo potrebno izraditi 3D model predmetnog područja iz kojeg bi se kasnijim postupkom izvukao prikaz koji će se koristiti za izradu same karte. U svrhu izrade 3D modela predmetnog područja bilo je neophodno prikupiti tlocrtne obrise objekata na području istraživanja. Tlocrtne obrise objekata u vektorskom formatu preuzeti su s Open

Street Mapa (OSM). OSM je javno dostupna otvorena digitalna baza množveno prikupljenih prostornih podataka (URL 5). Skinuti vektorski podaci tlocrtnih obrisa objekata ubačeni su u SketchUp Pro 2021 (u daljnjem tekstu SketchUp). SketchUp je profesionalni softver za 3D modeliranje i dizajn koji se koristi u arhitekturi, građevinarstvu, dizajnu interijera, filmskoj industriji, gamingu i drugim kreativnim sektorima. Razvijen od strane tvrtke Trimble te omogućuje korisnicima da stvaraju detaljne 3D modele objekata, prostora i scenarija. Softver nudi intuitivno sučelje s bogatim skupom alata za crtanje, uređivanje, teksturiranje i animiranje 3D modela (URL 6). Budući da preuzeti podaci sadrže tlocrtne prikaze i za objekte koji se nalaze izvan područja stare jezgre Grada Zadra, višak objekata je izbrisan te su u softveru SketchUp ostavljeni samo objekti od interesa.



Slika 2: Korisničko sučelje mobilne aplikacije Smart Measure

Osim tlocrtnih prikaza objekata, za potrebe karte korišten je i digitalni ortofoto Zadra (u daljnjem tekstu DOF) kako bi karta imala odgovarajuću podlogu smještenu ispod predmetnih objekata. Navedeni DOF preuzet je pomoću programa Google Earth Pro (URL 7). Nakon preuzimanja podataka o tlocrtima objekata smještenim na području stare jezgre, bilo je potrebno odrediti približne visine objekata u svrhu izrade što vjernijeg 3D modela predmetnog područja. Prvim terenskim obilaskom grada određene su visine objekata trigonometrijskim načinom uz pomoć mobilne aplikacije Smart Measure (Slika 2).

Prije mjerenja visina objekata, bilo je potrebno odrediti početnu visinu na kojoj se nalazi mobilni uređaj. Za visinu istog postavljena je visina od 1,4 m. Prilikom mjerenja visine, uređaj se nalazio na visini od 1,4 m, zatim bi se oznaka nitnog križa na ekranu uređaja usmjerila prema dnu objekta kako bi se izmjerila udaljenost do objekta. Podizanjem nitnog križa na ekranu uređaja prema vrhu objekta uređaj bi izračunao visinu mjerenog objekta. Nakon izmjere visina objekata od interesa, iste su zapisane i pohranjene u mobilni uređaj kako bi se na temelju njih mogli izraditi vjerni 3D prikazi objekata. Osim određivanja visina objekata, u svrhu izrade što boljeg 3D kartografskog prikaza, bilo je potrebno i preuzeti vjerne prikaze fasada objekata. Isto je učinjeno terenskim obilaskom stare jezgre, odnosno fotografiranjem objekata te preuzimanjem slika fasada objekata unutar Google Earth Pro programa.

### 2.3. Izrada 3D modela

Kako bismo izradili 3D kartografski prikaz morali smo izraditi 3D model stare jezgre Zadra. 3D modeliranje izvedeno je upotrebom SketchUp-a. Prvi korak pri izradi 3D modela obuhvatio je uvoz (import) podataka o tlocrtima objekta preuzetih s OSM-a. Budući da su preuzeti podaci za područje cijelog grada, a ne samo zadarskog poluotoka, bilo je potrebno obrisati tlocrte objekata koji ne pripadaju staroj jezgri. Kako između objekata ne bi bilo praznog prostora, odnosno kako bi 3D model imao odgovarajuću podlogu, u SketchUp uvezena je satelitska snimka stare jezgre zajedno sa širim područjem grada kako bi kasnije na karti bili prikazane i ulice, trgovi, vegetacija te ostali elementi koji su vidljivi na snimci. Kako bi tlocrtni prikazi objekata bili pozicionirani na svom odgovarajućem položaju u odnosu na satelitsku snimku, bilo je neophodno pomaknuti i skalirati importirane tlocrte na odgovarajuću poziciju i veličinu sukladno digitalnom ortofoto prikazu. Po završetku uređivanja tlocrta objekata, uslijedio je postupak izrade 3D modela svakog objekta zasebno, odnosno svaki objekt izrađen je i „podignut“ na odgovarajuću visinu, prethodno izmjerenu na terenu. S obzirom na to da su pojedini tlocrti bili pojednostavljeni u odnosu na stvarni izgled građevine, prilikom izrade njihovih 3D modela izvršena je nadogradnja objekta ručno do crtavajući pojedine bitne elemente građevina. Kao primjer navedenog su građevine crkva Sv. Donata, koja nije imala prikazan gornji kružni dio zgrade te crkva Sv. Marije, koja nije imala prikazani zvonik te kružni dio

zgrade koji se nalazi na istočnoj strani objekta. Uz to, tlocrti pojedinih objekata nisu bili prikazani zajedno s preuzetim podacima s OSM-a, zbog čega su isti ručno nacrtani kako bi se izradili 3D modeli tih građevina. Kao primjer navedenog jest crtanje tlocrta te izrada 3D modela zvonika crkve Sv. Ilije Proroka, zvonika crkve Sv. Šime i bedema sa sjeverne i istočne strane stare jezgre grada. Nakon izrade pojednostavljenih, odnosno početnih oblika 3D modela građevina, sljedeći korak bila je ručna izrada krovova za svaku zgradu zasebno. Budući da je u staroj jezgri smješten velik broj objekata, crtanje krovova (kao i podizanje svake zgrade u 3D model) oduzelo je podosta vremena kako bi njihov prikaz bio što vjerniji stvarnosti.

Zadnji korak pri izradi 3D modela grada bio je dodavanje izgleda fasada na objekte sukladno njihovom stvarnom izgledu te dodavanje sjena objekata kako bi karta predstavljala što realniji prikaz područja. Fasade su dodane na način da bi se fotografije prikupljene na terenu te slike zaslona preuzete s Google Earth Pro-a „nalijepile“ na bočne strane građevina. Još jedan otežavajući faktor bila je nemogućnost automatskog dodavanja izgleda fasada pojedinim objektima zbog čega su texture fasada dodavane zasebno svakom objektu.

#### 2.3.1. Generalizacija 3D modela

Naziv „generalizacija“ dolazi od latinske riječi generalis (opći) i znači uopćavanje, tj. uopćenost. S obzirom na navedeno, generalizacija 3D modela znači uopćavanje izrađenog 3D modela u odnosu na stvarni izgled onoga što model predstavlja, u ovom slučaju građevina na području stare jezgre Grada Zadra. Ona predstavlja prikaz najvažnijeg, odnosno bitnog sadržaja modela s obzirom na njegovu svrhu, tematiku i namjenu (Frančula, 2003). Prilikom izrade 3D modela jednog ili više objekata, veliku pažnju treba dati izboru razine prikaza detalja (eng. LOD – Level Of Detail), a s obzirom na razinu detalja razlikujemo 5 razina (Biljecki, 2017):

- LOD 0 – prikaz digitalnog modela terena,
- LOD 1 – prikaz osnovnih oblika objekata, tzv. model kutija (eng. box model),
- LOD 2 – prikaz objekata s teksturama i detaljnom strukturom krova,
- LOD 3 – detaljan prikaz vanjske arhitekture objekata s detaljnom strukturom krova,
- LOD 4 – detaljan prikaz unutrašnjosti objekata.

Navedena podjela razina detaljnosti bazirana je na prikazu, tj. modeliranju objekata od najjednostavnijeg do najsloženijeg prikaza. Svaka navedena sljedeća razina detaljnosti nadovezuje se na prethodnu, primjerice razina LOD2 nadovezuje se na razinu LOD1, što omogućuje jedinstven prikaz objekata bez obzira do koje su razine izvorno modelirani. Svaka razina detaljnosti ima definirane parametre točnosti modeliranih objekata (Tablica 1).



Tablica 1: Definiranje parametara točnosti modeliranih objekata (Žic i dr., 2020)

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Opseg podataka	Veća područja	Regije i gradovi	Dijelovi gradova, područje zadatka	Pojedinačni modeli	Pojedinačni modeli
Apsolutna točnost (XY/Z)	>LOD1	5 m/5 m	2 m/2 m	0,5 m/0,5 m	0,2 m/0,2 m
Stupanj generalizacije	Maksimalni stupanj generalizacije	Blokovi generaliziranih objekata >6x6 m/3 m	Pojedinačni generalizirani objekti >4x4 m/2 m	Pojedinačni generalizirani objekti >2x2 m/1 m	Modelirani konstruktivni elementi objekata
Struktura krova	–	Ravni krov	Standardni tipovi krova i orijentacija	Stvarna struktura krova	Stvarna struktura krova
Standardni objekti u urbanim sredinama	–	Samo važni objekti	Standardni objekti	Standardni objekti	Modelirani stvarni objekti
Vegetacija	–	Važni veći objekti	Standardni objekti viši od 6m	Standardni objekti viši od 2m	Modelirani stvarni objekti
Uporaba zemljišta	–	>50x50 m	>5x5 m	>LOD2	>LOD2

Ukoliko se uzme u obzir navedena podjela razina detaljnosti, njihov opis i definirani parametri, tada zaključujemo da je predmetni 3D model stare jezgre Grada Zadra (Slika 3) izrađen s razinom detaljnosti LOD2 jer su građevine modelirane na način da su im dodijeljene teksture vanjskog izgleda, tj. fasade, dok su krovovi detaljno strukturirani. Osim toga, vegetacija u modelu nije kreirana budući da na predmetnom području nema vegetacije više od 6 metara (vegetacija je vidljiva jedino na digitalnom ortofoto prikazu, odnosno satelitskoj snimci).

#### 2.4. Izrada perspektivnog kartografskog prikaza

Nakon izrade 3D modela bilo je potrebno pronaći najbolju perspektivu za vizualizaciju stare jezgre grada Zadra na završnom kartografskom prikazu. Perspektivni prikaz 3D modela izvezen je u obliku rasterske slike u png formatu. Izrada 3D kartografskog prikaza na temelju eksportirane slike izvedena je upotrebom softvera za vektorsku grafiku pod nazivom Inkscape. Za veličinu papira odabran je A3 format kako bi karta bila preglednija. Zatim je unutar 3D modela odabrano 15 najznačajnijih objekata od kojih su 14 građevine, dok je jedna instalacija zamišljena kao turistička atrakcija (Pozdrav Suncu). Svakom odabranom objektu dodijeljen je broj od 1 do 15 te naziv na hrvatskom i engleskom jeziku. U završnoj fazi izrade karte dodani su elementi vanjskog opisa, odnosno naslov karte, oznaka sjevera te kratak opis karte koji uključuje podatke o prikazanom području, izvor podataka za izradu karte te autora karte i godinu izrade.

Budući da je riječ o 3D kartografskom prikazu nije moguće eksplicitno definirati mjerilo karte. Kod prikaza kartografskog sadržaja naglasak je stavljen na građevine na području poluotoka zbog čega je namjena karte isticanje kulturno-povijesnih objekata te ostalih turistički i povijesno važnih građevina. Shodno tome, na karti nisu eksplicitno prikazane, odnosno ručno izrađene ulice i trgovi, vegetacija te ostali omanji detalji niti su navedena imena istih. Uz to su navedena imena 15 najvažnijih objekata, a ne svih koji se nalaze na predmetnom području. Na temelju navedenog vidljivo je da su od postojećih postupaka generalizacije korišteni izbor podataka koji će biti prikazan na karti i pojednostavljenje budući da su građevine prikazane LOD2 razinom detaljnosti (pojednostavljene su fasade objekata).

### 3. Rezultati

Rezultati istraživanja su izrađeni 3D model (Slika 3) stare jezgre grada Zadra te 3D kartografski prikaz (Slika 4) koji pruža prikaz predmetnog područja iz zraka sa sjeverozapadne strane grada. Izrađeni model, kao nusproizvod izrade 3D kartografskog prikaza, omogućuje dinamičko pregledavanje grada te nudi široku paletu informacija kao i predmetna karta. Pregledavanjem modela u SketchUp-u omogućeno je promatranje grada iz raznih uglova čime korisnik može steći jasniji dojam o položaju, obliku i veličini predmetnog područja te izrađenih karakterističnih, odnosno izabranih, ali i ostalih građevina vidljivih na 3D modelu (Slika 2). Karta je izrađena u A3 formatu kako bi bila preglednija. Svrha ove karte jest pružanje informacija



Slika 3: Prikaz izrađenih modela objekata dinamičkim promatranjem 3D modela

korisnicima o izgledu zadarskog poluotoka te smještaju određenih karakterističnih građevina od interesa. Samim time, omogućuje i bolje snalaženje te orijentiranje u prostoru na temelju pozicija određenih građevina. Uz to, karta može poslužiti i za prostorno planiranje budući da realno prikazuje predmetno područje. Na temelju prikaza stare jezgre, stručnjaci za

prostorno planiranje mogu donijeti različite odluke o mogućoj izgradnji nove građevine ili uređenju određenog dijela grada na temelju informacija koje karta pruža. Ovim 3D prikazom zadarski poluotok izrađen je na način srodan korisnicima te je time jednostavno vizualiziran, tj. vrlo je pregledan zbog čega korisnik vrlo lako može doći do željenih informacija.



Slika 4: Izrađeni 3D kartografski prikaz stare jezgre grada Zadra



## 4. Zaključak

Proces izrade 3D kartografskog prikaza određenog područja obuhvaća prilično velik broj predradnji potrebnih za izradu same karte. Kao najvažnija predradnja, izrada 3D modela predmetnog područja predstavlja zahtjevan i dugotrajan proces zbog nemogućnosti automatizacije određenih postupaka kao što su, primjerice, izrada 3D modela svake pojedine građevine, dodavanje fasada te kreiranje krovova istima. Stoga, ručna izrada navedenog 3D modela grada predstavlja najzahtjevniji dio te kad bi se ista radila na području većem od stare jezgre Grada Zadra, oduzela bi puno više potrebnog vremena te bi bila preduga. U tom slučaju trebalo bi se pristupiti procesu izrade 3D modela upotrebom proceduralnog modeliranja. Kao druga otegotna okolnost jest neophodno korištenje više softvera kako bi se došlo do završnog proizvoda budući da su softveri za 3D modeliranje još uvijek u razvoju te u najvećem broju slučajeva imaju visoku cijenu. Uloga 3D kartografskog prikaza, kao i njegova najveća prednost, jest mogućnost jednostavne vizualizacije, kartiranja, urbanog planiranja i korištenja pri upravljanju kriznim situacijama. 3D karte nude urbanistima i ostalim stručnjacima uvid u trenutno stanje izgleda predmetnog područja te samim time i uvid u moguće promjene krajolika, utjecaje na objekte i znamenitosti.

Predmetni 3D model zadarskog poluotoka izrađen je korištenjem softvera SketchUp Pro 2021, dok je završna obrada karte izvršena pomoću softvera Inkscape. Svi kreirani objekti na prikazu izrađeni su s razinom detaljnosti LOD2 (točan tlocrt objekata s teksturom te s detaljnim prikazom krova). Kao jedan od glavnih razloga za izradu ovog rada jest nedostatak 3D kartografskog prikaza stare jezgre Grada Zadra, a koji turistima značajno može pomoći pri snalaženju unutar grada i upoznavanju znamenitosti.

## Literatura

Biljecki, F. (2017): Level of Detail in 3D City Models, Delft University of Technology, Nizozemska.

Frančula, N. (2003): Kartografska generalizacija, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.

Frangeš S., Župan, R., Vinković, A. (2021): Geovizualizacija, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.

Žic, B., Župan, R., Frangeš, S. (2020): Optimizacija razine detalja 3D kartografskog prikaza na primjeru grada Krka, Geodetski list, Vol. 74 (97) No. 2, 199-220.

URL 1: Zadar – Wikipedija, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Zadar>, (10.7.2023.).

URL 2: cardo | Hrvatska enciklopedija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=10772>, (10.7.2023.).

URL 3: Kulturno povijesna baština, <https://www.zadarska-zupanija.hr/o-nama/kulturno-povijesna-bastina>, (10.7.2023.).

URL 4: Zadar air view - Zadar – Wikipedija (wikipedia.org), [https://hr.wikipedia.org/wiki/Zadar#/media/Datoteka:Zadar\\_air\\_view.jpg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Zadar#/media/Datoteka:Zadar_air_view.jpg), (11.7.2023.).

URL 5: Export | OpenStreetMap, <https://www.openstreetmap.org/export#map=16/44.1149/15.2256>, (11.7.2023.).

URL 6: 3D Design Software | 3D Modeling on the Web | SketchUp, <https://www.sketchup.com/>, (11.7.2023.).

URL 7: Earth Versions – Google Earth, <https://www.google.com/earth/about/versions/>, (11.7.2023.).

# 3D Cartographic Visualization of the Old Core of the City of Zadar

## Abstract

With the development of tools for three-dimensional (3D) modelling of space, the creation of 3D cartographic visualizations has become simpler and more accessible, so maps that visualize all three dimensions of space are increasingly more available and high-quality. This paper describes the process of creating such a 3D cartographic visualization. The process of creating a map display consists of several stages. The first includes the collection and processing of spatial data, the second is the definition of display objects and the determination of cartographic generalization rules, and the third is the design of map graphics for 3D display. The old core of the City of Zadar was selected as the research area, and as part of the work, a 3D model was created using the SketchUp Pro 2021, which served as the basis for creating the final cartographic visualization. The editing of the external elements of the map and the final creation of the map was performed using Inkscape.

**Keywords:** 3D cartographic visualization, 3D model, Inkscape, SketchUp, Zadar

# Interaktivni turistički servis i karte Imotskog na mobitelima

Robert Župan<sup>1</sup>, Stanislav Frangeš<sup>1</sup>, Mario Grabovac<sup>1</sup>, Ivana Racetin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, rzupan@geof.hr, sfranges@geof.hr, mgrabovac@geof.hr

<sup>2</sup> Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska, iracetin@gradst.hr

## Sažetak

Glavna svrha i cilj je razvoj kvalitetne turističke karte grada Imotskog koja bi bila interaktivna i dostupna korisnicima putem interneta, posebno na mobilnim uređajima. Ova studija uključivala je prikupljanje relevantnih turističkih informacija o gradu Imotskom, kao i detaljan teorijski pregled ključnih pojmova i principa iz područja kartografije koji su od iznimnog značaja za uspješnu izradu karte. Nadalje, provedena je temeljita analiza postojećih interaktivnih karata grada Imotskog kako bi se identificirale njihove prednosti i nedostaci te izvukle pouke za daljnje unaprjeđenje. Jedan od najizazovnijih aspekata ovog istraživanja bilo je detaljno opisivanje svakog koraka praktične izrade interaktivnog plana te pronalaženje adekvatnih rješenja za sve izazove koji su se pojavljivali tijekom tog procesa. Važno je napomenuti da se naišlo na različite probleme, poput nepotpunih podataka, neusklađenosti ili tehničkih ograničenja te je stoga bilo potrebno primijeniti kreativne pristupe i rješenja kako bi se prevladali ovi izazovi. Nadalje, budući da su informacije prikupljene i analizirane tijekom istraživanja bile usko vezane uz turističke potrebe i interese grada Imotskog, dodatna pažnja posvećena je pružanju korisnicima sveobuhvatnih i relevantnih informacija koje bi im omogućile što kvalitetnije iskustvo prilikom korištenja interaktivne karte.

**Ključne riječi:** *Imotski, karta, kartografija, mobitel, turistička karta*

## 1. Uvod

Zahvaljujući sveprisutnosti interneta i brzom napretku informacijsko-komunikacijskih tehnologija, prostorni podaci postali su lako pristupačni. Danas većina ljudi posjeduje računala, tablete, pametne telefone s naprednim dodirnim zaslonima ili kombinaciju svih navedenih uređaja. Primjećuje se da su mnoge aplikacije koje su se nekada koristile isključivo na stolnim računalima sada dostupne u mobilnim verzijama, omogućujući njihovu upotrebu na prenosivim uređajima (Slavnić, 2015). Razvoj turizma u gradu Imotskom i njegovom okruženju započeo je otvaranjem tunela Sveti Ilija kroz Biokovo, čime su povezani Imotska krajina i Makarsko primorje. Taj je tunel smanjio udaljenost Imotskog od mora na približno 30 km. Kao rezultat toga, sve veći broj turista odlučuje posjetiti prirodne ljepote Imotskog i okolice (Mostarčić, 1997). Međutim, problem leži u tome što ne postoje aktualne turističke karte grada Imotskog, bilo u digitalnom ili analognom obliku. Stoga, cilj je razviti interaktivnu turističku kartu Imotskog prilagođenu mobilnim uređajima. U radu će biti detaljno opisani koraci potrebni za izradu takve karte, uključujući i proces ažuriranja karata. Također, bit će istaknute prednosti i nedostaci odabrane tehnologije objavljivanja karte na webu u usporedbi s alternativnim tehnologijama. Dodatno, rad će ponuditi rješenja za probleme s kojima se susreće tijekom izrade karte. Rad ima za cilj pružiti kvalitetno i praktično rješenje za turiste koji posjećuju Imotski, olakšavajući njihovo

snalaženje u gradu i omogućujući im da maksimalno iskoriste svoje turističko iskustvo. Kroz integraciju najnovijih tehnologija i geoprostornih podataka, ova interaktivna karta pružit će sveobuhvatne informacije o turističkim atrakcijama, smještaju, restoranima i drugim zanimljivim lokacijama u Imotskom i okolici.

## 2. Područje istraživanja

Područje istraživanja na kojem se provela analiza je područje grada Imotskog. Imotski predstavlja urbano naselje smješteno na spoju Dalmatinske zagore i teritorija Bosne i Hercegovine, na južnom dijelu Hrvatske. Ova regija, poznata kao Imotska krajina, proteže se na površini od približno 620 četvornih kilometara, graniči s bosansko-hercegovačkom granicom na sjeveroistoku, Sinjskom krajinom na sjeverozapadu te Makarskim primorjem na jugu. Nadmorska visina Imotskog polja iznosi 260 m, što ga čini najnižom ravnicom u Krajini, dok se grad smjestio na visini 440 m nadmorske visine (Dragun i Ujević, 2014). Prema podacima popisa stanovništva iz 2011. godine, u gradu živi 10764 stanovnika. Imotska krajina, nazvana po starohrvatskoj župi Imoti, administrativno je podijeljena na grad Imotski i općine Cista Provo, Lovreč, Zagvoz, Lokvičići, Podbablje, Proložac, Zmijavci i Runovići. Također, uključuje i naselja Vinjani, Glavi-





Slika 1: Pogled iz zraka na jezera i grad Imotski (URL 1)

na i Medvidovića Draga. Bogatstvo Imotske krajine ogleda se u raznolikim reljefnim oblicima, a posebno u jezerima koja su postala njezin simbol. Među najpoznatijim jezerima ističu se Modro jezero i Crveno jezero (Kolovrat i Delić Peršen, 2008). Ovaj kraj ima iznimno povoljan prometni položaj te obiluje prirodnim ljepotama, što ga čini izvrsnim odredištem za odmor i opuštanje. Turistički potencijal Imotske krajine privlači posjetitelje iz različitih dijelova svijeta koji žele istražiti njezinu jedinstvenu kulturnu baštinu, uživati u netaknutoj prirodi i otkriti skrivene bisere ovog kraja.

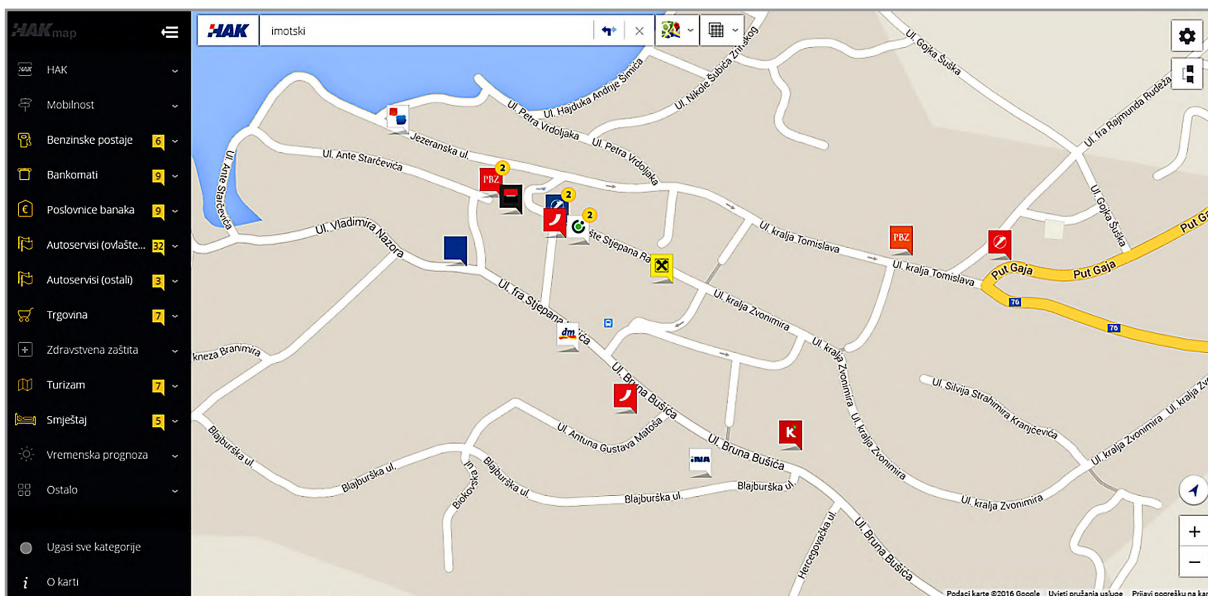
Bez sumnje, Imotski se ističe kao jedno od najljepših mjesta u Hrvatskoj koje nudi nevjerojatno iskustvo i užitek svim posjetiteljima, kao i bogatu povijest uz povijesne znamenitosti (Slika 1), kao što su utvrda Topana, Imotski skalini, stadion Gospin dolac, Modro jezero, crkvice Gospe od Anđela, zavičajni muzej, franjevački samostan, itd. (Delić Peršen i Budimir, 2007).

### 2.1. Pregleda dosadašnjih radova i karata i njihova neažurnost

Na web stranici Hrvatskog autokluba ([www.hak.hr](http://www.hak.hr)) nalazi se interaktivna karta koja obuhvaća područje

je cijele Republike Hrvatske. Kod analize ove karte, ograničit ćemo se na informacije dostupne za područje grada Imotskog (Slika 2). Primarno je namijenjena vozačima, ali zbog jednostavnosti i velike količine podataka može koristiti i u druge svrhe (Slavnić, 2015). Sadržaj karte detaljno je segmentiran u 13 tematskih kategorija, pri čemu svaka kategorija obuhvaća podkategorije. Svi objekti koji spadaju u pojedinu kategoriju označeni su točkastim signaturama, koje se prikazuju u obliku zastavica. Interaktivnost karte omogućuje korisnicima da klikom na određenu signaturu dođu do temeljitih i sveobuhvatnih informacija o odabranom objektu. Ti podaci uključuju njegovu fizičku adresu, radno vrijeme i telefonski broj. Među tematskim kategorijama nalazi se i "Turizam", koja je posvećena području Imotskog. Međutim, primjećuje se da trenutno ta kategorija prikazuje samo lokaciju turističke zajednice, što, s obzirom na turistički potencijal ovog područja, nije dovoljno informativno. Naime, trebala bi obuhvatiti sve znamenitosti i ljepote grada Imotskog koje su posebno zanimljive turistima. Stoga bi unapređenjem sadržaja te kategorije omogućilo korisnicima da steknu cjelovit uvid u sve što ovaj prekrasan grad može ponuditi. Osim toga, vrijedno je spomenuti i [karte.hr](http://karte.hr). Trenutno, por-





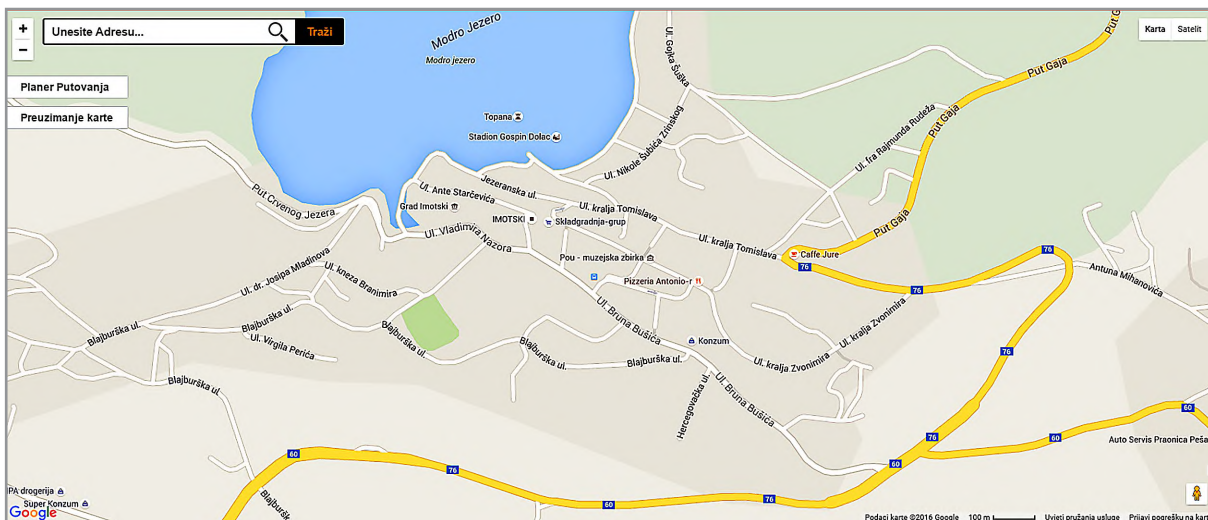
Slika 2: Karta HAK-a (URL 2)

tal pruža vrlo detaljnu kartu Hrvatske koja obuhvaća sve glavne gradove, ulice (uključujući kućne brojeve) te ostale bitne geografske podatke. Središnji element portala je vlastita tehnologija za vizualizaciju kartografskih podataka pod nazivom "flash Navigator", koja je osvojila nagrade za svoju izvrsnost. Ta tehnologija omogućuje brzo i atraktivno pregledavanje karata, pridonoseći tako unaprjeđenju korisničkog doživljaja. Portal pruža sveobuhvatnu kartografsku sliku Hrvatske sa svim relevantnim informacijama o gradovima, ulicama i kućnim brojevima.

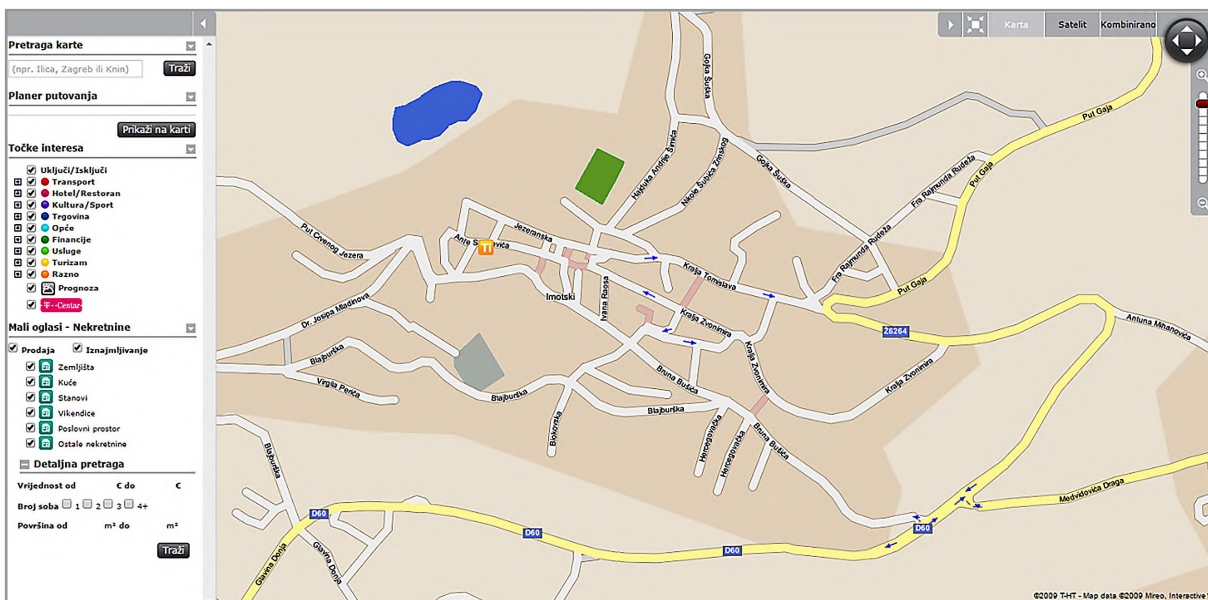
Uz pomoć izuzetne tehnologije "flash Navigator" korisnicima je omogućeno brzo i jednostavno istraživanje karte, pružajući im izvanredno iskustvo i intuitivnu navigaciju. Navedena tehnologija donosi brojne prednosti, uključujući izuzetnu brzinu prikaza karata i privlačan vizualni prikaz, što značajno obogaćuje korisničko iskustvo. Sve ove inovacije doprinose tome da korisnici portala detaljno istraže kartu Hrvatske i lako pronađu željene lokacije, ulice ili kućne brojeve.

Sveukupno, portal pruža naprednu i visokokvalitetnu platformu za proučavanje kartografskih podataka o Hrvatskoj, omogućujući korisnicima da se detaljno upoznaju s geografskim obilježjima zemlje te zadovolje svoje navigacijske potrebe na brz, jednostavan i atraktivan način.

Kada analiziramo sadržaj prikazan na ovoj autokarti (temeljenoj na Googleovoj karti), primjećujemo da su prikazane prometnice i ulice s njihovim točnim imenima, iako smo već napomenuli da postoje neke pogreške. Povećanjem razine prikaza (putem "zumiranja") možemo primijetiti nekoliko važnih mjesta, kao što su crkva sv. Franje Asiškog, nekoliko trgovina, muzejska zbirka, Policijska postaja Imotski, pizzerija i nekoliko kafića (Slika 3). Gledajući iz turističke perspektive, najveća pogreška koju bismo istaknuli na ovoj karti je netočno označena lokacija autobusnog kolodvora. Stvarna lokacija autobusnog kolodvora i lokacija koja je prikazana na ovoj karti udaljene su približno 1 km (URL 3).



Slika 3: Autokarta Hrvatske (URL 3)

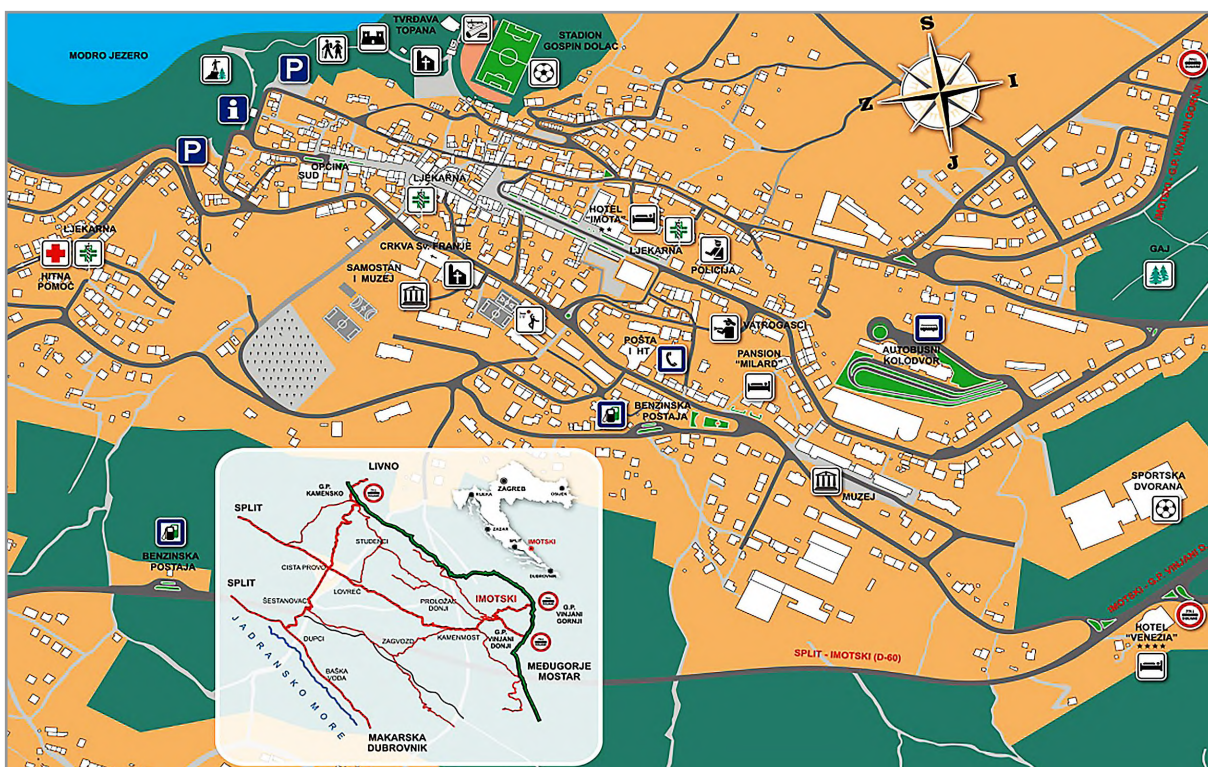


Slika 4: Interaktivna karta-tportal.hr (URL 4)

Kada uključimo sve kategorije na karti Imotskog, koja je dio karte Hrvatske-tportala (URL 4), primjećujemo da je jedina označena točka turistička zajednica, ali na pogrešnoj lokaciji (Slika 4). Za razliku od prethodnih karata koje su koristile Google Maps kao podlogu, ovdje se kao podloga koristi Mireo, što jasno pokazuje da su imena ulica ispravna, što se razlikuje od vrste pogrešaka koje su prisutne na Google kartama. Postoji još niz karata (čak i analognih na papiru) koje

prikazuju pogrešne podatke, pa je svakako potrebna nova i ažurirana karta Imotskog.

Na sljedećoj karti (Slika 5), signature ispravno prikazuju položaj pojedinog objekta, ali je vidljiv nedostatak ove karte u malom broju prikazanih objekata. Bankomati na karti nisu prikazani, kao ni poslovne banake, što je prilično važno za turiste. Iako je nedavno izrađena, prikazuje neke objekte za smještaj koji više nisu u funkciji, npr. "Hotel Imota".



Slika 5: Turistička karta središta grada Imotskog (Grabovac, 2016)



## 2.2. Prikupljanje podataka

Kartografske prikaze može se podijeliti na primarne (osnovne i dopunske) i sekundarne (pomoćne) izvore. Primarni izvori obuhvaćaju izvorne i izvedene kartografske prikaze, dok sekundarni izvori uključuju pisane izvore poput statističkih godišnjaka, imenika mjesta, kataloga koordinata, službenih popisa i slično. Važno je posvetiti veliku pažnju pouzdanosti različitih izvora i provesti njihovo ispitivanje. Ispitivanje se provodi uspoređivanjem izvora te ponovnim prikupljanjem ograničenog broja podataka koji se nalaze na izvorniku. Vrijeme i svrha nastanka izvornika mogu se smatrati ključnim pokazateljima pouzdanosti, pri čemu se izvor smatra pouzdanijim ako potječe od renomirane znanstvene institucije ili neke druge organizacije, u usporedbi s izvorom koji je nastao samo kako bi zadovoljio trenutačne potrebe korisnika. Za našu studiju koristili smo različite izvore, uključujući katastarske podatke, podatke prikupljene putem interneta i podatke prikupljene na terenu. Katastarski ured ustupio nam je podatke o nazivima ulica u Imotskom u obliku datoteka \*.dwg. Dio podataka prikupili smo s internetskih stranica grada i turističke zajednice, a veliku većinu smo prikupili terenskim obilaskom. U prikupljenim podacima bilo je nepodudaranja. Na internetskim stranicama i Google kartama bilo je različitih imena ulica koja se nisu podudarala s podacima dobivenim iz katastarskog ureda. Navedene pogreške smo primijetili tijekom pregleda dosadašnjih radova, a obilaskom terena smo se uvjerali da su podaci o ulicama iz katastarskog ureda točni.

## 3. Metoda izrade u JOSM-u

Prilikom izrade karte, potrebno je pridržavati se pravila generalizacije, što znači da se mali objekti poput stambenih zgrada i kuća prikazuju pojednostavljeno (pomicanjem, sažimanjem, povezivanjem u blokove), dok se veći objekti poput trgovačkih centara, stadi-

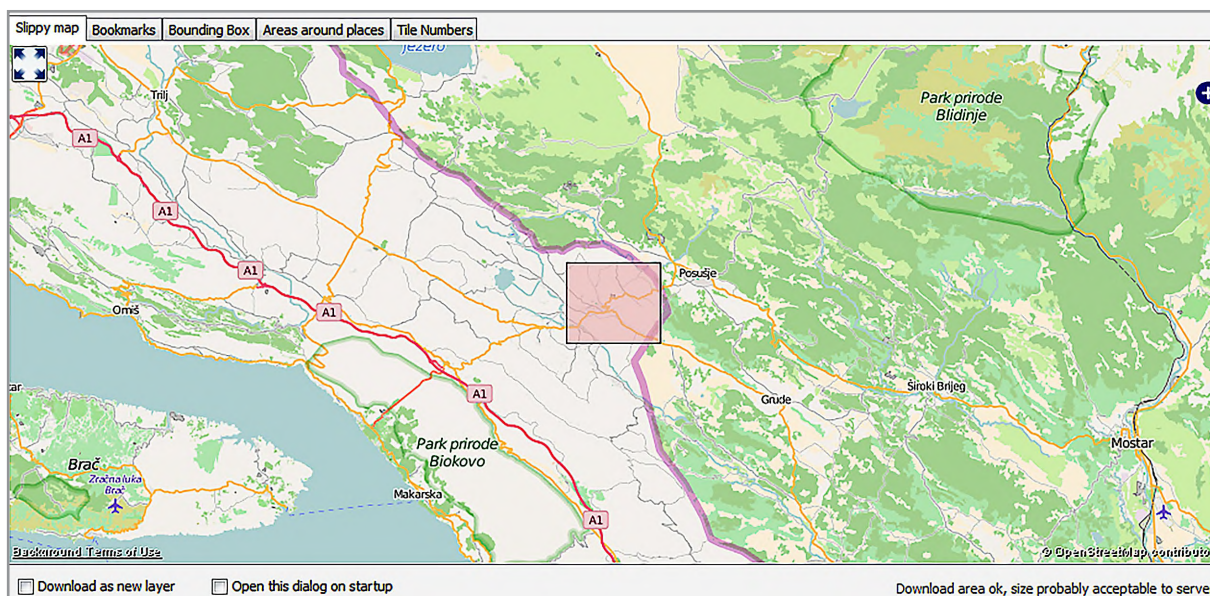
na, industrijskih hala i slično prikazuju pojedinačno tlocrtno. Kao što smo spomenuli na početku rada, grad Imotski obuhvaća i nekoliko susjednih općina. Za svaku pojedinu općinu vektorizirane su ceste i građevine, a također su označeni i objekti od interesa za turiste. Međutim, navedene općine su oskudne kada je riječ o objektima koji bi bili zanimljivi turistima, osim općine Glavina Donja gdje se nalazi veliki trgovački centar Park&Shop i nekoliko ovlaštenih servisa za vozila.

### 3.1. Izrada karte

Izrada karte bila je obavljena u nekoliko koraka:

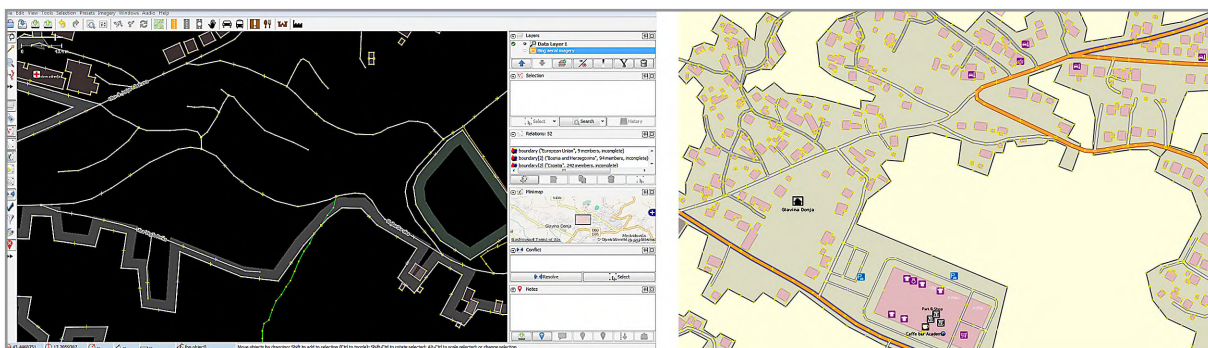
- Prikupljanje podataka (Slika 6) (Stilinović, 2013),
- Vektorizacija i ispravak netočnih i nepotpunih podataka (Slika 7),
- Navigacija (Slika 8).

Aplikacija OsmAnd omogućuje korisnicima zumiranje prikaza karte, prikazivanje trenutne lokacije te navigaciju. Navigacija nudi opcije za odabir prijevoznog sredstva, poput automobila, bicikla ili pješčenja, ovisno o tome kako želimo stići do željene lokacije. Putanja navigacije ovisi o odabranom prijevoznom sredstvu i preporučenom putu za dolazak do cilja. Početna lokacija može se odabrati na nekoliko načina: koristeći trenutnu lokaciju mobilnog uređaja (putem GNSS pozicije uređaja), upisivanjem adrese ili odabirom mjesta na karti. Za određenu točku također možemo odabrati mjesto na karti ili upisati željenu adresu. Nakon pokretanja navigacije, prikazuje se ruta od početne do krajnje točke, udaljenost između tih točaka i upute za skretanje, zajedno s prikazom udaljenosti od mjesta skretanja (Slika 8). Veza prema izrađenoj karti Imotskog, koja je napravljena prema pravilima tematske kartografije (Frangješ, 2014) i pravilima web-kartografije (Župan i Frangješ, 2015), nalazi se na sljedećoj poveznici: <https://www.openstreetmap.org/#map=18/43.44611/17.21763>.

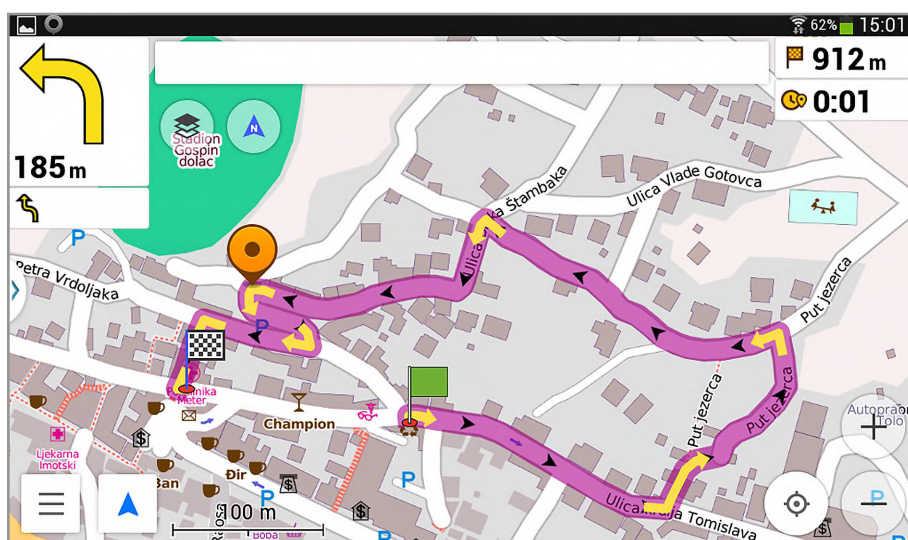


Slika 6: Prikupljanje podataka označavanjem željenog područja





Slika 7: Početak rada u editorima JOSM i Potlatch 2



Slika 8: Navigacija korištenjem aplikacije OsmAnd

## 4. Zaključak

Unutar okvira ovog istraživanja razvijena je interaktivna karta grada Imotskog koja pruža trenutačni pregled stanja u vremenu kada je rad izrađen. Glavna prednost ove karte je njezina prilagodljivost i mogućnost daljnjeg nadopunjavanja, omogućujući pristup širokom spektru korisnika. Karta je dostupna na različitim uređajima s pristupom internetu, no također je moguće koristiti je bez stalne internetske veze kroz prethodno pohranjivanje na uređaju. Mobilne aplikacije omogućavaju preuzimanje OpenStreetMap karte s interneta i spremanje u lokalnu memoriju uređaja. Nakon što se preuzimanje završi, veza s internetom više nije potrebna jer aplikacija prikazuje kartu iz lokalne memorije. Važno je napomenuti da ova metoda ima ograničenje u tome što eventualne promjene na karti neće biti vidljive dok se ne preuzme ažurirana verzija s interneta. Kroz prikupljanje, obradu i analizu relevantnih podataka, uspješno je stvorena prva interaktivna turistička karta grada Imotskog. Budući da je temeljena na platformi OpenStreetMap, otvara se širok spektar mogućnosti za daljnje interaktivno korištenje, kao i mogućnost poboljšanja i prilagodbe radi bolje dostupnosti i upotrebljivosti. Razvojem ove karte pruža se veća informiranost o turističkoj ponudi grada Imotskog, što je neophodno za održavanje konkurentnosti u suvremenom dobu.

## Literatura

- Delić Peršen, M., Budimir, S. (2007): Imotski u razglednici, Školska knjiga, Zagreb.
- Dragun, V., Ujević, B. (2014): Legende imotskog krša, Agencija za odgoj i obrazovanje, Škola za dizajn, grafiku i održivu gradnju, Zagreb – Split.
- Frangeš, S. (2014): Tematska kartografija, materijali s predavanja, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Zagreb.
- Grabovac, M. (2016): Interaktivna turistička karta Imotskog za mobilne uređaje, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Zagreb.
- Kolovrat, L., Delić Peršen, M. (2008): Imotske modre vode, Ronilački klub Crveno jezero, Imotski.
- Mostarčić, M. (1997): Imotski moje mladosti, Imotski.
- Slavnić, F. (2015): Interaktivna turistička web karta grada Zagreba, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Zagreb.
- Stilinović, S. (2013): Prikupljanje i izvoz OpenStreetMap podataka, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Zagreb.

Župan, R., Frangeš, S. (2015): Web cartography, Hand book, University of Zagreb –Faculty of Geodesy, Zagreb.

URL 1: Turistička zajednica Imotski,

<http://www.tz-imotski.hr/index.php/imotska-krajina>, (1.7.2023.).

URL 2: Hrvatski Autoklub, <https://map.hak.hr/>, (1.7.2023.).

URL 3: Autokarta Hrvatske, <http://www.auto-karta-hrvatske.com/imotski/>, (1.7.2023.).

URL 4: Imenik, <http://imenik.tportal.hr/show?action=karta>, (1.7.2023.).

# Interactive Tourist Service and Maps of Imotski on Mobile Phones

## Abstract

---

The main purpose and objective are to develop a high-quality tourist map of the city of Imotski that would be interactive and accessible to users via the internet, particularly on mobile devices. This study involved collecting relevant tourist information about the city of Imotski, as well as conducting a detailed theoretical review of key concepts and principles in the field of cartography that are of utmost importance for the successful creation of the aforementioned map. Furthermore, a thorough analysis of existing interactive maps of Imotski was conducted to identify their strengths and weaknesses and draw lessons for further improvement. One of the most challenging aspects of this research was the detailed description of each step in the practical development of the interactive plan and finding suitable solutions for all the challenges that arose during the process. It is important to note that various issues were encountered, such as incomplete data, inconsistencies, or technical limitations, requiring the application of creative approaches and solutions to overcome these challenges. Moreover, since the information gathered and analysed during the research was closely related to the tourist needs and interests of the city of Imotski, additional attention was given to providing users with comprehensive and relevant information that would enhance their experience when using the interactive map.

**Keywords:** *cartography, Imotski, map, mobile phone, tourist map*

# Od 3D modela do digitalnih blizanaca gradova

Vlado Cetl<sup>1</sup>, Hrvoje Matijević<sup>1</sup>, Danko Markovinović<sup>1</sup>, Darko Šiško<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište Sjever, Jurja Križanića 31b, 42000 Varaždin, Hrvatska, vlado.cetl@unin.hr, hrvoje.matijevic@unin.hr, danko.markovinovic@unin.hr

<sup>2</sup>Grad Zagreb, Gradski ured za gospodarstvo, ekološku održivost i strategijsko planiranje, Trg Stjepana Radića 1/1, 10000 Zagreb, Hrvatska, darko.sisko@zagreb.hr

## Sažetak

Digitalni blizanci čine virtualnu repliku fizičkog proizvoda, procesa ili sustava. Digitalni blizanac grada je novi koncept koji nudi model urbanog planiranja i izgradnje za budući održivi razvoj koji učinkovito kombinira inovacije u digitalnoj tehnologiji s urbanim operativnim mehanizmima i pruža izvediv put za urbanu nadogradnju. Osnova digitalnog blizanca grada je 3D model grada. Grad Zagreb razvija 3D model grada za potrebe prostornog planiranja od 2008. godine. Inicijalni 3D model izrađen je fotogrametrijskim kartiranjem s razinom detalja 2, a kasnije su ažurirane pomoću LiDAR podataka iz zraka i fotogrametrije UAV-a. Web aplikacija ZG3D za pregledavanje i korištenje 3D podataka izrađena je i predstavljena 2016. godine, na temelju postojećeg 3D modela grada. ZG3D integrira 3D podatke o postojećim zgradama s 3D i 2D slojevima podataka iz područja urbanizma, arhitekture, topografije, geotehnike, javnih zelenih površina, zaštite baštine, urbane obnove i statistike. Grad Zagreb planira nadograditi postojeći 3D model grada i ZG3D aplikaciju prema digitalnom gradu blizancu. Glavni problemi su nadogradnja i ažuriranje 3D podataka o zgradama i integracija živih informacija o urbanim procesima i aktivnostima unutar 3D modela grada. Uz poboljšanja modela i integraciju s podacima iz stvarnog života, očekuje se da će utjecaj na planiranje i upravljanje gradom biti još veći.

**Ključne riječi:** 3D model, digitalni blizanac, Grad Zagreb, pametni grad

## 1. Uvod

U današnjoj digitalnoj eri, analogne karte zamijenjene su 3D digitalnim modelima koji su postali temelj za planiranje i upravljanje prostorom, a posebno u urbanim sredinama. Grad Zagreb, također je pratio takav trend kroz izradu inicijalnog 3D modela 2008. godine (Novaković i dr., 2009; Jurakić i dr., 2015). Inicijalni 3D model se od tada u nekoliko navrata ažurirao, što se uglavnom radilo na pojedinim gradskim lokacijama od interesa (Šiško i dr., 2022; Šiško i dr., 2023). Grad Zagreb, kao i drugi veći gradovi, je složen i kompleksan te je potrebno mnogo truda za njegovu izmjeru i modeliranje. Stoga se obično samo dio grada (npr. zgrada) mjeri i modelira u jednom trenutku. Štoviše, bilo koji pojedinačni čin mjerenja i modeliranja grada nije dovoljan, jer gradovi nikada nisu dovršeni, već se nastavljaju širiti i razvijati. S obzirom na potrebe gradova, postojeći 3D modeli nisu dovoljni jer oni najčešće predstavljaju statičke modele. Razvoj interneta stvari (eng. Internet of Things - IoT) logički nameće potrebu za integracijom statičkog 3D modela sa različitim sensorima i stvaranje dinamičkog okruženja koje može zadovoljiti sve veće potrebe i izazove gradova za održivim upravljanjem u stvarnom vremenu. Najveći izazov s kojim se timovi gradskog upravljanja suočavaju u postupcima vođenim podacima je izvlačenje vrijednosti iz sve većeg volumena, učestalosti promjena i raznolikosti podataka, a što je poznato i kao veliki podaci (eng. Big data). Kako bi odgovorili

na ovaj izazov, izrađuju se modeli koji mogu vizualizirati složene operacije gradskih funkcija u stvarnom vremenu. Ovi modeli poznati su kao digitalni blizanci i osnova su za ostvarenje koncepta pametnih gradova.

U ovom radu je pregledno dano stanje područja vezano uz 3D modele i digitalne blizance gradova s posebnim osvrtom na Grad Zagreb.

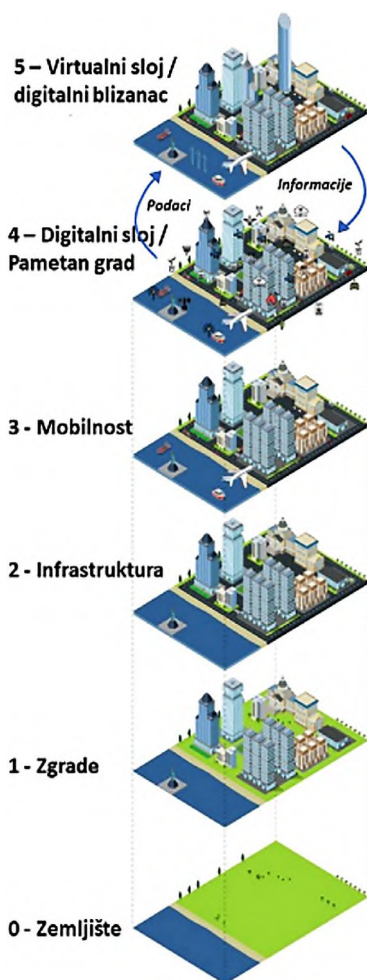
## 2. Digitalni blizanci gradova

Digitalni blizanac grada je novi koncept koji nudi model urbanog planiranja i izgradnje za budući održivi razvoj koji učinkovito kombinira inovacije u digitalnoj tehnologiji s urbanim operativnim mehanizmima i pruža izvediv put za urbanu nadogradnju. Preciznim kartiranjem, virtualno-stvarnom integracijom i inteligentnim povratnim informacijama fizičkih i digitalnih gradova, promiče sigurnije i učinkovitije urbane aktivnosti te praktičnije i inkluzivne svakodnevne usluge, kao i pomoć u stvaranju ekološki održivih okruženja. Digitalni blizanac grada služi kao reprodukcija prirodne geografije i ljudski stvorenih objekata, što podržava potrebe planiranja i različitih zahvata u prostoru. Nadalje, digitalni blizanac omogućuje generiranje ažurnih inventara. Na primjer, automatsko popisivanje svih semafora, prometnih znakova, stu-

pova ulične rasvjete, požarnih hidranata, drveća, kolnika ceste, pločnika itd. U tom kontekstu se digitalni bliznac može smatrati digitalnom replikom grada u 3D okruženju koji ne sadrži samo zgrade već i puno širi sadržaj npr. prometnu infrastrukturu, komunalnu infrastrukturu, zelenilo i okoliš itd. te kombiniranje statičkih podataka sa različitim sensorima i Internetom stvari.

Razvoj tehnologije i ubrzani procesi globalizacije doveli su do promjene načina razvoja gradova. Pri razvoju gradova danas glavni cilj jest učiniti ih samostalnim, odnosno samoodrživim. Stoga se u zadnjih par godina sve više spominje koncept pametnog grada (engl. Smart City). Pametni gradovi opisuju se kao gradovi koji pružaju temeljnu infrastrukturu i pristojnu kvalitetu života svojim građanima, čisto i održivo okruženje te primjenu pametnih rješenja. Prema Europskoj Komisiji pametni grad je mjesto na kojem se tradicionalne mreže i usluge čine učinkovitijim pomoću digitalnih i telekomunikacijskih tehnologija za dobrobit njegovih stanovnika i poduzeća (Milanović Glavan i Filić, 2021).

Digitalni bliznac odnosi se na stanje međusobne simbioze između digitalnih entiteta i fizičkih entiteta (Slika 1). Digitalna twin tehnologija je tehnologija koja integrira podatke, modele i fizičke cjeline (Buntak i dr., 2021).



Slika 1: Razine upravljanja pametnim gradovima (Buntak i dr., 2021)

Koncept pametnog grada temeljen na digitalnom blizancu je evidentan (URL 4). Od urbanističkog planiranja do optimizacije korištenja zemljišta, takav koncept omogućuje upravljanje gradom na djelotvoran i učinkovit način. Digitalni blizanci omogućuju simulaciju planova prije njihove provedbe, otkrivajući probleme prije nego što oni postanu stvarnost. Različiti aspekti se mogu planirati i analizirati pomoću digitalnih alata što uključuje stanovanje, antene za bežične mreže, solarne ploče, javni prijevoz i dr. Koncept je još uvijek nov, ali se predviđa da će postati *mainstream* u sljedećih pet do deset godina. Stvaranje digitalnog blizanca najvažnije je za svaki grad koji kreće na put digitalne transformacije i ostvarenje koncepta pametnog grada.

Svim pametnim gradovima zajednička točka su informacijska i komunikacijska tehnologija, a njihovo izvorište nalazi se u digitalnoj transformaciji (Batina i dr., 2022). Prikazivanje prostora 3D modeliranjem terena, počevši od zemljišta, zgrada, urbane infrastrukture i dr., okosnica je modernog pristupa učinkovitom upravljanju gradom, izgradnji digitalnog blizanca, planiranju pametnog grada te otvorenosti podataka.

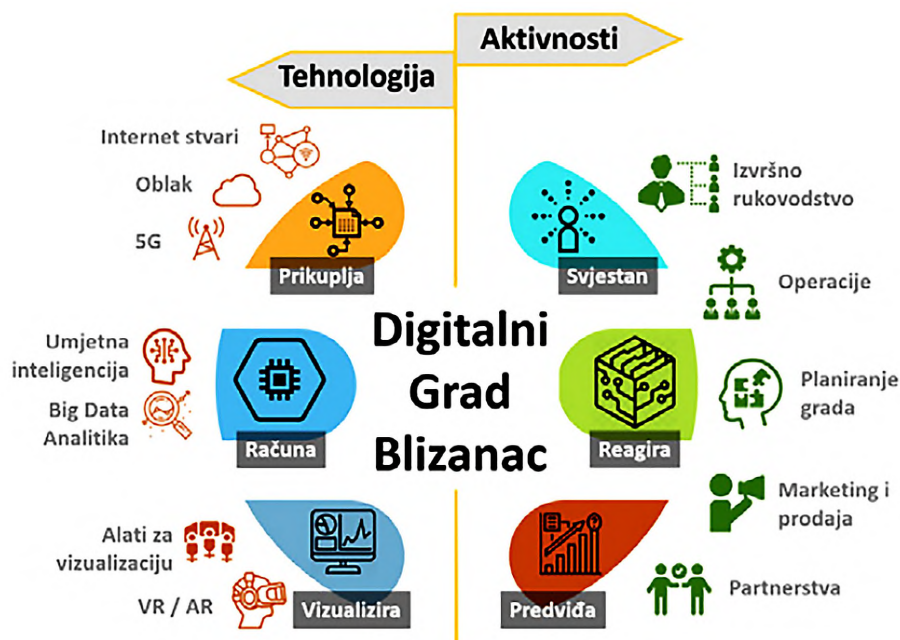
Tehnike digitalnih blizanaca se već uspješno primjenjuju u proizvodnji i gradnji, ali kod gradova je primjena puno kompleksnija. Gradovi su prilično složeni te zahtijevaju više napora u mjerenju i modeliranju (Slika 2).

Štoviše, budući se gradovi stalno razvijaju, nije dovoljno samo jednom izmjeriti i modelirati neki grad. Potrebe grada su složene i odražavaju demografiju konkretnog grada te individualne potrebe njegovih građana. Trenutne tehnike digitalnih blizanaca usmjerene su na fizičku stranu grada i stoga ne mogu predvidjeti promjene u potrebama građana.

Digitalni blizanci se izgrađuju i upravljaju putem višestrukih komplementarnih tehnologija koje prikupljaju, analiziraju i vizualiziraju podatke (URL 1):

- IoT: senzori i platforme kontinuirano prikupljaju i orkestriraju podatke potrebne organizacijama za izvođenje vrijednosti iz fizičke imovine. Ovaj izvor podataka u stvarnom vremenu ono je što osigurava da digitalni bliznac održava stvarnu živu kopiju imovine, procesa ili ekosustava. Kada se digitalni blizanci koriste za optimiziranje operacija, brzina i točnost postaju najvažnije
- 5G: kontinuirani protok podataka u stvarnom vremenu između fizičke i virtualne verzije ključan je za digitalne blizance. Sa svojim ultra velikim brzinama, niskim latencijama i kapacitetom podrške velike gustoće uređaja, 5G postaje bitan digitalni dvostruki akcelerator
- AI (Umjetna inteligencija) i Big Data Analytics (Analitika velikih podataka): Umjetna inteligencija, u kombinaciji s analitičkim alatima, podržava donošenje odluka gradskih operatera i omogućuje automatizaciju operativnih zadataka





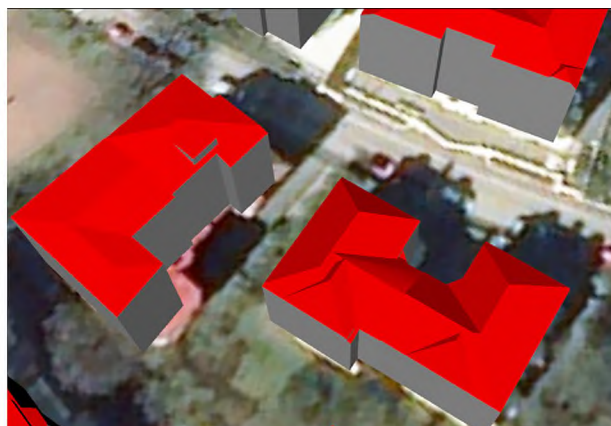
Slika 2: Tehnologije i aktivnosti digitalnog blizanca grada (Buntak i dr., 2021)

- Alati za vizualizaciju: Operativni centri u stvarnom vremenu s videozidovima i alatima za 3D vizualizaciju kao što je Building Information Modeling (BIM) bitne su komponente digitalnih blizanaca. Tehnologije proširene stvarnosti i virtualne stvarnosti mogu podići ove alate na višu razinu, povećavajući učinkovitost i točnost digitalnih blizanaca. Ove tehnologije također imaju velike implikacije u operacijama, obuci, dizajnu i simulaciji
- Digitalna platforma: Digitalna platforma provodi integraciju svih ovih tehnologija, povezujući aplikacije i podatke kako bi se uklonili silosi. Platforma također povezuje različita poduzeća i partnere ekosustava kako bi se u potpunosti istražila vrijednost ekosustava i nadmašile mogućnosti samostalnih sustava.

### 3. 3D model kao osnova digitalnog blizanca grada

Danas su 3D modeli gradova dostupni u različitim načinima prikaza. Semantički 3D modeli (informacijski modeli) gradova i 3D mrežasti (engl. Mesh) modeli (Slika 3a i Slika 3b) uspostavljeni su alati za digitalno opisivanje fizičkog okruženja. Njihove karakteristike, scenariji korištenja i metode izrade su, međutim, različite. Postoje i slučajevi korištenja kada se oba načina prikaza mogu nadopunjavati (Willenborg i dr., 2018).

Recentni online članak (URL 2), napisan od strane stručnjaka sa Sveučilišta u Delftu daje odličan uvodni pregled stanja tehnologije u području 3D modeliranja gradova s dugoročnim ciljem izrade funkcional-



Slika 3a: Prikaz mrežastog 3D modela Slika 3b: Prikaz semantičkog 3D modela

nih digitalnih blizanaca. U navedenom radu, autori prepoznaju šest važnih izazova koji će odrediti prelazak s 3D modela na digitalne blizance gradova:

- Izazov 1: Dosljednost između modela
- Izazov 2: Standardizacija
- Izazov 3: Kvaliteta podataka
- Izazov 4: Interoperabilnost podataka
- Izazov 5: Održavanje / upravljanje podacima
- Izazov 6: Od utopijskih pilota do slučajeva korištenja u stvarnom svijetu

Nedostatak dosljednosti uzrokovan je različitim metodama prikupljanja i obrade podataka, bilo da se radi o inicijalnoj izradi modela ili više neusklađenih naknadnih obrada istih ulaznih podataka. Dodavanje metapodataka 3D modelima je stoga ključno kako bi se omogućila njihova interoperabilnost.

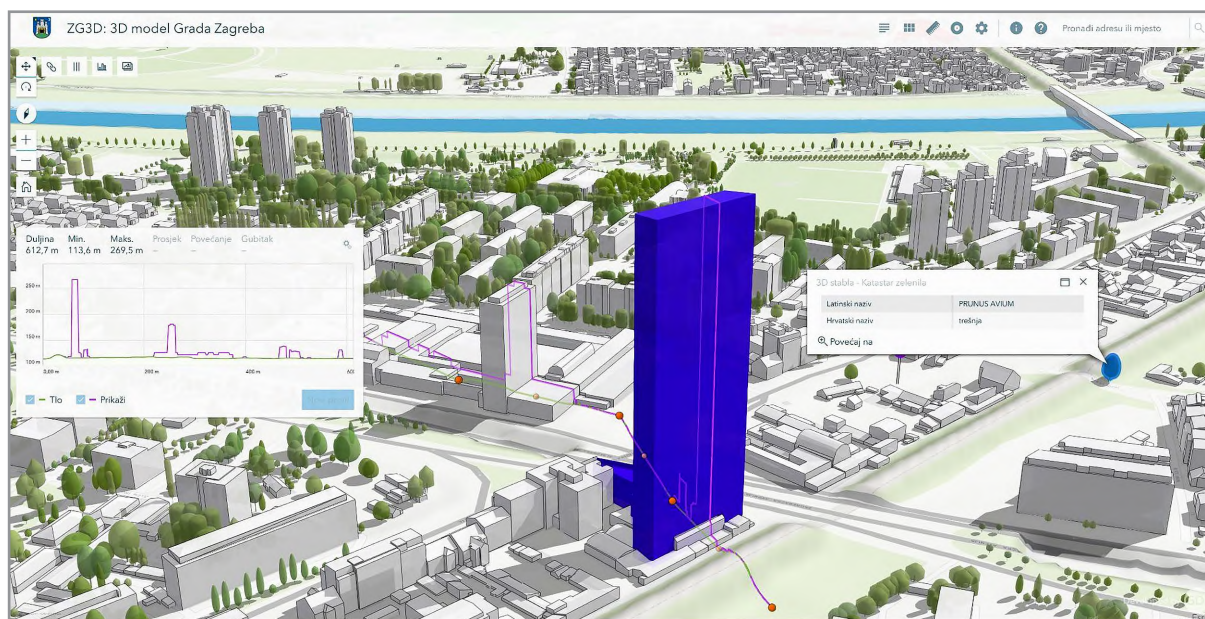
Iako je CityGML standard (URL 3) za pohranu i razmjenu 3D modela gradova i kao takav definira sve potrebno za neki „generički“ grad, njegova fleksibilnost i proširivost (korištenjem mehanizma ADE - Application Domain Extension) može predstavljati posebni izazov kada se podaci žele interoperabilno koristiti. Softveri često ne mogu ispravno pročitati protumačiti različita ADE proširenja jer proširenja ne moraju nužno pratiti neki skup strogih pravila. Također, softveri za napredno korištenje CityGML podataka su relativno ograničeni. Nove i komplementarne tehnologije vezane za CityGML su npr. CityJSON kao kompaktniji format zapisa i 3DCityDB kao baza podataka za upravljanje 3D podacima gradova.

## 4. Razvoj digitalnog blizanca Grada Zagreba

Inicijativa za izradu 3D modela Grada Zagreba potekla je 2008. godine od privatne tvrtke Geofoto d.o.o. iz Zagreba 2008. Cilj projekta bio je izrada digitalnog modela terena (DTM), 3D modela zgrada i “prave” ortofoto karte. Geofoto je proveo snimanje iz zraka u rujnu 2008., snimivši 4000 snimaka (rezolucija GSD = 8 cm) s 80% preklapanja unutar niza i 60% među nizovima, koristeći Vexcel UltraCam X. 3D model je izrađen korištenjem fotogrametrijskog kartiranja krovnih linija, zajedno s DTM-om, aerofotografijskim i pravim ortofoto snimcima. Izrađena je također i maketa grada tehnologijom 3D printa (Novaković i dr., 2009; Novaković, 2011). Većina 3D modela izrađena je u razini detaljnosti LOD 2.

U svrhu šire primjene, tvrtka GDİ (URL 5) iz Zagreba je 2016. godine izradila Web aplikaciju ZG3D (Slika 4) (URL 6).

Aplikacija ZG3D integrira 3D podatke o postojećim zgradama sa 3D i 2D slojevima podataka iz područja urbanizma, arhitekture, topografije, geotehnike, javnih zelenih površina, zaštite baštine, urbane obnove i statistike. Cilj je korištenje i razvoj 3D modela grada u gradskoj upravi, obrazovanju, znanosti, gospodarstvu, civilnom društvu i drugim aplikacijama. Aplikacija omogućuje korisniku pregled slojeva i osnovnih podloga, prilagodbu prikaza podataka, odabir objekata, 3D i 2D mjerenja, analizu vidljivosti, izradu poprečnog presjeka, prikaz sjena i pretraživanje adresa.



Slika 4: Prikaz 3D modela u ZG3D Web aplikaciji (izvor Grad Zagreb, Gradski ured za gospodarstvo, ekološku održivost i strategijsko planiranje)



Pokrivenost s 3D modelom je cca 37 % administrativnog područja Grada Zagreba. 3D model sadrži prema procjeni s podacima katastarskog plana oko 80% zgrada.

Korištenje 3D modela grada nudi brojne potencijalne prednosti i koristi u održavanju gradske infrastrukture, uključujući jednostavnije i učinkovitije upravljanje, smanjenje redundantnosti, olakšan pristup relevantnim informacijama, jednostavniju komunikaciju itd. No, treba imati na umu da implementacija 3D modela grada i njegovo korištenje nije jednostavno. To je prilično složen, dugotrajan proces koji se razvija i zahtijeva odgovarajuće resurse kao i odgovarajuću organizacijsku podršku. Dosadašnja primjena 3D modela grada u prostornom planiranju Grada Zagreba može se klasificirati kao:

- 3D preklapanje u generalnom urbanističkom planiranju
- 3D planiranje u detaljnom urbanističkom planiranju
- 3D modeliranje novih zgrada tijekom arhitektonskih natječaja
- 3D modeliranje i interpolacija zgrada u zaštićenoj gradskoj jezgri.

U svrhu poboljšanja postojećeg 3D modela i stvaranja digitalnog blizanca kao osnove za pametni grad, Sveučilište Sjever je 2023. godine izradilo Studiju u kojoj je napravljena detaljna analiza postojećeg modela i smjernice za ažuriranje i razvoj 3D modela (Cetl i Matijević, 2023). U nastavku izdvajamo najvažnije smjernice iz predmetne Studije:

- Preporučuje se izrada semantičkog 3D modela razine detaljnosti LOD 2.2 za cjelokupno administrativno područje Grada Zagreba
- Preporučuje se izrada semantičkog 3D modela razine detaljnosti LOD 2.2 za područje koje do sada nije bilo obuhvaćeno 3D modelom Grada Zagreba (63% administrativnog područja, cca. 20% odnosno 40 000 građevina)
- Preporučuje se za izradu semantičkog 3D modela razine detaljnosti LOD 2.2 korištenje LiDAR podataka za područje Grada Zagreba kao i ostalih produkata (DOF5, DMR i DMP) iz multi-senzorskog snimanja RH (DGU).
- Povezati 3D model sa službenim upisnicima (katastar nekretnina, katastar zgrada)
- Preporučuje se novi (ili poboljšani) model redovito održavati, idealno prilikom završetka izgradnje pojedinačnih građevina, nakon izdavanja uporabne dozvole, odnosno upisa u katastar.

## 5. Zaključak

3D modeli gradova osnovni su građevni blokovi za digitalne blizance i pametne gradove. Oni pružaju velike ekonomske koristi malim i velikim gradovima, posebno u urbanističkom planiranju i urbanom dizajnu. Korištenje 3D modela grada nudi brojne potencijalne prednosti i koristi u održavanju gradske infrastrukture,

uključujući jednostavnije i učinkovitije upravljanje, smanjenje redundantnosti, olakšan pristup relevantnim informacijama, jednostavniju komunikaciju itd. No, treba imati na umu da implementacija 3D modela grada i njegovo korištenje nije jednostavno. To je prilično složen, dugotrajan proces koji se razvija i zahtijeva odgovarajuće resurse kao i odgovarajuću organizacijsku podršku.

Grad Zagreb započeo je s razvojem 3D modela grada još 2008. godine. Model je tijekom godina usavršavan i ažuriran u skladu s novim tehnologijama. Model se u gradu koristi u razne svrhe. Također je javno dostupan građanima putem Web aplikacije ZG3D. Iako vrlo koristan za različite namjene, kako bi postao pravi digitalni bliznac, model bi trebalo nadograditi na višu razinu detalja i također redovito ažurirati. Samo na taj način bi mogao podržati strategiju pametnog grada.

## Zahvala

*Izrada ovog rada podržana je kroz znanstveni projekt: Digitalni blizanci i pametni gradovi, koji se provodi na Sveučilištu Sjever u Hrvatskoj. Voditelj projekta je prof. dr. sc. Vlado Cetl.*

## Literatura

Batina, A., Roland, V., Tasić, D. (2022): Digitalizacija podataka, modeliranje terena i 3D vizualizacija objekata za potrebe planiranja pametnog grada // Zbornik radova "Metković 600 godina", Metković, Hrvatska.

Buntak, K., Brlek, P., Biškup, N., Cesarec, B. (2021): Digitalni gradovi blizanci // Proceedings of the 5th International Scientific and Professional Conference "The Challenges of Today" / Filiposki, Filipovski; Metodijeski, Dejan; Zlatovic, Dragan (ur.). Šibenik: Polytechnic of Šibenik, str. 453-462.

Cetl, V., Matijević, H. (2023): Izrada koncepcije projekta Zagreb Digital city twin, Studija, Sveučilište Sjever, Odjel za geodeziju i geomatiku.

Jurakić, G., Cetl, V., Stančić, B. (2015): Testing the data quality of existing 3D model of the city of Zagreb. U: 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015 - Conference Proceedings Volume 2.

Milanović Glavan, Lj., Filić, N. (2021): RAZVOJ PAMETNIH GRADOVA U REPUBLICI HRVATSKOJ. Zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku, Vol. 15 (3-4), str. 101-108.

Novaković, I., Bačić-Deprato, I., Franić, S., Tonković, T. (2009): Izrada trodimenzionalnog modela Grada Zagreba. Zbornik radova II. Simpozija ovlaštenih inženjera geodezije, Opatija, str. 111-120.

Novaković, I. (2011): 3D Model of Zagreb. GIM International. <https://www.gim-international.com/content/article/3d-model-of-zagreb>

Šiško, D., Cetl, V., Gavrilović, V., Markovinović, D. (2022): Application of 3D City Model in Spatial Planning of the City of Zagreb. U: Proceedings of XXVII FIG Congress. ([https://www.fig.net/resources/proceedings/fig\\_proceedings/fig2022/papers/ts02g/TS02G\\_sisko\\_cetl\\_et\\_al\\_11603.pdf](https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2022/papers/ts02g/TS02G_sisko_cetl_et_al_11603.pdf))

Šiško, D., Cetl, V., Gavrilović, V. (2023): Spatial planning in the city of Zagreb. GIM international magazine, 37 (4+5), 14-17.

Willenborg, B., Pültz, M., Kolbe, T. H. (2018): Integration Of Semantic 3d City Models And 3d Mesh Models For Accuracy Improvements Of Solar Potential Analyses. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42.

URL 1: How Digital Twins Enable Intelligent Cities, <https://e.huawei.com/en/blogs/industries/>

[insights/2020/how-digital-twins-enable-intelligent-cities](https://www.challenge.org/insights/digital-twins-and-smart-cities/), (09. 07. 2023.).

URL 2: State of the Art in 3D City Modelling, <https://www.gim-international.com/content/article/state-of-the-art-in-3d-city-modelling-2>, (09.07.2023.).

URL 3: CityGML, <https://www.ogc.org/standard/citygml/>, (09.07.2023.).

URL 4: How digital twin will be utilized to create smart cities, <https://www.challenge.org/insights/digital-twins-and-smart-cities/>, (09.07.2023.).

URL 5: GDi, <https://gdi.net/hr/>, (09.07.2023.)

URL 6: ZG3D: 3D model Grada Zagreba, <https://zagreb.gdi.net/zg3d/>, (09.07. 2023.)

## From 3D Models to Digital City Twins

### Abstract

Digital twins form a virtual replica of a physical product, process or system. The Digital City Twin is a new concept that offers a model of urban planning and construction for future sustainable development that effectively combines innovation in digital technology with urban operational mechanisms and provides a viable path for urban upgrading. The basis of the digital twin of the city is a 3D model of the city. The City of Zagreb has been developing a 3D model of the city for spatial planning purposes since 2008. The initial 3D model was created by photogrammetric mapping with a level of detail of 2, and was later updated using aerial LiDAR data and UAV photogrammetry. The ZG3D web application for browsing, viewing and using 3D data was created and presented in 2016, based on an existing 3D city model. ZG3D integrates 3D data on existing buildings with 3D and 2D data layers from the fields of urban planning, architecture, topography, geotechnics, public green spaces, heritage protection, urban renewal and statistics. The City of Zagreb plans to upgrade the existing 3D model of the city and the ZG3D application towards a digital city twin. The main problems are the upgrading and updating of 3D building data and the integration of live information about urban processes and activities within a 3D city model. With model improvements and integration with real-life data, the impact on city planning and management is expected to be even greater.

**Keywords:** *3D model, City of Zagreb, digital twin, smart city*



# Geodetska izmjera i modeliranje osi dimnjaka

Mladen Zrinjski<sup>1</sup>, Antonio Tupek<sup>1</sup>, Ante Polović<sup>2</sup>, Tomislav Novose<sup>2</sup>, Milan Vidoš<sup>2</sup>, Krunoslav Špoljar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, mladen.zrinjski@geof.unizg.hr, antonio.tupek@geof.unizg.hr, krunoslav.spoljar@geof.unizg.hr

<sup>2</sup> Geo-KOM d.o.o., Ulica bana Josipa Jelačića 87, Duga Resa, Hrvatska, ante@geo-kom.hr, tomislav@geo-kom.hr, milan@geo-vin.hr

## Sažetak

U ovom je radu prikazana i detaljno iznesena metoda određivanja i modeliranja osi dimnjaka koja se temelji na izmjeri dimnjaka po horizontalnim presjecima s uspostavljene geodetske osnove. Središta približno kružnih presjeka određena su regresijskim modeliranjem kružnica i elipsi. Prostorna os dimnjaka izračunata je primjenom trodimenzionalne linearne regresije i trodimenzionalne kvadratne regresije. U radu je dan praktični primjer određivanja i modeliranja osi dimnjaka nekadašnje tvornice Pamučna industrija Duga Resa u Dugoj Resi.

**Ključne riječi:** *dimnjak, regresijska elipsa, regresijska kružnica, 3D kvadratna regresija, 3D linearna regresija*

## 1. Uvod

Jedan od najvažnijih nadzornih parametara tijekom analize stabilnosti dimnjaka njegov je nagib (Barazzetti i dr., 2019). Djelovanje sila težine dimnjaka, tektonske aktivnosti, vjetar i drugi atmosferski uvjeti te promjena fizikalnih i mehaničkih svojstava građevnog materijala mogu dovesti do znatnih deformacija, a u krajnjem slučaju i do rušenja dimnjaka. U ovom radu prikazana je metoda modeliranja prostorne osi dimnjaka na osnovi regresijskog modeliranja kružnih i eliptičnih horizontalnih presjeka te modeliranja prostornog pravca i prostorne kvadratne krivulje. Izložena metoda praktično je primijenjena na dimnjaku nekadašnje tvornice Pamučna industrija Duga Resa u Dugoj Resi. Izmjera dimnjaka obavljena je geodetskom mjernom stanicom i bespilotnim zrakoplovom.

## 2. Metodologija

Općenito, neki dimnjak s kružnim poprečnim presjekom može se aproksimirati krnjim stošcem, pri čemu je njegova prostorna os jednaka geometrijskoj osi aproksimirajućeg stošca. Primjenom geodetskih metoda izmjere dimnjak, odnosno njegov plašt, diskretizira se s konačnim brojem izmjerenih detaljnih točaka čije su koordinate određene u državnom referentnom koordinatnom sustavu ili u nekom lokalnom trodimenzionalnom (3D) koordinatnom sustavu. Koordinate detaljnih točaka na plaštu dimnjaka određuju se na temelju geodetske osnove koja se uspostavlja u njegovoj neposrednoj blizini. Postavljeni uvjeti u pogledu kriterija kvalitete nagiba osi dimnjaka, determiniraju primijenjen instrument i pribor te odabranu metodu izmjere.

Metoda modeliranja osi dimnjaka temelji se na izmjeri dimnjaka po određenom broju unaprijed definiranih horizontalnih približno kružnih presjeka. Regresijskim modeliranjem, primjenom matematičkog modela posrednih mjerenja i metode najmanjih kvadrata, a na temelju dobivenog skupa mjerenih točaka opterećenih slučajnim pogreškama mjerenja, jednoznačno se određuje matematička funkcija: kružnica i elipsa. Središte regresijske kružnice, odnosno regresijske elipse određuje položaj osi dimnjaka na definiranom presjeku. Takvo regresijsko modeliranje svih izmjerenih horizontalnih presjeka dimnjaka rezultira s određenim brojem diskretnih točaka položaja osi, koje definiraju realnu os dimnjaka. Konačni je cilj računske obrade podataka modeliranje prostorne osi dimnjaka eksplicitnom matematičkom funkcijom, konkretno prostornim pravcem i polinomom drugog stupnja.

### 2.1. Regresijsko modeliranje izmjerenih horizontalnih presjeka dimnjaka

Geodetska izmjera dimnjaka po približno horizontalnom presjeku rezultira određenim brojem mjerenih točaka koje su, u optimalnom slučaju, ravnomjerno raspoređene po plaštu dimnjaka. Prostorne koordinate mjerenih točaka određene su u lokalnom 3D koordinatnom sustavu, a njihova položajna točnost iskazana je standardnim odstupanjima koordinata. Pretpostavka je da su koordinate detaljnih točaka opterećene samo i isključivo slučajnim pogreškama mjerenja. Zbog nesavršenosti dimnjaka i prisutnosti pogrešaka mjerenja, izmjerene točke neće jednoznačno definirati neku krivulju. Stoga je temeljni cilj odrediti matematičku funkciju, u konkretnom

slučaju kružnicu i elipsu, koja definira oblik dimnjaka u izmjenom horizontalnom presjeku. To se obavlja primjenom regresijskog modeliranja pomoću algoritma regularnog izjednačenja posrednih mjerenja različitih točnosti i metode najmanjih kvadrata. Modeliranje horizontalnog presjeka dimnjaka obavlja se odvojeno položajno i visinski. Ravninske koordinate

mjerenih točaka na plaštu dimnjaka temelj su za regresijsko modeliranje kružnice i elipse (2D izjednačenje), dok se visinska komponenta horizontalnog presjeka, odnosno visina središta regresijske kružnice, tj. regresijske elipse računa prema algoritmu izjednačenja direktnih mjerenja različitih točnosti (1D izjednačenje).

Prema algoritmu regularnog izjednačenja posrednih mjerenja različitih točnosti (Feil, 1989, Rožić, 2007), uspostavlja se nelinearan funkcijski model za kružnicu (Zrinjski i dr., 2019):

$$\bar{d}_i = \sqrt{(y_i - \bar{y}_S)^2 + (x_i - \bar{x}_S)^2} - \bar{R}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

gdje su:

$\bar{d}_i$  – radijalno odstupanje  $i$ -te mjerene točke od regresijske kružnice,

$y_i, x_i$  – ravninske koordinate  $i$ -te mjerene točke,

$\bar{y}_S, \bar{x}_S$  – izjednačene ravninske koordinate središta regresijske kružnice,

$\bar{R}$  – izjednačena vrijednost radijusa regresijske kružnice,

$m$  – broj mjerenih točaka na jednom horizontalnom presjeku dimnjaka.

U drugom pristupu, nelinearan funkcijski model za elipsu dan je izrazom (Zrinjski i dr., 2021):

$$\bar{\varepsilon}_i = \sqrt{(y_i - \bar{y}_{F1})^2 + (x_i - \bar{x}_{F1})^2} + \sqrt{(y_i - \bar{y}_{F2})^2 + (x_i - \bar{x}_{F2})^2} - 2\bar{a}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

gdje su:

$\bar{\varepsilon}_i$  – odstupanje  $i$ -te mjerene točke od regresijske elipse,

$y_i, x_i$  – ravninske koordinate  $i$ -te mjerene točke,

$\bar{y}_{F1}, \bar{x}_{F1}$  – izjednačene koordinate prvog žarišta (fokusa) elipse,

$\bar{y}_{F2}, \bar{x}_{F2}$  – izjednačene koordinate drugog žarišta (fokusa) elipse,

$\bar{a}$  – izjednačena vrijednost velike poluosi elipse,

$m$  – broj mjerenih točaka na jednom horizontalnom presjeku dimnjaka.

## 2.2. Regresijsko modeliranje prostorne osi dimnjaka

Modeliranje presjeka dimnjaka rezultira u prvom slučaju određenim brojem regresijskih kružnica, a u drugom slučaju regresijskih elipsi.

Radi jednoznačnog određivanja prostorne osi dimnjaka jedinstvenom matematičkom funkcijom, obavlja se novo regresijsko modeliranje primjenom 3D linearne regresije. Temeljna je intencija 3D linearne regresije odrediti regresijski prostorni pravac koji u kontekstu metode najmanjih kvadrata najbolje odgovara danom setu 3D točaka. Prema teorijskoj osnovi kombinirane forme izjednačenja s uvjetima nepoznanica (Feil, 1989, Rožić, 2007) uspostavljaju se eksplicitno definirane, u konkretnom slučaju linearne funkcije posrednih mjerenja i implicitno definirana, u konkretnom slučaju nelinearna funkcija uvjeta nepoznanica. Funkcije posrednih mjerenja za  $j$ -tu točku dane su izrazima (Snow i Schaffrin, 2016):

$$\begin{aligned} \hat{y}_{Sj} &= \bar{y}_{S0} + \bar{t}_j \bar{a} \\ \hat{x}_{Sj} &= \bar{x}_{S0} + \bar{t}_j \bar{b} \\ \hat{H}_{Sj} &= \bar{H}_{S0} + \bar{t}_j \bar{c}, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

gdje su:

$\hat{y}_{Sj}, \hat{x}_{Sj}, \hat{H}_{Sj}$  – izjednačene prostorne koordinate točaka regresijskog pravca ( $j$ -tog horizontalnog presjeka dimnjaka),

$\bar{y}_{S0}, \bar{x}_{S0}, \bar{H}_{S0}$  – prostorne koordinate središta regresijske kružnice  $\bar{S}0$  referentnog (nultog) horizontalnog presjeka dimnjaka,

$\bar{t}_j$  – udaljenost od središta referentnog horizontalnog presjeka (od  $\bar{S}0$  do  $\hat{S}j$ ),

$\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$ , – izjednačene komponente jediničnog vektora smjera  $\bar{o}$  regresijskog pravca,

$n$  – broj izmjerenih horizontalnih presjeka.

Nagib prostorne osi dimnjaka  $\varphi$  u odnosu na vertikalnu u točki  $\bar{S}0$  određuje se prema izrazu (Zrinjski i dr., 2019):

$$\cos \varphi = \frac{\bar{c}}{\sqrt{\bar{a}^2 + \bar{b}^2 + \bar{c}^2}}. \quad (4)$$

U drugom slučaju, modeliranje prostorne osi dimnjaka provedeno je polinomom drugog stupnja (kvadratnom funkcijom). Matematički regresijski model za modeliranje osi dimnjaka kvadratnom krivuljom dan je izrazom (Zrinjski i dr., 2021):

$$\mathbf{r}(t_j) = \begin{cases} \hat{y}_{Cj} = \bar{y}_{C1} + \bar{a}_y t_j + \bar{b}_y t_j^2 \\ \hat{x}_{Cj} = \bar{x}_{C1} + \bar{a}_x t_j + \bar{b}_x t_j^2 \\ \hat{H}_{Cj} = \bar{H}_{C1} + \bar{a}_H t_j + \bar{b}_H t_j^2, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (5)$$

gdje su:

$\hat{y}_{Cj}, \hat{x}_{Cj}, \hat{H}_{Cj}$  – izjednačene koordinate točaka regresijske kvadratne krivulje ( $j$ -tog horizontalnog presjeka dimnjaka),

$\bar{y}_{C1}, \bar{x}_{C1}, \bar{H}_{C1}$  – koordinate referentnog ( $j = 1$ ) horizontalnog presjeka dimnjaka,

$\bar{a}_y, \bar{a}_x, \bar{a}_H$  – izjednačeni koeficijenti linearne polinomne funkcije,

$\bar{b}_y, \bar{b}_x, \bar{b}_H$  – izjednačeni koeficijenti kvadratne polinomne funkcije,

$t_j$  – parametar krivulje pridružen svakom središtu horizontalnog presjeka,

$n$  – broj izmjerenih horizontalnih presjeka.

### 3. Geodetska izmjera i obrada podataka mjerenja

Prethodno iznesena metodologija određivanja i modeliranja osi dimnjaka primijenjena je na dimnjaku u Dugoj Resi, koji se nalazi na području nekadašnje tvornice Pamučna industrija Duga Resa. Izgrađen je 1930. godine od opeke, u obliku krnjeg stošca, a visina mu je približno 66 m (Polović, 2019, Slika 1).

Geodetska mjerenja obavljena su geodetskom mjeranom stanicom Leica TCRP1201+ R400. Prije obavljanja geodetske izmjere, preciznosti mjerenja horizontalnih pravaca, zenitnih kutova i duljina mjerne stanice ispitane su prema normama ISO 17123-3:2001 (ISO, 2001, Zrinjski i dr., 2011) i ISO 17123-4:2012 (ISO, 2012, Barković i dr., 2016). Ispitivanjem je utvrđeno da je geodetska mjerna stanica ispravna te da su zadovoljene specifikacije deklarirane od proizvođača. Geodetska izmjera dimnjaka obavljena je s točaka geodetske mreže, koja je prethodno uspostavljena u neposrednoj blizini dimnjaka. Primjenom načela geodetskih mreža posebnih namjena, ova je mreža realizirana kao klasična terestrička mikrotriangotrilateracijska mreža i sastoji se od šest točaka. Referentni koordinatni sustav mreže realiziran je kao lokalni 3D

koordinatni sustav. Standardna odstupanja izjednačenih koordinata u rasponu su od 0,2 mm do 0,6 mm. Geodetska izmjera dimnjaka obavljena je s točaka prethodno uspostavljene mikrotriangotrilateracijske mreže u 14 približno horizontalnih presjeka na međusobnom visinskom razmaku od približno 5 m, pri čemu su izmjerene 594 točke (Slika 2a) sa standardnim odstupanjem 2,6 mm.

Također, mjerenja su obavljena bespilotnim zrakoplovom DJI Phantom 4 Pro s integriranom kamerom 20-megapixelsa DJI FC6310 CMOS. Prvi, horizontalni let, planiran je s uzdužnim preklapom 85% i poprečnim preklapom 85% na visini 80 m, što rezultira GSD (engl. *Ground Sample Distance*) vrijednošću 2 cm. Drugi let koncentriran je na dimnjak i sastojao se od višestrukih vertikalnih letova oko njega. S vertikalnom i horizontalnom kamerom prikupljeno je ukupno 539 fotografija rezolucije 5472 x 3648 piksela. Primjenom geodetske mjerne stanice TCRP1201+ R400 obavljena su mjerenja za potrebe određivanja koordinata GCP (engl. *Ground Control Point*) i MVP (engl. *Model Validation Point*) točaka. Određene su koordinate



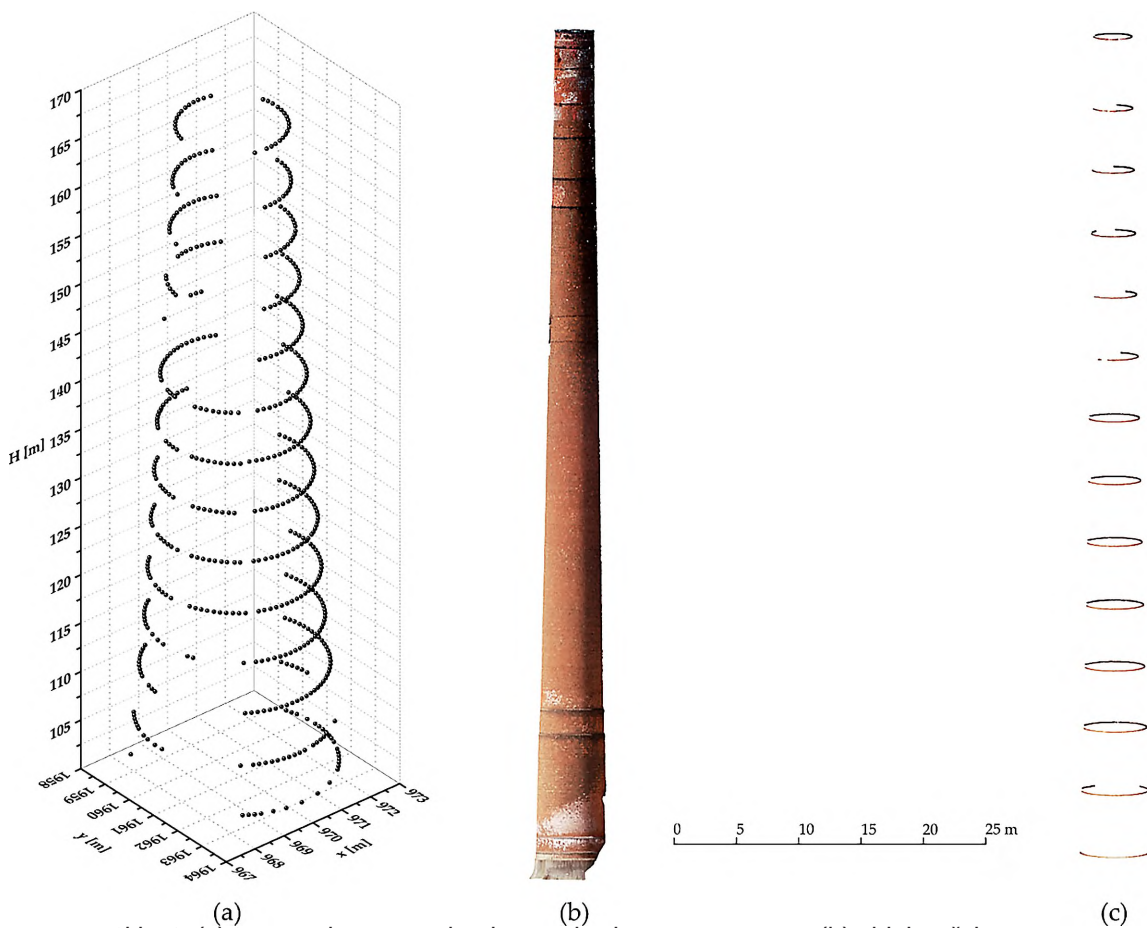
Slika 1: Dimnjak u Dugoj Resi (Polović, 2019)

ukupno 15 GCP točaka (od kojih je 9 bilo na dimnjaku) i 4 MVP točke (sve su bile na dimnjaku). Obrada fotogrametrijskih podataka prikupljenih fotografija i generiranog 3D oblaka točaka dimnjaka provedena je primjenom Agisoft Metashape Professional v1.6.3 i ugrađenog algoritma SfM. Obrada fotografija rezultirala je s približno dva milijuna točaka (Slika 2b), koje su određene sa standardnim odstupanjem 25,5 mm. U cilju modeliranja osi dimnjaka iz podataka izmjere bespilotnim zrakoplovom, generirani oblak točaka segmentiran je u 14 horizontalnih presjeka (Slika 2c).

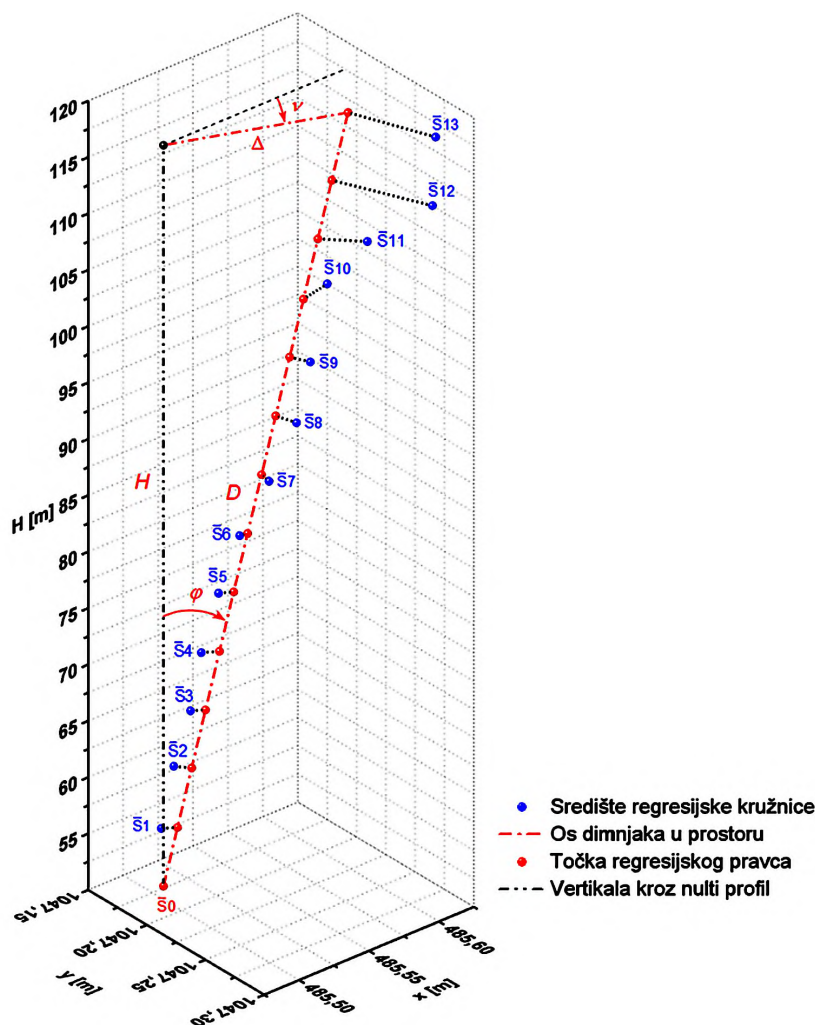
#### 4. Modeliranje osi i određivanje parametara vertikalnosti dimnjaka

Dosljedno matematičkom algoritmu modeliranja određene su regresijske kružnice svakoga pojedinog horizontalnog presjeka dimnjaka. Središta 14 regresijskih kružnica osnova su za modeliranje prostorne osi dimnjaka.

U konačnici, primjenom matematičkog algoritma određena je prostorna os dimnjaka modeliranjem 3D regresijskog pravca. Trodimenzionalna vizualizacija središta regresijskih kružnica, prostorne osi dimnjaka i ključnih parametara za određivanje vertikalnosti dana je na Slici 3.



Slika 2: (a) 3D vizualizacija podataka geodetske mjerne stanice, (b) oblak točaka generiran fotogrametrijskom obradom, (c) horizontalni presjeci dobiveni iz oblaka točaka (Zrinjski i dr., 2021)



Slika 3: 3D prikaz modeliranja osi dimnjaka regresijskim pravcem (Zrinjski i dr., 2019)

3D vizualizacija određenih modela kvadratne polinomne regresije (kvadratne krivulje) s odgovarajućim središtima elipsi horizontalnih presjeka, koji su određeni neovisno za geodetsku mjernu stanicu i bespilotni zrakoplov, prikazana je na Slici 4. Rezultati određeni iz podataka mjerenja geodetskom mjernom stanicom prikazani su crvenom bojom, a rezultati za bespilotni zrakoplov prikazani su plavom bojom.

Primjenom prethodno iznesene metodologije modeliranja prostorne osi dimnjaka, iz podataka mjerenja geodetskom mjernom stanicom određen je kut nagiba osi dimnjaka od vertikale prema izrazu (4) i iznosi  $\varphi = 0^\circ 5' 37''$  s pripadnim standardnim odstupanjem  $s_\varphi = 20,8''$ .

Podatak o nagibu dimnjaka iznimno je važan u pogledu sigurnosti i stabilnosti građevine, stoga je vrlo važno uspoređivanje dobivene vrijednosti s dopuštenim iznosom. Međunarodna norma EN 1996-1-1:2005 (CEN, 2005) određuje dopušteno kutno odstupanje zidanih građevina od vertikale, ovisno o njezinoj visini, prema izrazu:

$$\varphi_{\max} = \frac{1}{100\sqrt{H}}, \quad (6)$$

gdje su:

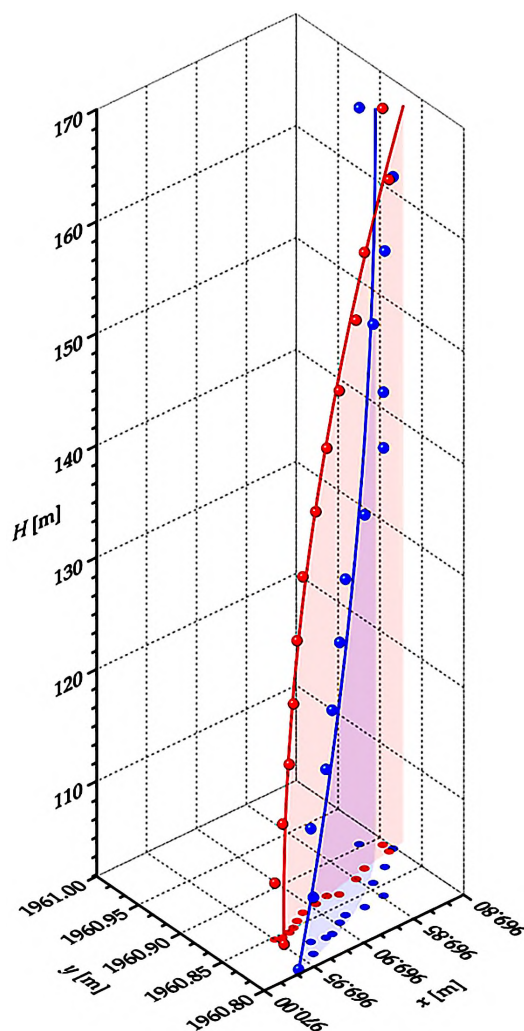
$\varphi_{\max}$  – dopušteno kutno odstupanje građevine od vertikale u radijanima,

$H$  – visina građevine u metrima.

Prema navedenom izrazu, dopušteno kutno odstupanje vrha osi dimnjaka od vertikale iznosi  $\varphi_{\max} = 0^\circ 4' 14''$ . Nagib osi dimnjaka u Dugoj Resi određen geodetskim mjerenjima premašuje dopuštenu vrijednost.

Detaljnije o svim koracima geodetske izmjere, obrade mjernih podataka i matematičkom modeliranju prostorne osi dimnjaka u Dugoj Resi može se pročitati u radovima Polović (2019), Zrinjski i dr. (2019), Zrinjski i dr. (2020) i Zrinjski i dr. (2021).





Slika 4: 3D prikaz središta regresijskih elipsi i kvadratne krivulje za skup podataka određen geodetskom mjernom stanicom (crveno) i bespilotnim zrakoplovom (plavo) (Zrinjski i dr., 2021)

## 5. Zaključak

Metoda određivanja i modeliranja osi dimnjaka prikazana u ovom radu temelji se na geodetskoj izmjeri detaljnih točaka na plaštu dimnjaka po približno horizontalnim presjecima primjenom geodetske mjerne stanice i bespilotnog zrakoplova. Osnova za geodetsku izmjeru i računanje koordinata mjerenih točaka na plaštu dimnjaka geodetska je mreža, koja je uspostavljena u skladu sa svim načelima mreža posebnih namjena.

Radi određivanja središta izmjerenih horizontalnih presjeka dimnjaka, obavljeno je modeliranje presjeka dvjema matematičkim funkcijama: kružnicom i elipsom. U svrhu definiranja osi dimnjaka jednoznačnom matematičkom funkcijom obavljeno je modeliranje prostornog pravca primjenom trodimenzionalne linearne regresije i modeliranje kvadratne krivulje primjenom polinoma drugog stupnja.

U konačnici, određen je kut nagiba osi dimnjaka u Dugoj Resi u odnosu na vertikalnu te iznosi  $0^{\circ} 5' 37''$  s pripadnim standardnim odstupanjem  $20,8''$ . Taj iznos nagiba uspoređen je s dopuštenom vrijednošću

$0^{\circ} 4' 14''$  definiranom međunarodnom normom. Zaključuje se da je izračunati nagib osi dimnjaka veći za  $0^{\circ} 1' 23''$ , tj. za 33% od dopuštene vrijednosti.

Razmatrajući neodržavanje dimnjaka, njegovo današnje stanje, oštećenja iz Domovinskog rata te rezultate geodetskih mjerenja, može se upozoriti na opasnost od pojave trajnih deformacija strukture dimnjaka pa i njegova rušenja.

## Literatura

Barazzetti, L., Previtali, M., Roncoroni, F. (2019): The Use of Terrestrial Laser Scanning Techniques to Evaluate Industrial Masonry Chimney Verticality, Conference Proceedings, ISPRS Archives Volume XLII-2/W11, GEORES 2019 – 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, Milan, Italy, 173–178.

Barković, Đ., Zrinjski, M., Baričević, S. (2016): Automatizacija ispitivanja preciznosti elektrooptičkih daljinomjera na kalibracijskoj bazi, Geodetski list, 70 (93), 4, 311–336.

CEN (2005): EN 1996-1-1:2005 – Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Feil, L. (1989): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – prvi dio, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

ISO (2001): ISO 17123-3:2001 – Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO (2012): ISO 17123-4:2012 – Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 4: Electro-optical distance meters (EDM measurements to reflectors), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Polović, A. (2019): Ispitivanje i analiza vertikalnosti dimnjaka, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Rožić, N. (2007): Računska obrada geodetskih mjerenja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Snow, K., Schaffrin, B. (2016): Line fitting in Euclidean 3D space, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 60, 2, 210–227.

Zrinjski, M., Barković, Đ., Tir, M. (2011): Automatizacija ispitivanja preciznosti teodolita prema normi HRN ISO 17123-3:2004, *Geodetski list*, 65 (88), 2, 123–144.

Zrinjski, M., Barković, Đ., Tupek, A., Polović, A. (2019): Ispitivanje i analiza vertikalnosti dimnjaka, *Geodetski list*, 73 (96), 3, 239–260.

Zrinjski, M., Tupek, A., Barković, Đ., Polović, A., Novosel, T., Vidoš, M. (2020): Determination and Analysis of Chimney Inclination, Proceedings, 8th International Conference on Engineering Surveying & 4th Symposium on Engineering Geodesy – INGeo & SIG 2020, Croatian Geodetic Society, Zagreb, 155–166.

Zrinjski, M., Tupek, A., Barković, Đ., Polović, A. (2021): Industrial Masonry Chimney Geometry Analysis: A Total Station Based Evaluation of the Unmanned Aerial System Photogrammetry Approach, *Sensors*, 21, 18, 6265, 1–25.

## Geodetic Survey and Chimney Axis Modelling

### Abstract

---

In this paper a chimney axis determination and modelling method, based on measuring points on the circumference of horizontal chimney cross sections from a pre-established geodetic reference network, is proposed. Centers of approximately circular and horizontal cross sections are determined by circular and elliptical regression analysis. The spatial chimney axis is calculated by three-dimensional (3D) linear and quadratic regressions. This paper presents a practical example of chimney axis determination and modelling applied to the chimney in the area of the former Duga Resa Cotton Industry in Duga Resa, Croatia.

**Keywords:** *chimney, regression circle, regression ellipse, 3D linear regression, 3D quadratic regression*

# SESIJA 2

SADAŠNJOST I BUDUĆNOST  
GEODEZIJE



# Ekonomski položaj geodetske djelatnosti kao potencijalna kriza

Franjo Ambroš<sup>1</sup>, Vedran Stojnović<sup>1</sup>, Milan Ivanović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> GEOprem d.o.o., Trg Lava Mirskog 1, Osijek, Hrvatska, franjo.ambros@geoprem.hr

<sup>2</sup> Panon – institut za strateške studije, Osijek, Hrvatska, panon.institut@gmail.com

## Sažetak

U radu se polazi od strukture društvenih procesa i osnovnih manifestacija koje su karakteristični za krizne procese u prirodi (okruženju) i društvu, a utječu na geodetske tvrtke i s njima povezane djelatnosti. Ukazuje se na važnost upravljanja u kriznim situacijama glede prepoznavanja rizika i sprječavanja mogućih negativnih posljedica. Među desetak važnih kriznih pojava u prirodnom okruženju ili u društvu koje su povezane s geodetskim djelatnostima posebna pažnja se pridaje ekonomskom položaju geodetske djelatnosti u Hrvatskoj. Suvremeni procesi ekonomske i političke nestabilnosti u svijetu imaju veliki utjecaj na sve članice EU pa tako i na Republiku Hrvatsku; npr. inflacija i društveno-ekonomski nesporazumi (štrajkovi i sl.) ugrožavaju stabilnost u društvu. Ukazuje se na nedovoljna istraživanja u ekonomskim odnosima između državne uprave i geodetskih djelatnosti te s raspoloživim podacima prikazuje nepovoljan ekonomski položaj geodetske djelatnosti u Hrvatskoj. Takvo stanje može voditi u krizu i dovesti u pitanje provedbu Višegodišnjeg programa katastarskih izmjera građevinskih područja za razdoblje 2021. – 2030., odnosno do novih neravnoteža u tehnološkom razvoju zemlje. U zaključcima se predlažu mjere za prevladavanje ove potencijalne krize.

**Ključne riječi:** *ekonomski položaj, geodetska struka, katastarska izmjera, kriza, rizik*

## 1. Uvod

Suvremeni društveno-politički procesi kao i prirodne nepogode (potresi i klimatske promjene) proizvode ekonomske i političke nestabilnosti te fizičke ugroze u svijetu koje mogu imati veliki utjecaj na sve zemlje članice EU pa tako i na Republiku Hrvatsku. Rečena događanja mogu prouzročiti krizne procese u društvu, ili u jednom njegovom dijelu, što može tražiti posebnu angažiranost geodetske djelatnosti i djelatnosti koje su s njome povezane. Zato je važno prepoznavanje rizika za nastanak krize i sprječavanje mogućih negativnih posljedica, odnosno važna je osposobljenost društvenih subjekata za upravljanje u kriznim situacijama. Krizu možemo definirati kao neuobičajeno stanje koje može rezultirati nepovoljnim posljedicama za državu, njezine institucije, za društvo – pravne i fizičke osobe, ili okoliš. Posljedice mogu biti kratkoročne, dugoročne, materijalne, moralne, popravljive ili trajno degradirajuće za sve članove zajednice. Međunarodna organizacija za standardizaciju ISO (The International Organization for Standardization) i Međunarodna elektrotehnička komisija IEC (The International Electrotechnical Commission) usvojile su normu ISO IEC 31010 kao standard za upravljanje rizikom, koja sadrži 31 kvalitativnu i kvantitativnu metodu za procjenu rizika (ISO IEC, 2023). Primjenom navedenih tehnika moguće je procijeniti značaj pojedinih rizika na proces ili projekt te stvoriti preduvjete za pravovremeni odgovor prije nego li rizici prerastu u krizno stanje, odnosno rezultiraju značajnim poteškoćama ili gubicima.

## 2. Geodetska djelatnost kao element detektiranja kriznih situacija

Geodetska djelatnost, kao i druge djelatnosti, može biti generator krize ili suprotno – može ponuditi rješenje za preveniranje kriznih stanja ili, pak, razrješavanje krize. Geodezija je znanost koja se bavi izmjerom i prikazom Zemljine površine, određivanjem Zemljina oblika i njezina polja sile teže. Pretežni predmet djelatnosti u geodeziji je geodetska izmjera zemljišta za potrebe katastra nekretnina. Osnovne grane geodezije su satelitska, fizikalna i pomorska i hidrografska geodezija, inženjerska geodezija, fotogrametrija i daljinska istraživanja, kartografija i geoinformatika. Geodezija ima široku primjenu u građevinarstvu, rudarstvu, poljoprivredi, šumarstvu, zaštiti okoliša, zaštiti spomenika kulture, prostornom planiranju, urbanizmu, poslovima nacionalne sigurnosti i obrane, brodogradnji, industriji, medicini i drugdje (Frančula i Lapaine, 2002).

Geodetskim izmjerama mogu se uočiti anomalije u pomicanju tektonskih ploča i iz vektora pomaka mogu se predviđati potresi. Poznavanje hidrografije, topografije, padalina na nekom području mogu se predviđati poplave. Mjerenjima površine zemlje mogu se detektirati klizišta, te izraditi adekvatne karte područja na kojem postoji opasnost za statiku građevina koje se planiraju graditi.

Isto tako, sagledavanje potencijala poljoprivrednog zemljišta nije moguće bez geodetske izmjere. Prilagodba zemljišnih čestica potrebama poljoprivredne proizvodnje (veličina i oblik katastarske čestice, pristupni put i dr.) provodi se kroz agrotehničke mjere, komasaciju i arondaciju, reguliranje odvodnje te navodnjavanje koje je predmet melioracija (kanalska mreža i drenaža).

Građevinska područja su također predmet geodetske izmjere, bilo za detekciju postojećeg stanja, planiranje, projektiranje i izgradnju građevina i infrastrukture. Izbjegavanje inventure prostora kroz geodetsko snimanje ima za posljedicu neadekvatno korištenje prostora i često rezultira napetim situacijama pri realizaciji planiranih zamisli.

Inventura posebno interesantnih područja (nacionalni parkovi, prirodni rezervati, staništa ptica, životinja i riba, kamenolomi) geodetskom izmjerom i praćenjem promjena kroz periodično snimanje mogu se registrirati pojave koje mogu upozoravati na degradaciju prostora.

Dokumentiranjem nepokretne kulturne baštine, 3D skeniranjem, saznanje o našoj baštini bit će registrirano. Hrvatskoj kao turističkoj zemlji trebao bi biti interes da se sva kulturna dobra dokumentiraju. Prema stanju Registra kulturne baštine tek je oko 10% baštine dokumentirano.

Poseban segment je geodetska izmjera za potrebe narodne obrane. Ovaj segment je manje poznat. Hrvatska vojska za svoje potrebe geodetske usluge naručuje od geodetskih tvrtki, a za svakodnevne potrebe ima svoje ekipe. Važnost geodetske djelatnosti u Domovinskom ratu, Hrvatsko geodetsko društvo planiralo je opisati u publikaciji Geodeti u domovinskom ratu. Nažalost, ova ideja do danas nije realizirana.

Katastar infrastrukture je područje koje je u Hrvatskoj prvi puta regulirano prije pedeset godina. Važnost ovog registra ogleda se u smanjenom broju kidanja vodova i izbjegavanju šteta od kidanja i zastoja u funkcioniranju usluga. Nažalost, povezivanje katastra zemljišta/nekretnina ne ide zadovoljavajućim tempom. Naime, ostali su neregulirani imovinsko-pravni odnosi između vlasnika infrastrukture i vlasnika katastarske čestice preko koje infrastruktura prolazi. Za vlasnika infrastrukture to predstavlja pravnu nesigurnost, a za vlasnika katastarske čestice nemogućnost participiranja u naknadi za korištenje njegove nekretnine.

Još jedna evidencija je Zakonom o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (Narodne novine, 2018b) ustrojena – evidencija zgrada. Kada bude potpuno u uporabi ova evidencija/registar će dati uvid u stambene i poslovne prostore izgrađene u višestambenim građevinama. Ovom se evidencijom ustrojava tehnički i pravni okvir za etažno vlasništvo. Ustrojavanje ove evidencije je prvi korak za oporezivanje nekretnina. Drugi korak je procjena nekretnina. U društvu ne postoji konsenzus koja struka treba/smije procjenjivati nekretnine. Kodeks strukovne etike europskih geodeta navodi djelatnosti kojima se geodeti bave.

Ovo je samo kratak prikaz djelatnosti koje geodeti obavljaju u cilju preveniranja krize u svom okruženju.

Važnost struke vidi se u njezinoj upotrebljivosti za razne segmente organizacije države. Ovo je potrebno kako bismo uočili potrebu da na tržištu geodetskih usluga postoje anomalije koje mogu dovesti do neprofesionalnog pristupa izazvanog nemarom, neznanjem ili nedovoljnom motiviranošću pri obavljanju i prezentaciji geodetskih usluga.

## 2.1. Organizacija geodetske djelatnosti

Geodetska djelatnost, odnosno postupci koji rezultiraju geopozicioniranjem koje utječe na javne evidencije, u Hrvatskoj je uređena Zakonom o obavljanju geodetske djelatnosti (Narodne novine, 2018a). Geodetske poslove u Hrvatskoj obavljaju ovlaštene inženjeri geodezije – OIG (VII stupanj obrazovanja), a pomažu im stručni suradnici (VII/VI st.) i suradnici ovlaštenog inženjera geodezije (V st.). Na temelju tog zakona je osnovana i Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije sa svrhom kontrole geodetskih poslova kao poslova od interesa za državu. Državna geodetska uprava (DGU) ima kontrolu nad radom Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije. Organizacijski je DGU pod nadležnošću Ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine. Ova složena struktura ukazuje i na probleme, koji se ogledaju u raznolikom postupanjima tih organa. Činjenica je da su se pravne norme u postupanjima održavanja podataka o nekretninama od osamostaljenja države pa posebno od njezina prijema u EU često mijenjale, ima za posljedicu da geodetski izvoditelji moraju mijenjati postupanje sukladno novim propisima. Sve to od geodetskih izvoditelja traži stalnu edukaciju.

Zadatak DGU je organizacija državne izmjere (osiguranje referentnog sustava, postavljanje i održavanje osnovnih geodetskih točaka, određivanje parametara Zemljine sile teže, gravimetrijska i magnetometrijska mjerenja, topografska izmjera i izrada državnih karata, te označavanje i vođenje evidencije o državnim granicama), katastar nekretnina (katastarske prostorone jedinice, katastarske izmjere, izrada i održavanje operata katastara nekretnina), registar zgrada, katastar infrastrukture, izrada i održavanje zajedničkog informacijskog sustava katastra i zemljišnih knjiga, vođenje Registra geografskih imena, organizacija arhive geodetskih elaborata, upravni poslovi iz područja svoje nadležnosti te provodi geodetski inspekcijski nadzor. Poslovi se obavljaju u skladu s godišnjim i višegodišnjim planovima. Državna geodetska uprava kao krovna institucija organizira, nadzire i osigurava budžet za poslove iz svoga djelokruga.

## 2.2. Stanje prethodnih godina

Prije svega treba ukazati da u Hrvatskoj nema dovoljno istraživanja o organizacijskoj strukturi geodetskog tržišta i ekonomskim odnosima između državne uprave (koja regulira najveći dio tržišta ovih usluga) i geodetskih djelatnosti, odnosno o ekonomskom položaju geodetskih tvrtki. Pronađeno je svega nekoliko radova iz kojih navodimo osnovne činjenice.

O stanju geodetske djelatnosti u Hrvatskoj početkom 21. stoljeća piše Hori Martinić: „U listopadu 2001. go-

dine 440 tvrtki, obrta, ureda OIG i institucija dobilo je suglasnost DGU za obavljanje poslova državne izmjere i katastra nekretnina. Čini se da je snažno prisutna filozofija da svatko želi biti "svoj gazda". Bilo je slučajeva udruživanja manjih poslovnica s namjerom efikasnijeg obavljanja poslova, koji su završili razdruživanjem. Manji subjekti su dinamičniji, bolje reagiraju na zahtjeve tržišta i lakše se prilagođavaju turbulentnim promjenama u gospodarstvu zemlje u tranziciji kakva je Hrvatska. No, tržište traži i velike i srednje velike tvrtke. Pokazalo se da pri većim poslovima od državne važnosti, tradicija i reference koje posjeduju "stare" i/ili "velike" geodetske tvrtke pružaju jamstvo da će posao u zadanom roku doista biti obavljen; u njihov proizvod može se imati povjerenja, jer se oni svojim ugledom "neće igrati". Također, unutar velikih tvrtki postoji unutarnja kontrola i rad takve tvrtke prolazi određeni filter unutar same tvrtke. Poslovnica u kojoj radi samo vlasnik, rezultat svog rada izbacuje u odgovarajućoj formi." (Martinić, 2004).

Istraživanje na razini Europske unije (2007.) ukazuje da broj geodeta u zemlji ovisi o veličini tržišta. Primjerice, u nizu istočnoeuropskih zemalja, gdje su povrat prava vlasništva, privatizacija zemljišta i katastar nekretnina tek u razvoju, broj aktivnih geodeta nadmašuje broj katastarskih geodeta u zapadnoeuropskim zemljama (CLGE, 2003).

Prema podacima za EU u 2012. godini, Njemačka ima 2600 ovlaštenih tvrtki na 82 milijuna stanovnika, tj. 32 ovlaštene tvrtke na milijun stanovnika. Taj faktor je najmanji u Velikoj Britaniji – 3 ovlaštene tvrtke/mil. st., a najveći je u Slovačkoj: 335 tvrtki/mil.st. Hrvatska je iza Slovačke s brojem od 131 tvrtke/mil.stanovnika (Bjelotomić i dr., 2012). Gledano prema županijama u Hrvatskoj se 2012. godine uočava velika koncentracija geodeta u primorskim županijama i gradu Zagrebu (Ekscentar, 2012).

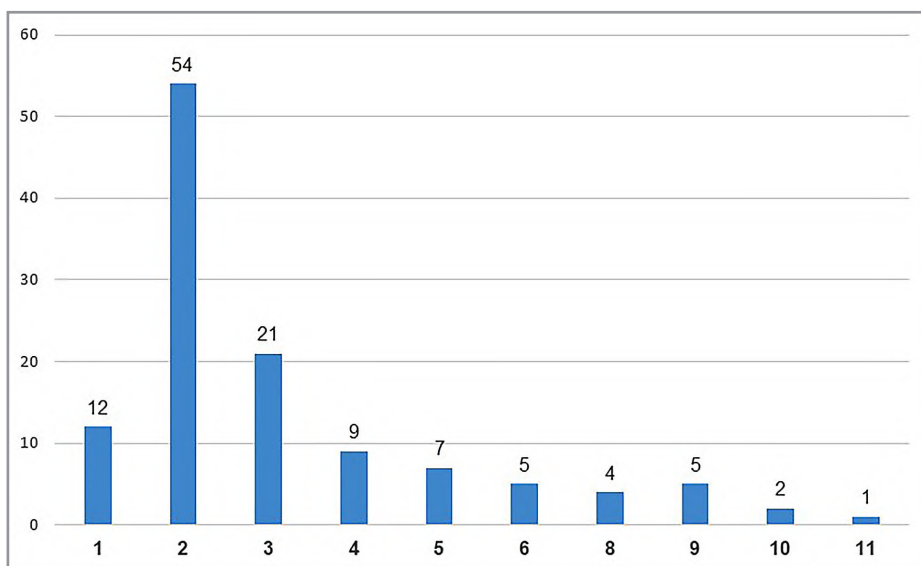
Ukupna tržišna vrijednost geodetskih poslova u 2016. godini (prihodi geodetskih tvrtki registriranih pri HKOIG), prema izračunu u ovom radu, iznosio je nešto manje od 525 milijuna kuna. Grad Zagreb, Splitska i Riječka županija zajedno dijele više od 50% tržišta, dok tvrtke iz deset županija s najmanjim prihodima dijele oko 10% tržišta. Najveći prihodi od geodetske djelatnosti ostvaruju se u Gradu Zagrebu te u primorskim županijama uz iznimku Ličko-senjske županije (Bašić i dr., 2018).

### 2.3. Aktualno stanje

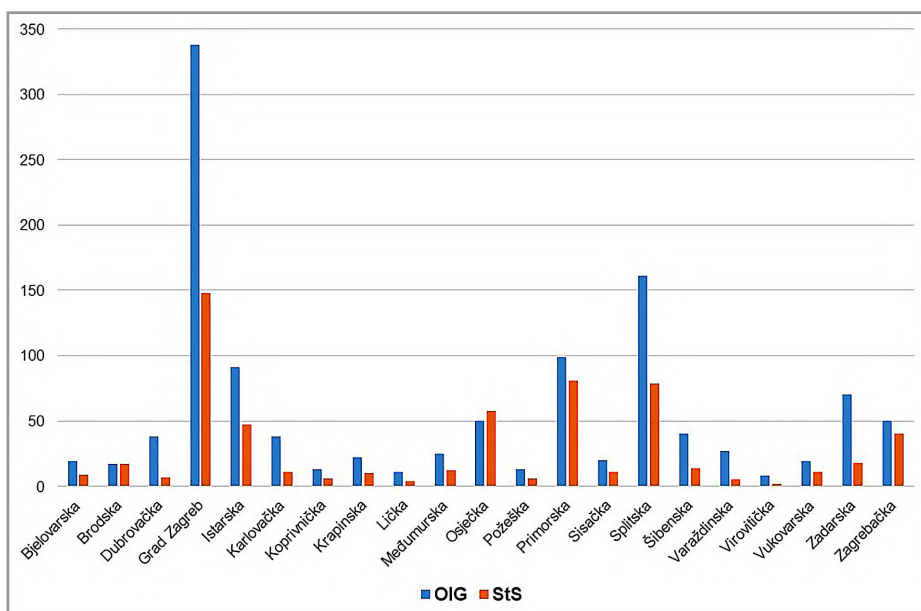
Aktualno stanje OIG na području Republike Hrvatske (2023.) – po županijama prikazuje Tablica 1 i Slike 1 i 2. Najviše je geodetskih tvrtki (ukupno 54) s dva zaposlena, a najveći broj OIG i suradnika imaju Grad Zagreb, Splitska i Riječka županija te primorske županije.

Tablica 1: Zaposleni geodeti po vrstama pravnih osoba – po županijama (HKOIG, 2023)

Rbr.	Županija	Broj OIG u tvrtkama	Broj OIG u uredima	Broj OIG u zajed. uredima	Broj stručnih suradnika (StS)
1.	Bjelovarska	17	2	0	9
2.	Brodsko-savonska	14	3	0	17
3.	Dubrovačko-primorska	32	6	0	7
4.	Grad Zagreb	333	5	0	148
5.	Istarska	76	15	0	47
6.	Karlovačka	34	4	0	11
7.	Koprivničko-bilogora	10	3	0	6
8.	Krapinsko-zagorska	18	4	0	10
9.	Lička	8	3	0	4
10.	Međimurska	25	0	0	12
11.	Osječko-baranjska	41	9	0	58
12.	Poževačka	11	2	0	6
13.	Primorsko-goranska	94	5	0	81
14.	Sisačko-mušvačka	15	3	2	11
15.	Splitsko-dalmatinska	148	13	0	79
16.	Šibensko-kninska	29	11	0	14
17.	Varaždinska	22	5	0	5
18.	Virovitičko-podravska	6	2	0	2
19.	Vukovarsko-srijemska	15	4	0	11
20.	Zadarska	53	15	2	18
21.	Zagrebačka	44	6	0	40
	<b>Ukupno</b>	<b>1045</b>	<b>120</b>	<b>4</b>	<b>596</b>



Slika 1: Broj ovlaštenih katastarskih tvrtki po broju zaposlenih geodeta u RH (GEOprem, 2023)



Slika 2: Broj zaposlenih u geodetskim tvrtkama RH 2023. godine – po županijama (HKOIG, 2023)

Poslove geodetskih izmjera u Hrvatskoj provode privatne geodetske tvrtke čija je djelatnost regulirana zakonom. Poslovi katastarskih izmjera se ugovaraju putem javnih natječaja koje provodi DGU, a financira se iz državnog proračuna, a za privatne investitore i poduzetnike poslovi se ugovaraju pod tržišnim uvjetima. Prema iskustvenim procjenama poznavatelja geodetskih poslova u Hrvatskoj, male geodetske tvrtke oko 80% svojih poslova obavljaju za fizičke osobe i 20% za pravne subjekte. Velike geodetske tvrtke upravo obrnuto – 80% poslovanja realiziraju s javnim institucijama i pravnim osobama, a 20% za fizičke osobe. Kod poslovanja s fizičkim osobama poslovne odnose određuje lokalno tržište, a kod poslovanja s pravnim subjektima natječaj ili pregovor o učešću oba poslova u ukupnoj investiciji. Velike tvrtke koje imaju potrebu za svakodnevnim geodetskim

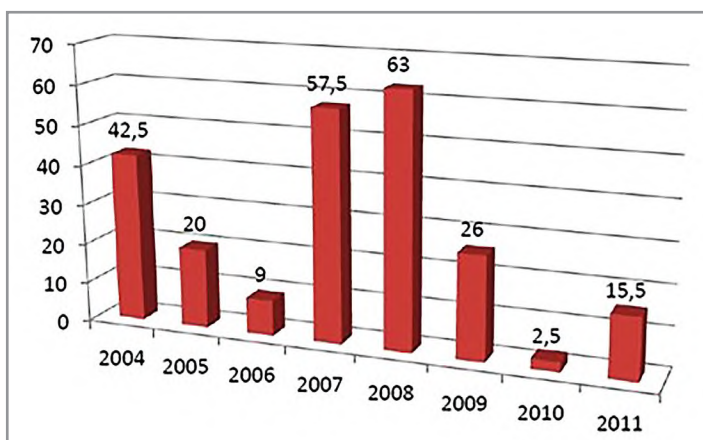
uslugama formiraju svoje geodetske ekipe koje se na geodetskom tržištu pojavljuju povremeno.

### 3. Krize rezultiraju nepovoljnostima u ekonomskom području

Gotovo sve prirodne i društvene nepogode završavaju kao kriza u ekonomskom području jer rezultiraju kao nemogućnost raspolaganja dovoljnim resursima.<sup>1</sup> Makroekonomski gledano kriza može pogoditi cjelokupno gospodarstvo – tada govorimo o gospodarskoj krizi, a u mikroekonomskom okviru kriza se odnosi na pojedino poduzeće i tada govorimo o poslovnoj krizi.

<sup>1</sup> Bit je ekonomske znanosti efikasno raspolaganje ograničenim resursima.





Slika 3: Proračun za geodetske izmjere 2004.–2011. (mil. kn) (HKOIG, 2014)

## 4. Ekonomski odnosi u geodetskom sektoru u Republici Hrvatskoj

Financiranje geodetskih izmjera obavlja se sredstvima iz proračuna za geodetske poslove. Upravo je nemogućnost kontinuiranog osiguravanja proračuna za geodetske izmjere proteklih godina bio razlogom da se izmjere nisu odvijale kontinuirano. Osim toga, proračun za obnovu zemljišne knjige je planiralo Ministarstvo pravosuđa i uprave, a sredstva je osiguravalo Ministarstvo financija. Izostanak koordinacije pri planiranju proračuna rezultirao je zastojeima u realizaciji uređivanja nekretnina (vidi Sliku 3).

Sve aktivnosti uređivanja nekretnina, koje je država planirala, ugovarane su sukladno postupcima javne nabave. Pristup tom tržištu usluga je bio usmjeren na veće geodetske tvrtke, koje su, također, prolazile postupak tranzicije, promjene vlasničke strukture ili smjene generacija stručnih osoba. Naša je ocjena da su, k tome, troškovnici u natjecanjima bili manjkavi za propisane nove procedure upravnog postupanja (nedostatak iskustva obiju strana) pa su naknadni poslovi značajno umanjili očekivanu dobit od ugovorenog posla. Tako su procedure javne nabave i reducirano tržište geodetskih usluga rezultirali stalnim snižavanjem cijena na štetu kvalitete, investiranjem tvrtki u opremu i smanjenu edukaciju stručnog osoblja.

### 4.1. Tržišni okvir geodetskih poslova

Konstelacije odnosa između subjekata sustava evidencije nekretnina u Republici Hrvatskoj su vrlo neobične i nelogične. S jedne strane već tri desetljeća postoje izraženi problemi uređenja javnih evidencija o nekretninama, odnosno postoji velika potreba za geodetskim izmjerama, a s druge strane postoje brojne privatne geodetske tvrtke koje mogu riješiti navedene probleme, no stanje se ne rješava na zadovoljavajući način. Ovdje treba naglasiti da, uz nužnost rješavanja zaostataka iz socijalističkog razdoblja, suvremeni procesi u društvu, privredi i državi stalno proizvode nove potrebe za geodetskim uslugama. U Hrvatskoj postoji oligopol poduzeća javne infrastrukture (Hrvatska elektroprivreda, Hrvatske vode,

Hrvatske šume, Hrvatske ceste, Hrvatske željeznice) i Geodetske državne uprave, koji nedovoljnim izdvajanjem financijskih sredstava za potrebe geodetskih izmjera i, u isto vrijeme, diktatom niskih neodgovarajućih cijena za poslove geodetske izmjere, ucjenjuju mnogobrojne male privatne geodetske tvrtke. Ovom stanju pridonijele su i same geodetske tvrtke jer su prihvaćale poslove često ispod realnih cijena utrošenog rada. Time su pridonijele smanjivanju cijena geodetskih usluga, što nije pratila produktivnost, a sve se to odražavalo i na kvaliteti usluga.

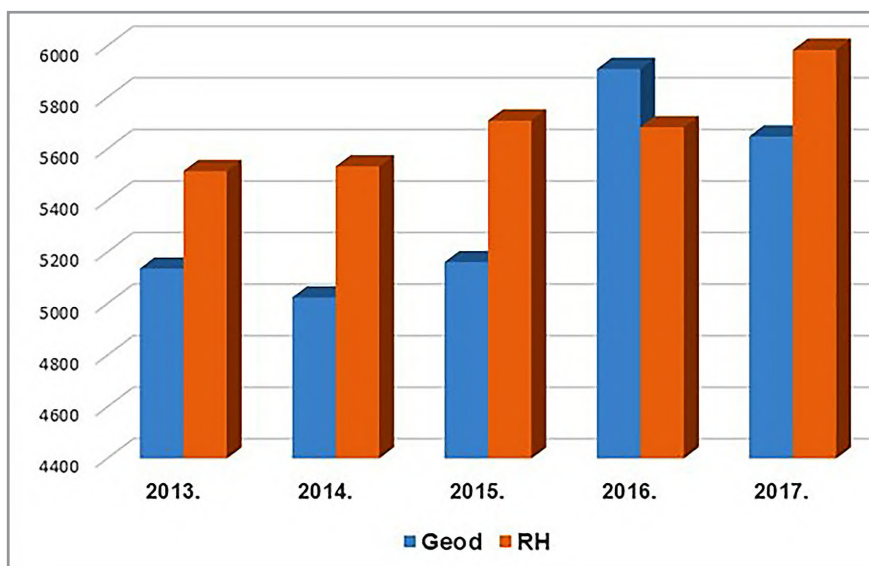
Ovi procesi godinama nepovoljno utječu na dinamiku sređivanja javnih evidencija o nekretninama, uz značajne financijske gubitke lokalnoj samoupravi i državnom proračunu, te usporavaju razvojne procese, a pridonose i nepovoljnoj političkoj i društvenih klimi u zemlji i inozemstvu. U isto vrijeme ti procesu stavljaju geodetske tvrtke u sve nepovoljniji ekonomski položaj te usporavaju i tehnički progres i opremljenost ovih tvrtki suvremenom geodetskom i informatičkom opremom i informatičkom podrškom. Navedene oligopolske konstelacije su već rezultirale nizom nepovoljnosti i svakim danom stanje će biti nepovoljnije.

### 4.2. Ekonomski položaj zaposlenika geodetskih tvrtki

Interno istraživanje o plaćama u geodetskim tvrtkama u Hrvatskoj proveli su i autori ovoga rada u razdoblju 2013. – 2017. na temelju podataka mrežnog portala Bisnode (Slika 4). Dakle, u tome razdoblju prosječna plaća zaposlenih u geodetskim tvrtkama u Hrvatskoj bila je niža od prosječne plaće za sve zaposlene u RH., osim 2016. godine. Ovdje treba podsjetiti da geodetske tvrtke imaju povoljniju kvalifikacijsku strukturu i obavljaju složenije poslove od prosjeka zaposlenih u Hrvatskoj.

Voditelji geodetskih tvrtki u Hrvatskoj imaju već nekoliko godina temeljni zadatak – samo preživjeti ovo nepovoljno stanje, sačuvati stručni kadar i održavati poziciju na tržištu. Malo je prostora ostalo za stručno usavršavanje, razvoj novih tehnologija, novih usluga i širenje na nova tržišta. U takvoj situaciji prihvaćaju se poslovi na kojima se financijski gubi, tj. na štetu ekonomskog položaja tvrtke i njezinih zaposlenika.





Slika 4: Prosječna neto plaća zaposlenih u geodetskim tvrtkama u usporedbi s prosječnom plaćom u Hrvatskoj (GEOprem, 2023)

Ovakvo stanje ima odraza i na organizacijsku strukturu geodetskog sektora jer se povećava broj pravnih subjekata s malim brojem zaposlenih. Takve male tvrtke ne osiguravaju budućnost sektora u našoj zemlji (podmirenje materijalnih troškova, stručno usavršavanje geodeta, nabavka opreme i softvera, i sl.) što može dovesti u pitanje provedbu Višegodišnjeg programa katastarskih izmjera građevinskih područja za razdoblje 2021. – 2030 (Narodne novine, 2021). Jedan od indikatora ovoga stanja je broj i struktura primjedbi na e-Savjetovanju (svoga dva stručnjaka s ukupno 10 primjedbi, e-Savjetovanja, 2021).

Potrebe države i građana traže georeferencirane podatke, kao dopunu postojećim podacima. Principom slobodnog pristupa državnim podacima raste uvid u neusklađenost stanja terena i javnih evidencija pa se postavlja i pitanje državnih registra za pravnu sigurnost kako države tako i njezinih građana. Osim toga, suvremeno tržište geodetskih usluga osim izrade i održavanja registra o nekretninama obuhvaća i druge registre: katastar infrastrukture, katastar zagađivača, evidenciju zgrada, evidenciju državne granice. Segment inženjerske geodezije je tijesno povezan s projektiranjem i izvođenjem građevina, nadzorom izgradnje, kontrolom eksploatacije mineralnih sirovina, dokumentiranjem nepokretne kulturne baštine i drugim segmentima djelatnosti. Nedovoljno razvijen geodetski sektor neće moći zadovoljiti potražnju.

## 5. Zaključci

Geodetske tvrtke su nositelji geodetskih izmjera za potrebe stvaranja javnih registara o nekretninama. Dijagnoza o njihovu poslovanju je nužna kako bi se utvrdio i održavao partnerski odnos svih sudionika; države, lokalne i regionalne zajednice, pravnih i fizičkih osoba, obrazovnih institucija, Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije te samih tvrtki.

Aktivnim dijalogom svih dionika treba graditi novo povjerenje, koje je oligopol narušio, rezultat čega je neadekvatna cijena geodetskih usluga te razjedinjenost geodetskih tvrtki.

U takvim uvjetima nemoguće je postaviti razvojne poslovne modele kako za privredne subjekte tako i za državne institucije i stanovništvo. O ovim problemima potrebno je pokrenuti široku stručnu, društvenu i političku raspravu.

## Literatura

Bašić, T., Mastelić-Ivić, S., Grgić, M., Varga, M. (2018): Geodezija i ekonomija: koliko je tržište geodetske struke u Hrvatskoj?, Zbornik radova, 11. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb, 181–186.

Bjelotomić, O., Markovinović, D., Kleković, B., Bašić, T. (2012): Hrvatska geodezija na pragu EU, Zbornik radova, V. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb, 19–27.

CLGE (2003): CLGE – European requirements for cadastral surveyor activities,

[https://www.clge.eu/wp-content/uploads/2008/04/european\\_requirements\\_for\\_cadastral\\_surveyor\\_activity.pdf](https://www.clge.eu/wp-content/uploads/2008/04/european_requirements_for_cadastral_surveyor_activity.pdf), (17.7.2023.).

e-Savjetovanja (2021): e-Savjetovanja – Nacrtni prijedlog Višegodišnjeg programa katastarskih izmjera građevinskih područja za razdoblje 2021. – 2030.,

<https://esavjetovanja.gov.hr/ECon/EconReport?entityId=16062>, (17.7.2023.).

Ekscentar (2012): Hrvatska geodezija u brojkama, Ekscentar, 15, 135–137.

Frančula, N., Lapaine, M. (2002): Budućnost geodezije, *Geodetski list*, 56 (79), 1, 19–32.

GEOprem (2023): Osijek prema evidencijama Bisnode.

HKOIG (2014): Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije – Poboljšanje modela katastarskih izmjera,

<https://hkoig.hr/images/Pdf/Objasnjenja/T4-Dokument-HKOIG-katastar-Finalno-180314.pdf>, (13.7.2023.).

HKOIG (2023): Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije,

<https://www.hkoig.hr/>, (13.7.2023.).

ISO IEC (2023): ISO IEC 31010 – Risk assessment techniques,

<https://practicalrisktraining.com/iso31010>, (17.7.2023.).

Martinić, H. (2004): Obavljanje geodetskih poslova, *Vijesti Državne geodetske uprave*, *Geodetski list*, 58 (81), 3, 261–263.

Narodne novine (2018a): Zakon o obavljanju geodetske djelatnosti, br. 25/18, Zagreb.

Narodne novine (2018b): Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, br. 112/18, Zagreb.

Narodne novine (2021): Višegodišnji program katastarskih izmjera građevinskih područja za razdoblje 2021. – 2030., br. 109/21, Zagreb.

# The Economic Position of Geodetic Activity as a Potential Crisis

## Abstract

---

The paper is based on the structure of social processes and basic manifestations that are characteristic of crisis processes in nature (environment) and society, and affect geodetic companies and their related activities. The importance of managing in crisis situations is pointed out in terms of risk recognition and prevention of possible negative consequences. Among the ten important crisis phenomena in the natural environment or in society that are related to geodetic activities, special attention is paid to the economic position of geodetic activity in Croatia. Contemporary processes of economic and political instability in the world have a great impact on all EU members, including the Republic of Croatia; for example, inflation and socio-economic misunderstandings (strikes, etc.) threaten stability in society. It points to insufficient research in the economic relations between the state administration and geodetic activities, and shows the unfavorable economic position of geodetic activity in Croatia with the available data. Such a situation can lead to a crisis and call into question the implementation of the multi-year program of cadastral surveys of construction areas for the period 2021–2030, that is, to new imbalances in the country's techno-economic development. The conclusions suggest measures to overcome this potential crisis.

**Keywords:** *cadastral survey, crisis, economic position, geodetic profession, risk*

# Prema uspostavi multifunkcionalnog 4D katastra

Nikola Vučić<sup>1</sup>, Vlado Cetl<sup>2</sup>, Sanja Šamanović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Hrvatska, nikola.vucic@dgu.hr

<sup>2</sup> Sveučilište Sjever, Jurja Križanića 31b, Varaždin, Hrvatska, vlado.cetl@unin.hr, sanja.samanovic@unin.hr

## Sažetak

Tamo gdje su osnovani i primijenjeni, dvodimenzionalni katastarski sustavi ispunili su svoju svrhu postojanja kroz više stoljeća. Potrebe društva i gospodarstva sve se više očituju u traženju visinske komponente, odnosno treće dimenzije katastra. Razvojem tehnologija i sveprisutnom digitalizacijom otvoren je put prema razvoju i uspostavi 3D katastra. Dodavanjem vremenske komponente 3D katastru dolazimo do pojma 4D katastra koji predstavlja zalog za budućnost geodetskoj i geoinformatičkoj struci, jer vođenje prostorno-vremenskih podataka predstavlja veliki potencijal i veliki izazov. Posebice s obzirom na to da su nekretnine i sve s njima povezano značajan čimbenik postojanja svake države, a osobito su važne i za napredak gospodarstva.

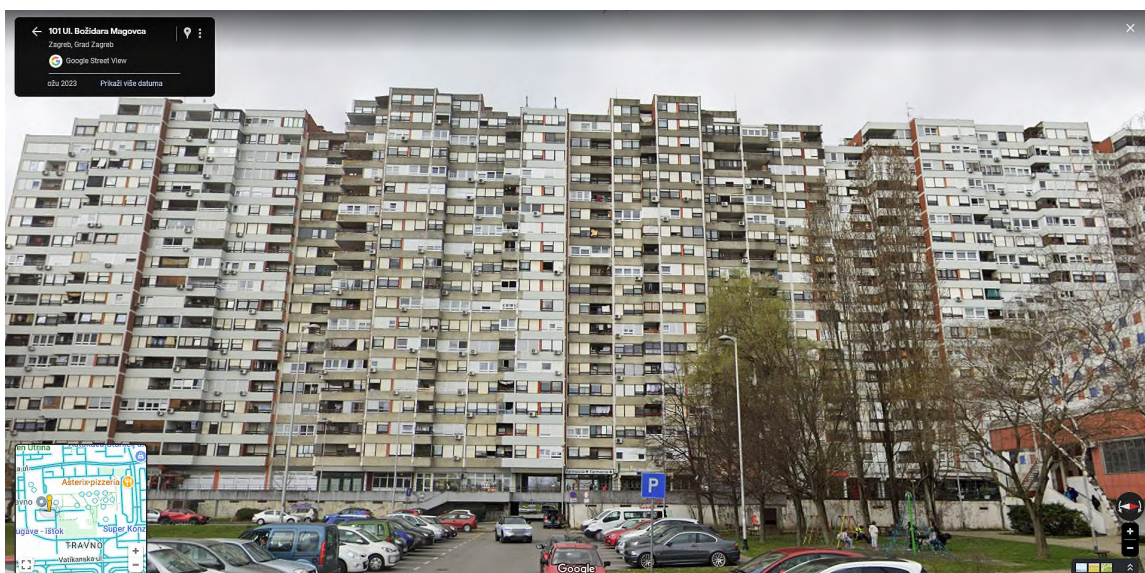
**Ključne riječi:** 3D katastar, 4D katastar, vrijeme

## 1. Uvod

U današnje vrijeme, kada je uglavnom putem senzora (prvenstveno GNSS-a) nikada lakše doći do X, Y i Z koordinata, katastarski bi sustavi trebali biti dizajnirani i podržani za trodimenzionalne prostorne perspektive. Višestoljetna uporaba 2D katastra ispunila je svoju svrhu, a treća je dimenzija u zadnjih dva desetljeća često spominjana uz pojam katastar u geodetskim znanstvenim i stručnim krugovima. 3D katastar s dodanom vremenskom komponentom čini 4D katastar. Tako se npr. u Republici Hrvatskoj postojeći sustav upravljanja zemljištem temelji na 2D prikazu objekata, uključujući katastarske čestice, zgrade i druge građevine. Sadašnji pristup ne pokriva sve situacije stvarnog 3D svijeta. Primjeri takvih situacija gdje potrebe

društva i ključnih korisnika naročito dolaze do izražaja su: višeeetažni kompleksi (Slika 1), presjeci različitih objekata u prostoru (prirodnih i/ili izgrađenim), nadzemna i podzemna javna komunalna infrastruktura i dr. (Vučić i dr., 2014).

U ovom radu naglašena je uloga geodetske struke u stvaranju 4D katastra kroz prizmu modernih tehnologija koje to danas omogućuju. Rad je koncipiran kako slijedi. Nakon uvoda, drugo poglavlje opisuje ulogu geodeta u osnivanju 4D katastra. Treće poglavlje ukratko determinira pojam 4D katastra, dok je u četvrtom poglavlju obrađena mogućnost primjene 4D katastra u upravljanju kriznim situacijama. Rad završava zaključkom i smjernicama za daljnja istraživanja.



Slika 1: Stambena zgrada u Zagrebu (tzv. Mamutica) (URL 1)



## 2. Uloga geodeta u osnivanju 4D katastra

Gotovo svi geodeti u razvijenijim zemljama svijeta su već duže opremljeni GNSS-om baziranom na referentnim stanicama (engl. Continuously Operating Reference Station – CORS) pomoću kojih je dolazak do svih triju koordinata (X, Y i Z) iznimno brz i jednostavan. Isto tako masovna upotreba bespilotnih letjelica omogućila je brzo, lako i nadasve jeftino prikupljanje 3D prostornih podataka za potrebe katastra (Manyoky i dr., 2011; Shokri i Sadeghian, 2021). Stoga je zapis treće koordinate (Z) u službenim katastarskim evidencijama moguć i poželjan, ali se unatoč svemu ipak nedovoljno često i nedovoljno kvalitetno koristi.

Tri su struke koje imaju važnu ulogu u osnivanju i formiranju 3D i 4D katastra. To su arhitektonska, geodetska i građevinska struka. Tako npr. u Republici Hrvatskoj inženjeri svih triju navedenih struka imaju pravo izraditi elaborat etažiranja za nekretninu. Konstantni rast cijena nekretnina u posljednjih nekoliko godina na gotovo cijelom Europskom kontinentu čini evidentiranje i sustavno upisivanje stambenih jedinica poput stanova, apartmana i poslovnih prostora izrazito privlačnim poslom za navedene struke i može se shvatiti kao nova niša u vječitoj potrazi za novim poslovima i boljom zaradom. Danas je vidjeti zgradu u 3D prikazu prije početka njezine izgradnje, kao oglas na Internetu ili u tiskanim medijima, vrlo uobičajeno. Istu zgradu teško je nakon izgradnje vidjeti u 3D prikazu u ikojim službenim podacima zemljišnih administracija bilo koje države svijeta. Međutim došlo je doba kada već u pametnim telefonima novijih generacija (npr. iPhone 13 Pro i iPhone 14 Pro) postoji ugrađena LiDAR tehnologija koja može snimiti objekte u prostoru u sve tri dimenzije (što je u ovom radu i praktično demonstrirano) i istovremeno dati njihove dimenzije. Više aplikacija omogućuju prikupljanje 3D podataka s LiDAR skenerom u iPhoneu (Jakovljević i dr., 2022) i dostupne su u App storeu. U ovom slučaju korištena je aplikacija SiteScape (URL 2).

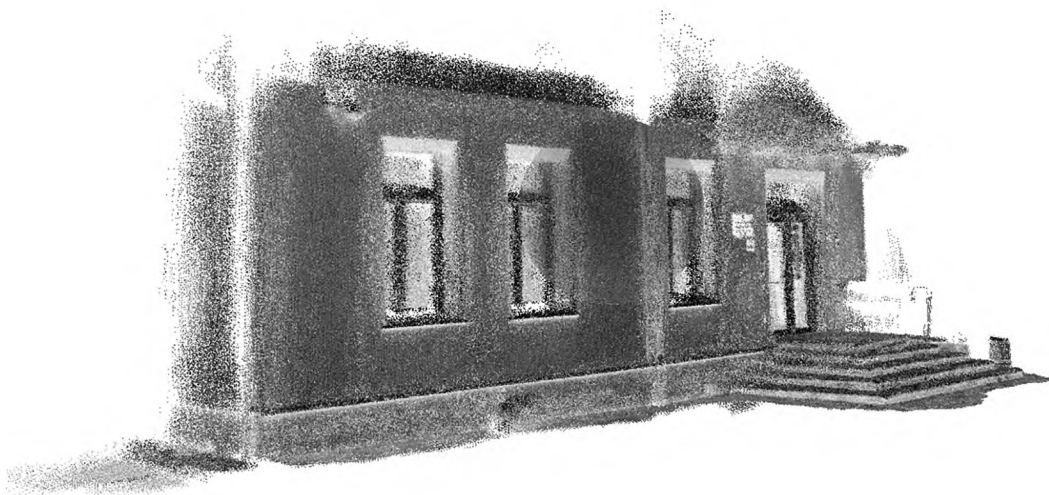
Na Slici 2 je prikaz pročelja dijela zgrade UNIN3 Sveučilišta Sjever u gradu Varaždinu snimljen pametnim telefonom iPhone 13 Pro (MNE33QL/A), verzija operativnog sustava iOS 16.5.1. korištenjem aplikacije SiteScape. Navedena aplikacija omogućuje brz način snimanja i dijeljenja 3D skenova koji se mogu izvesti kao datoteke E57 ili PLY. Dostupna su dva načina skeniranja. Maksimalno područje koje omogućuje dulje vrijeme skeniranja i maksimalni detalj za skeniranja koja zahtijevaju veće detalje. Također, moguće je prilagoditi gustoću točaka i veličinu točaka (veličina uređaja za točke tijekom skeniranja). S obzirom na to da je maksimalni broj točaka ograničen na 12 milijuna točaka po skeniranju zbog ograničenja performansi, maksimalni detalji i povećanje gustoće točaka značajno će smanjiti pokriveno područje po sceni. U ovom slučaju korišteno je način Max area sa srednjom gustoćom točaka. Udaljenost između uređaja i zgrade bila je u rasponu 1–5 m. Vrijeme skeniranja bilo je oko 7 minuta.

### 2.1. Studija slučaja Hrvatska

Znatan iskorak prema 3D i 4D katastru pored recentnih znanstvenih istraživanja na području Republike Hrvatske dan je i od Državne geodetske uprave (DGU) koja je nakon razornog Petrinjskog potresa koji se dogodio dana 29.12.2020. objavila 3D snimke temeljene na snimanju iz zraka za potresom pogođena područja gradova Gline, Petrinje i Siska (Slika 3).

Također, DGU je nastavila s provođenjem 3D snimanja za potrebe katastarskih izmjera građevinskih područja prema Godišnjem programu katastarskih izmjera građevinskih područja za 2022. godinu. Iako je važniji pravni aspekt 3D i 4D katastra trodimenzionalno prikazivanje zgrada i drugih građevina veliki je iskorak ka uspostavi multifunkcionalnog 4D katastra.

Snažan poticaj u stvaranju 3D katastra DGU daje i kroz stvaranje e-Registra zgrada (URL 4, URL 5). E-Registar zgrada će sadržavati podatke o svim zgradama izgrađenim na području Republike Hrvatske te će imati poveznicu s postojećim registrima Državne



Slika 2: Prikaz dijela pročelja zgrade Sveučilišta Sjever snimljen LiDAR tehnologijom ugrađenom u pametni telefon





Slika 3: Zgrada gimnazije i zgrada katastra u Sisku, 3D objekti (URL 3)

geodetske uprave (Katastrom nekretnina, Registrom prostornih jedinica, Temeljom topografskom bazom), ali i s evidencijama drugih tijela državne uprave. Osnovni cilj projekta bio je definirati metodologiju za prikupljanje i obradu podataka o zgradama, prikupiti podatke o zgradama i uspostaviti informacijski sustav za e-Registar zgrada za Varaždinsku županiju. Razdoblje provedbe projekta je bilo od 22. ožujka 2019. do 22. prosinca 2022. godine.

DGU kao korisnik, zajedno s partnerima Geodetskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu i Gradom Zagrebom trenutno provodi i projekt "Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene snimanja rizika od katastrofa" – Projekt LiDAR (URL 6).

Prema specifikaciji za LiDAR snimanje iz zraka, zahtijevana minimalna gustoća točaka mora biti zadovoljena kako slijedi:

- minimalna gustoća točaka od 4 točke/m<sup>2</sup> u izvan urbanim područjima (nenaseljenim i rjeđe naseljenim mjestima) i minimalna gustoća točaka od 8 točaka/m<sup>2</sup> u urbanim područjima (gradovima i naseljima veće gustoće)
- u područjima pokrivenim šumama (listopadnim i crnogoričnim) minimalna gustoća točaka iznosi 4 točke/m<sup>2</sup>
- u urbanim područjima za potrebe izrade 3D modela minimalna gustoća točaka za izradu Digitalnog modela reljefa (DMR-a) i Digitalnog modela površina (DMP-a) iznosi 8 točaka/m<sup>2</sup>.

Očekuje se najmanje sljedeća točnost pojedinačnih izmjerenih laserskih točaka (na čvrstim, nezaklonjenim objektima tipa zgrade, prometnice i sl.):

- visinska točnost  $\pm 0,1$  m
- položajna točnost  $\pm 0,2$  m.

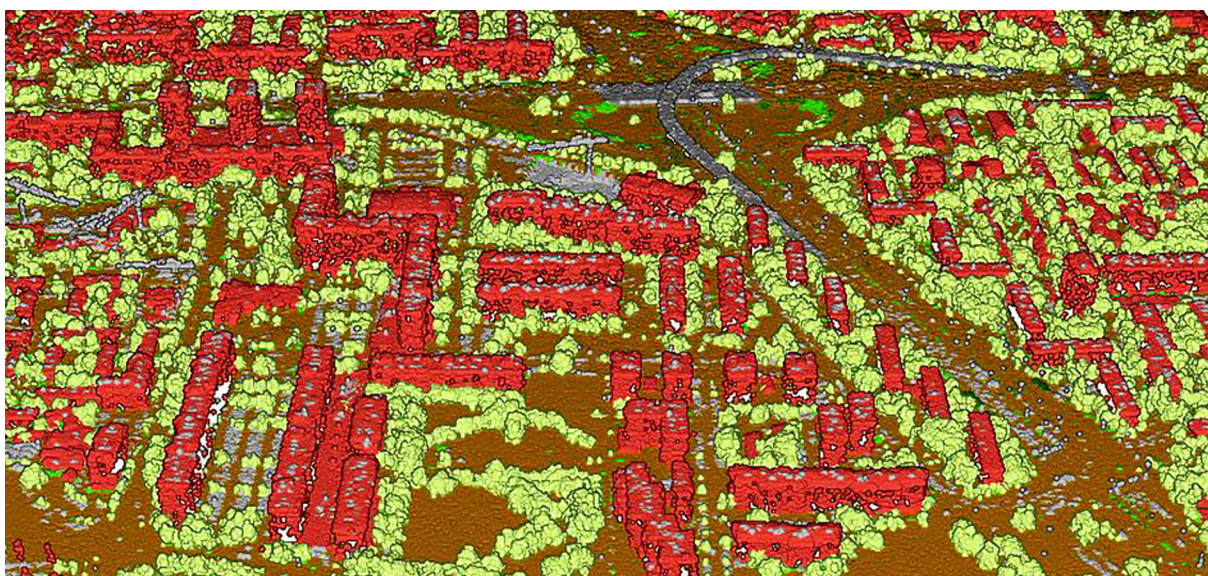
Podaci će biti dostupni u LAS/LAZ formatu, a provedena je i klasifikacija podataka u 10 klasa koja uključuje zgrade (URL 7). Slika 4 prikazuje vizualizaciju klasificiranih LiDAR podataka dijela Zagreba na kojoj se vide klase zgrade, visoka vegetacija, tlo/teren, niska vegetacija, mostovi/vijadukti i ostalo.

Dobar praktičan iskorak ka hrvatskoj 3D zemljišnoj administraciji je dan i u mogućnosti pristupa Google street view servisu koji nudi 3D prikaze zgrada u većim hrvatskim gradovima. Na Slici 5 to je prikazano za nedavno izgrađenu stambeno poslovnu zgradu u naselju Trnsko na adresi Trnsko 23, Zagreb.

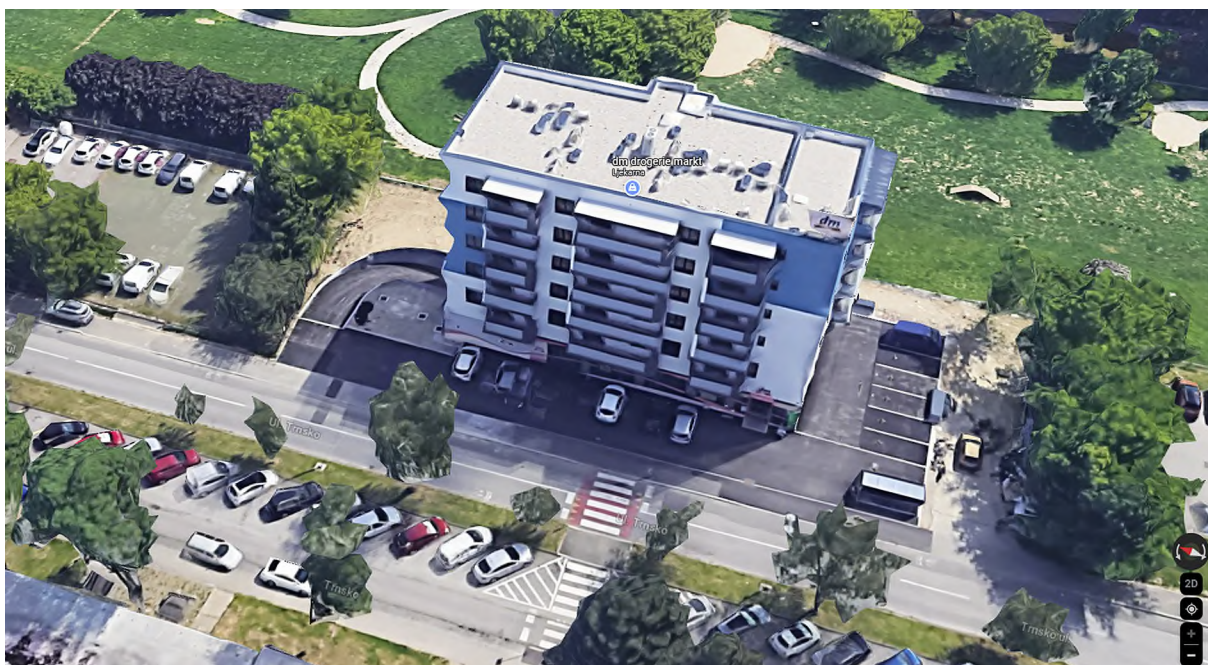
## 2.2. Studija slučaja Nizozemska

Unatoč brzom razvoju 3D geoinformacijskih znanosti i sve većoj dostupnosti 3D podataka, većina studija pojednostavljuje zgrade na njihov 2D prikaz, a uzimajući u obzir njihovu visinu, pretpostavljaju najviše jednu vrijednost visine po zgradi, tj. jednostavan 3D. Tako su npr. u Nizozemskoj poduzeti prvi koraci u podizanju metrike zgrade u puni/pravi 3D, otkrivajući korištenje viših razina detalja i uzimajući u obzir detaljan oblik zgrade (Labetski i dr., 2023). Autori su postavili temelje nove istraživačke linije 3D urbane





Slika 4: Vizualizacija klasificirane LiDAR snimke dijela Grada Zagreba (URL 7, Gradski ured za gospodarstvo, ekološku održivost i strategijsko planiranje Grada Zagreba)



Slika 5: Google street view – pristup putem OSS-a Državne geodetske uprave i Ministarstva pravosuđa i uprave (URL 8)

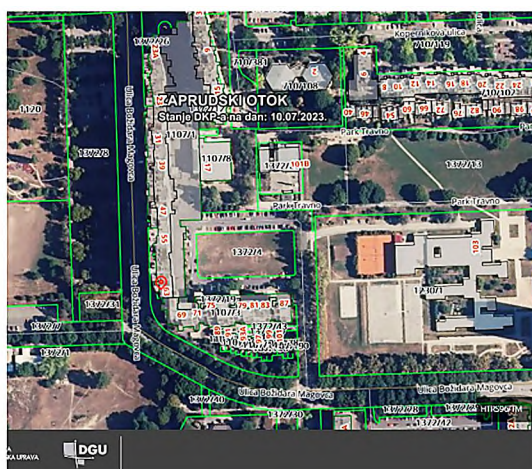
morfologije pružajući sveobuhvatan skup 3D metrika, implementirajući ih u otvoreno objavljeni softver, generirajući otvoreni skup podataka koji sadrži 2D i 3D metrike za 823000 zgrada u Nizozemskoj i demonstrirajući slučajeve uporabe gdje se klasteri i arhitektonski obrasci analiziraju kroz vrijeme (Labetski i dr., 2023).

### 3. 4D katastar

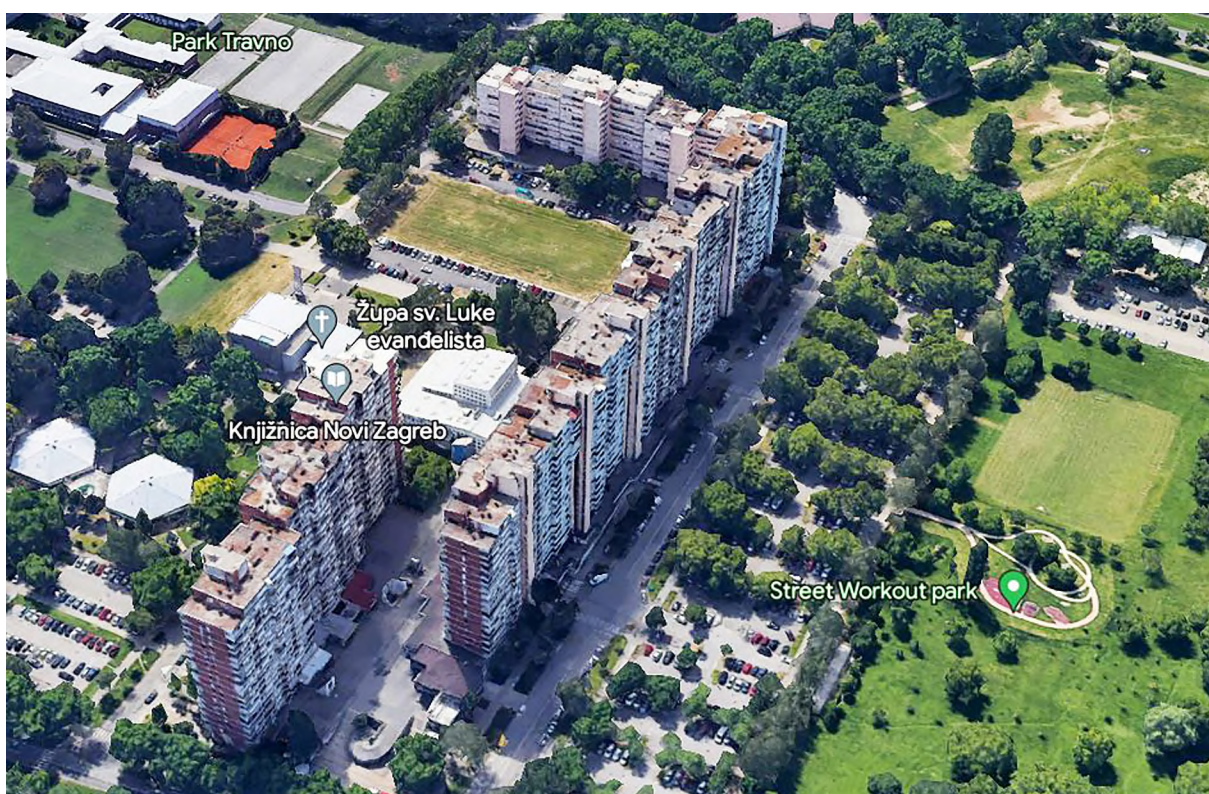
Sve veća složenost i fleksibilnost kod suvremenog korištenja zemljišta zahtijevaju da se katastri nadgrade

(najmanje) za upravljanje trećom dimenzijom. Kako svijet po definiciji nije statičan, postojat će i potrebe u vezi s reprezentacijom vremenske (četvrte) dimenzije bilo integrirane s prostornim dimenzijama ili kao odvojeni atributi (Döner i dr., 2010). Za primjer navodimo slučaj već ranije spomenute zgrade u Gradu Zagrebu tzv. Mamutice, jedne od najvećih stambenih zgrada u Europi. Na Slici 6 su prikazani različiti prostorno-vremenski podaci s Geoportala Državne geodetske uprave za navedenu zgradu u ulici Božidara Magovca u Gradu Zagrebu. Podatak snimki iz zraka iz 1968. godine kao i podatak najnovijeg dostupnog Digitalnog ortofota s preklapljenim katastarskim planom (URL 3).





Slika 6: Područje zgrade Mamutice u ulici Božidara Magovca u Zagrebu – lijevo prikaz 1968. godine i desno prikaz 2022. godine (URL 3)



Slika 7: Zgrada Mamutica na Google Earth servisu (URL 9)

Nadalje, na servisu Google Earth je ista zgrada prikazana u 3D tehnologiji baziranoj na satelitskim snimcima iz 2022. godine (Slika 7). Navedeni servis nudi prikaze zemljišta i zgrada cijele planete Zemlje u različitim vremenskim razdobljima.

#### 4. Mogućnost primjene 4D katastra u upravljanju kriznim situacijama

Kako bi bili konkurentniji i učinkovitiji u usporedbi s drugim izvorima geopodataka, nacionalne katastar-

ske i kartografske agencije (engl. NMCA) bi trebale poboljšati svoje tradicionalne proizvode. To se može postići pružanjem podataka putem usluga i API-a. Usluge bi također trebale biti dinamične, npr. pretvaranjem statičkih katastarskih planova u online dinamičke karte i dopuštanjem dodavanja i kombiniranja drugih podataka, od privatnih tvrtki i građana, prema potrebi. Dodavanje 3D informacija standardnom 2D prikazu te vremenske komponente (prikazi istog područja u različitim godinama/vremenima), za potrebe izrade 3D i 4D katastra, ponudit će dodatnu vrijednost korisnicima i stvoriti glavni alat ne samo za upravljanje nekretninama i prostorno planiranje, već i za učinkovito upravljanje u kriznim situacijama.

Izrada i pružanje ortofoto snimaka na ad hoc osnovi u slučaju katastrofa (npr. poplave, šumski požari, potresi) još su jedan način poboljšanja standardnih proizvoda kroz nove usluge (Vučić i dr., 2021).

## 5. Zaključak

3D prostorne informacije i 4D prostorno-vremenske informacije su nova niša u geodetskoj struci te istu treba iskoristiti. Suvremeno društvo kao i sadašnje te buduće generacije to jednostavno i zahtijevaju. Iako su nam 3D prikaz i 3D mjerenja zaista nadohvat ruke, ne koristimo ih dovoljno. Ključni korisnici od nas geodeta to očekuju. 3D prikaze i 3D mjerenja u kombinaciji s vremenskom komponentom (što čini 4D) treba promovirati, razvijati i koristiti.

2D katastar i 2D zemljišna administracija su u potpunosti ispunili svoju svrhu i trajali su više stoljeća, a traju i sada. Međutim u današnjem trenutku oni više nisu dostatni. Modernizacijom, digitalizacijom i konstantnim vrlo brzim razvojem tehnologija zaključujemo kako je nedvojbeno došlo vrijeme za prijelaz na 3D i 4D zemljišnu administraciju. Preduvjeti za to postoje i samo je stvar nas geodeta da to promoviramo i poguramo u pravom smjeru.

## Zahvala

*Izrada ovog rada podržana je kroz znanstveni projekt: "Digitalni blizanci i pametni gradovi", koji se provodi na Sveučilištu Sjever u Hrvatskoj. Voditelj projekta je prof. dr. sc. Vlado Cetl.*

## Literatura

Döner, F., Thompson, R., Stoter, J., Lemmen, C., Ploeger, H., van Oosterom, P., Zlatanova, S. (2010): 4D cadastres: First analysis of legal, organizational, and technical impact – With a case study on utility networks, *Land Use Policy*, 27.

Jakovljević, G., Govedarica, M., Alvarez Taboada, F. (2022): iPhone 13 pro vs Professional TLS for 3D Indoor Mapping, *Stepgrad*, 1, 15, 274–282.

Labetski, A., Vitalis, S., Biljecki, F., Arroyo Ohori, K., Stoter, J. (2023): 3D building metrics for urban morphology, *International Journal of Geographical Information Science*, 37, 1, 36–67.

Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D., Eisenbeiss, H. (2011): Unmanned Aerial Vehicle in Cadastral Applications, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXVIII-1/C22, 57–62.

Shokri, A. H., Sadeghian, S. (2021): 3D cadastre implementation using UAV-based photogrammetry method without ground control points (GCPs), *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 30, 117, 65–78.

Vučić, N., Roić, M., Markovinović, D. (2014): Towards 3D and 4D Cadastre in Croatia, 4th International FIG 3D Cadastre Workshop, 9–11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates.

Vučić, N., Cetl, V., Šantek, D., Mader, M. (2021): Importance of Official Geodata in Disaster Risk Management – Case Study of Croatia, *Earth*, 2, 943–959.

URL 1: Google karte, <https://www.google.com/maps>, (3.7.2023.).

URL 2: SITESCAPE, <https://www.sitescape.ai/>, (10.7.2023.).

URL 3: Geoportal Državne geodetske uprave, <https://geoportal.dgu.hr/>, (4.7.2023.).

URL 4: Pravilnik o registru zgrada, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021\\_01\\_7\\_154.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_01_7_154.html), (10.7.2023.).

URL 5: Državna geodetska uprava, <https://dgu.gov.hr/otvorena-vrata-eu-projekata-2023/uspostava-e-registra-zgrada-6138/6138>, (10.7.2023.).

URL 6: Projekt "Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene snimanja rizika od katastrofa" – Projekt LiDAR,

[https://opzo-opkk.hr/projekti\\_post/kk-05-2-1-10-projekt-multisenzorsko-zracno-snimanje-republike-hrvatske-za-potrebe-procjene-snimanja-rizika-od-katastrofa-projekt-lidar/](https://opzo-opkk.hr/projekti_post/kk-05-2-1-10-projekt-multisenzorsko-zracno-snimanje-republike-hrvatske-za-potrebe-procjene-snimanja-rizika-od-katastrofa-projekt-lidar/), (10.7.2023.).

URL 7: Kontrola kvalitete LiDAR podataka, [https://potresnirizik.zagreb.hr/UserDocImages/3%20radionica%20E2%80%9Emultisenzorska%20snimka%20zagreba%20E2%80%9C2\\_Kontrola%20kvalitete%20LiDAR%20podataka.pptx](https://potresnirizik.zagreb.hr/UserDocImages/3%20radionica%20E2%80%9Emultisenzorska%20snimka%20zagreba%20E2%80%9C2_Kontrola%20kvalitete%20LiDAR%20podataka.pptx), (11.7.2023.).

URL 8: Zajednički informacijski sustav zemljišnih knjiga i katastra, <https://oss.uredjenazemlja.hr/>, (8.7.2023.).

URL 9: Google Earth, <https://earth.google.com>, (8.7.2023.).



# Towards the Establishment of a Multifunctional 4D Cadastre

## **Abstract**

---

Two-dimensional cadastral systems, in the areas where they were established and used, have fulfilled their purpose over the centuries. The needs of society and the economy increasingly require the use of the height component, that is, the third dimension of the cadastre. The accelerated development of technologies and ubiquitous digitization opened the path for the development and establishment of 3D cadastre. By adding time components to the 3D cadastre, we are now dealing with the new term – 4D cadastre. 4D cadastral representation ensures the future of the geodetic and geo-informatics profession, as managing spatio-temporal data holds immense potential and poses great challenges. In particular, real estate and all associated factors play a significant role in the existence of each state, and they are particularly important for the economic progress of each country.

**Keywords:** *3D cadastre, 4D cadastre, time*

# Ispitivanje softverskih rješenja za inspekcijsko snimanje dronovima

Zvonimir Nevistić<sup>1</sup>, Željko Bačić<sup>1</sup>, Marko Rakocija<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10 000 Zagreb, Hrvatska znevistic@geof.hr, zbacic@geof.hr

<sup>2</sup> Marko Rakocija, Hrvatski hidrografski institut, Zrinsko-Frankopanska 161, 21 000 Split, Hrvatska mrakocija@geof.hr

## Sažetak

Velika napredak u tehnologiji bespilotnih letjelica dovodi do njihove sve šire primjene u raznim znanostima i djelatnostima pa tako i u geodeziji. Širenju primjene ove tehnologije uvelike je pridonio i razvitak softvera za obradu prikupljenih snimki koji omogućuje visoko točan rezultat obrade. Kao glavni rezultati obrade podataka prikupljenih bespilotnim letjelicama nameću se oblaci točaka, ortomozaici, modeli terena i 3D modeli površina i objekata. Nad ispravno georeferenciranim rezultatima obrade moguće je obavljati različita mjerenja i analize stoga se ova tehnologija može primijeniti u različite svrhe. Jedna od primjena je i inspekcijsko snimanje različitih objekata koje omogućuje praćenja stanja objekta kroz vrijeme. Primjena dronova za inspekcijsko snimanje ubrzala je proces prikupljanja podataka u odnosu na uobičajene terestričke metode mjerenja. U ovom radu ispitati će se primjenjivost bespilotnih letjelica kod inspekcijskog snimanja kamenoloma te će se usporediti rezultati određivanja promijene volumena kroz vrijeme dobiveni obradom podataka u dva različita softvera (Drone2Map i Site Scan).

**Ključne riječi:** *bespilotna letjelica, Drone2Map, kamenolom, Site Scan*

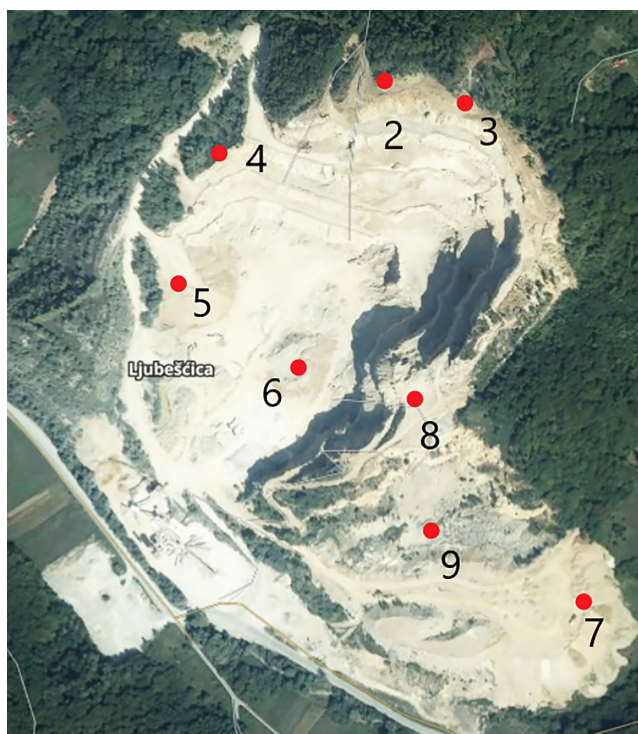
## 1. Uvod

U zadnjem desetljeću došlo je do velikog napretka u tehnologiji bespilotnih letjelica (dronova). Kroz povijest dronovi su se većinom koristili u vojne svrhe sve do pojave multicoptera manjih dimenzija koji se početkom 2000-tih godina počinju koristiti u komercijalne svrhe (Palik i Nagy, 2019). Samim razvojem industrije dronova pojavljuje se i veliki broj proizvođača, letjelice postaju sve dostupnije „običnim“ ljudima koji ih danas koriste u različite svrhe. Danas se dronovi najčešće koriste u svrhu zabave te u medijske svrhe, ali svoju primjenu su pronašli i u brojnim drugim djelatnostima poput poljoprivrede, šumarstva, geodezije, sigurnosti i upravljanja kriznim situacijama (Reich i dr., 2022). Do veće primjene dronova u geodetskoj struci doveo je i razvoj softvera za obradu snimki prikupljenih dronovima. Jedna od evidentnih prednosti njihovog korištenja je smanjenje vremena potrebnog za obavljanje poslova izmjere u odnosu na klasične metode kao i mogućnosti prikupljanja podataka i smanjenje opasnosti kod izmjere nedostupnih terena (Šulyova i Vodak, 2019). Poboľjšanjem tehnologije, prvenstveno kapaciteta baterije omogućilo je korištenje bespilotnih letjelica za vrlo detaljna inspekcijska snimanja objekata. Karakterističnost inspekcijskog snimanja je prikupljanje velikog broja snimki malog područja od interesa čijom se obradom dobivaju visoko precizni podaci. Obrada takvih podataka omogućuje praćenje pojedinih objekata kroz vrijeme te praćenje promjena (npr. promjene volumena, inspekcijsko snimanje stanja krovova, fasada i dr.) (Frederiksen i dr., 2019). Prednost ovakvog snimanja je u tome što je za prikupljanje velikog broja podataka potrebno vrlo malo vremena u odnosu na

standardne geodetske metode. Poteškoće se javljaju kada je prikupljene podatke potrebno obraditi obzirom da se radi o velikoj količini podataka. Većina dostupnih softvera za obradu su u obliku desktop aplikacije, samim time kvaliteta i brzina obrade ovisi o performansama korištenog računala. Danas postoje i rješenja za obradu podataka baziranih na oblaku (engl. cloud) što korisnicima omogućuje obradu podataka bez obzira na softverske zahtjeve računala. U ovom radu ispitana su dva softvera za inspekcijsko snimanje: Drone2Map kao desktop aplikacija i Site Scan aplikacija bazirana na oblaku. Kao poligon za ispitivanje primjenjivosti bespilotnih letjelica za inspekcijska snimanja odabran je kamenolom Ljubušćica u vlasništvu tvrtke Kaming d.d. Na temelju tri provedena snimanja dobivena je usporedba rezultata obrade snimki i rezultata određivanja volumena promijene dobivenih korištenjem dva različita softvera. Snimanje i analiza rezultata provedena su sklopu diplomskog rada Marka Rakocije na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

## 2. Primjena dronova za inspekcijsko snimanje

U današnje vrijeme dronovi se koriste za inspekcijska snimanja u gotovo svakoj industriji. Široka primjena dronova u ove svrhe potaknuta je brojnim benefitima koje ova tehnologija donosi. Korištenjem dronova smanjuje se broj osoba potrebnih za izvođenje radova, povećava se sigurnost uključenog ljudstva,



Slika 1: Kamenolom Ljubeščica s lokacijama kontrolnih točaka (Rakocija, 2022)

smanjuje se utjecaj na okoliš, a sve to doprinosi smanjenju troškova rada i održavanja (URL 1). Osim navedenog, povećava se brzina provedbe poslova, postiže se očuvanje postojećih objekata i struktura obzirom da se radi o beskontaktnom snimanju te se dobivaju kvalitetniji podaci u odnosu na tradicionalne metode pomoću visoko-razlučivih senzora instaliranih na dronove (URL 2). Neke od primjena dronova za potrebe inspekcijskog snimanja su u poljoprivredi za praćenje usjeva, u industrijskim postrojenjima i gradilištima za pregled stanja različitih elemenata (npr. vodovi), u cestovnom i željezničkom prometu za inspekciju infrastrukture, praćenje stanje vanjskih struktura različitih objekata (npr. zgrade, mostovi) te praćenje stanja krovova na objektima, praćenje dalekovoda kao i električnih instalacija i plinovoda. Obzirom da se korištenjem dronova mogu dobiti različiti rezultati poput oblaka točaka, 3D modela i ortomozaika, a na temelju kojih se mogu vršiti i druge, a ne samo vizualne, analize, primjena dronova u inspekcijske svrhe postaje neograničena. Obzirom na senzore koji se koriste mogu se pratiti različite promjene na zemljištu (npr. povećanje volumena, pokrova ili površine). Tako primjerice dronove možemo koristiti za inspekcijsko praćenje širenja otpada, inspekciju šumskih površina i područja zahvaćenih vatrom ili praćenje promjena iskopa kamenoloma kao što će biti pokazano u ovom radu.

### 3. Inspekcijsko snimanje kamenoloma Ljubeščica

Kao poligon za testiranje odabran je kamenolom Ljubeščica. Kamenolom se nalazi u Varaždinskoj županiji pored Novog Marofa te je u vlasništvu tvrtke

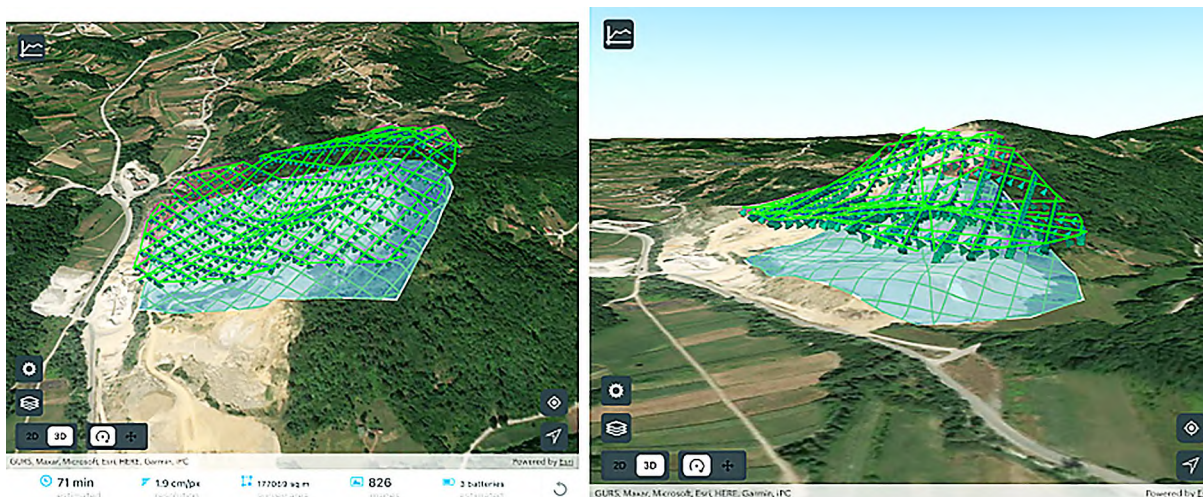
Kaming d.d. Upravo je Ljubeščica odabrana za snimanje zato što spada među najaktivnije kamenolome u državi i samim time će i vrijednost promijene u periodu praćenja biti najveća. Kako bi se promjena mogla detektirati bilo je potrebno snimanja obaviti u više termina. Za potrebe ovog rada snimanja su obavljena 31. svibnja, 15. srpnja i 19. studenog 2021. godine. Prije izrade planova leta i snimanja obavljeno je rekognosciranje terena. Kamenoloma predstavlja iznimno specifičan objekt s iznenadnim i velikim promjenama u visini terena te konstantno mijenja svoj oblik obzirom na aktivne iskope. Stoga, prilikom izrade planova leta, korištenje online servisa kao što su Google Maps ili Geoportal, čije su ortofoto karte zastarjele, može dovesti do toga da će se planovi na dan leta trebati popravljati ili u gorem slučaju može doći do sudara letjelice sa zidom kamenoloma ili okolnim stablima.

Prilikom rekognosciranja terena odlučeno je da će se cijeli obuhvat u svrhu snimanja podijeliti na dva dijela, kamenolom i deponiju. Kamenolom predstavlja područje na kojem se obavljaju iskopi (sjever, sjeverozapad na Slici 1), a deponija prostor na kojem se odlaže materijal (jug, jugoistok na Slici 1) koji je nusprodukt obrade iskopanog materijala. Za izvođenje snimanja korištena je DJI Phantom 4 Pro V2.0 bespilotna letjelica. Kako bi rezultate snimanja georeferencirali koristilo se osam kontrolnih točaka (GCP) izmjerenih GNSS Trimble R8 prijamnikom koristeći VPPS CROPOS-a. Raspored točaka je vidljiv na Slici 1.

Kako bi se tokom cijelog leta mogla održavati vizualna kontrola nad letjelicom bilo je potrebno odrediti dva stajališta. Za snimanje kamenoloma kao stajalište se odabrala lokacija u blizini kontrolne točke broj 6, a za snimanje deponije stajalište se nalazilo u blizini kontrolne točke broj 9. Planovi leta izradeni su u Site

Tablica 1: Planovi leta

Objekt snimanja	Vrsta leta	Visina leta	Uzdužni preklap	Bočni preklap	GSD cm	Duljina min	Broj baterija
Kamenolom	crosshatch	70 m	80%	70%	1.9	55	3
Deponija	crosshatch	60 m	80%	70%	1.6	45	3



Slika 2: Prikaz plana korištenih planova leta u 3D-u unutar Site Scan mobilne aplikacije

Scan mobilnoj aplikaciji (URL 3). Za snimanje kamenoloma i deponija odabrana je „crosshatch“ metoda koja dvostrukim preletom mreže omogućuje izradu 3D modela. Prilikom snimanja uključena je opcija Terrain follow koja dronu omogućava da konstantno održava visinu leta u odnosu na teren, neovisno o promijeni visine samog terena (URL 3). Parametri letova vidljivi su u Tablici 1, a na Slici 2 prikazan je plan leta dobiven u Site Scan-u.

Ukupno je prikupljeno 931 snimak prilikom snimanja kamenoloma te 693 snimaka prilikom snimanja deponija.

### 3.1. Korišteni softveri

Drone2Map i Site Scan su softveri tvrtke ESRI za obradu i analizu snimki prikupljenih pomoću bespilotnih letjelica. Iako se oba programa koriste za obavljanje istih zadataka oni se uvelike razlikuju. Njihova najveća razlika je ta što Site Scan radi u oblaku, a Drone2Map na stolnom računalu. Obrada, duljina i kvaliteta dobivenih rezultata u Drone2Map programu uvelike ovisi o kvaliteti računala na kojem se izvodi. Razlika o ciljanim korisnicima ove aplikacije najvidljivija je u postavkama obrade. Kod Site Scana cijeli proces obrade maksimalno je automatiziran. Kod parametara obrade potrebno je odrediti kvalitetu ortomozaika, oblaka točaka i 3D modela s ponuđenim opcijama niske, srednje i visoke kvalitete. Napredni parametri obrade omogućuju definiranje vertikalnog datuma i parametara korištene kamere. Automatizacija kod Site Scana vidljiva je i u činjenici da softver sam označava kontrolne točke (GCP) na snimkama, a korisnik treba samo izvršiti kontrolu označenih kontrolnih točaka na pojedinim snimkama. Isti proces u Drone-

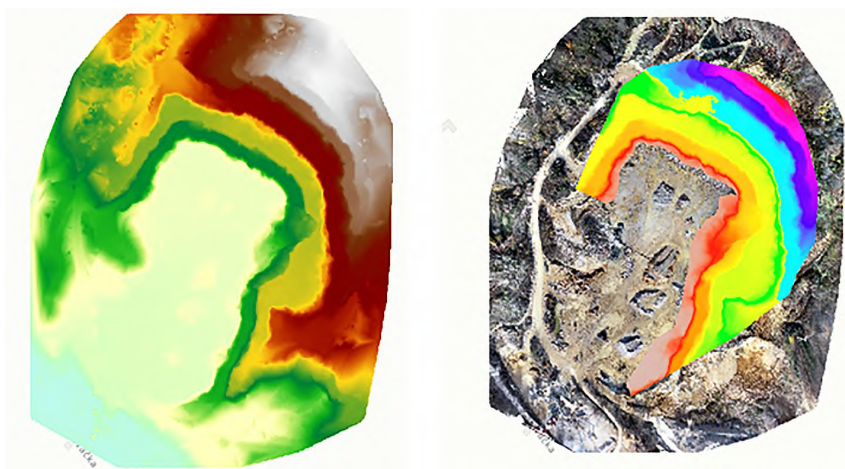
2Mapu potrebno je obaviti ručno. Kod Drone2Mapa postoji mnogo više parametara obrade te su za njihove postavke i korištenje potrebna određena znanja, ali omogućuju dobivanje visoko kvalitetnih rezultata obrade (URL 4, URL 5).

### 3.2. Obrada podataka

Za obradu su korištena gore dva navedena softvera. Obrada podataka u Site Scan-u započinje dodavanjem kontrolnih točaka i odabirom koordinatnog sustava projekta (HTRS96 TM). Svaki obavljeni let obrađen je zasebno. Rezolucija ortomozaika postavljena je na maksimalnu vrijednost. „Point Cloud Densification“ koji određuje veličinu snimki iz kojih će se stvarati dodatne 3D točke postavljen je na „Extra Large“ te je uključena izrada 3D modela i opcija „Boundary Cropping“. Ta opcija se koristi za izrezivanje rezultata obrade na granice plana leta. Rezultati obrade su ortomozaik, model terena, oblak točaka i 3D model. Dobiveni model terena predstavlja osnovu za daljnju analizu i izračun volumena.

Obrada podataka u Drone 2 Mapu započinje odabirom predložka rada „3D mapping“. Taj je predložak odabran zbog toga što daje ujedno i 3D i 2D rezultate obrade. Nakon što su učitane snimke u novokreirani projekt potrebno je dodati datoteku s koordinatama kontrolnih točkama i odrediti koordinatni sustav. GCP-ove je potrebno ručno označiti na snimkama. Računalo korišteno za obradu radi na Intel Core i5 procesoru te je opremljeno s 8 GB RAM-a. Zbog ograničenosti korištenog računala svi parametri obrade postavljeni su najniže opcije. Kao i kod Site Scana rezultati obrade su ortomozaik, model terena, oblak točaka i 3D model.



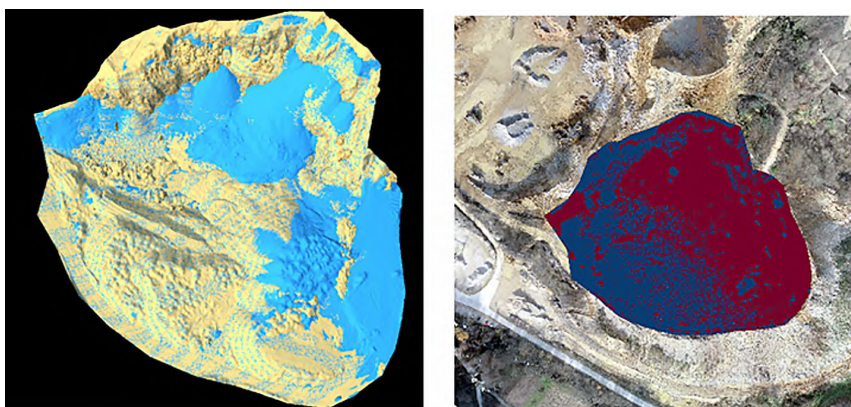


Slika 3: Izrezivanje rastera (Rakocija, 2022)

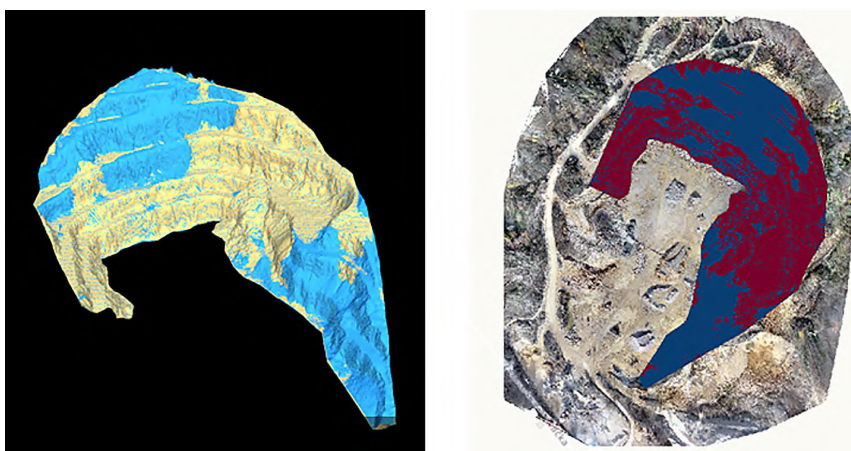
### 3.3. Određivanje promjene volumena

Proces određivanja volumena u Site Scan-u i Drone2Mapu započinje jednako, određivanjem poligona od interesa. Razlika volumena u Site Scan-u određuje se pomoću alata „Cut Fill“ u kojoj je potrebno definirati plohe koje se uspoređuju na prostoru odabranog poligona. U Drone2mapu nije moguće napraviti usporedbu dvije plohe već je takve operacije potrebno odraditi u ArcGisu. Razlika volumena računa se uspo-

redbom dva DSM-a (Digitalni model terena). Jedan od njih potrebno je izrezati na područje poligona od interesa pomoću naredba „Raster Clip“. Za „Input Raster“ potrebno je odabrati DSM, a za „Output Extent“ poligon. Uz to potrebno je odabrati opciju „Use Input Features for Clipping Geometry“ kako bi se raster izrezao točno po rubovima poligona, a ne po kvadratu koji omeđuje poligon. Proces izrezivanja rastare prikazan je na Slici 3.



Slika 4: Promjene u Site Scan-u (lijevo) i Drone2Mapu (desno)-deponija (Rakocija, 2022)



Slika 5: Promjene u Site Scan-u (lijevo) i Drone2Mapu (desno)-kamenolom (Rakocija, 2022)

Tablica 2: Promjena volumena-kamenolom

PROMJENA VOLUMENA [m <sup>3</sup> ]			
RAZDOBLJE	SITE SCAN kamenolom / deponij	DRONE 2 MAP kamenolom / deponij	RAZLIKA kamenolom / deponij
31.05-15.07.	69533,99 / 4535,46	77400,06 / 4774,72	7866,07 / 239,26
15.7-19.11	250693,50 / 16241,84	245699,8 / 15531,04	-4993,7 / -710,8
31.05-19.11.	320271,99 / 20787,62	329849,8 / 20306,19	9577,81 / -481,43
∑ (1. i 2. snimanje)	320227,49 / 20777,9	323099,8 / 20305,76	2872,31 / -472,14
Ukupna promjena	320149,74 / 20782,46	326474,4 / 20305,98	6324,66 / -476,48

Ako je jedan od rastera koji se koriste u usporedbi izrezan, drugog nije potrebno izrezivati. Kako bi se odredila promjena volumena koristi se naredba „Cut Fill“. Kao parametre naredbe potrebno je definirati raster „prije“ i raster „poslije“, lokaciju spremanja te Z faktor. Z faktor se koristi kada horizontalne koordinate i visina nisu u istim mjernim jedinicama. Kako su ovom primjeru sve koordinate u metrima Z faktor se postavlja na 1. Za razliku od Site Scan-a, ArcGis ne daje odmah vrijednosti cut-a i fill-a već ih je potrebno samostalno izračunati iz podataka atributne tablice dobivenog sloja. Ako se zbroje sve pozitivne vrijednosti dobije se volumen koji je iskopan, a zbrojem negativnih vrijednosti volumen koji se nalazi iznad početne plohe. Oba programa uz brojčanu vrijednost promjene daju i vizualni prikaz iste (Slike 4 i 5).

#### 4. Analiza rezultata određivanja volumena

Na području kamenoloma (Slika 4) najviše materijala se iskopalo iz centralnog dijela i s desnog bloka kamenoloma. Na području deponije (Slika 5) najviše materijala se ispustilo u podnožju litica koje okružuju deponiju. To je posljedica toga što se u kamenolomu iskopi intenzivno odvijaju na desnom bloku, prostoru koji dijeli kamenolom i deponiju. Zbog toga dolazi do potrebe da se ceste koje se koriste za prilaz tom dijelu kamenoloma moraju izmjestiti bliže deponiji. Prilikom ravnjanja terena za nove ceste višak materijala se ispušta na deponiju.

U Tablici 2 prikazane su dobivene vrijednosti promijene volumena određene u Site Scan-u i Drone2Map-u. Treba naglasiti da su u tablici prikazane „Net“ vrijednosti promijene, odnosno kod izračuna promijene volumena u kamenolomu od „Cut“ vrijednosti je oduzet „Fill“, a kod izračuna volumena nasutog materijala na području deponije od „Fill“ vrijednosti oduzet je „Cut“. „Net“ vrijednosti korištene su kako bi se što točnije odredila nastala promjena. Za vrijednost ukupne promijene uzeta je aritmetička sredina promijene nastale između prvog i zadnjeg snimanja te sume promijene nastale između prvog i drugog te drugog i trećeg snimanja. Ukupna promjena za područje kamenoloma dobivena Site Scan-om iznosila je

320149,74 m<sup>3</sup>, istu promjenu Drone2Map odredio je na 326474,4 m<sup>3</sup>. Razlika volumena dobivenih u dva različita softvera iznosi 6324,66 m<sup>3</sup>. Ako tu razliku podijelimo sa 172, odnosno brojem dana koliko je trajalo praćenje, dobijemo vrijednost od 37 m<sup>3</sup> dnevne razlike. Vrijednost promijene na području deponije Site Scan je odredio na 20782,46 m<sup>3</sup>, a Drone2Map na 20305,98 m<sup>3</sup>. Razlika dobivenih vrijednosti je 476,48 m<sup>3</sup>, što daje 3 m<sup>3</sup> dnevne razlike. S obzirom na trajanje praćenja kamenoloma i deponije te vrijednosti ukupne promjene, ove razlike možemo smatrati zanemarivim, a dobivene rezultate gotovo istim.

#### 5. Zaključak

Uporaba bespilotne letjelice za snimanje kamenoloma pokazala se iznimno korisnom i efikasnom. Kao glavne prednosti dronova u odnosu na standardne metode terestričkog snimanja mogu se izdvojiti brzina, jednostavnost i točnosti podataka, ali prvenstveno manja razina opasnosti kojoj se geodeti izlažu tijekom snimanja. Ispitana su dva različita softvera za obradu podataka odnosno određivanje volumena promjena iskopa kamenoloma praćenih u tri navrata. Site Scan iznimno je intuitivan i jednostavan za korištenje, daje brze rezultate te je baziran na oblaku s automatiziranim procesima dobivanja rezultata. S druge strane Drone2Map pruža puno veću kontrolu parametara obrade podataka što iziskuje veće znanje, ali i daje puno više mogućnosti nad krajnjim rezultatom. Razlika volumena promjena u kamenolomu dobivenim analizom u Site Scan-u i ArcGis-u (Drone2Map) iznosila je 6325 m<sup>3</sup>, a na području deponije 477 m<sup>3</sup>. Ako bi se ta razlika podijelila s brojem dana koliko je praćen kamenolom dobile bi se vrijednosti od 37 m<sup>3</sup> za kamenolom i 3 m<sup>3</sup> a deponiju. Iako su parametri kvalitete obrade snimki u Site Scan-u bili postavljeni na maksimalne, a u Drone2Map-u na minimalne vrijednosti nije došlo do znatne razlike u dobivenim vrijednostima promjene volumena. Dobivene razlike su zanemarive s obzirom na vrijednosti ukupne promjene i trajanje praćenja aktivnosti u kamenolomu. Od dva korištena softvera ne može se izdvojiti jedan kao bolji, može se reći da oba obavljaju svoj posao, a o samom korisniku i njegovim potrebama ovisi koji će odabrati.

## Literatura

---

Frederiksen, M. H., Vrancianu Mouridsen, O.-A., Praest Knudsen, M. (2019): Drones for inspection of infrastructure: Barriers, opportunities and successful uses, Centre for integrative innovation management, SDU, Denmark.

Palik, M., Nagy, M. (2019): Brief History of UAV Development, *RepTudKoz*, 31, 1, 155–166

Rakocija, M. (2022): Ispitivanje ESRI Site Scan i Drone Collection softvera za inspekcijsko snimanje flotom dronova, Diplomski rad, Geodetski fakultet, Zagreb

Reich, K., Hoffmann, U., Foti, P., Weindl, K. (2022): Usage of Drones, ENTSO-E, Brussels

Šulyova, D., Vodak, J. (2021): Benefits and limitations of using UAVs in different areas with a focus on the environment, *Journal of Information, Control and Management Systems*, 18, 2.

URL 1: SESAR: European Drones Outlook Study, <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/>

[documents/reports/European\\_Drones\\_Outlook\\_Study\\_2016.pdf](#), (4.7.2023.).

URL 2: Flyability, A GUIDE TO HOW DRONES ARE USED FOR INSPECTIONS, <https://www.flyability.com/drone-inspections>, (4.7.2023.).

URL 3: Site Scan Flight Planning v4.0 Release, <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/site-scan/imagery/site-scan-flight-planning-v4-0-release/>, (4.7.2023.).

URL 4: Site Scan, <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=913b21e868954d5e9c9c19961f53d6a3>, (4.7.2023.).

URL 5: Drone2Map, <https://learn.arcgis.com/en/projects/get-started-with-arcgis-drone2-map/>, (4.7.2023.).

# Testing Software Solutions for Drone-based Inspection Imaging

## Abstract

---

Significant progress in unmanned aerial vehicle (UAV) technology has led to their increasingly wide applications in various sciences and industries, including geodesy. The expansion of UAV technology has been greatly facilitated by the development of software for processing the collected imagery, which enables highly accurate results. The main outcomes of processing data collected by UAVs include point clouds, orthomosaics, terrain models, and 3D models of surfaces and objects. With correctly georeferenced processing results, various measurements and analyses can be performed, making this technology applicable for various purposes. One such application is the different objects inspection, which allows monitoring the condition of an object over time. The use of drones for inspectional imaging has accelerated the data collection process compared to traditional terrestrial measurement methods. This study will examine the applicability of UAVs in the inspectional imaging of quarries and compare the results of volume change determination over time obtained from data processing in two different software programs (Drone2Map and Site Scan).

**Keywords:** *Aerial vehicle (UAV), Drone2Map, Quarry, Site Scan*



# Doprinos satelitskog sustava Galileo razvoju servisa CROPOS-a

Danijel Šugar<sup>1</sup>, Ana Kliman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, dsugar@geof.hr

<sup>2</sup> German Aerospace Center (DLR), Institute of Communication and Navigation, Oberpfaffenhofen, Germany, ana.kliman@dlr.de

## Sažetak

CROPOS kao nacionalna permanentna GNSS mreža uspostavljena je 2008., a modernizirana 2019. godine uz financijsku podršku bespovratnih sredstava EU-a i državnoga proračuna. Kroz projekt modernizacije CROPOS-a zamijenjene su sve GNSS stanice s najmodernijim uređajima i opremom, a unaprijeđen je i kontrolni centar u SU DGU. Od tri servisa CROPOS-a, dva su servisa (VPPS i GPPS) najkorišteniji u geodetskoj operativi, a kroz ovaj je rad dana procjena o tome kako je uključenje podrške za europski satelitski sustav Galileo utjecalo na razvoj dva najkorištenija servisa CROPOS-a. Određivanje koordinata direktno na terenu (VPPS) kao i prikupljanje mjerenja za naknadnu obradu (GPPS) obavljeno je primjenom sofisticiranog GNSS uređaja Trimble R12 i Pravilnika o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (Narodne novine, 2020). Kod VPPS-a korištene su sve dostupne korekcije (GPS, GLO, GAL) kao i korekcije samo za sustav Galileo (GAL), dok su kod GPPS-a korištena opažanja svih GNSS satelita (GPS, GLO, GAL, BDS). Rješenja dobivena iz samo GAL opažanja pokazala su neznatno lošije rezultate u odnosu na one dobivene iz opažanja svih satelitskih sustava.

**Ključne riječi:** CROPOS, Galileo, GNSS, modernizacija, servisi

## 1. Uvod

Klasična ili tzv. single-base RTK (Real-Time Kinematic) metoda u Hrvatskoj se za određivanje koordinata opažanjem GPS satelita primjenjuje od kraja 20. stoljeća. Glavni limitirajući faktor primjene klasične RTK metode bio je korištenje najmanje dva prijamnika – baznog (referentnog) i pokretnog (rover) kao i ograničenje udaljenosti (bazne linije) između baznog i pokretnog prijamnika do maksimalnih 20 km (El-Mowafi 2012). Nakon tih udaljenosti dolazi do tzv. dekorelacije o udaljenosti ovisnih pogrešaka (ionosferska refrakcija, troposferska refrakcija i pogreške orbite) što otežava ili onemogućava određivanje faznih višeznačnosti (ambiguiteta), a time i određivanje koordinata u realnom vremenu.

Da bi se tome doskočilo, razvijena je tzv. mrežna RTK metoda (Network RTK – NRTK) gdje se za računanje korekcija koriste podaci prikupljeni u mreži koja pokriva šire područje (npr. područje države), a korekcije se isporučuju pokretnom (rover) prijamniku putem mobilne telekomunikacijske mreže. Da bi takav koncept bio izvediv potrebno je bilo imati umrežene permanentne GNSS satnice te razvijenu infrastrukturu s dovoljnom pokrivenošću signala mobilne telekomunikacijske mreže.

Upravo to se dogodilo 2008. godine kada je uspostavljen CROPOS, hrvatska nacionalna mreža permanentnih GNSS stanica ravnomjerno raspoređenih po državnom teritoriju na prosječnoj međusobnoj udaljenosti od oko 70 km. Zbog pouzdanijeg računanja korekcija opažanja, a posljedično i pouzdanijeg određivanja koordinata u graničnim područjima RH,

od 2009. godine se krenulo s razmjenom podataka opažanja s GNSS stanicama iz susjednih zemalja. Nakon povećanja broja GNSS stanica uspostavljenih na teritoriju RH na ukupno 33 te dodatnim uključenjem 18 stanica iz okruženja, u mrežno rješenje CROPOS-a je u jednome trenutku bilo uključeno ukupno 51 stanica. Modernizacija GPS-a i GLONASS-a kao i razvoj europskog sustava Galileo i kineskog BeiDou nametnuli su potrebu modernizacije CROPOS-a, omogućivši ponajprije podršku za Galileo, ali i poboljšanje kvalitete pozicioniranja. Ovaj rad prikazuje dio širih istraživanja koja su provedena kroz diplomski rad Kliman, (2021), a prikazana u Šugar i dr., (2023).

## 2. CROPOS i njegova modernizacija

CROPOS omogućava tri servisa pozicioniranja koji se međusobno razlikuju po metodi rješenja, točnosti, načinu prijenosa podataka i njihovu formatu: DSP (Diferencijalni servis pozicioniranja u realnom vremenu – točnost ispod 1 m), VPPS (Visokoprecizni servis pozicioniranja u realnom vremenu – centimetarska točnost) i GPPS (Geodetski precizni servis pozicioniranja – subcentimetarska točnost) (URL 1). S obzirom na to da se DSP temelji na kodnim opažanjima te kao takav postiže submetarsku točnost, taj se servis ne koristi za geodetske potrebe (GIS, navigaciju, zaštitu okoliša, poljoprivredu i šumarstvo) te je posljedično najmanje korišten servis CROPOS-a. VPPS se temelji na umre-



ženim kodnim i faznim opažanjima čime se postižu točnosti pozicioniranja u realnom vremenu u rasponu od 2 cm položajno (2D) do 4 cm po visini (3D). GPPS omogućava subcentimetarsku točnost pozicioniranja kada se koriste podaci opažanja realnih referentnih stanica (CORS – Continuously Operating Reference Station), a kada se koriste podaci virtualnih referentnih stanica (VRS – Virtual Reference Station), tada se ostvaruju točnosti pozicioniranja 0,02 – 0,04 m (ibid.). Računanje korekcija i njihova distribucija u CROPOS-u se temelje na konceptu VRS-a, detaljnije o čemu u npr. Landau i dr., (2002) ili u Petovello, (2011). O drugim konceptima mrežnog RTK rješenja može se promaći u npr. Premužić i dr., (2010) ili El-Mowafy, (2012).

U godinama nakon njegove uspostave, CROPOS se kontinuirano nadograđivao, poboljšavao, održavao i ažurirao pa su tako 2011. godine uvedene on-line usluge za transformaciju datuma, tijekom 2012. godine obavljena je značajna nadogradnja kontrolnog centra CROPOS-a kada je GPS Net upravljački program zamijenjen s Trimble Pivot Platform (TPP) omogućujući učinkovitije upravljanje i održavanje čitavog sustava. Početkom 2017. godine zamijenjena je računalna i programska oprema kontrolnog centra CROPOS-a: nabavljeni su novi serveri, potrebna komunikacijska oprema te sustavi za pohranu podataka što je omogućilo nadogradnju postojećeg softvera s najnovijim programskim rješenjima. Prema Marjanović i Ciprijan, (2018a), broj registriranih tvrtki i korisnika kontinuirano se povećavao od uspostave CROPOS-a (9. prosinca 2008.) pa je tako do 30. lipnja 2018. godine ukupno bilo registrirano 869 tvrtki. Od ukupno izdanih 2261 korisničkih imena (30. lipnja 2018.), 26 je bilo korisnika DPS-a, 1293 korisnika VPPS-a, dok je korisnika GPPS-a bilo 942 čime se VPPS istaknuo kao najkorišteniji servis CROPOS-a te je kao takav postao nezaobilazan alat za obavljanje svakodnevnih zadataka u geodetskoj operativi.

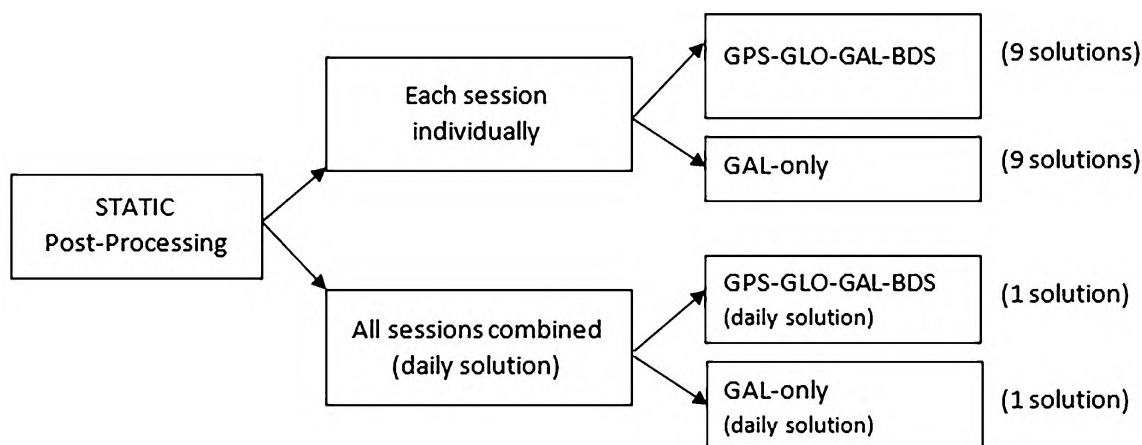
Državna geodetska uprava prijavila je projekt za dodjelu bespovratnih sredstava pod nazivom „Unaprjeđenje Hrvatskoga pozicijskog sustava (CROPOS) povezivanjem s europskim globalnim satelitskim sustavom Galileo“. Projekt je prihvaćen te je 13. lipnja 2018. potpisan Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava za projekte financirane iz Europskih strukturnih i investicijskih fondova u financijskom razdoblju 2014. – 2020. Cilj projekta bio je unaprijediti CROPOS na način da se: (1) na svim lokacijama referentnih stanica postojeći GNSS uređaji i antene zamijene s novima koji imaju mogućnost primanja signala satelitskog sustava Galileo te (2) da se nadogradi upravljački program kontrolnog centra u istu svrhu (Marjanović i Ciprijan, 2018b). Modernizacijom su postojeći GNSS prijmnici Trimble NetR5 i antene Zephyr Geodetic 2 w/Dome zamijenjeni novim i naprednijim prijmniciima Trimble Alloy i antenama Zephyr Geodetic 3 w/Dome (URL 2). Projekt je financiran s 85% bespovratnih sredstava iz Europskog fonda za regionalni razvoj, a 15% iz državnog proračuna, a započeo je s provedbom 1. rujna 2018. godine da bi završio 31. kolovoza 2019. godine (URL 3). Nakon modernizacije CROPOS-a provedene 2019., početkom 2023. godine uspostavljeno je i u CROPOS uključeno dodatnih pet stanica u: Splitu (Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sve-

učilišta u Splitu), Zagrebu (Kostanjek), Jastrebarskom, Glini i Pazinu. Zbog rekonstrukcije i obnove zgrade Geodetskog fakulteta na adresi Kačićeva ulica 26 u Zagrebu, početkom mjeseca ožujka 2023., GNSS prijmnik Trimble Alloy i pripadajuća antena Trimble Zephyr Geodetic 3 (TZGD) s točke ZAGR premješteni su na obližnju RGNF točku na zgradi Rudarsko-geološko-naftnog (RGN) fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Trenutačno (kolovoz 2023. godine) u CROPOS mrežu je uključeno 37 stanica s područja RH te dodatnih 18 stanica iz susjednih zemalja što ukupno čini 55 GNSS stanica uključenih u mrežni rješenje. Sukladno Zakonu o izmjenama i dopuni Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (Narodne novine, 2022), od dana 7. travnja 2022. godine, ne naplaćuje se naknada za korištenje podataka servisa CROPOS-a u realnom vremenu, tj. DPS-a i VPPS-a (URL 4).

### 3. Planiranje opažanja i terenska mjerenja

Projektom modernizacije CROPOS-a, u VPPS su dodane nove usluge, tj. tzv. točke montaže (mount points) na kojima su dostupne i korekcije koje su dobivene iz opažanja satelita sustava Galileo. Tako je korisnicima dano na raspolaganje nekoliko 'točaka montaže' u formatu RTCM 3.2 (npr. CROPOS\_VRS\_GGG\_RTCM32), dostupnih na IP adresi 195.29.198.194, portu 2101 (URL 5). Što se tiče podataka opažanja za pojedinu CORS ili VRS točku unutar GPPS-a, pored od ranije dostupnih opažanja GPS i GLONASS satelita, nakon modernizacije su dostupni i podaci satelitskih sustava Galileo i BeiDou.

Kako bi se u potpunosti iskoristile mogućnosti moderniziranog CROPOS-a, za terenska mjerenja je korišten sofisticirani GNSS prijmnik Trimble R12. Sukladno specifikacijama (Trimble, 2019), uređaj omogućava praćenje 672 kanala i svih GNSS satelita (GPS, GLO, GAL, BDS), uključuje Trimble ProPoint GNSS tehnologiju za fleksibilno upravljanje signalima pomažući ublažavanju efekata degradacije signala te nudeći tzv. agnostički GNSS pristup kojim je pozicioniranje moguće na osnovi svakog pojedinog satelitskog sustava. Planiranje opažanja je provedeno za dan 14. srpnja 2020. koristeći alat Trimble GNSS Planning Online (URL 6), za lokaciju igrališta u blizini Geodetskog fakulteta u Zagrebu i samo za Galileo satelite. Naime, na taj dan su GPS i GLONASS imali punu operativnu sposobnost, BeiDou je bio pred njezinim proglašenjem (službeno objavljeno 31. srpnja 2020., URL 7), a Galileo je u svojoj konstelaciji imao 22 operativna satelita. Cijeli je dan podijeljen ukupno u 10 sesija s različitim brojem vidljivih Galileo satelita (4–8), a posljedično i različitim vrijednostima PDOP-a (1.7 – 4.3): 4 dobre sesije, 4 loše, 2 srednje. Sukladno Pravilniku o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (Narodne novine, 2020), a povezano s upotrebom CROPOS-a, koordinate točaka dopunske mreže GNSS točaka određuju se primjenom VPPS-a kroz najmanje dva neovisna ponavljanja, svako ponavljanje ima 3 uzastopna mjerenja – svako mjerenje u trajanju od 30 sekundi (30 epoha mjerenja). Slijedom toga, u svakoj su sesiji opažanja obavljena po sljedećem rasporedu:



Slika 1: Shematski prikaz statičkih računanja u TBC-u (ver. 5.3) (Šugar i dr., 2023)

- VPPS (GGG): 30 s,
- VPPS (GGG): 30 s,
- VPPS (GGG): 30 s,
- VPPS (GAL-only): 30 s,
- VPPS (GAL-only): 30 s,
- VPPS (GAL-only): 30 s,
- GPPS (GGGB): 22 min,

za čiju je provedbu trebalo približno 27 minuta vremena. Za svako zasebno ponavljanje definiran je poseban tzv. stil mjerenja pa su tako stil mjerenja VPPS (GAL-only) sastojao od sljedećih parametara: GGG, 10°, 30 s, RTCM 3.2 MSM, PDOP 6. Sva su mjerenja (kinematička i statička) prikupljena na istoj točki na kojoj je GNSS uređaj Trimble R12 bio postavljen na mjernom štapu duljine 2,000 m, učvršćen dvonožnim držačem, a referentna točka uređaja je orijentirana prema sjeveru zbog eliminacije varijacije faznih centara antene. Upravljanje GNSS prijarnikom i mjernim procesom obavljeno je preko tableta T7, operativnog sustava Win 10 te softvera Trimble Access ver. 2019.11.

## 4. Obrada mjerenja i rezultati pozicioniranja

Odmah po povratku s terena, obavljeno je preuzimanje (download) podataka statičkih opažanja iz prijarnika na osobno računalo u formatu T04. Također, podaci kinematičkih mjerenja su preuzeti kroz tzv. Job-datoteke što je omogućilo naknadnu obradu rezultata pozicioniranja. Iz GPPS-a CROPOS-a, tj. CROPOS GNSS Reference Station Web Servera (URL 8) preuzeti su podaci opažanja za CORS točku ZAGR te dodatno dvije VRS točke, sve one na približnoj udaljenosti <1 km.

### 4.1. Statička mjerenja (GPPS)

Obrada podataka opažanja (računanja vektora) i izjednačenje mreže obavljeno je u programskom paketu Trimble Business Center (TBC), ver. 5.3 koja omogućava dobivanje rješenja na osnovi opažanja zaseb-

nih satelitskih sustava kao i njihove kombinacije. Za potrebe računanja kreirano je ukupno 20 projekata gdje su za svaku pojedinu sesiju statičkih opažanja dobivene koordinate iz opažanja svih sustava (GPS-GLO-GAL-BDS), koordinate samo iz opažanja Galileo satelita (GAL-only) kao i dva dnevna (kombinirana) rješenja dobivena iz podataka svih sustava (GPS-GLO-GAL-BDS) kao i na osnovi samo Galileo satelita (GAL-only). Obrada statičkih opažanja shematski prikazana je na slici 1.

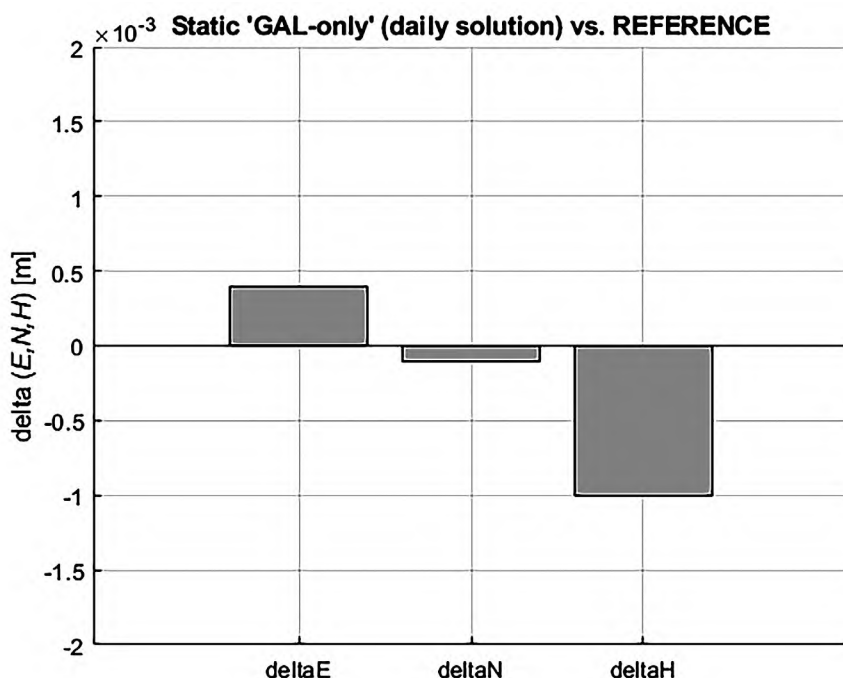
Kombinirano (dnevno) rješenje dobiveno iz opažanja svih sustava (GPS-GLO-GAL-BDS) smatrano je najpouzdanijim te je ono korišteno kao referentna vrijednost pri ocjeni kvalitete (točnosti) postignutog dnevnog (GAL-only), ali i ostalih rješenja iz zasebnih sesija. Tako je kombinirano statičko dnevno rješenje na osnovi samo Galileo satelita (GAL-only) pokazalo vrlo male razlike u odnosu na referentno rješenje:  $\Delta E = 0,0004$  m,  $\Delta N = -0,0001$  m, i  $\Delta H = -0,0010$  m (prikazano na slici 2).

Kada se zajedno usporede i analiziraju položajna statička rješenja dobivena iz zasebnih sesija 'GAL-only' kao i iz sesija 'GPS-GLO-GAL-BDS', što je prikazano na slici 3, tada se dolazi do zaključka da su sva zasebna 'GAL-only' rješenja unutar radijusa 6 mm, dok su sva zasebna (GPS-GLO-GAL-BDS) rješenja unutra radijusa 5 mm. Sa slike 3 je općenito vidljivo da rješenja (GPS-GLO-GAL-BDS) pokazuju veću razinu konzistentnosti, tj. manju razinu rasapa u odnosu na 'GAL-only' rješenja. Što se tiče visina, maksimalno odstupanje 'GAL-only' rješenja u odnosu na REFERENTNU vrijednost dostiže 16 mm, dok je to kod (GPS-GLO-GAL-BDS) maksimalnih 3 mm.

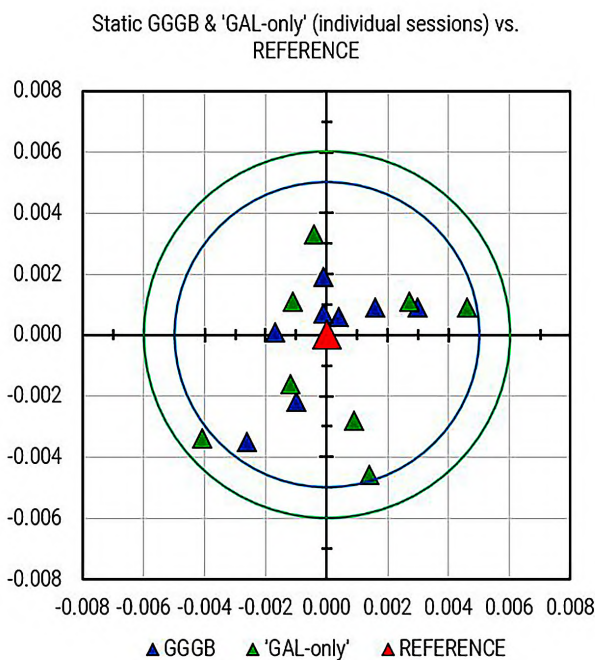
### 4.2. Kinematička mjerenja (VPPS)

Slična je analiza napravljena i za rezultate dobivene iz VPPS opažanja. Kada se položajno prikazu svi rezultati dobiveni iz (GGG) i 'GAL-only' rješenja tada je sa slike 4 uočljivo da se svi zasebni (GGG) rezultati nalaze unutar radijusa 6 mm, a svi 'GAL-only' rezultati unutar radijusa 7 mm.

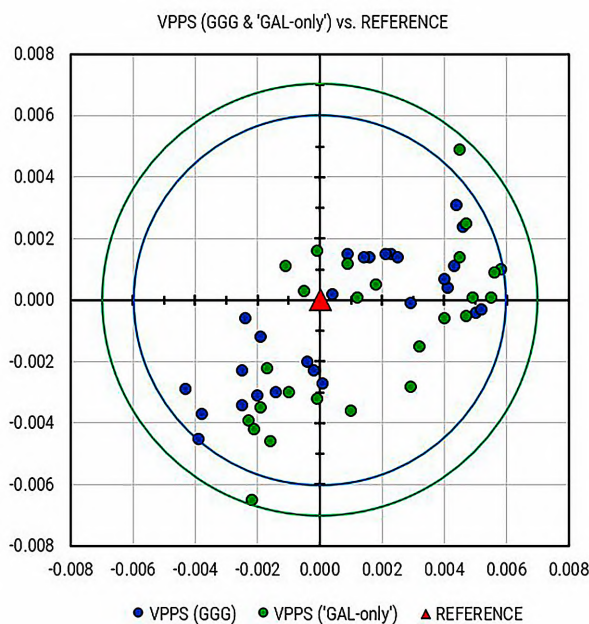
Što se tiče visina, odstupanja GGG rješenja od REFERENTNOG nalaze su u rasponu od -12 mm do +5 mm, dok je to kod 'GAL-only' u rasponu od -15 mm do +7 mm.



Slika 2: Odstupanja 'GAL-only' kombiniranog (dnevnog) rješenja u odnosu na REFERENTNE vrijednosti (Šugar i dr., 2023); vrijednosti na ordinatnoj osi dane su u mjernoj jedinici [mm]



Slika 3: Statička 'GGGB' i 'GAL-only' rješenja u usporedbi s REFERENTNOM vrijednosti (Šugar i dr., 2023); vrijednosti na koordinatnim osima dane su u mjernoj jedinici [m]



Slika 4: VPPS rješenja (GGG i 'GAL-only') u odnosu na REFERENTNU vrijednost (Šugar i dr., 2023); vrijednosti na koordinatnim osima dane su u mjernoj jedinici [m]

## 5. Zaključak

Provedbom projekta modernizacije CROPOS-a koji je realiziran tijekom 2019. godine uz pomoć bespovratnih sredstava EU, omogućeno je korištenje podrške za europski satelitski sustav Galileo kao i kineski su-

stava BeiDou. Na svim lokacijama mreže, postojeći su uređaji i oprema zamijenjeni najnovijim GNSS prijateljima Trimble Alloy i antenama Zephyr Geodetic 3 w/Dome. VPPS CROPOS-a je nadograđen za dodatne



točke montaže koje podržavaju opažanja Galileo satelita, a korekcije se isporučuju u formatu RTCM 3.2 MSM. GPPS CROPOS-a omogućava dobivanje opažanja svih podržanih sustava (GPS, GLO, GAL, BDS), a podaci se za naknadnu obradu mogu preuzeti u novijim Trimble formatima (T02) kao i RINEX formatima (3.04). Izvedba servisa CROPOS-a i prije modernizacije je bila na visokoj razini i unutar deklariranih razina točnosti, stoga značajnije poboljšanje u smislu povećanja točnosti nije postignuto. Poboljšanja koja su omogućena modernizacijom ponajprije su vidljiva kroz povećanje dostupnosti satelita od prijašnjih 54 (31 GPS + 23 GLO) na ukupno 126 satelita (31 GPS + 23 GLO + 22 GAL + 50 BDS) u srpnju 2020. godine.

Rezultati ispitivanja pokazali su da, iako Galileo nije postignuo razinu svoje potpuno operativne sposobnosti (Full Operational Capability – FOC), kada je sustav u mogućnosti dati neovisno i samostalno rješenje (GAL-only), ono je dobiveno s deklariranom točnosti servisa. Ovdje treba naglasiti da su rezultati ispitivanja postignuti primjenom sofisticiranog, tzv. 'GNSS agnostic' uređaja, u uvjetima gotovo čistog horizonta, bez izvora ili s vrlo slabim izvorom multipatha kao i to da su terenska mjerenja obavljena primjenom Pravilnika o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova. Budući da je Galileo konstelacija još uvijek u fazi uspostave i izgradnje, mogući su vremenski prozori s vidljivošću <5 GAL satelita što onemogućuje postizanje samostalnog (GAL-only) kinematičkog rješenja u realnom vremenu. Rezultati statičkih rješenja dobivenih iz 'GAL-only' podataka opažanja pokazuju neznatno veći rasap i nalaze se unutar radijusa 6 mm od referentnog rješenja, dok se rezultati statičkih GPS+GLO+GAL+BDS rješenja nalaze se unutar radijusa 5 mm od referentne vrijednosti. Slične pokazatelje su pokazala i VPPS rješenja: GAL-only rezultati se nalaze unutar radijusa 7 mm, a GGG rješenja unutar radijusa 6 mm od referentne vrijednosti. Uspostavom pune konstelacije sustava Galileo kroz buduće razdoblje, očekuju se dodatna poboljšanja CROPOS-a posebice kroz poboljšanja pouzdanosti sustava i rada servisa.

## Zahvala

*Autori iskazuju zahvalnost tvrtki Geomatika Smolčak d.o.o. i njezinu direktoru gosp. Nenadu Smolčaku na posudbi GNSS uređaja Trimble R12. Zahvaljujemo Državnoj geodetskoj upravi (DGU) na omogućavanju pristupa servisima CROPOS-a.*

## Literatura

El-Mowafy, A. (2012): Precise Real-Time Positioning Using Network RTK, In Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications, Shuanggen, J. (Ed.), IntechOpen, London, UK, 161–188.

Kliman, A. (2021): Satelitski sustav Galileo i njegova implementacija kroz modernizaciju CROPOS-a, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Zagreb.

Landau, H., Vollath, U., Chen, X. (2002): Virtual Reference Station Systems, J. Glob. Position. Syst., 1, 2, 137–143.

Marjanović, M., Ciprijan, M. (2018a): CROPOS – deset godina rada, Zbornik radova 5. CROPOS konferencije, Marjanović, M., Pavasović, M. (ur.), Državna geodetska uprava, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb, 15–25.

Marjanović, M., Ciprijan, M. (2018b): Unaprjeđenje hrvatskoga pozicijskog sustava (CROPOS) povezivanjem s europskim globalnim satelitskim sustavom Galileo, Zbornik radova 5. CROPOS konferencije, Marjanović, M., Pavasović, M. (ur.), Državna geodetska uprava, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb, 27–32.

Narodne novine (2020): Pravilnik o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova, br. 15/20, Zagreb.

Narodne novine (2022): Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, br. 39/22, Zagreb.

Petovello, M. (2011): GNSS Solution: Virtual Reference Station, Inside GNSS, 6, 28–31.

Premužić, M., Šugar, D., Marjanović, M. (2010): Koncepti mrežnih RTK rješenja, GIS, fotogrametrija i daljinska istraživanja u službi geodezije i geoinformatike, Markovinović, Danko (ur.), Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb, 174–186.

Šugar, D., Kliman, A., Bačić, Ž., Nevisitić, Z. (2023): Assessment of GNSS Galileo Contribution to the Modernization of CROPOS's Services, Sensors, 23, 5, 2466, 31.

Trimble (2019): Trimble Inc. Trimble R12 – Datasheet, Available online: [https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2020-10/Datasheet%20-%20Trimble%20R12%20GNSS%20Receiver%20English%20\(US\)%20-%20Screen.pdf](https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2020-10/Datasheet%20-%20Trimble%20R12%20GNSS%20Receiver%20English%20(US)%20-%20Screen.pdf)

URL 1: Servisi CROPOS-a, <https://www.cropos.hr/servisi>, (2.8.2023.).

URL 2: Geomatika Smolčak – Modernizacija CROPOS-a,

<https://geomatika-smolcak.hr/novosti/modernizacija-cropos-sustava/>, (2.8.2023.).

URL 3: Unaprjeđenje CROPOS-a,

<https://www.cropos.hr/projekti/unaprjeđenje-hrvatskog-pozicijskog-sustava-cropos-povezivanjem-s-europskim-globalnim-satelitskim-sustavom-galileo>, (2.8.2023.).

URL 4: CROPOS – Zakon o izmjenama i dopuni Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina,

<https://www.cropos.hr/obavijesti/170-zakon-o-izmjenama-i-dopuni-zakona-o-drzavnoj-izmjeri-i-katastru-nekretnina>, (2.8.2023.).

URL 5: Nove usluge sustava CROPOS,



<https://www.cropos.hr/projekti/unaprjedenje-hrvatskog-pozicijskog-sustava-cropos-povezivanjem-s-europskim-globalnim-satelitskim-sustavom-galileo/164-nove-usluge-sustava-cropos>, (2.8.2023.).

URL 6: Trimble GNSS Planning Online,

<https://www.gnssplanning.com/#/settings>, (2.8.2023.).

URL 7: BeiDou Navigation Satellite System, Completion and Commissioning of the BeiDou Navigation Satellite System (BDS-3) 2020,

[http://en.beidou.gov.cn/WHATSNEWS/202008/t20200803\\_21013.html](http://en.beidou.gov.cn/WHATSNEWS/202008/t20200803_21013.html), (2.8.2023.).

URL 8: CROPOS GNSS Reference Station Web Server, <https://gnss.cropos.hr/Map/SensorMap.aspx>, (2.8.2023.).

# Contribution of Galileo Satellite System in the Development of CROPOS's Services

## Abstract

---

CROPOS as a national permanent GNSS network was established in 2008 and subsequently modernized in 2019 with the financial support of EU and the Croatian national budget. Within the project of modernization, all GNSS stations were equipped with the most recent receivers and the control center was upgraded as well. Out of three services of CROPOS, two services, namely VPPS and GPPS, are the most used ones and through this article is given the assessment on how the inclusion of European Galileo satellite system has contributed to the development of those two CROPOS's services. Positioning in real time on the field (VPPS) along with data gathering for post-processing (GPPS) was carried out using a sophisticated GNSS receiver Trimble R12 and complying to the Regulations on the Fundamental Geodetic Works Performance. By using VPPS in field testing all available corrections were used (GPS, GLO, GAL) as well as the corrections for 'GAL-only', whereas the GPPS was used leveraging the availability of all GNSS satellites (GPS, GLO, GAL, BDS). The solutions obtained with 'GAL-only' observations have shown slightly worse results compared to results obtained with all systems.

**Keywords:** *CROPOS, Galileo, GNSS, modernization, services*

# SESIJA 3

SUVREMENE TEHNOLOGIJE

# Prikupljanje prostornih podataka na teže dostupnim područjima uporabom lidar senzora na bespilotnom zrakoplovu te uporaba podataka za potrebe analize stanja u kriznim situacijama

Dijana Uljarević<sup>1</sup>, Ivan Kovačević<sup>2</sup>, Blaž Vidmar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M SAN Nekretnine d.o.o., Buzinski prilaz 10, Zagreb, Hrvatska, dijana.uljarevic@msan.hr

<sup>2</sup> PLANET IX d.o.o., Buzinski prilaz 10, Zagreb, Hrvatska, ivan.kovacevic@planetix.eu

<sup>3</sup> Flai, Bravničarjeva ulica 13, Ljubljana, Slovenija, blaz.vidmar@flai.ai

## Sažetak

U posljednjih nekoliko godina svjedočimo sve većem utjecaju klimatskih promjena na ekstremne meteorološke uvjete. Svjedočimo potresima, poplavama i snažnim olujnim nevremenima. Često su nepredvidive takve situacije, a ljudi nepripremljeni, zbog čega dolazi do velikih materijalnih šteta. Prostorni podaci, njihova klasifikacija te sačinjavanje baze podataka postali su neizostavne platforme za analizu šteta iz prikupljenih prostornih podataka nakon katastrofalnih događaja. Uloga geodeta i geodezije kao struke, čija je primarna zadaća prikupljanje, obrada, analiza, vizualizacija i objavljivanje obrađenih prostornih podataka u vidu karata i tablica, neizostavna je u procesu analize posljedica nakon katastrofalnih događaja. U ovom radu predstaviti ćemo prikupljene podatke lidar senzorom Zenmuse L1 na bespilotnom zrakoplovu DJI Matrice 300, na području nedostupnog Wi-Fi signala, dijela Parka prirode Papuk, te prijedloge autora kako reaktivnim, ali i proaktivnim pristupom nakon analize prostornih podataka pridonijeti boljem upravljanju kriznom situacijom.

**Ključne riječi:** bespilotni zrakoplov, dron, klasifikacija podataka, lidar, prostorni podaci

## 1. Uvod

Elementarne nepogode i katastrofalne posljedice istih u današnje vrijeme nemoguće je izbjeći. Planiranom gradnjom objekata kao i planiranom hortikulturom pokušavamo ublažiti moguće posljedice i štete nastale prirodnim katastrofama. No, materijalne štete neizostavni su dio takvih situacija. Proaktivnim razmišljanjem, na koji način oblikovati okolinu, možemo uvelike u trenucima kriznih situacija pomoći da žurne službe lakše prilaze ciljanim područjima, kao i da stručnjaci prikupe i analiziraju podatke u cilju što brže procjene i sanacije šteta. U ovom radu prikazati će se klasifikacija prikupljenih prostornih podataka dijela šume Parka prirode Papuk, ciljano, klasifikacija srušenih stabala, koje treba ukloniti i zbrinuti.

### 1.1. Područje istraživanja

Područje prikupljenih podataka približno je 7 km dijela ceste Parka prirode Papuk, širine 40 m. Nadalje, gusta, visoka šuma, zbog udaljenosti od naseljenih mjesta, bez Wi-Fi signala, a zbog brdske konfiguracije terena i guste vegetacije, kategorija je treće klase za geodetsko snimanje terena.

### 1.2. Metoda prikupljanja podataka, vrsta korištenoga bespilotnog zrakoplova i softveri za obradu podataka

Podaci su prikupljeni tehnologijom lidar, senzorom stavljenim na bespilotni zrakoplov DJI Matrice 300 (URL 1). Korišten je softver za prebacivanje podataka s memorije senzora na računalo – DJI Terra (URL 2). Softver korišten za kartiranje podataka je 3Dsurvey (URL 3). Također, softver korišten za klasifikaciju podataka svakoga pojedinog stabla, s posebnom klasom za stabla koja su srušena, jest Flai (URL 4).

### 1.3. Registracije, suglasnosti i odobrenja za rad, let, snimanje i objavljivanje podataka

Za potrebe prikupljanja podataka angažirana je tvrtka Planet IX, koja je registrirani operator pri Hrvatskoj agenciji za civilno zrakoplovstvo, te nositelj suglasnosti za rad u posebnoj kategoriji. Iako Park prirode Papuk spada pod otvorenu kategoriju snimanja, s obzirom na konfiguraciju terena, bilo je jasno da će se dio snimanja obavljati u BVLOS (engl. beyond visual line of sight) udaljenog pilota, da će se prelijetati prometnica na kojoj postoji mogućnost da će se pojaviti auti u kojima bi se nalazili neuključeni



pojedinci, te da će se snimanje obavljati i u dijelu naseljenog mjesta Duzluk. Prema pravilu Parka prirode Papuk, ishođena je i njihova suglasnost za letenje i snimanje na predmetnom području. Prema važećoj uputi Državne geodetske uprave, zatraženo je i odobrenje za snimanje iz zraka, te odobrenje za uporabu snimljenog materijala.

## 2. Postupak snimanja

Planirano snimanje koridora od približno 7 km i širine 40 m izvršeno je u jednom danu, u trajanju od 6 sati. Zbog konfiguracije terena bilo je potrebno napraviti 13 stajališta koja su rezultirala s 13 segmenata point cloudova, kako bi se održala C2 radio veza između kontrolera i bespilotnog zrakoplova. Iako je C2 veza bilo moguće zadržati, bespilotni zrakoplov je u dijelu snimanja bio u tzv. BVLOS situaciji s obzirom na udaljenog pilota.

### 2.1. Izbor senzora

Izbor lidar senzora za prikupljanje podataka, napravljen je kako bi ispitali kvalitetu te vrste podataka i mogućnost klasifikacije na terenu s gustim raslinjem, a s obzirom da su prikupljeni podaci puno brži za procesiranje od najčešće korištenih RGB snimaka i klasične fotogrametrijske metode. Nadalje, lidarom je moguće podatke prikupljati i noću, što omogućava puno dulji okvir snimanja i bržeg dobivanja podataka u slučaju kriznih situacija, kada znamo da je vrijeme ključni faktor u spašavanju ljudi i imovine.

### 2.2. Izbor softvera za obradu podataka

DJI Terra je softver kojim se moraju prebaciti podaci s memorije senzora na računalo. Nakon toga stručnjak može izabrati kojim od dostupnih softvera će raditi kartiranja i klasifikaciju. U ovom slučaju kartiranje je obavljeno softverom 3Dsuryey, jer je pogodan za klasične geodetske zadatke. Za klasifikaciju podataka korišten je softver Flai, jer omogućava trenutačno

najveći broj klasa na tržištu, uz puno skuplji Terra solid i mnogim tvrtkama nedostupan. Ključna klasa za ovaj rad je bila klasifikacija srušenih stabala.

## 3. Proaktivni i reaktivni pristup kriznim situacijama, prijedlozi uporabe prikupljenih prostornih podataka

### 3.1. Proaktivni pristup

Proaktivni pristup obuhvaća:

- planiranje radova za omogućavanje pristupa nedostupnim područjima,
- planiranje kanalskih mreža,
- sanacije nasipa i ostalih objekata namijenjenih umanjivanjima šteta počinjenih kriznim situacijama.

### 3.2. Reaktivni pristup

Reaktivni pristup obuhvaća:

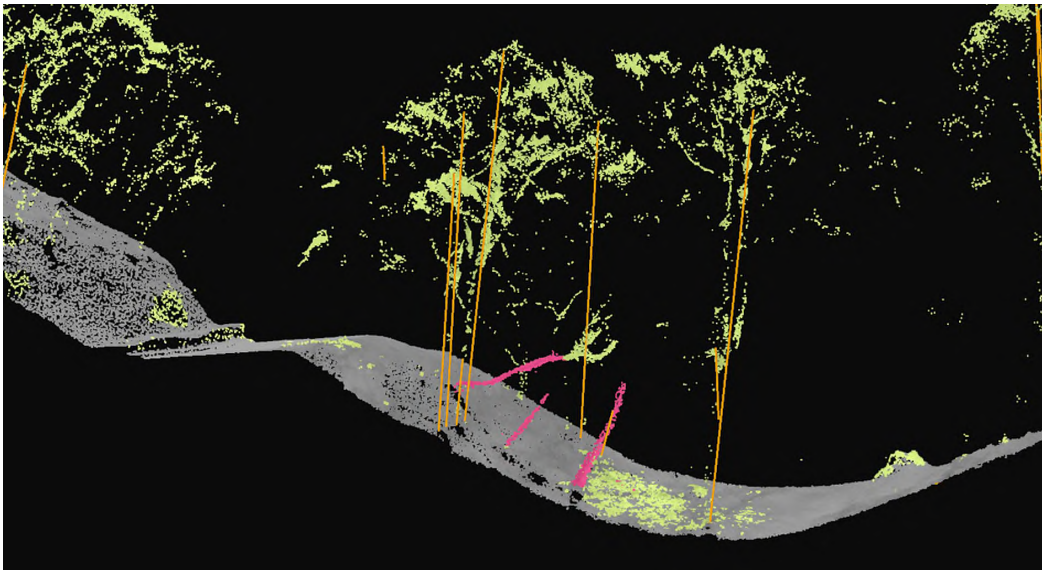
- korištenje prikupljenih podataka za procjenu šteta,
- procjenu potrebnog vremena za sanaciju,
- procjenu potrebe za ljudstvom i strojevima,
- procjenu troškova sanacije,
- moguću procjenu dobiti od prikupljenog materijala tijekom sanacije.

## 4. Grafički primjeri dobivenih podataka

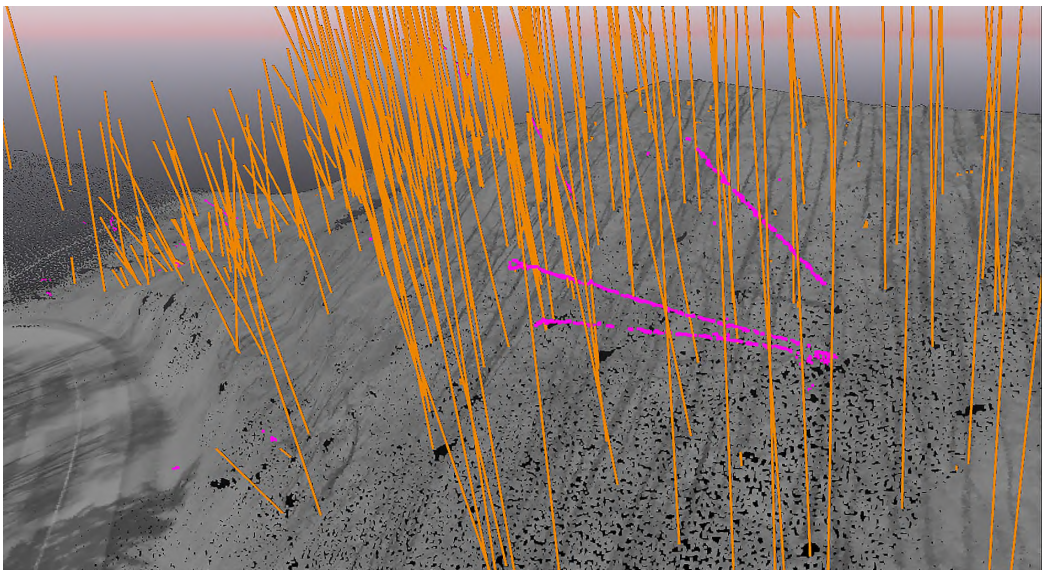
Na Slikama od 1 do 6 dani su odabrani grafički primjeri dobivenih podataka.



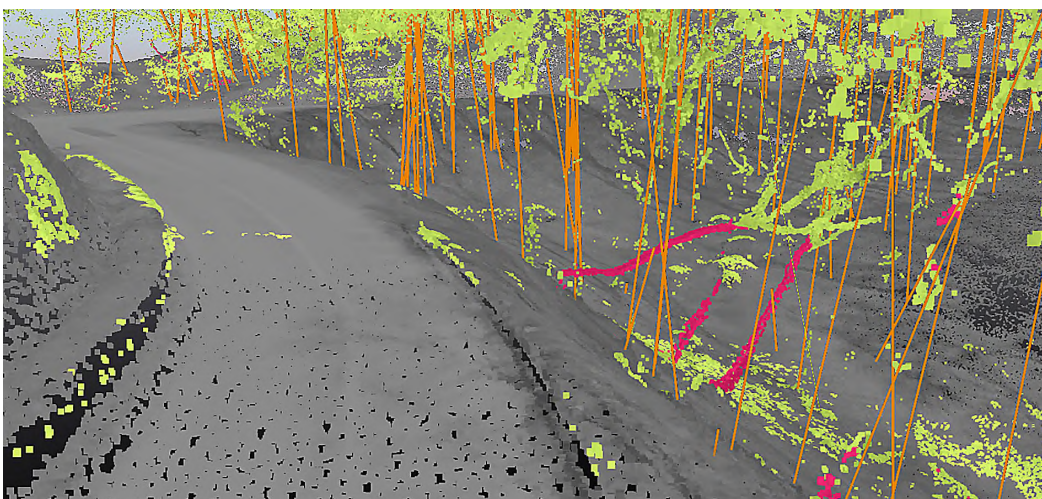
Slika 1: Snimljeni detalj – klasificirani oblak točaka



Slika 2: Klasificirani podaci – klase: tlo (sivo), stabla (narančasto), porušena stabla (magenta)



Slika 3: Klasificirani podaci – klase: tlo (sivo), stabla (narančasto), porušena stabla (magenta)

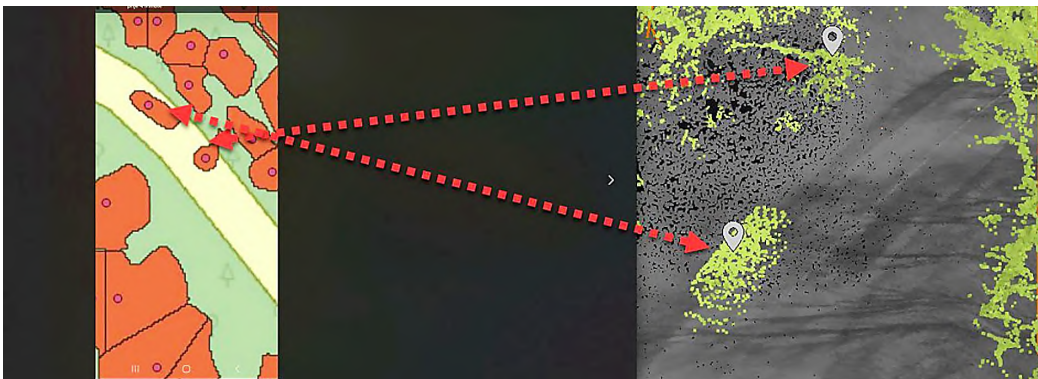


Slika 4: Klasificirani podaci – klase: tlo (sivo), stabla (narančasto), porušena stabla (magenta)





Slika 5: Klasificirani podaci pojedinačni shape stabla



Slika 6: Klasificirani podaci shape

## 5. Zaključak

Uloga geodeta, kao stručnjaka s potrebnim znanjima i vještinama za kvalitetno prikupljanje, obradu i analizu podataka, neophodna je i nemjerljiva korist u upravljanju kriznim situacijama. Svojim kontinuiranim radom navedenim senzorom u svakodnevnim projektima u ispunjavanju drugih geodetskih zadataka, u konstantnoj su vježbi za rad s različitim vrstama senzora za prikupljanje podataka, bespilotnim zrakoplovima te u obradi podataka. Geodetske stručnjake treba uputiti i osnažiti u uključivanje u rad žurnih službi za spašavanje i sanaciju šteta, jer svojim znanjem i iskustvom mogu u mnogome doprinijeti planiranju i bržoj sanaciji nastalih šteta.

## Literatura

URL 1: DJI Matrice 300, <https://enterprise.dji.com/matrice-300>, (1.8.2023.).

URL 2: DJI Terra, <https://enterprise.dji.com/dji-terra>, (1.8.2023.).

URL 3: 3Dsurvey, <https://3dsurvey.si/>, (1.8.2023.).

URL 4: Flai, <https://www.flai.ai/>, (1.8.2023.).



# Collection of Spatial Data in Inaccessible Areas Using Lidar Sensors Mounted on UAV and the Use of Spatial Data in Situational Assessment during Crisis Situation

## Abstract

---

In the last few years, we have witnessed an increasing impact of climate change on extreme weather conditions. We witness earthquakes, floods, strong storms. Such situations are often unpredictable, and people are unprepared, which is why large material damages occur. Spatial data, their classification, and the creation of a database have become indispensable platforms for the analysis of damage from collected spatial data after catastrophic events. The role of surveyors and geodesy as a profession, whose primary task is the collection, processing, analysis, visualization and publication of processed spatial data in the form of maps and tables, is more than needed in the process of analysing the consequences after catastrophic events. In this paper, we will present the data collected by the Zenmuse L1 lidar sensor mounted on the DJI Matrice 300 UAV, in the inaccessible area of Wi-Fi signal, a part of the Papuk Nature Park. Author's will give suggestions, how to contribute to crisis management with a reactive but also proactive approach after spatial data analysis.

**Keywords:** *data classification, drone, lidar, spatial data, unmanned aircraft*

# Utjecaj parametara vanjske orijentacije na položajnu točnost modela određenog pomoću UAV fotogrametrije za potrebe topografskog kartiranja

Ivan Racetin<sup>1</sup>, Josip Peroš<sup>1</sup>, Marina Tavra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, Hrvatska, ivan.racetin@gradst.hr, josip.peros@gradst.hr, marina.tavra@gradst.hr

## Sažetak

Pojava i razvoj komercijalnih bespilotnih zrakoplova (engl. Unmanned Aerial Vehicle – UAV) omogućio je njihovu široku upotrebu u posljednjih desetak godina. U području geodezije i geoinformatike prepoznat je potencijal njihove primjene u topografskom kartiranju te izradi proizvoda poput oblaka točaka, 3D modela i ortofota. Posljednji su proizvodi prethodno bili rezervirani isključivo za tvrtke opremljene zrakoplovima i sofisticiranom mjernom opremom, što je iziskivalo znatna financijska sredstva. Razvoj hardvera pratio je i snažan razvoj softvera te su se na tržištu pojavila rješenja zasnovana na kombinaciji algoritama računalnog vida i fotogrametrijskih postupaka koja su omogućila brzu obradu podataka u nekoliko automatiziranih koraka. U ovom radu promatran je utjecaj parametara vanjske orijentacije na konačnu položajnu točnost modela. Za terensko ispitivanje primijenjen je besposadni sustav DJI Mavic 2 Pro, Trimble R12i GNSS uređaj za određivanje koordinata orijentacijskih i kontrolnih točaka, a za obradu podataka upotrijebljeno je softversko rješenje Pix4D Mapper. Obavljena su snimanja testnog područja na različitim visinama, pri različitim orijentacijama kamere i geometrijama leta. Rezultati postignute položajne točnosti modela statistički su obrađeni te je dana ocjena točnosti. Konačno, opisan je prijedlog optimalnih parametara vanjske orijentacije i plana leta kako bi se postigla bolja položajna točnost modela određenih pomoću UAV fotogrametrije za potrebe topografskog kartiranja.

**Ključne riječi:** *plan leta, položajna točnost, UAV fotogrametrija*

## 1. Uvod

Prema definiciji Američkog društva za fotogrametriju i daljinska istraživanja, fotogrametrija predstavlja “znanost, umjetnost i tehnologiju prikupljanja pouzdanih informacija o fizičkim objektima i okolišu postupcima snimanja, mjerenja i tumačenja fotografija te zapisa elektromagnetskog zračenja i drugih pojava” (McGlone, 2004).

Pojava komercijalnih bespilotnih zrakoplova (engl. Unmanned Aerial Vehicle – UAV) pronašla je primjenu u različitim područjima poput topografskog kartiranja (James i Robson, 2014; James i dr., 2017), poljoprivrede (Wei i dr., 2017; Christiansen i dr., 2017), šumarstva (Johansen i dr., 2018), kriznim situacijama i zaštiti okoliša (Krtalić i dr., 2020), rudarenja (Ge i dr., 2016), geohazarda (Gailler i dr., 2021), održavanja katastra (Fetai i dr., 2019; Šafář i dr., 2021) i mnogim drugim područjima.

Fotogrametrija temeljena na bespilotnim zrakoplovima, skraćeno UAV fotogrametrija, inovativna je tehnologija koja omogućuje izradu digitalnih 3D modela površine vrlo visoke rezolucije, digitalnog ortofota i oblaka točaka koji predstavljaju morfologiju terena. UAV fotogrametrija uvelike je pojednostavnila i ubr-

zala terenski posao, međutim točnost proizvedenih modela ovisi o nizu faktora poput rasporeda i broja orijentacijskih i kontrolnih točaka (Sanz-Ablanedo i dr., 2018), kalibraciji i orijentaciji kamere (Nesbit i Hugenholtz, 2019), kvaliteti GNSS (engl. Global Navigation Satellite System) podataka i njihove obrade (Gerke i Przybilla, 2016).

U ovom radu analiziran je utjecaj parametara vanjske orijentacije na položajnu točnost modela određenog pomoću UAV fotogrametrije za potrebe topografskog kartiranja. Topografsko kartiranje odabrano je zato što predstavlja vrlo čestu primjenu UAV fotogrametrije u geodetskoj struci, a položajna točnost jer predstavlja jedan od glavnih čimbenika u odabiru odgovarajuće metodologije i određivanju cijene geodetskih radova.

## 2. Materijali i metode

U sklopu terenskih radova, za prikupljanje zračnih fotografija upotrijebljen je komercijalni i cjenovno pristupačni bespilotni zrakoplov Mavic 2 Pro kineskog



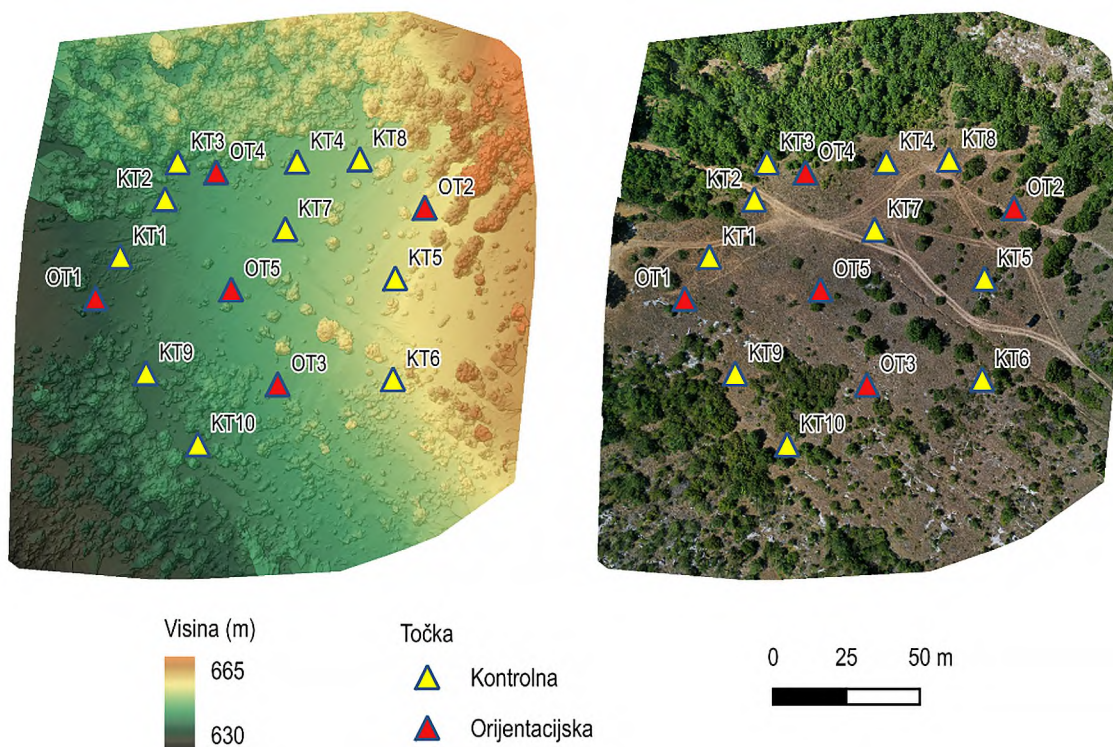
Slika 1: Instrumentarij primijenjen u terenskim radovima: a) bespilotni zrakoplov DJI Mavic 2 Pro (URL 1), b) GNSS uređaj Trimble R12i (URL 2)

proizvođača DJI (Slika 1a), dok je za prikupljanje kontrolnih i orijentacijskih točaka rabljen GNSS uređaj Trimble R12i (Slika 1b).

Rabljeni bespilotni zrakoplov opremljen je kamerom Hasselblad L1D-20c, koja sadrži 1" CMOS (engl. Complementary Metal Oxide Semiconductor) senzor rezolucije 20 megapiksela i leću nazivne žarišne duljine 28 mm (prilagođeno 35 mm senzoru). Trimble R12i je trofrekvencijski GNSS uređaj koji je opremljen senzorom sa 672 kanala i mogućnosti istovremenog praćenja signala različitih izvora GNSS signala na različitim frekvencijama. Primjenom metode kinematike u realnom vremenu (engl. Real-time kinematic

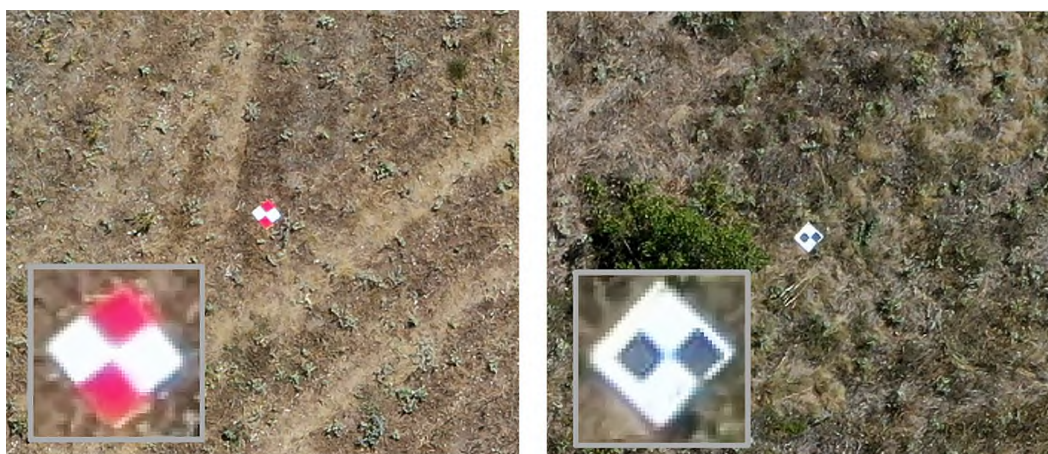
– RTK) i mrežnom načinu radu pomoću (virtualnih) referentnih baznih stanica može ostvariti položajnu točnost (8 mm + 1 ppm) i visinsku točnost (15 mm + 1 ppm) (ppm se odnosi na najbližu fizičku referentnu stanicu) (Trimble Geospatial, 2020).

Za testni obuhvat odabrano je ruralno područje u katastarskoj općini Gata u blizini Omiša ukupne površine približno 3 ha (ovisno o kutu rotacije kamere, Slika 2) i ukupne visinske razlike približno 35 m. Terensko prikupljanje GNSS koordinata orijentacijskih i kontrolnih točaka provedeno je metodom mrežne kinematike u realnom vremenu pomoću visokopreciznoga servisa pozicioniranja u realnom vremenu



Slika 2: Obuhvat terenskog snimanja: digitalni model površine (lijevo) i digitalni ortofoto (desno)





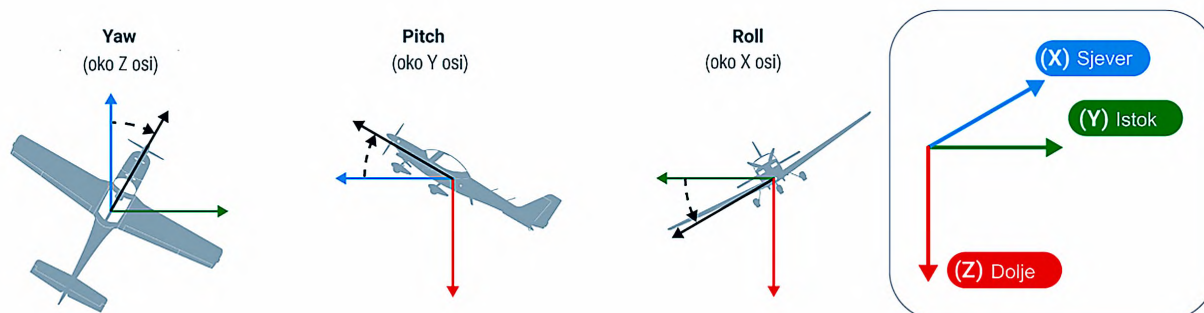
Slika 3: Dizajn markera za kontrolne i orijentacijske točke

(VPPS) mreže referentnih stanica Hrvatskoga pozicijskog sustava (engl. CROatian POSitioning System – CROPOS). Elipsoidne koordinate konvertirane su u službeni projekcijski koordinatni sustav Republike Hrvatske (HTRS96/TM) dok je elipsoidna visina transformirana u službeni visinski datum Republike Hrvatske (HVR571) primjenom modela geoida HRG2009, koji je implementiran u VPPS-u CROPOS-a. Točnost određivanja koordinata korištenjem VPPS-a je 2 cm (2D) i 4 cm (3D) (URL 3).

Za potrebe ovog istraživanja odabrano je pet orijentacijskih i 10 kontrolnih točaka (Slika 2). Prilikom postavljanja referentnih točaka izbjegavana su rubna područja obuhvata kako bi se svaka točka preslikala na većem broju fotografija. Orijetacijske točke raspoređene su u četverokut (OT1–OT4) s petom točkom u sredini (OT5) (Slika 2). Kako bi se odabrane referentne točke mogle jednoznačno i precizno identificirati na zračnim fotografijama korišteni su kvadratni aluminijski markeri vanjskih dimenzija 25×25 cm obojeni u šahovski uzorak s nasuprotnim kvadratima iste boje (Slika 3).

Letovi bespilotnog zrakoplova isplanirane su u Pix4Dcapture aplikaciji. Utjecaj parametara vanjske orijentacije je promatran kroz promjenu visine snimanja te kutova rotacije oko Y ( $\varphi$ , povezano s kutom posrtnanja, engl. pitch) i Z osi ( $\kappa$ , povezano s kutom zaošijavanja, engl. yaw) (Slika 4). Ukupno je provedeno 6 letova na visinama 60 m i 90 m iznad točke polijetanja od kojih je svaki činio zaseban fotogrametrijski blok. U ovom radu analizirano je 6 izvornih blokova (Tablica 1) i 4 dodatna bloka nastala njihovim kombinacijama, odnosno obrađeno je ukupno 10 blokova.

Prikupljeni podaci su fotogrametrijski obrađeni pomoću PIX4D Mapper (v. 4.8.4) softverskog rješenja. Svi analizirani fotogrametrijski blokovi obrađeni su istim softverskim postavkama, točnije odabran je standardan postupak izrade 3D karata. Obavljena je inicijalna relativna orijentacija pomoću približnih koordinata projekcijskih središta iz GNSS podataka bespilotnog zrakoplova, zatim su označene orijentacijske i kontrolne točke na svim fotografijama na kojima su vidljive, ponovljen je postupak izjednačenja bloka te konačno je izrađeno izvješće s ocjenom točnosti.



Slika 4: Kutovi rotacije (prilagođeno prema URL 4)

Tablica 1: Odabrani parametri plana leta fotogrametrijskih blokova uz ostvaren broj fotografija i veličinu slikovnog elementa na zemlji (engl. Ground Sample Distance – GSD)

Oznaka bloka	Visina leta (m)	$\varphi$ (°)	$\kappa$ (° ± 180°)	Broj fotografija	GSD (cm)
B-1	90	0	0	29	2,5
B-2	60	0	0	61	1,7
B-3	60	15	0	61	1,8
B-4	60	0	15	65	1,7
B-5	60	0	90	61	1,7
B-6	60	30	0	61	2,0

### 3. Rezultati

Rezultati ocjene položajne točnosti 3D modela određenih pomoću UAV fotogrametrije detaljno su prikazani u Tablici 2 prema koordinatnim osima (*E*, *N* i *H*). Osim izvorno snimljenih 6 blokova, analizirana su 4 dodatna bloka koji su nastali spajanjem 2 izvorna bloka: B-1 i B-2, B-2 i B-3, B-2 i B-4 te B-2 i B-5. Najveće srednje kvadratno odstupanje (engl. Root Mean Square – RMS) na orijentacijskim točkama zabilježeno je za B-7 (za istočnu koordinatu *E*), a u preostale dvije osi (sjeverna koordinata *N* i visina *H*) najveći RMS na orijentacijskim točkama ostvareno je u B-3. Najmanji RMS na orijentacijskim točkama zabilježen je u B-10

(*E*), B-5 (*N*) i B-2 (*H*). Na kontrolnim točkama najlošiji rezultati ostvareni su u B-4 za sve tri koordinatne osi, dok je najmanji RMS za istočnu i sjevernu koordinatu zabilježen u B-7, a u visinskim smislu u B-8.

Srednji RMS za sve analizirane blokove u Tablici 2 na orijentacijskim točkama iznosio je 0,3 cm (*E*), 0,2 cm (*N*) i 0,6 cm (*H*), dok je na kontrolnim točkama iznosio 1,5 cm (*E*), 0,8 cm (*N*) i 6,8 cm (*H*). Najbolja 2D položajna točnost (mjerena na kontrolnim točkama i izražena s RMS) ostvarena je u B-7 (1,4 cm) i B-9 (1,5 cm), dok su najlošiji podaci zabilježeni u B-4 (2,3 cm) i B-5 (1,9 cm). U 3D smislu, najbolji rezultati su ostvareni u B-8 (2,5 cm) i B-6 (2,5 cm) a najlošiji u B-4 (14,6 cm) i B-10 (10,6 cm).

Tablica 2: Srednja kvadratna odstupanja 3D modela određenih pomoću UAV fotogrametrije na orijentacijskim i kontrolnim točkama po koordinatnim osima (*E*, *N*, *H*)

Oznaka bloka	Orijentacijske točke (n=5) Srednje kvadratno odstupanje			Kontrolne točke (n=10) Srednje kvadratno odstupanje		
	<i>E</i> (cm)	<i>N</i> (cm)	<i>H</i> (cm)	<i>E</i> (cm)	<i>N</i> (cm)	<i>H</i> (cm)
B-1	0,3	0,1	0,5	1,7	0,6	10,2
B-2	0,3	0,3	0,3	1,4	0,7	6,9
B-3	0,4	0,3	1,5	1,4	0,8	3,2
B-4	0,1	0,3	0,6	1,9	1,2	14,4
B-5	0,1	0,1	0,4	1,7	0,9	8,2
B-6	0,2	0,2	0,5	1,4	0,8	1,9
B-7 (B-1 i B-2)	0,5	0,3	0,7	1,3	0,6	2,8
B-8 (B-2 i B-3)	0,5	0,2	0,4	1,3	0,9	1,9
B-9 (B-2 i B-4)	0,3	0,3	0,6	1,4	0,6	8,2
B-10 (B-2 i B-5)	0,1	0,2	0,9	1,7	0,8	10,4

## 4. Diskusija

Analizom podataka u Tablici 2 može se zaključiti da parametri vanjske orijentacije prvenstveno utječu na točnost 3D modela određenog pomoću UAV fotogrametrije u visinskom smislu, a znatno manje u 2D položajnom smislu. Raspon RMS-a za promatrane blokove iznosi 0,9 cm u 2D položajnom smislu, dok u visinskom smislu odgovarajuća vrijednost iznosi 12,5 cm.

Promatrajući usporedno Tablicu 1 i 2, mogu se izvući sljedeće smjernice. Gledajući isključivo izvorne blokove u položajnom 2D smislu ostvarena položajna točnost od 1,6 cm do 2,3 cm je očekivana uzimajući u obzir korišteni instrumentarij i metode mjerenja i obrade. Međutim, znatne razlike zabilježene su u visinskom smislu. Za postizanje bolje položajne točnosti u visinskim smislu pokazalo se od iznimne važnosti promijeniti položaj kamere iz nadira ( $\varphi = 0^\circ$ ) u položaj pod određenim kutom. Usporedbom blokova u kojima se isključivo mijenjao taj parametar vanjske orijentacije (B-2, B-3 i B-6) pokazalo se da je 2D položajna točnost ostala ista u sva tri slučaja, dok je visinska točnost rasla s povećanjem kuta  $\varphi$  od 6,9 cm ( $\varphi = 0^\circ$ ) preko 3,2 cm ( $\varphi = 15^\circ$ ) do 1,9 cm ( $\varphi = 30^\circ$ ).

Utjecaj rotacije oko Z osi promatran je kroz blokove B-3, B-4 i B-5. Najviša visinska točnost ostvarena je u B-3 koji je pratio smjer sjever–jug, a najmanja u B-4 koji je bio rotiran za  $15^\circ$ . Kombinacijom dva bloka čiji su nizovi pod pravim kutom (B-10), a kamera u nadiru postignuta je lošija 3D položajna točnost u odnosu na izvorne modele.

Kombinacijom dva bloka gdje je kamera u nadiru, ali su blokovi snimani s različite visine (B-7) postignuto je poboljšanje položajne točnosti u 2D (s 1,8 cm i 1,6 cm na 1,4 cm), a posebno u visinskom smislu (s 10,2 cm i 6,9 cm na 2,8 cm).

Uzimajući dva bloka koji se razlikuju samo u rotaciji kamere oko Y osi (B-8) postigla se ista 2D položajna točnost, međutim 3D položajna točnost poboljšana je sa 7,1 cm i 3,5 cm na 2,5 cm.

## 5. Zaključak

UAV fotogrametrija u posljednjim godinama postala je svakodnevna praksa i standardna metoda u geodetskoj praksi te je omogućila razvoj novih proizvoda i usluga u područjima koja su prethodno bila rezervirana za velike tvrtke opremljene sofisticiranom opremom. U ovom radu provedena je ocjena položajne točnosti fotogrametrijskih modela određenih pomoću UAV fotogrametrije za potrebe topografskog kartiranja. Rezultati su pokazali da je moguće postići zadovoljavajuću položajnu točnost, ali da se optimizacijom parametara vanjske orijentacije može znatno utjecati na visinsku točnost 3D modela. Odbirom predloženih parametara leta i vanjske orijentacije omogućuje se postizanje značajno veće 3D točnosti bez dodatnih ulaganja u opremu, gdje je jedini trošak eventualno produljeno vrijeme prikupljanja i obrade podataka.

Provedena ocjena točnosti na granici je točnosti GNSS metode mjerenja u kinetičkom načinu rada te se u budućim koracima planira upotrijebiti precizniji instrumentarij kako bi se pouzdanije odredile koordinate orijentacijskih i kontrolnih točaka. Pored toga, osmislić se nove konfiguracije fotogrametrijskih blokova kako bi se detaljnije istražili uzorci utvrđeni u ovom ispitivanju.

## Zahvala / Acknowledgment

*This research is partially supported through project KK.01.1.1.02.0027, a project co-financed by the Croatian Government and the European Union through the European Regional Development Fund – the Competitiveness and Cohesion Operational Programme.*

## Literatura

Christiansen, M. P., Laursen, M. S., Jørgensen, R. N., Skovsen, S., Gislum, R. (2017): Designing and Testing a UAV Mapping System for Agricultural Field Surveying, *Sensors*, 17, 2703.

Fetai, B., Oštir, K., Kosmatin Fras, M., Lisec, A. (2019): Extraction of Visible Boundaries for Cadastral Mapping Based on UAV Imagery, *Remote Sensing*, 11, 1510.

Gailler, L., Labazuy, P., Régis, E., Bontemps, M., Souriot, T., Bacques, G., Carton, B. (2021): Validation of a New UAV Magnetic Prospecting Tool for Volcano Monitoring and Geohazard Assessment, *Remote Sensing*, 13, 894.

Ge, L., Li, X., Ng, A. H. M. (2016): UAV for mining applications: A case study at an open-cut mine and a longwall mine in New South Wales, Australia, In *Proceedings of the 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Beijing, China, 10–15 July 2016, 5422–5425.

Gerke, M., Przybilla, H.-J. (2016): Accuracy analysis of photogrammetric UAV image blocks: Influence of onboard RTK-GNSS and cross flight patterns, *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 1, 17–30.

James, M. R., Robson, S. (2014): Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks, *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 10, 1413–1420.

James, M. R., Robson, S., d'Oleire-Oltmanns, S., Niethammer, U. (2017): Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality, quantity and bundle adjustment, *Geomorphology*, 280, 51–66.

Johansen, K., Raharjo, T., McCabe, M. F. (2018): Using Multi-Spectral UAV Imagery to Extract Tree Crop Structural Properties and Assess Pruning Effects, *Remote Sensing*, 10, 854.



Krtalić, A., Bajić, M., Ivelja, T., Racetin, I. (2020): The AIDSS Module for Data Acquisition in Crisis Situations and Environmental Protection, *Sensors*, 20, 1267.

McGlone, J. C. (2004): *Manual of photogrammetry*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, USA.

Nesbit, P. R., Hugenholtz, C. H. (2019): Enhancing UAV-SfM 3D Model Accuracy in High-Relief Landscapes by Incorporating Oblique Images, *Remote Sensing*, 11, 3, 239.

Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J. H., Rodríguez-Pérez, J. R., Ordóñez, C. (2018): Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used, *Remote Sensing*, 10, 1606.

Šafář, V., Potůčková, M., Karas, J., Tlustý, J., Štefanová, E., Jančovič, M., Cígler Žofková D. (2021): The Use of UAV in Cadastral Mapping of the Czech

Republic, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10, 6, 380.

Trimble Geospatial (2020): *Trimble R12i GNSS System Datasheet*, Trimble Inc.

Wei, Z., Han, Y., Li, M., Yang, K., Yang, Y., Luo, Y., Ong, S.-H. (2017): A Small UAV Based Multi-Temporal Image Registration for Dynamic Agricultural Terrace Monitoring, *Remote Sensing*, 9, 904.

URL 1: DJI Mavic 2 Pro, <https://www.dji.com/hr/mavic-2>, (7.7.2023.).

URL 2: Trimble R12i,

<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-r12>, (7.7.2023.).

URL 3: VPPS CROPOS, <https://www.cropos.hr/servisi/vpps>, (7.7.2023.).

URL 4: Podrška za pix4d, <https://support.pix4d.com>, (7.7.2023.).

# The Influence of External Orientation Parameters on the Accuracy of the 3D Model Determined Using UAV Photogrammetry for the Purposes of Topographic Mapping

## Abstract

The emergence and development of commercial Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) has enabled their widespread use over the last decade. In the field of geodesy and geoinformatics, the potential of their use in topographic mapping and the creation of products such as point clouds, 3D models and orthophotos has been recognized. The latter products were previously the exclusive preserve of companies with aircraft and sophisticated measuring equipment, which required considerable financial resources. The development of hardware has been accompanied by strong software development, and solutions based on a combination of computer vision algorithms and photogrammetric techniques have appeared on the market, enabling rapid data processing in several automated steps. In this work, the influence of the external orientation parameters on the final spatial accuracy of the model was investigated. Field testing was conducted using the DJI Mavic 2 Pro unmanned system, along with the Trimble R12i GNSS device for precise determination of orientation and control point coordinates. Acquired field data was later processed using the Pix4D Mapper software solution. Various aerial images of the test area were captured, employing different altitudes, camera orientations, and flight geometries. These data were photogrammetrically processed and its positional accuracy was statistically evaluated. Finally, recommendations are provided regarding optimal external orientation and flight plan parameters to achieve better spatial accuracy of models determined by UAV photogrammetry for the purposes of topographic mapping.

**Keywords:** *flight plan, positional accuracy, UAV photogrammetry*

# Razvoj metodologije za pronalazak optimalne lokacije za sadnju maslina

Mateo Gašparović<sup>1</sup>, Marko Vukić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, mgasparovic@geof.unizg.hr

<sup>2</sup> Lozica 90, Lozica, Dubrovnik, Hrvatska, markovukic.mail@gmail.com

## Sažetak

Maslina (lat. *Olea europaea*) je biljka koja najbolje uspijeva u mediteranskim zemljama, u koje se ubraja i Hrvatska sa svojim primorjem. Međutim, uspoređujući proizvodnju maslina u Hrvatskoj s ostalim zemljama proizvođačima maslina i maslinova ulja na Mediteranu, zaključak je da potencijal u hrvatskom priobalju i zaleđu nije ispunjen i da se puno može postići s pravilnim izborom lokacija za izgradnju nasada te ulaganjem u pogone za obradu maslina i proizvodnju maslinova ulja. U ovom istraživanju, razvijena je metodologija za pronalazak optimalne lokacije za sadnju maslina temeljem multikriterijske analize. Područje istraživanja ovog rada bila je Dubrovačko-neretvanska županija. Uzimajući u obzir prostorne, klimatološke i geomorfološke parametre i koristeći analitički hijerarhijski proces (engl. Analytic Hierarchy Process – AHP) te Sattyjevu skalu težinskih koeficijenata, izrađen je završni raster koji je dao prikaz najboljih rezultata, odnosno optimalnih lokacija za sadnju maslina.

**Ključne riječi:** *AHP metoda, GIS, maslina, multikriterijska analiza*

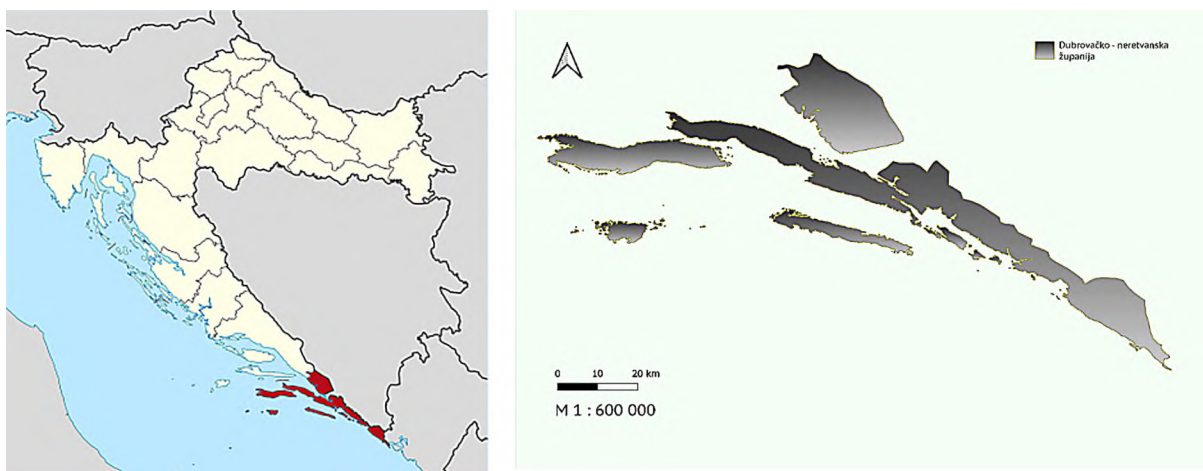
## 1. Uvod

Jedna od najzastupljenijih poljoprivrednih kultura mediteranskog područja je maslina. Maslina (lat. *Olea europaea*) je vrlo stara biljna vrsta čije su plodove ljudi prikupljali prije više od 9000 godina, a prva su stabla kultivirana prije pet do šest tisuća godina na području Sirije, odakle se proširila Mediteranom, najviše u doba Rimskog Carstva. U Hrvatskoj, masline se uzgajaju duž jadranske obale i priobalja od Istre do Konavala, uključujući i otoke. Najstarija maslina nalazi se u Lunu na otoku Pagu i stara je više od 1600 godina. Zadnjih godina zabilježen je trend povećanja površina pod intenzivnim nasadima masline u cijelom svijetu, pogotovo na Mediteranu, na kojem se nalazi 95% svih maslina u svijetu.

Po podacima Hrvatskog zavoda za statistiku, Hrvatska ne proizvodi dovoljne količine maslinova ulja za domaću potrošnju pa se dio potrošnje pokriva uvozom. Tako je 2017. godine uvezeno 3223 tone maslinova ulja. Potrošnja maslinova ulja je u Republici Hrvatskoj dosta niska, po glavi stanovnika ukupna je potrošnja 2 l godišnje dok je ista brojka za usporedbu u Grčkoj 20 l, Španjolskoj 11 l, Italiji 11 l (URL 1). Najveće površine pod maslinama nalaze se u Splitsko-dalmatinskoj županiji (29% cjelokupne hrvatske površine maslinika), pogotovo na otoku Braču, na kojem se nalazi oko milijun stabala maslina, što čini više od 25% svih maslinovih stabala u Hrvatskoj (po podacima ARKOD-a u Hrvatskoj se uzgaja 3 748 700 stabala maslina, URL 2). Većina je maslina (oko 96%) u vlasništvu obiteljskih gospodarstava, koja su oslonjena na tradicionalno maslinarstvo. Tradicionalno maslinarstvo podrazumijeva uzgoj do 100 stabala po hektaru. Intenzivni nasadi označuju nasade masline do 400 stabala po hektaru, uz upotrebu mehanizacije, navodnjavanja, zaštitnih sredstava i gnojiva. Po-

sljednji način uzgoja maslina su superintenzivni nasadi u kojima se sadi od 800 do čak 2000 stabala po hektaru, uz smanjenje potreba za radnom snagom, jer tako posadene masline stvaraju duge neprekidne guste redove pogodne za potpunu mehanizaciju i automatizaciju uzgoja. Problem kod superintenzivnih nasada masline jest vijek trajanja maslinika (do 15 godina) zbog intenzivnog iskorištavanja biljke i njene nemogućnosti da razvija krošnju u širinu.

Tako se hrvatska proizvodnja maslina i maslinova ulja zasniva na manjim gospodarstvima, što povećava cijenu proizvodnje, međutim iz godine u godinu hrvatski maslinari osvajaju najveće nagrade na svjetskim natjecanjima, što potvrđuje vrhunsku kvalitetu maslinovih ulja iz naše zemlje. Međutim, uspoređujući neke osnovne maslinarske podatke i brojke sa zemljama Mediterana, dolazimo do zaključka kako Hrvatska spada u najmanje proizvođače. Nije se lako uspoređivati sa Španjolskom, Italijom ili Grčkom koje imaju višedesetljetno iskustvo u razvoju intenzivnih i superintenzivnih nasada, međutim iznenađuje činjenica kako npr. Albanija, koja je površinom dvostruko manja te ima neusporedivo kraću obalnu liniju, proizvodi skoro pa trostruko više tona maslina od Hrvatske. Naime, Hrvatska ima 5835 km obale, od čega je 1777 km obalne linije, a ostatak od 4058 km čine otoci. Za usporedbu, Albanija ima svega 362 km obalne linije. Veliku ulogu igra i oblik Hrvatske, velik dio površine otpada na kontinentalnu i gorsku Hrvatsku, međutim svejedno začuđuje tolika razlika u proizvodnji maslina. Po proizvodnji maslina od zemalja na Mediteranu, po podacima iz 2019. godine, prednjači Španjolska sa skoro 6 milijuna tona, slijede je Italija (2,2 milijuna), Maroko (1,9 milijuna), Turska (1,5 milijuna) i Grčka (1,2 milijuna). Hrvatska je po



Slika 1: a) Lokacija područja istraživanja (URL 3), b) područje istraživanja – Dubrovačko-neretvanska županije (Vukić, 2022)

ovim podacima tek 23. zemlja svijeta u proizvodnji maslina s proizvedenih 33 220 tona godišnje, a Albanija, koja se izdvaja kao zemlja u neposrednoj blizini Hrvatske, smjestila se na 19. mjesto s 98 tisuća tona, što je triput više od hrvatske proizvodnje. Podatak o površini pod nasadima maslina izgleda gotovo pa jednako kao i prikaz uroda maslina, što je logično. Prosječna površina maslinika u Hrvatskoj je 0,71 ha, što je značajno manje od prosječnih površina maslinika u Španjolskoj (5,5 ha), Grčkoj (1,5 ha) i Italiji (1,3 ha). Prema podacima o broju kilograma koje države na Mediteranu proizvedu po glavi stanovnika, ponovno prednjači Španjolska sa 125,7 kg/st., a prate je Grčka (114,1 kg/st.), Portugal (96,9 kg/st.), Tunis (76,6 kg/st.) kojeg nazivaju "zemlja maslina" jer 10% ukupne površine Tunisa čine nasadi maslina, i Maroko (55 kg/st.). Hrvatska se nalazi na 18. mjestu u svijetu sa svega 7,9 kilograma po glavi stanovnika. Iz ovih podataka daju se izvući zaključci da Hrvatska ne ispunjava do kraja svoje potencijale kad je u pitanju proizvodnja maslina i maslinova ulja. Bez obzira što je tradicionalno maslinarstvo, koje podrazumijeva manje i široko posađene maslinike, glavni način proizvodnje maslina, brojevi kažu da je Hrvatska nažalost na samom začelju po proizvodnji maslina kada je u pitanju Mediteran (URL 1).

Cilj ovoga rada je na području Dubrovačko-neretvanske županije razviti metodologiju za pronalazak optimalne lokacije za sadnju maslina te pronaći optimalne lokacije. Integracijom GIS-a i multikriterijske analize, u ovom slučaju AHP metode (engl. Analytic Hierarchy Process), pravilnim izborom kriterija i njihova težinskog vrednovanja, a zatim preklapanjem svih dobivenih rastera, trebalo bi se odrediti lokacije koje su najprikladnije za sadnju maslina.

## 2. Materijal i metode

### 2.1. Područje istraživanja

Za područje istraživanja u ovom radu izabrana je Dubrovačko-neretvanska županija (Slika 1). Najjužnija hrvatska županija prostire se na površini 1781 km<sup>2</sup>

i jedina od svih županija u Hrvatskoj ima prostorni diskontinuitet, presijeca ju Bosna i Hercegovina s 20 km obalne linije. Središte i najveći grad županije je Dubrovnik, a veći gradovi su Korčula, Metković, Opuzen i Ploče. Jug Hrvatske jako je okrenut turizmu, ali zadnjih godina sve se više razvija seoski turizam, vinski turizam, ekološka proizvodnja i proširenje ponude ekološki uzgojenog voća, povrća i preradevina. Pored poznatih mandarina koje se uzgajaju u dolini Neretve, dvije su najrasprostranjenije poljoprivredne kulture vinova loza i masline.

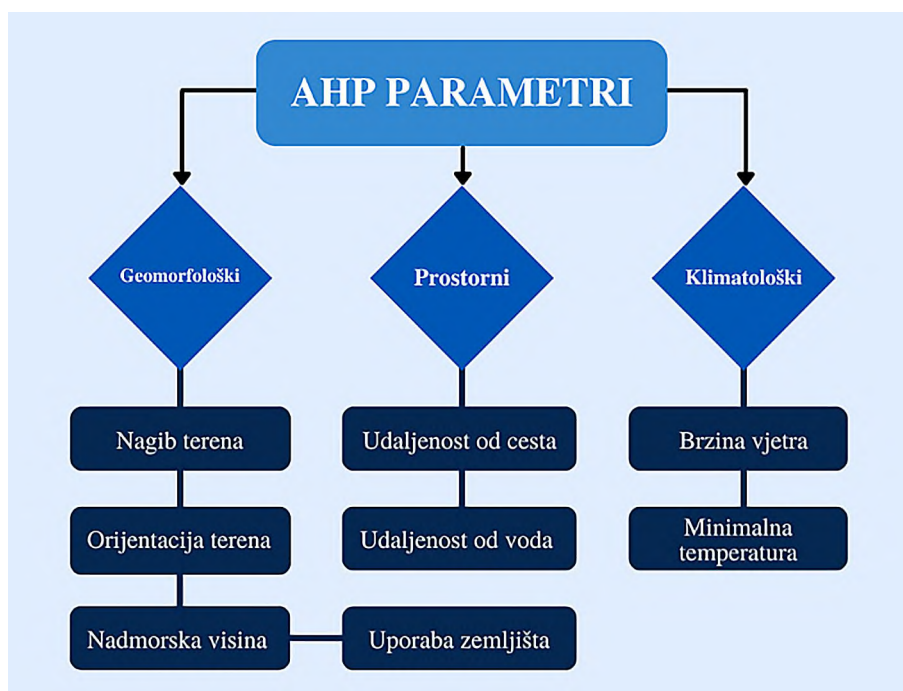
Vina s Korčule, poluotoka Pelješca, ali i iz dubrovačkog zaleđa već su odavno dokazana kao vrhunska na raznim natjecanjima diljem svijeta i mogu stajati uz bok svjetskim vinima. Isto tako, maslinari Dubrovačko-neretvanske županije mogu se dičiti s vrhunskim ekstra djevičanskim maslinovim uljem. Prednosti Dubrovačko-neretvanske županije u odnosu na ostale maslinarske države Mediterana su: nekontaminirano tlo zbog smanjene uporabe gnojiva i sredstava za zaštitu bilja te autohtone sorte ovog područja koje nisu zastupljene u maslinarskoj proizvodnji drugih država.

Glavni centri uzgoja maslina u DNŽ bili su Dubrovačko primorje te otoci Šipan i Korčula, uz Mljet, Lastovo, Konavle, Pelješac i Župu dubrovačku. Oko 15% ukupnog fonda maslinarskih površina u Republici Hrvatskoj nalazi se na području Dubrovačko-neretvanske županije (podaci iz ARKOD-a). Veliki potencijal maslinarstva u Dubrovačko-neretvanskoj županiji je u turističkoj ponudi. Iako ostale zemlje u okruženju imaju razvijen oleoturizam, u Republici Hrvatskoj ovakav oblik turističke ponude još nije dovoljno razvijen i tu treba tražiti šansu za napredak, pogotovo u Dubrovniku kojim godišnje prođe više od 4 milijuna turista (4,4 milijuna noćenja bilo je 2019. godine).

### 2.2. Metoda za pronalazak optimalne lokacije

Razvijena metoda za pronalazak optimalne lokacije za sadnju maslina temelji se na multikriterijskoj analizi baziranoj na analitičkom hijerarhijskom procesu (engl. Analytic Hierarchy Process – AHP). Multikriterijska analiza ili višeobjektivno odlučivanje vrsta je strukturiranog pristupa za analizu odluka koji je





Slika 2: AHP parametri za odabir optimalne lokacije za sadnju maslina (Vukić, 2022)

posebno primjenjiv kada pristup s jednim kriterijem nije dovoljan.

### 2.2.1. Analitički hijerarhijski proces

AHP je sustavna multikriterijska metoda procjene, koju je razvio Saaty (1990). Našao je široku primjenu u rješavanju različitih vrsta problema. AHP omogućuje pojedincu da strukturira složeni problem u obliku hijerarhije za vrednovanje kvantitativnih i kvalitativnih kriterija, i pokazuje kako odrediti relativnu važnost skupa alternativa u multikriterijskom okruženju za donošenje odluka. Ova metoda pomaže donositelju odluka da odredi različite težinske kriterije, koji

označavaju njihovu važnost u odnosu na ostale kriterije, i dodjeljuje ih hijerarhiji odluke (Vukić, 2022).

### 2.2.2. Izbor parametara i definiranje kriterija

Za donošenje odluke o optimalnim lokacijama za sadnju maslina u priobalju i otocima Dubrovačko-neretvanske županije, potrebno je prvo pravilno odrediti parametre (Slika 2) koji će utjecati na donošenje odluke.

Parametre smo podijelili u kategorije:

- Prostorni parametri
- Klimatološki parametri
- Geomorfološki parametri.

Tablica 1: Vrijednosti kriterija svih parametara (Vukić, 2022)

Naziv parametra	Vrijednosti kriterija				
	1	4	6	8	10
Nagib terena (%)	>30	21–30	16–21	8–16	0–8
Orijentacija terena (°)	315–0 0–45	45–90 270–315	90–135 225–270	135–157,5 202,5–225	157,5–202,5
Nadmorska visina (m)	>800	600–800	400–600	200–400	0–200
Uporaba zemljišta	Močvara	Šuma	/	Makija	Poljoprivredno
Udaljenost od voda (m)	>5000	1000–5000	500–1000	250–500	25–250
Udaljenost od cesta (m)	>1000	500–1000	250–500	100–250	0–100
Brzina vjetra (m/s)	>8	7–8	6–7	6–5,5	0–5,5
Min. temperatura (°C)	>1,5	1,5–2,5	2,5–4	4–5,5	5,5–9

Kriteriji su svrstani u 5 razreda poredanim od 1 do 10, gdje 1 označava najniži kriterij, a 10 najviši. Ocjene kriterija između najnižeg i najvišeg su označene s vrijednostima 4, 6 i 8. U nastavku je dana Tablica 1 kojom su definirane vrijednosti kriterija za svaki parametar.

### 2.2.3. Prikupljanje i obrada podataka

Sukladno odabranim kriterijima prikupljeni su odgovarajući ulazni podaci koji su služili kao podloga za dolazak do željenih rezultata. Svi prikupljeni podaci preuzeti su s besplatnih internetskih servisa. Vektorski podaci preuzeti su s više različitih izvora. DIVA GIS portal (URL 4) omogućuje preuzimanje različitih prostornih podataka pojedine države. Za potrebe ovog rada s DIVA GIS-a su preuzeti vektorski podaci o administrativnim granicama hrvatskih županija temeljem kojih je definirano područje istraživanja. Vektorski podaci o cestama i vodenim površinama u Hrvatskoj preuzeti su s portala Geofabrik (URL 5). Na ovom portalu mogu se pronaći OSM (engl. Open Street Map) vektorski podaci za pojedini kontinent ili državu. Vektorski sloj cesta preuzet je iz razloga što je jedan od izabranih parametara udaljenost od cesta. Što je odabrana lokacija za sadnju bliža cesti, manji su troškovi proizvodnje, jer se smanjuju troškovi goriva, lakši je pristup novom masliniku i u budućnosti će se lakše dobavljati sadni i proizvodni materijali. Iz skupa podataka o cestama bilo je potrebno izdvojiti pješačke i biciklističke staze te ulice kojima ne prometuju vozila, jer je očekivano da se mehanizacija dovozi prometnicama. Nadalje, iz podataka su izbačeni i cestovni priključci, gradske ceste i ulice u naseljenim područjima, jer su sva naseljena područja isključena s obzirom da nisu pogodna za sadnju maslina.

Od rasterskih podataka za potrebe provedbe istraživanja prikupljen je digitalni model terena (DMT). DMT je preuzet direktno u softverskom programu QGIS putem plugina SRTM Downloader (Shuttle Radar Topography Mission) sukladno dostupnim podacima na portalu USGS (United States Geological Survey) (URL 6). Uz DMT, od rasterskih podataka u ovom radu korišteni su i klimatološki podaci poput brzine vjetra i minimalnih temperatura. Klimatološki podaci za srednje minimalne temperature preuzeti su s internetske baze klimatoloških podataka WorldClim (URL 7) dok su podaci o brzini vjetra preuzeti sa stranice Global wind atlas (URL 8). Preuzeti temperaturni podaci su skup klimatoloških podataka u razdoblju od zadnjih 50 godina, sa zadnjim ažuriranjem od siječnja 2020. godine. Preuzeti podaci su u WGS84 koordinatnom

sustavu i podijeljeni su na 12 rastera od kojih svaki predstavlja srednje minimalne temperature za jedan mjesec u godini. Najhladniji mjesec u godini na ovom području je veljača, pa je ona uzeta u obzir u daljnjem radu s podacima o minimalnoj temperaturi. Prostorna rezolucija prikupljenih rastera klimatoloških podataka bila je veća od 200 m. Jedan od zadanih parametara bio je i uporaba zemljišta. Podaci o upotrebi zemljišta preuzeti temeljem programa Europske unije, Copernicus (Thépaut i dr., 2018). Corine Land Cover (CLC) je produkt Copernicus programa od 1985. godine, a dosad je izdano 5 izdanja (posljednji 2018. godine). Dostupan je u rasterskom (u rezoluciji od 100 metara) ili u vektorskom (ESRI ili geopackage) obliku (URL 9).

Podaci su razvrstani u 44 klase, od kojih svaka klasa označava pojedinu vrstu uporabe zemljišta. Za potrebe ovog rada preuzeti su vektorski podaci u ESRI SHP formatu. Prije provedbe analiza provedeno je spajanje određenih klasa (npr. Crnogorična šuma i Bjelogorična šuma spojene u klasu Šuma; Vodeni tokovi i Vodene površine spojene u klasu Voda). Sve prikupljene prostorne podatke potrebno je bilo homogenizirati i transformirati u HTRS96/TM. Raster-ske podatke potrebno je bilo svesti na istu prostornu rezoluciju i za to je odabrana rezolucija digitalnog modela terena od 30 m.

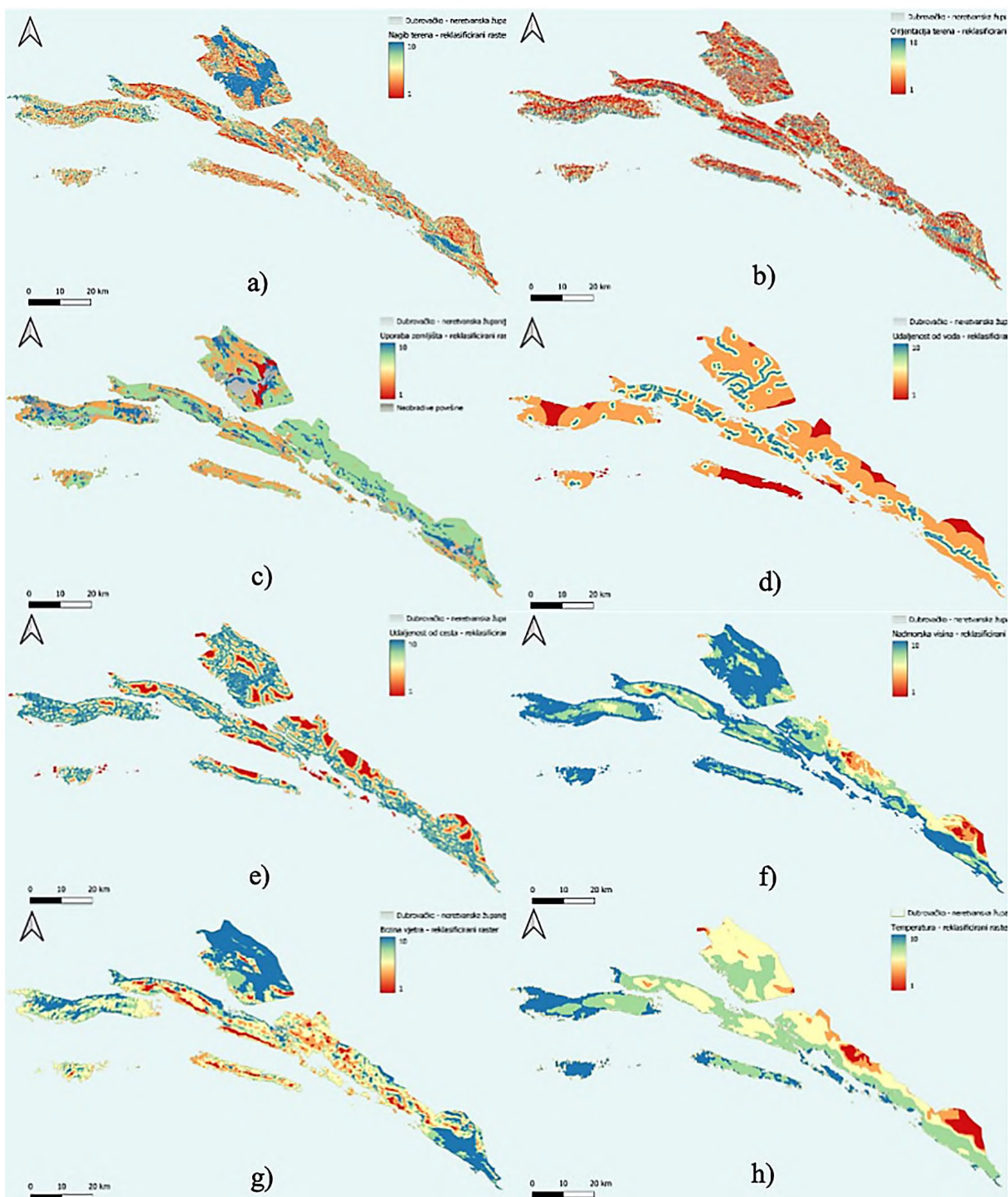
## 3. Rezultati

Nakon predobrade rasterskih podataka, čišćenja vektorskih podataka te daljnje obrade svih ulaznih podataka, za svaki od kriterija je, sukladno prethodno zadanim parametrima, napravljene su karte reklasificiranih rastera. Na svakome od njih vidljiva su područja koja su najpogodnija za sadnju maslina, prikazana plavom bojom i vrijednosti 10. Zelena boja predstavlja pogodna područja za sadnju i imaju vrijednost 8, žuta predstavlja vrijednost 6. Narančastom su bojom prikazana područja koja su manje pogodna za sadnju maslina i imaju vrijednost 4, a crvenom bojom označena su područja koja su nepogodna za sadnju maslina i imaju vrijednost 1. Na Slici 3 prikazani su isječci karata svih kriterija sukladno prethodno opisanom.

Izradivši sve pojedinačne rastere, moglo se pristupiti izradi finalnog rastera s optimalnim lokacijama za sadnju maslina. Usporedbom svih parametara sukladno AHP metodi određene su finalne težine svih rastera (Tablica 2).

Tablica 2: Finalne težine dobivene AHP metodom

Parametar	Težina	Parametar	Težina
Nagib terena	0,0683	Udaljenost od cesta	0,0450
Orijentacija terena	0,0973	Udaljenost od voda	0,0382
Nadmorska visina	0,1382	Minimalna temperatura	0,2428
Uporaba zemljišta	0,1274	Brzina vjetra	0,2428

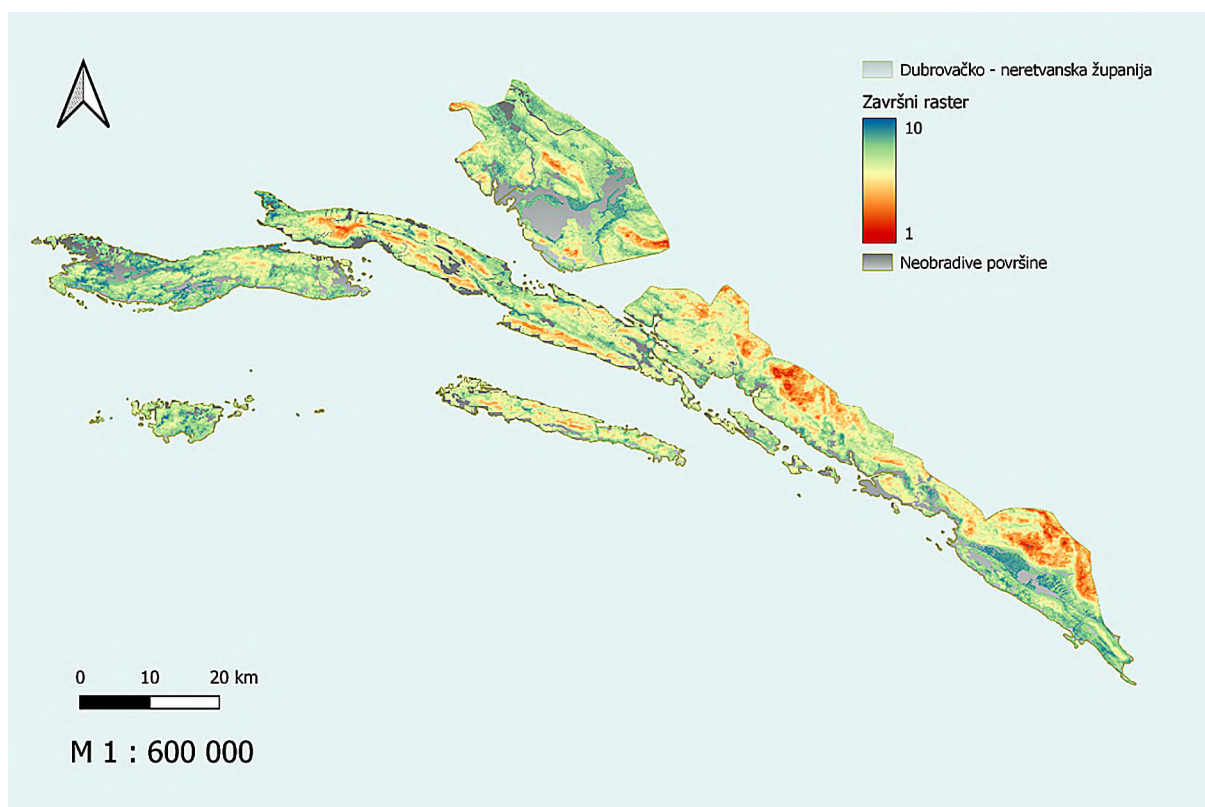


Slika 3: Isječci karata svih kriterija: a) nagib terena, b) orijentacija terena, c) upotreba zemljišta, d) udaljenost od voda, e) udaljenost od cesta, f) nadmorske visine, g) brzina vjetra, h) minimalna temperatura (Vukić, 2022)

Nakon izračunatih težina upotrebom rasterskog kalkulatora u QGIS-u određen je finalni raster koji jasno pokazuje optimalne lokacije za sadnju maslina s ob-

zirom na zadane parametre i razvijenu metodologiju u ovom radu (Slika 4).





Slika 4: Finalni raster istraživanja optimalnih lokacija za sadnju maslina (Vukić, 2022)

## 4. Zaključak

Ovim radom prikazana je razvijena metodologija za pronalazak optimalne lokacije za sadnju maslina. Za potrebe pronalaska najpogodnijih lokacija korišteni su otvoreni podaci i programi, a za područje istraživanja odabrana je Dubrovačko-neretvanska županija. Temeljem definiranih prostornih, geomorfoloških te klimatoloških kriterija, upotrebom analitičkog hijerarhijskog procesa određene su finalne težine svih ulaznih podataka. Finalni raster dao je prikaz najboljih lokacija za sadnju maslina za cijelo područje istraživanja u prostornoj rezoluciji 30 m. Upotrebom ove i sličnih metoda zasigurno bi se povećali prinosi i prihodi u maslinarstvu i proizvodnji maslinovog ulja u Dubrovačko-neretvanskoj županiji. Navedena metodologija može se primijeniti i na drugim lokacijama kako u Republici Hrvatskoj tako i u svijetu. Ovim radom prikazan je razvoj novih metoda GIS-a i multi-kriterijskog odlučivanja u svrhu širenja primjene geodezije u poljoprivredi i prostornom planiranju.

## Literatura

Saaty, T. L. (1990): How to make a decision: the analytic hierarchy process, *European journal of operational research*, 48, 1, 9–26.

Thépaut, J. N., Dee, D., Engelen, R., Pinty, B. (2018): The Copernicus programme and its climate change service, In *IGARSS 2018 – 2018 IEEE International*

*Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1591–1593.

Vukić, M. (2022): Razvoj metodologije za pronalazak optimalne lokacije za sadnju maslina, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

URL 1: Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/>, (19.7.2023.).

URL 2: Arkod, <https://arkod.apprrr.hr/>, (18.7.2023.).

URL 3: Dubrovačko-neretvanska županija – Wikipedia, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Dubrova%C4%8Dko-neretvanska\\_%C5%BEupanija](https://hr.wikipedia.org/wiki/Dubrova%C4%8Dko-neretvanska_%C5%BEupanija), (19.7.2023.).

URL 4: Diva GIS, <https://www.diva-gis.org/>, (18.7.2023.).

URL 5: Geofabrik, <https://download.geofabrik.de/europe/croatia.html>, (18.7.2023.).

URL 6: Earth Explorer, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, (18.7.2023.).

URL 7: Worldclim, <https://worldclim.org/data/worldclim21.html>, (19.7.2023.).

URL 8: Global wind atlas, <https://globalwindatlas.info/area/Croatia/Dubrovačko-Neretvanska>, (19.7.2023.).

URL 9: Corine land cover, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>, (19.7.2023.).

# Development of Methodology for Finding the Optimal Location for Planting Olives Trees

## Abstract

---

The olive (lat. *Olea europaea*) is a plant that grows best in Mediterranean countries, which includes Croatia with its coastline. However, if we compare the olive production in Croatia with that of other Mediterranean countries, we come to the conclusion that the potential on the Croatian coast and inland is not being exploited and that much can still be achieved with the right choice of locations for the establishment of plantations and investments in olive processing plants and olive oil production. In this research work, a methodology was developed to find the optimal location for planting olive trees based on a multi-criteria analysis. The research area of this work was the Dubrovnik-Neretva County. Taking into account the spatial, climatological and geomorphological parameters and using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Satty's scale of weighting coefficients, a final grid was created that showed the best results, i.e., optimal locations for planting olive trees.

**Keywords:** *AHP method, GIS, multi-criteria analysis, olive*

# Primjena kosih aerosnimki u kriznim situacijama

Dubravko Gajski<sup>1</sup>, Katarzyna Dzięgielewska-Gajski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, e-mail: dgajski@geof.hr

<sup>2</sup> Državna geodetska uprava, Zagreb, Gruška 20, Hrvatska, kdzgajski@dgu.hr

## Sažetak

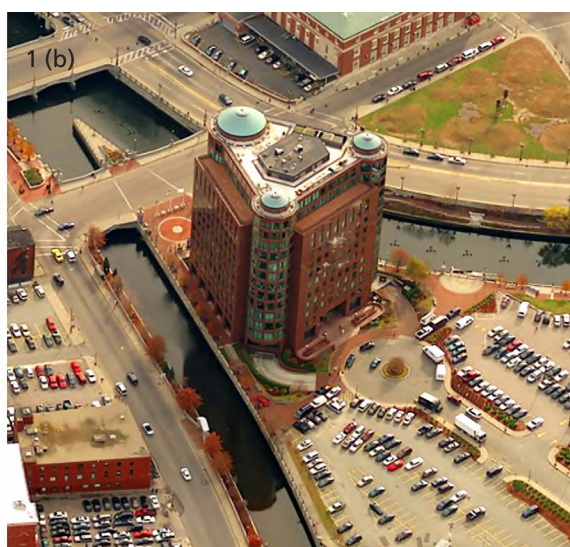
Elementarne nepogode kao posljedica prirodnih katastrofa ali i ratnih djelovanja svojom razornom snagom u kratkom vremenu mijenjaju stanje prirodnih i izgrađenih objekata na terenu a ponekad i morfološki karakter terena (potresi, klizišta). Fotogrametrijske zračne snimke su već desetljećima etabliran izvor podataka za procjenu šteta počinjenih u raznim kriznim situacijama. Fotogrametrijsko snimanje se uobičajeno izvodi tako da osi snimanja budu približno vertikalne u prostoru, što omogućava optimalan uvid samo na najviše dijelove objekata, prikladno za ortofotografiranje. Bočne površine objekata na terenu: fasade zgrada, visoka vegetacija, ograde i stupovi na vertikalnim snimkama manjkavo su prikazani. Fotogrametrijska izmjera i rekonstrukcija koristeći kose zračne snimke, omogućuju da se ovaj nedostatak u velikoj mjeri eliminira i prikupe podaci od velike važnosti za procjene potencijalne ugroze prije i obima nastale štete nakon nepogode ili katastrofe. Stoga će se u ovom radu dati pregled tehnologije snimanja i upotrebe kosih zračnih snimki, posebno u kriznim situacijama.

**Ključne riječi:** fotogrametrija, kose zračne snimke, krizne situacije

## 1. Uvod

Jedan od najvažnijih zadataka tijela nadležnih za upravljanje katastrofama je zaštita ljudi i njihove imovine. Učinkovito upravljanje kriznim situacijama velikih razmjera, koje uključuju stotine ili tisuće ljudi, moguće je jedino uz poznavanje relevantnih prostornih informacija, te efikasno snalaženje unutar njih. Stoga se učinkovito upravljanje zadacima uključenim u krizni menadžment postiže korištenjem geoinformacijske tehnologije u svakoj fazi procesa. Za uspješno, efikasno i pravovremeno donošenje odluka kriznog menadžmenta bitno je imati jasnu vizualizaciju

prostornih informacija u nekoliko faza razvoja krize (Svatonova, 2015). U fazi prevencije, prostorne informacije, znanja i iskustva mogu se koristiti ne samo za procjenu područja u smislu njegovog stupnja podložnosti štetnim pojavama i procesima, već i za planiranje optimalne intervencije u slučaju da do njih dođe, suočavanje sa stvarnim događajima, ali i ispravljanje eventualno nastalih šteta. Ovo je dodatak procjeni područja u smislu njegovog stupnja osjetljivosti na štetne pojave i procese. Poznato je da je ljudsko tumačenje podložno velikim varijacijama od jednog do



Slika 1: Prikaz urbanog dijela na središnjem dijelu vertikalne aerosnimke 1(a) i na kosoj snimci 1(b). (URL 1)

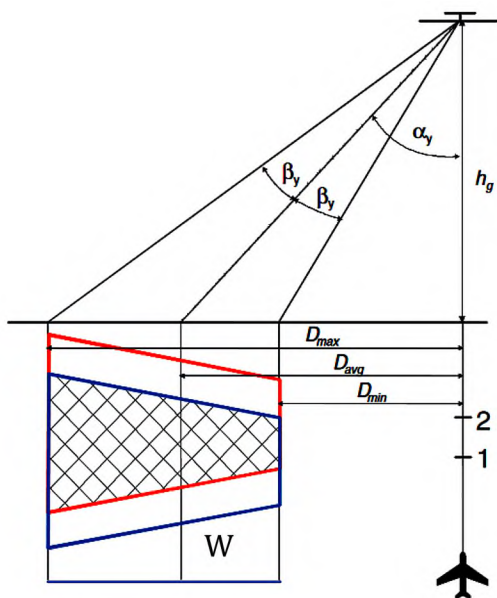


drugog interpretatora (Van Coillie i dr., 2014). Ljudska percepcija i interpretacija još uvijek su najvažniji aspekti upravljanja kriznim situacijama, bez obzira na snažan napredak i sve veću primjenu metoda umjetne inteligencije. Interpretaciju zračnih i satelitskih snimki posebno otežava prikaz cjelokupnog sadržaja snimke iz ptičje perspektive te zabilježba reflektiranog elektromagnetskog zračenja izvan vidljivog dijela spektra. Prikaz snimljenog sadržaja na kosim zračnim snimkama je puno razumljiviji i lakši za interpretaciju, a osim toga i sadrži puno više slikovnih informacija za potpuniji uvid u snimljeno područje u odnosu na snimke dobivene vertikalnom osi snimanja (Slika1).

## 2. Kose aerosnimke

Kose zračne snimke su snimke snimljene iz zraka, najčešće pilotirane letjelice, čija os snimanja je otklonjena od vertikalne osi za kut od 35° do 45°. Iako su se kose snimke počele koristiti još od početka snimanja iz zraka, prije svega za izviđanje, u sve širu upotrebu dolaze primjenom digitalnih kamera za snimanje iz zraka.

### 2.1 Geometrija snimanja kose aerosnimke



Slika 2: Geometrija snimanja kose snimke (Grenzdörffer i dr., 2008)

Za razliku od vertikalnih aerosnimki, kose aerosnimke imaju neka svojstva, koja je potrebno uzeti u obzir prilikom razmatranja geometrije preslikavanja. Mjerilo preslikavanja nije ni približno konstantno diljem čitavog formata snimke. Stoga se i veličina piksela preslikanog na terenu (Ground Sampling Distance – GSD) bitno mijenja duž snimke. I to, u prednjem planu snimke mjerilo preslikavanja je krupnije a GSD je manji, dok je u stražnjem planu snimke mjerilo preslikavanja sitnije te je i GSD veći. Kod planiranja snimanja kosim snimkama treba uzeti u obzir ne samo vidno polje pojedine kamere  $\beta_y$ , već i visinu leta  $h_g$  te kut otklona osi snimanja  $\alpha_y$  (Slika 2).

Iz Slike 2 slijede izrazi za udaljenosti područja preslikavanja od putanje leta aviona (1) i nazivnik mjerila snimanja (2) (Grenzdörffer i dr., 2008) :

$$\begin{aligned} D_{\max} &= h_g \tan(\alpha_y + \beta_y) \\ D_{\min} &= h_g \tan(\alpha_y - \beta_y) \\ D_{\text{avg}} &= \frac{D_{\min} + D_{\max}}{2} \\ W &= D_{\max} - D_{\min} \end{aligned} \quad (1)$$

Gdje su:

$D_{\min}$  – bliža granica niza od putanje leta aviona

$D_{\max}$  – dalja granica niza od putanje leta aviona

$D_{\text{avg}}$  – sredina niza

$W$  – širina niza

$$\begin{aligned} m_{\min} &= \frac{h_g \cos \beta_y}{f \cos(\alpha_y - \beta_y)} \\ m_{\max} &= \frac{h_g \cos \beta_y}{f \cos(\alpha_y + \beta_y)} \\ m_{\text{avg}} &= \frac{h_g}{f \cos(\alpha_y)} \end{aligned} \quad (2)$$

Gdje su:

$m_{\min}$  – nazivnik mjerila snimanja na bližoj granici niza

$m_{\max}$  – nazivnik mjerila snimanja na daljoj granici niza

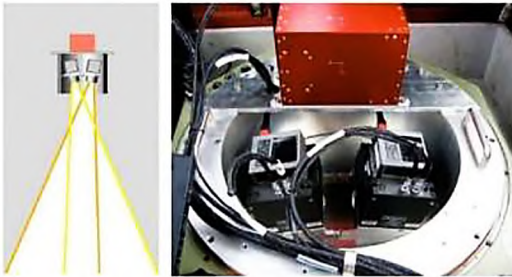
$m_{\text{avg}}$  – nazivnik mjerila snimanja na sredini niza

### 2.2. Konstrukcija aerokamera s višestrukim vidnim poljem

Od početka snimanja kosih aerosnimki nastojalo se naročitim konstrukcijama postići što veći obuhvat snimljenog područja na terenu uz visoku prostornu rezoluciju. Stoga su se konstruirale kamere, koje su u sebi sadržavale dvije ili više kamere, sa osima snimanja pod određenim kutom, kako bi se dobio što širi obuhvat preslikavanja (Slika 3). Konstruktivno se dijele prema međusobnoj orijentaciji vidnih polja pojedinih kamera, i to na:

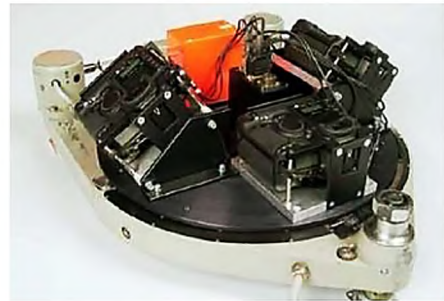
- Konfiguraciju u obliku lepeze – osi snimanja su otklonjene od vertikalne osi u vertikalnoj ravni koja se proteže okomito na smjer leta. Na taj način se postiže veća širina niza. Ova konfiguracija se koristi uglavnom kod dvije kamere (npr. IGI Dual na Slici 3)
- Blok konfiguraciju – kod ove konfiguracije kamere nisu smještene u jednoj liniji, poprečno na smjer leta, već su smještene u blok (dvije ili više linija). Ovo omogućuje da se postigne dovoljan preklop između snimki, kako bi se one mogle povezati u jednu snimku većeg područja obuhvata, kao što je to kod npr. IGI DigiCam 4 na Slici 3.

22 cameras



IGI Dual

33 cameras



DLR-3K

4 cameras



IGI Digicam 4



Rolleimetric AIC x4

9 kamera  
n-cameras



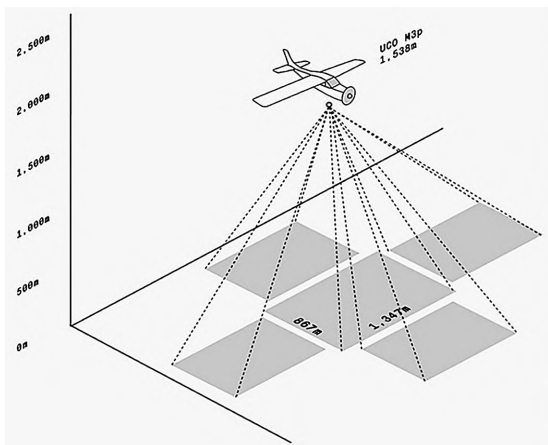
MIDAS Optoblique

Slika 3: Različite izvedbe aerokamera s višestrukim vidnim poljem (URL 2)

- Konfiguraciju u obliku malteškog križa – ova konfiguracija se sastoji od pet kamera, kod kojih je os snimanja centralne kamere vertikalna. Ostale četiri kamere imaju osi nagnute od osi centralne kamere, i to: u smjeru leta (prema naprijed), obrnuto od smjera leta (prema natrag), poprečno na smjer leta udesno i poprečno na smjer leta ulijevo. Ovo je najčešća konfiguracija današnjih kamera s višestrukim vidnim poljem (Slika 4).

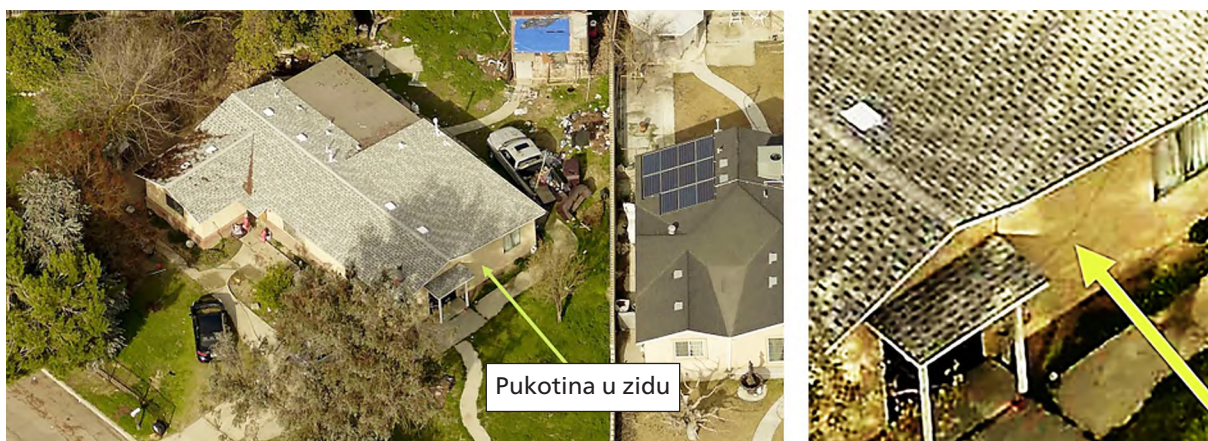
### 3. Primjene kosih aerosnimki u kriznim situacijama

Zbog puno kvalitetnijeg prikaza vertikalnih struktura (zidova zgrada, potpornih zidova, visoke vegetacije, izrazito strmog reljefa) u urbanim područjima u odnosu na vertikalne snimke, kose snimke se koriste kao vrijedan izvor podataka u dokumentiranju i praćenju oštećenja na objektima i/ili vegetaciji te procjeni šteta.



Slika 4: Kamera Vexcel Ultracam Osprey M3p. Lijevo – geometrija preslikavanja, desno – izgled kamere (URL 3)





Slika 5: Pukotina u zidu, zabilježena na kosoj aerosnimci. (URL 4)

### 3.1. Zabilježba oštećenja na zgradama

Usljed prirodnih nepogoda, ratnih djelovanja, dotrajalosti dolazi do oštećenja na zgradama i vegetaciji u zoni utjecaja tih nepogoda. Visoka kvaliteta i prostorna rezolucija kose snimke omogućava otkrivanje i mjerenje teško uočljivih oštećenja na zgradama i pukotina zidova (Slika 5).

Posebno do izražaja dolazi upotreba kosih snimki pri izradi trodimenzionalnog virtualnog modela, koji

prikazuje stvarno stanje snimljenog objekta. Urbana oštećenja nakon potresa 6. travnja 2009. u L'Aquili prikazana su na Slikama 6 i 7. Na Slici 6 prikazana su stanja prije i nakon potresa zabilježena na vertikalnim aerosnimkama. Slika 8 prikazuje isti sadržaj, ali na kosoj snimci. Osim toga, oštećena bazilika je snimljena kosim snimkama iz više smjerova, što omogućuje izradu vjernog trodimenzionalnog modela stvarnog stanja nakon potresa.

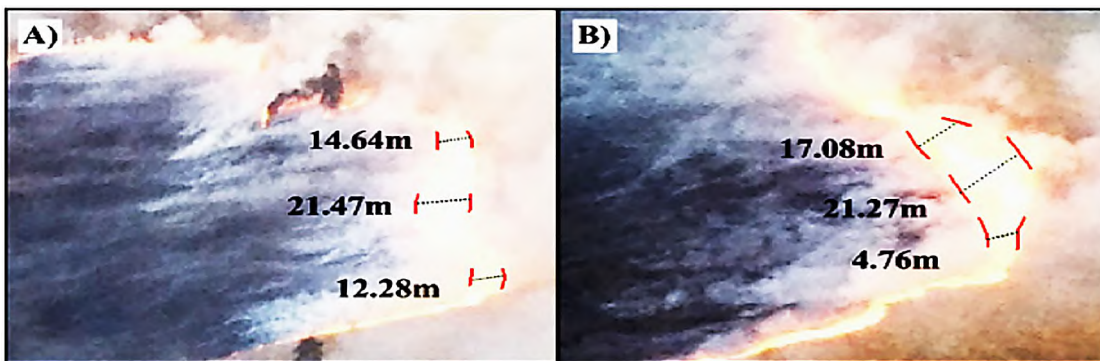


Slika 6: Vertikalna snimka stanja prije potresa (lijevo) i nakon potresa (desno) u L'Aquili, Italija (Vetrivel i dr., 2016)



Slika 7: Kosa snimka stanja prije potresa (lijevo) i nakon potresa (desno) u L'Aquili, Italija (Vetrivel i dr., 2016)





Slika 8: Praćenje kretanja i intenziteta dviju vatrenih fronti sa dvije odvojene lokacije (A) i (B) na kosim aerosnimkama. (Hart i dr., 2021)

### 3.2. Praćenje požara

Uslijed dima i visokih temperatura, aerosnimanje sa vertikalnom osi snimanja je najčešće nemoguće ili je riskantno za zrakoplov i posadu koja vrši snimanje. Stoga, jedini način fotogrametrijskog praćenja opožarene površine je snimanje kosih snimki, kod kojih kamera ne treba biti više iznad područja koje se snima. Dobiveni elementi omogućuju praćenje dinamike kretanja požara (Slika 8).

### 3.3. Otkrivanje te dokumentiranje mogućih uzroka katastrofe

Aerokamere s višestrukim vidnim poljem, posebno u konfiguraciji malteškog križa omogućuju snimanje čitavog područja sa peterostruko više različito usmjerenih snimki u odnosu na kamere s vertikalnom osi snimanja. Na taj način se bitno olakšava prepoznavanje objekata potencijalnih uzročnika katastrofe, te povećava pouzdanost njihove izmjere (Slika 9).

U gornjem dijelu Slike 9 (prije eksplozije) je moguće uočiti bačve s gorivom, nepravilno odložene u blizini zgrade. Donji dio Slike 9 prikazuje požar na zgradi, koji je nastao najvjerojatnije kao posljedica nepravilnog skladištenja goriva.



Slika 9: Kose snimke prije i poslije eksplozije prouzročene nepravilno odloženim bačvama s gorivom. (URL 5)

## 4. Zaključak

Tehnologija aerokamera s višestrukim vidnim poljem omogućuje snimanje sa osima snimanja nagnutim od 30° do 45° u odnosu na vertikalnu os. U najzastupljenijoj konfiguraciji malteškog križa ove kamere snimaju uz vertikalnu snimku još dodatnih 4 kosih snimki. Na taj način se bitno povećava mogućnost interpretacije snimki snimljenog područja i povećava se pouzdanost u automatskim fotogrametrijskim postupcima generiranja trodimenzionalnih modela. Ove karakteristike posebno dolaze do izražaja, ne samo u detaljnom praćenju kriznih situacija, već i u pravovremenom uočavanju mogućih izvora opasnosti i njihovoj prevenciji.

## Literatura

Grenzdörffer, G.J., Guretzki, M., Friedlander, I., (2008): Photogrammetric image acquisition and image analysis of oblique imagery. *The Photogrammetric Record* 23, 372–386.

Hart, H., Perrakis, D.D.B., Taylor, S.W., Bone, C., Bozzini, C., (2021): Georeferencing Oblique Aerial Wildfire Photographs: An Untapped Source of Fire Behaviour Data. *Fire* 4, 81.

Svatonova, H., (2015): Aerial and satellite images in crisis management: Use and visual interpretation. In: *International Conference on Military Technologies (ICMT) 2015*. Presented at the 2015 International Conference on Military Technologies (ICMT), IEEE, Brno, Czech Republic, 1–5.

Van Coillie, F.M.B., Gardin, S., Anseel, F., Duyck, W., Verbeke, L.P.C., De Wulf, R.R., (2014): Variability of operator performance in remote-sensing image interpretation: the importance of human and external factors. *International Journal of Remote Sensing* 35, 754–778.

Vetrivel, A., Duarte, D., Nex, F., Gerke, M., Kerle, N., Vosselman, G., (2016): Potential of multi-temporal oblique airborne imagery for structural damage assesment. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* III-3, 355–362.

URL 1: Mendola, A., (2023): Applications of Oblique Aerial Imagery, [https://www.-geotechcenter.org/uploads/2/4/8/8/24886299/applications\\_of\\_oblique\\_aerial\\_imagery.pdf](https://www.-geotechcenter.org/uploads/2/4/8/8/24886299/applications_of_oblique_aerial_imagery.pdf), (21.07.2023).

URL 2: Nex, F., (2023) Oblique aerial images: potentialities, applications and best practices, *Geospatial World Forum*. <https://geospatialworldforum.org/speaker/Speakers-Images/oblique-aerial-images-potentialities-applications-and-best-practices.pdf>, (21.07.2023.).

URL 3: UltraCam Osprey Mark 3 Premium, Vexcel Imaging. <https://www.vexcel-imaging.com/ultracam-osprey-m3-premium/>, (07.06.2023.).

URL 4: Wilson, J., Williams, C., EagleView (2019): Aerial Photography Ortho & Oblique Imagery. <https://www.ncdor.gov/documents/files/wilson-aerial-photography-business-personal-property/open>, (21.07.2023).

URL 5: Benefits of Oblique Aerial Imagery for Public Safety. EagleView, 2023. <https://view.highspot.com/viewer/6499aa9634eace628949b5c6>, (18.07.2023.).

# Application of Oblique Aerial Photographs in Crisis Situations

## Abstract

Catastrophes that occur as a result of natural disasters but also war, with their destructive power, alter the state of natural and man-made objects on the ground and sometimes the morphology of the terrain (earthquakes, landslides) in a short amount of time. For decades, photogrammetric aerial photographs have been a reliable source of information for the evaluation of damage caused by various crisis situations. Typically, photogrammetric recording is conducted so that the recording axes are approximately vertical in space, allowing for an optimal view of only the topmost portions of objects, which is ideal for orthophotography. On vertical views, only fragments of building facades, tall vegetation, fences, and pillars are visible on the side surfaces of buildings on the ground. Photogrammetric surveying and reconstruction using oblique aerial photographs allows for the elimination of this deficiency to a large extent and the collection of vital data for assessing the potential threat before an accident or disaster and the extent of the damage afterward. This paper will therefore provide an overview of the imaging technology and the use of oblique aerial photographs, particularly in emergency situations.

**Keywords:** *photogrammetry, oblique aerial images, crisis situations*

# SESIJA 4

## UPRAVLJANJE KRIZNIM SITUACIJAMA 1



# E-CITIJENS – Sustav za upravljanje hitnim situacijama zasnovan na građanskom novinarstvu

Martina Baučić<sup>1</sup>, Frane Gilić<sup>1</sup>, Leona Kovacic<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska, mbauccic@gradst.hr, fgilic@gradst.hr

<sup>2</sup> Josipa Pupačića 2, Omiš, Hrvatska, leona.kovaciclk@gmail.com

## Sažetak

Jedan od najizazovnijih zadataka u upravljanju hitnim situacijama je uključivanje građana putem društvenih mreža. Pri tome je ključno pitanje vjerodostojnost informacija koje objavljuju građani, kako bi se one učinkovito uključile u zajedničku operativnu sliku. Ovaj rad opisuje rješenje koje se razvilo u okviru Interreg projekta E-CITIJENS. Putem razvijenih algoritama, objave građana na društvenim mrežama pretražuju se i odabiru one od značaja za hitnu situaciju. Tako odabrane objave zajedno se s drugim podacima prikazuju na zajedničkoj operativnoj slici: karti s prikazom situacije na terenu.

**Ključne riječi:** društvene mreže, građansko novinarstvo, karta, upravljanje hitnim situacijama, zajednička operativna slika

## 1. Uvod

Projekt „Sustav za podršku odlučivanju u upravljanju hitnim situacijama za potrebe civilne zaštite zasnovan na građanskom novinarstvu, a za poboljšanje sigurnosti na području Jadrana“, skraćenog naziva E-CITIJENS, projekt je prekogranične suradnje INTERREG Italija – Hrvatska 2014.-2020., koji je trajao od 2019. do 2022. godine. Glavni cilj projekta bio je povećanje sigurnosti hrvatskog i talijanskog područja Jadrana putem poboljšanja mjera i instrumenata za prevenciju i upravljanje u slučaju opasnosti. Posebni ciljevi projekta bili su:

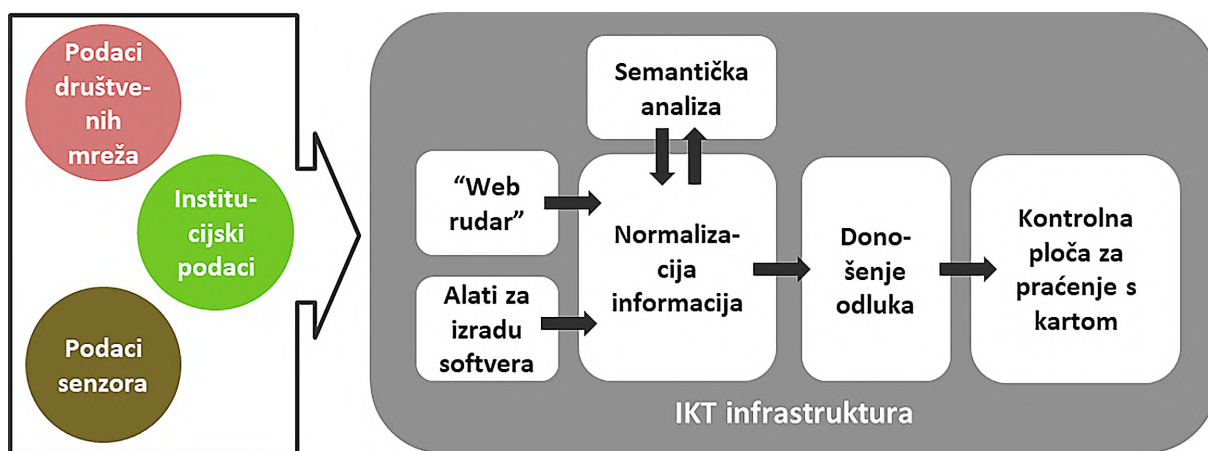
1. Opremiti lanac zapovijedanja civilne zaštite sa sustavom za podršku odlučivanja (SPO) zasnovanom na društvenim mrežama;
2. Potaknuti sudjelovanje građana kao „aktivnih senzora“ kod hitnih situacija (građansko novinarstvo);
3. Uskladiti hrvatsko i talijansko zakonodavstvo u upravljanju rizicima.

Partneri na projektu bili su: regija Molise kao voditelj projekta, regija Veneto, Splitsko-dalmatinska županija, Istarska županija, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, Alma Mater Studiorum Sveučilište u Bologni, Općina Pescara, Jadransko-jonska euroregija, EEIG Eurelations te Agencija za ruralni razvoj Zadarske županije – AGRRA. Glavni doprinosi Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu bio je u modeliranju sustava E-CITIJENS.

Ključna inovacija projekta je u automatskom uključivanju informacija prikupljenih od građana putem društvenih mreža. Ideja o korištenju društvenih mreža u upravljanju hitnim situacijama pojavila se zajedno

s razvojem društvenih mreža ranih 2000-tih godina. Razvoj mobilnih komunikacija dodatno je povećao značaj društvenih mreža jer se sada svaki građanin s pametnim telefonom može smatrati senzorom koji brzo objavljuje informacije o nastalim opasnostima s geolokacijom i vremenom. Istraživanje u okviru projekta pokazalo je da su najpopularnije društvene mreže Facebook, Twitter te Instagram koji najviše koristi mlada populacija (Knezić i Baučić, 2019a). Pitanje koje se postavlja je: U kojoj će fazi upravljanja hitnim situacijama korištenje društvenih mreža biti najkorisnije? Općepoznate četiri faze upravljanja hitnim situacijama su: mitigacija (ublažavanje) i pripravnost, obje prije samog događaja, te po nastanku opasnih događaja slijede faze odgovora i oporavka. Knezić i Baučić, (2019a), zaključuju da društvene mreže predstavljaju komunikacijski kanal od hitnih službi prema građanima, naročito u fazama odgovora i oporavka te da su najperspektivnija područja primjene u razvoju sustava za rano upozoravanje te u razumijevanju situacije na terenu, odnosno stvaranju zajedničke operativne slike posebno tijekom akcija spašavanja i umanjenja posljedica opasnih situacija.

Iako su društvene mreže izvršna prilika za podršku i poboljšanje hitnih službi, postoje problemi koji proizlaze iz činjenice da poruke dolaze izvana, odnosno od građana te ako nisu provjerene, mogu predstavljati prijetnju u smislu vjerodostojnosti. Problemi i izazovi mogu se grupirati u sljedeće kategorije: netočne informacije, nepotpune informacije, oportunističke dezinformacije, zastarjele informacije i beskorisne informacije. Netočne, nepotpune i zastarjele informacije prilično su česte i dobro razumljive. Oportunističke dezinformacije proizlaze iz situacija kada ljudi, kako bi dobili pozornost, objavljuju informacije koje nisu



Slika 1: Konceptijski model sustava E-CITIJENS (Knezić i Baučić, 2019a, prilagođen prikaz iz Cardillo, 2019)

povezane s opasnom situacijom. Posebna kategorija su beskorisne informacije koje se objavljuju u dobroj namjeri, ali zagušuju kanale komunikacije. Primjer iz Hrvatske, koji navode Kević i dr., (2018), objašnjava situaciju kada je objavljena poruka na društvenim mrežama dovela brojne građane na požarište i na taj način stvorila nekontroliranu situaciju.

Zaključno, korištenje društvenih mreža u upravljanju hitnim situacijama i dalje predstavlja izazov. Iako objave građana na društvenim mrežama pružaju korisne informacije u gotovo stvarnom vremenu, uvijek postoji rizik nedostatka pouzdanosti informacija koje dolaze s takvih platformi. Projekt E-CITIJENS pokušava prevladati navedene probleme i predlaže rješenje koje uključuje građane putem njihovih objava na društvenim mrežama te ih koristi kao vrijedne informacije za stvaranje zajedničke operativne slike hitnih situacija.

## 2. Izrada modela sustava E-CITIJENS

Prvi korak u razvoju sustava E-CITIJENS bio je razvoj konceptijskog modela. Razvijeni su scenariji rizika za potrese, požare, poplave i ugroze zdravlja stanovništva, a sustav se može dalje nadograđivati i ostalim vrstama rizika. Sustav objedinjuje podatke iz više izvora: podatke javnih institucija, podatke senzora (npr. web kamere) te podatke koje građani objavljuju putem društvenih mreža. Slika 1 prikazuje konceptijski model sustava. Društvene mreže automatski se pretražuju pomoću alata zvanog „web rudar“. Svi ulazni podaci se normaliziraju tj. prevode u zadanu strukturu sustava – sintaktičku i semantičku. Podustav semantičke analize izdvaja i klasificira informacije relevantne za opasne situacije korištenjem razvijenog tezaurusa (zbirke ključnih riječi – „hashtags“). Podustav za donošenje odluka procjenjuje prikupljene informacije prema skupu definiranih kriterija i stvara upozorenja u slučaju prekoračenja definiranih pragova, a što može ukazivati na opasnu situaciju. Na primjer: u kratkom vremenu (zadani vremenski intre-

val) detektirano je više poruka (zadan broj poruka) s ključnim riječima (zadane ključne riječi npr. dim, požar, vatra) na području čiji radijus ne prelazi zadanu veličinu. Sve zajedno se prikazuje korisniku na kontrolnoj ploči na kojoj centralno mjesto zauzima karta područja s geolociranim informacijama i automatski detektiranim potencijalnim opasnim situacijama. Korisnik može birati vrstu informacija i način prikaza na kontrolnoj ploči te pretraživati cijelovite izvorne podatke prije nego što ih je sustav interpretirao.

U nastavku su ukratko dani rezultati istraživanja za dva pitanja od posebne važnosti u modeliranju sustava E-CITIJENS: sadašnje korištenje društvenih mreža u hitnim situacijama u Italiji i Hrvatskoj te pitanje ocjene kvalitete i geolociranja podataka prikupljenih na društvenim mrežama.

### 2.1. Analiza korištenja društvenih mreža u upravljanju hitnim situacijama u Italiji i Hrvatskoj

Putem upitnika i vođenih intervjua koji su se obavili u organizacijama civilne zaštite i hitnim službama u talijanskim pokrajinama Molise i Veneto te hrvatskoj županiji Splitsko-dalmatinskoj, prikupili su se podaci o korištenju društvenih mreža u upravljanju hitnim situacijama u Italiji i Hrvatskoj. Sažeti prikaz nalaza iz Knezić i Baučić, (2019b), dan je u poglavljima ispod.

Talijanske organizacije koriste komunikaciju na društvenim mrežama prvenstveno za slanje informacija građanima i drugim organizacijama od interesa. Informacije se obično šalju tijekom i nakon hitnih situacija kao i tijekom faze oporavka (uglavnom tijekom provođenja mjera za obnovu područja npr. čišćenje, ispušavanje vode i sl.). Regije Molise i Veneto imaju službene društvene profile na Facebooku i Twitteru. Rezultati istraživanja u Italiji pokazali su kako se društvene mreže mogu dobro koristiti za odlaznu komunikaciju. Unatoč tome, postoji potreba za informacijama koje dolaze od građana poput upozorenja, fotografija opasnih situacija i drugih korisnih informacija tijekom faze odgovora.

U analizi korištenja društvenih mreža u upravljanju hitnim situacijama u Hrvatskoj sudjelovali su predstavnicima službi: vatrogastvo, služba 112, Crveni križ i Gorska služba spašavanja. Dok vatrogasci i Gorska služba spašavanja koriste društvene mreže kako bi obavijestili građane o požarima ili za objavu korisnih informacije o opasnostima, služba 112 dosad nije razmišljala o korištenju društvenih mreža jer je njihova primarna usluga orijentirana na telefoniranje i dojava te preusmjerenje na druge hitne službe. Postoje određene prepreke koje uzrokuju slabu upotrebu društvenih mreža: hrvatske službe civilne zaštite dio su Ministarstva unutarnjih poslova i korištenje društvenih mreža onemogućeno je iz sigurnosnih razloga, nemaju specijalizirano osoblje za komunikaciju s građanima putem društvenih mreža te građani nisu naviknuti slati dojava ili obavještavati o potencijalnim opasnim situacijama putem društvenih mreža, već radije pozivaju sustav 112.

Iz analize korištenja društvenih mreža u Italiji i Hrvatskoj u upravljanju hitnim situacijama može se zaključiti kako je korištenje društvenih mreža još u početnoj fazi (više se koristi u talijanskim regijama nego u hrvatskim). Komunikacija je najvećim dijelom jednosmjerna – prema građanima, ne i obrnuto. Iako su sve faze upravljanja hitnim situacijama vrijedne podrške putem komunikacije na društvenim mrežama, faze ranog upozorenja i odgovora imaju prioritet. Stoga se rješenje u okviru ovog projekta bavilo društvenim mrežama u smislu automatske pretrage informacija koje objavljuju građani te njihovog uključivanja u sustav za podršku odlučivanju. Također je jasno iz analize upitnika da je dobivanje vjerodostojnih informacija s točnim vremenom i lokacijom od presudne važnosti.

## 2.2. Kvaliteta i geolociranje podataka prikupljenih na društvenim mrežama

Učinkovite hitne operacije zahtijevaju potpune i pravovremene informacije (Bharosa i dr., 2009) kao i vjerodostojne informacije, što predstavlja najnoviji problem kod korištenja društvenih mreža i drugih „crowdsourcing“ podataka, kao što je Open Street Map. Analiza Twittera (Starbird i Stamberger, 2010) otkrila je da su najvrijedniji „tweetovi“ lokalnih građana koji opisuju situaciju na njima poznatom mjestu. Geolociranje informacija važno je za stvaranje slike o situaciji na terenu, a za sustav E-CITIJENS dodatno se koristi u svrhu filtriranja podataka preuzetih s društvenih mreža. Knezić i Baučić, (2020), istražuju ova pitanja, a sažeti prikaz nalaza dan je u poglavlju ispod.

### 2.2.1. Kvaliteta podataka prikupljenih na društvenim mrežama

Standard ISO 8000 definira kvalitetu (u širem smislu) kao „usklađenost karakteristika sa zahtjevima“ (URL 1). Kvaliteta podataka najčešće se opisuje sa šest atributa: potpunost, valjanost, točnost, konzistentnost, dostupnost i pravovremenost. Svaki od atributa kvalitete može se ocijeniti na temelju namjeravane upotrebe podataka. Postavlja se pitanje kako pristupiti atributima kvalitete podataka društvenih mreža što

je nužan korak za korištenje takvih podataka u projektu E-CITIJENS. Ludwig i dr., (2015), dali su sljedeći prijedlog za ocjenu kvalitete podataka društvenih mreža, osobito u okviru donošenja odluka u upravljanju hitnim situacijama: dinamička procjena kvalitete tijekom hitnih operacija i subjektivna procjena ovisna o kontekstu/korisniku podataka.

Sustav E-CITIJENS omogućava korisnicima odabir geografskog područja, društvenih mreža i ključnih riječi za filtriranje podataka, nakon čega sustav prikazuje filtrirane podatke i daje ocijenu kvalitete podataka. Autori modela E-CITIJENS predložili su pet atributa kvalitete podataka (koji se mogu izdvojiti iz postojećih metapodataka koji opisuju podatke s društvenih mreža) na temelju kojih se rezultati pretraživanja društvenih mreža rangiraju i prezentiraju korisniku (Knezić i Baučić, 2020):

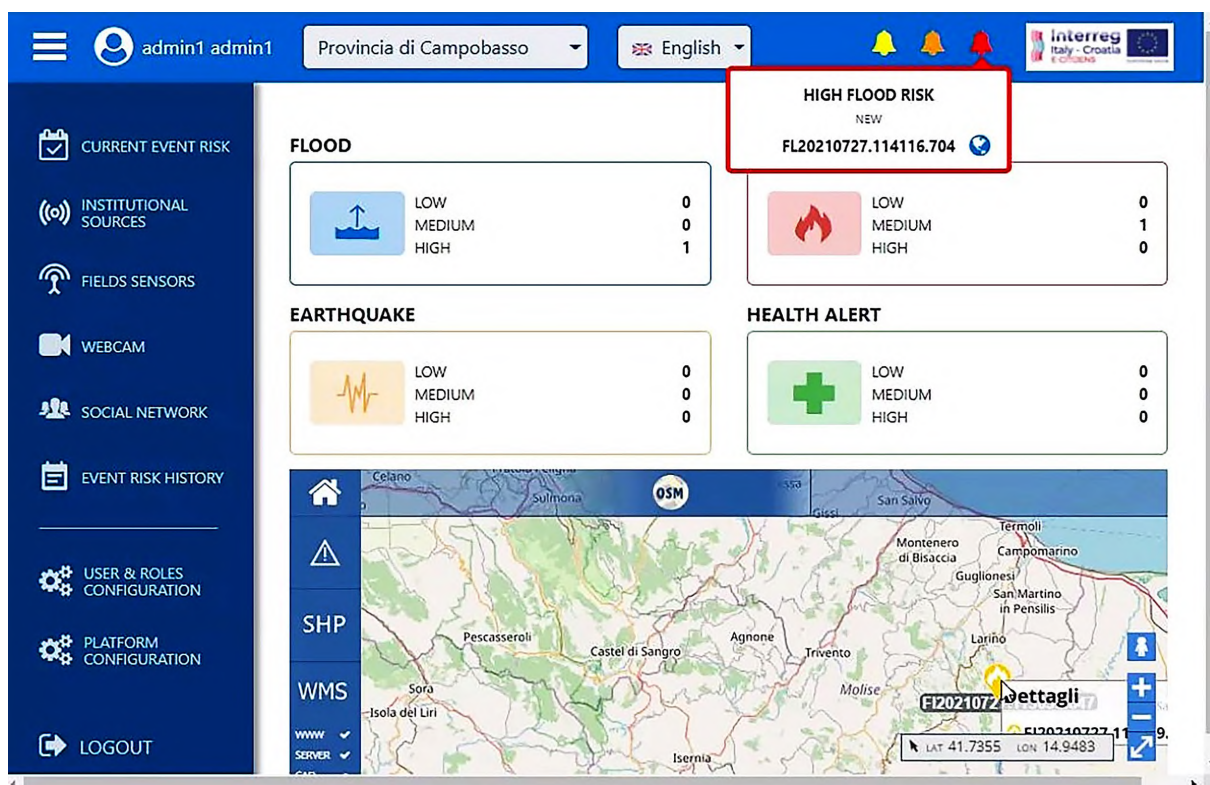
- Poveznice: broj poveznica koje objava sadrži (npr. poveznice na fotografije ili videozapise ili bilo koji drugi vanjski izvor podataka), objave s više poveznica dobivaju višu ocjenu;
- Vjerodostojnost: broj pratitelja ili prijatelja, objave autora s više pratitelja ili prijatelja dobivaju višu ocjenu;
- Ažurnost: vrijeme objave postova, noviji postovi dobivaju višu ocjenu;
- Širenje: broj ponovnih „tweetova“ na Twitteru ili dijeljenja na Facebooku i Googleu, postovi s više ponovnih „tweetova“ ili dijeljenja dobivaju veću ocjenu;
- Kvaliteta koordinata: GPS koordinate dobivaju najvišu ocjenu, koordinate izvedene putem imena i usluga geokodiranja dobivaju nižu ocjenu.

Može se zaključiti kako korištenje podataka društvenih mreža za donošenje odluka u upravljanju hitnim situacijama može dovesti do opterećenja informacijama kod donositelja odluka. Stoga je potrebno osigurati alate koji će korisnicima omogućiti filtriranje podataka i procjenu kvalitete u skladu s konkretnom situacijom.

### 2.2.2. Geolociranje podataka prikupljenih na društvenim mrežama

Geolokacija je uključena u metapodatke objava na društvenim mrežama i predstavlja središnju informaciju za prikaz objava na zajedničkoj operativnoj slici te za filtriranje podataka, a povlači i određena pitanja koja treba razjasniti. Prvo, sadržaj podataka društvenih mreža može uključivati geolokaciju, pokazujući lokaciju događaja opisanog u objavi. Također, geolokacija se može odnositi na uređaj s kojeg je objava poslana. Potonje lokacije ne moraju nužno međusobno odgovarati. Drugo, koordinate se mogu izvesti iz GPS uređaja, ali i putem usluga geokodiranja korištenjem naziva gradova ili adresa koje se nalaze u objavama. Naravno, kvaliteta ova dva izvora koordinata je različita. Treće, neophodni metapodatak je identifikacija koordinatnog sustava u kojem su dane koordinate geolokacije. Geolokacija je predstavljena geografskom točkom ako je iskazana pomoću: geografske širine i dužine. Najkorišteniji koordinatni





Slika 2: E-CITIENS kontrolna ploča s kartom

referentni sustav (KRS) danas je WGS84. Većina geografskih informacijskih sustava koristi šifre registra Europske grupe za istraživanje nafte (engl. EPSG) za KRS identifikatore. Registar EPSG je otvoreni registar koji uključuje identifikatore te pripadni opis koordinatnih referentnih sustava, elipsoida, koordinatnih transformacija i mjernih jedinica zajedno s njihovim definicijama u strojno čitljivom tekstu (engl. WKT).

### 3. Funkcionalnosti sustava E-CITIENS

Glavna karakteristika sustava E-CITIENS je objedinjeni prikaz informacija na karti koje se prikupljaju od građana putem društvenih mreža, zatim senzora (npr. meteorološki podaci), javnih izvora informacija te prikaz prethodno razvijenih scenarija razvoja hitnih situacija s potencijalnim rizicima. Glavne funkcije sustava E-CITIENS obuhvaćaju:

- Pretraživanje informacija koje se objavljuju na društvenim mrežama pomoću ključnih riječi, povezivanje informacija s hitnom situacijom, geolociranje informacija te prikazivanje geolokacija na karti s opisom događaja i vremenom objave;
- Povezivanje i prikazivanje podataka sa senzora na karti, povezivanje na druge sustave (npr. državni hidrometeorološki zavod, prometni sustav u gradovima i sl.);
- Prikaz izrađenih scenarija hitnih situacija;
- Kontrolirani pristup informacijama putem korisničkog imena i lozinke.

Na Slici 2 prikazana je kontrolna ploča s kartom sustava E-CITIENS koja uključuje zaglavlje s nazivom trenutnog područja i aktivnim alarmima; prikaz objedinjenih informacija po vrstama ugroza (požar, poplave i dr.); glavni izbornik s popisom izvora podataka i funkcijama podešavanja sustava od strane korisnika te centralni dio s kartom i geolociranim informacijama.

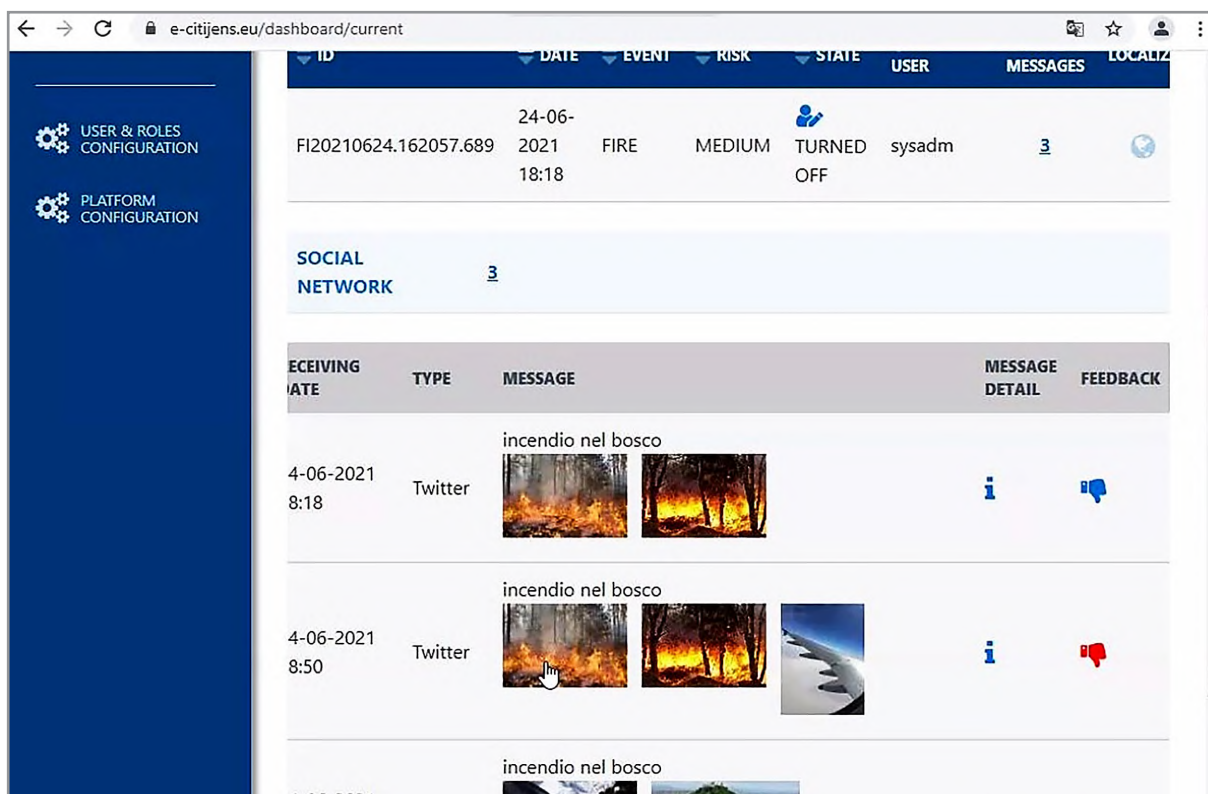
Na Slici 3 prikazana je lista objava na društvenim mrežama koje je sustav automatski odabrao i grupirao na način da potencijalno opisuju isti opasni događaj. Korisnik može u cijelosti pročitati svaku objavu, pregledati priložene fotografije i metapodatke.

Kako je ključna inovacija sustava E-CITIENS uključivanje informacija prikupljenih od građana putem društvenih mreža (tzv. objava), tako je u nastavku dan sažet opis te funkcionalnosti. Obrada podataka objavljenih na društvenim mrežama obuhvaća:

- Predodabir geografskog područja od interesa (od strane korisnika);
- Identifikaciju objava koje sadrže jednu ili više ključnih riječi;
- Klasifikaciju svake objave prema broju bodova koju je objava dobila;
- Geolokaciju odabranih objava.

Ukupni broj bodova svake objave ( $S_j$ ) izračunava se kao zbroj bodova pridruženih pojedinim ključnim pojmovima koji su sadržani u objavi (Knezić i Baučić, 2021):

$$S_j = \sum_{i=1}^n S_{ij}$$



Slika 3: Lista odabranih i rangiranih objava jedne hitne situacije

gdje je  $S_i$  ukupni broj bodova objave za određenu vrstu rizika,  $i$  predstavlja vrstu ugroze koja se obrađuje (poplave, šumski požari, potresi ili zdravstvene ugroze),  $n$  je broj ključnih riječi u objavi, a  $S_{ij}$  je ocjena ključne riječi (0, 0.25, 0.50, 0.75, 1) za ključnu riječ  $j$  i vrstu ugroze  $i$ .

U Tablici 1 su prikazani bodovi za ključne riječi prema vrsti ugroze. Tako ključna riječ „poplava“ ima vrijednost 1 za ugrozu od poplava, a vrijednost 0 za ugrozu od požara i potresa. Riječ „opasnost“ ima vrijednost 1 za sve tri vrste ugroza. Tezaurus je izgrađen za tri jezika i uključuje sve oblike riječi.

Kod određivanje prioriteta za prikaz objava na kontrolnoj ploči, bodovi ( $S$ ) koje je pojedina objava dobila dalje se zbrajaju s bodovima dodatnih kriterija. Ukupna pravila za određivanja prioriteta za prikaz objava na kontrolnoj ploči su sljedeća:

- $S$  u apsolutnoj vrijednosti označava relativnu važnost objave u usporedbi s drugim objavama odabranima za određenu vrstu rizika (što je veći

$S$ , veća je potencijalna opasnost i objava dobiva veći prioritet);

- Veći prioritet imaju objave koje sadrže bilo koji multimedijски prilog (npr. fotografiju, videozapis) jer je vjerojatnije da će sadržavati dodatne informacije potencijalno korisne za analizu. Ako dvije objave imaju isti  $S$ , ali samo jedna sadrži fotografiju, veći prioritet ima objava s fotografijom;
- Veći prioritet imaju objave koje sadrže ključne riječi specifične za zadatak, a koje su korisnici definirali kroz postavke zadatka.

Dodatno, korisnik sustava može sam dalje pretraživati i sortirati objave prema npr. datumu i vremenu objave, geolokaciji, sadržaju objave/ključnim riječima i dr. Sve geolocirane objave se prikazuju na karti zajedno s drugim informacijama i tako čine zajednički operativnu sliku situacije na terenu, ključnu za učinkovito upravljanje kriznim situacijama.

Tablica 1: Primjer s ključnim riječima i pripadnim bodovima prema vrsti ugroze

Ugroza/rizik	Riječ (engl)	Riječ (it)	Riječ (hr)	Bodovi – poplava	Bodovi – šumski požar	Bodovi – potres
Opća	danger	pericolo	opasnost	1.00	1.00	1.00
Poplava	flood	alluvione	poplava	1.00	0.00	0.00
Šumski požar	fire	fuoco	požar	0.00	0.25	0.00
Potres	earthquake	terremoto	potres	0.00	0.00	1.00

## 4. Zaključak

Korištenje društvenih mreža u upravljanju hitnim situacijama u jadranskim regijama Italije i Hrvatske je u fazi razvoja. Komunikacija treba biti dvosmjerna: od civilne zaštite i hitnih službi prema i od građana, a stvarna komunikacija i u Italiji i u Hrvatskoj putem društvenih mreža je samo prema građanima. Stoga je ovaj projekt razvio rješenje kako prikupiti informacije koje dolaze od građana, kako ih validirati i učinkovito koristiti u upravljanju hitnim situacijama. Kao novinu, sustav E-CITIJENS uključuje semantičku analizu informacija prikupljenih s društvenih mreža i time olakšava donositeljima odluka učinkovito uključenje ove vrste informacija u upravljanje hitnim situacijama. Sustav E-CITIJENS instaliran je i testiran kao pilot rješenje u jadranskim regijama Italije i Hrvatske. Uz tehničke izazove, preostaje izazov integracije ovog i sličnih sustava u svakodnevnu praksu hitnih službi i civilne zaštite na Jadranu.

## Zahvala

*Projekt E-CITIJENS sufinanciran je iz Europskog fonda za regionalni razvoj u okviru programa Interreg Italija – Hrvatska. Ovo istraživanje podržano je kroz projekt KK.01.1.1.02.0027, projekt sufinanciran od strane Vlade RH i Europske unije kroz Europski fond za regionalni razvoj – Operativni program za konkurentnost i koheziju.*

## Literatura

Bharosa, N., Lee, J., Janssen, M. (2009): Challenges and obstacles in sharing and coordinating information during multi-agency disaster response:

Propositions from field exercises, *Information Systems Frontiers*, 12, 1, 49–65.

Cardillo, A. (2019): Design Specifications of „Social Media Based“ Emergency DSS Platform E-CITIJENS, prezentacija, E-CITIJENS projektni sastanak, Split.

Kević, M., Erceg, D., Bilać, D., Nađ, R. (2018): Društvene mreže – novi rizik ili rješenje za rizik? 7. Konferencija Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa, Zagreb.

Knezić, S., Baučić, M. (2019a): Social Media Based Emergency Decision Support System, Zbornik radova TIEMS konferencije, 12–15. studenoga 2019., Goyang, Koreja.

Knezić, S., Baučić, M. (2019b): Social media and crowdsourcing report, E-CITIJENS projekt, Aktivnost 3.1, Izvještaj br. 1.

Knezić, S., Baučić, M. (2020): Social media and crowdsourcing: thematic reclassification and consistency analysis report, E-CITIJENS projekt, Aktivnost 3.2, Izvještaj br. 3.

Knezić, S., Baučić, M. (2021): Emergency Decision Support System Platform: E-CITIJENS project, prezentacija, TIEMS godišnja konferencija, 6–10. prosinca 2021., Pariz.

Ludwig, T., Reuter, C., Pipek, V. (2015): Social Haystack: Dynamic Quality Assessment of Citizen-Generated Content during Emergencies, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 22, 4, 1–27.

Starbird, K., Stamberger, J. (2010): Tweak the Tweet: Leveraging microblogging proliferation with a prescriptive syntax to support citizen reporting, Zbornik radova ISCRAM, Seattle, USA.

URL 1: ISO 8000-2:2022(en), Data quality – Part 2: Vocabulary, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8000:-2:ed-5:v1:en>, (26.7.2023.).

# E-CITIJENS – Emergency Management System Based on Citizen Journalism

## Abstract

One of the most challenging tasks in emergency management is involving citizens through social networks. The key issue is the trustworthiness of the information published by citizens, in order to be effectively included in the common operational picture. This paper describes the solution developed within the Interreg project E-CITIJENS. Through developed algorithms, citizens' posts on social networks are searched and those of importance for an emergency situation are selected. The posts selected in this way are displayed together with other data on a common operational picture: a map showing the situation on the field.

**Keywords:** *citizen journalism, common operational picture, emergency management, map, social networks*



# Primjena Google Earth Engine platforme u procjeni i kartiranju poplavnih područja

Dino Dobrinić<sup>1</sup>, Damir Medak<sup>1</sup>, Samantha Rajković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Hrvatska, ddobrinic@geof.unizg.hr, dmedak@geof.unizg.hr, srajkovic@geof.unizg.hr

## Sažetak

Poplava je jedna od najučestalijih elementarnih nepogoda i predstavlja porast vodostaja gdje razina vode doseže i premašuje gornje obrise obale te se prelijevanjem širi u zaobalna područja. Tradicionalno, uobičajeni pristup detekciji vodenih površina je korištenje satelitskih snimki prikupljenih pasivnim optičkim satelitskim sensorima, ali njihova upotreba je ograničena za vrijeme poplava radi velike koncentracije oblaka. Iz tog razloga, jedan od najčešće korištenih oblika satelitskih podataka koji se koriste za detekciju poplava su snimke prikupljene pomoću aktivnih senzora - radara sa sintetičkim otvorom (engl. Synthetic Aperture Radar; SAR). Metode automatskog određivanja praga predstavljaju najrašireniji pristup izdvajanja vodenih površina na satelitskim snimkama, pri čemu se mogu brzo i efikasno dobiti informacije o poplavljenim površinama. U ovom radu korištene su dvije metode automatskog određivanja praga, Otsu i Kittler-Illingworth (KI) algoritam, te metoda manualnog određivanja praga metodom uzorkovanja Sentinel-1 SAR satelitske snimke. Navedeni algoritmi implementirani su u Google Earth Engine (GEE) platformi koja se nameće kao idealno rješenje za obradu velike količine geoprostornih podataka u vrlo kratkom vremenu. Najbolji rezultati postignuti su za KI metodu primijenjenu na lokalni način za 10 segmenata uz ostvarenu točnost od 98,76%, F1-ocjenu od 83,04% i preciznost od 77,88%. Otsu metoda postigla je nisku razinu preciznosti, odnosno rezultirala je kartiranjem velikog broja lažnih pozitivnih piksela, dok manualnim odabirom uzoraka model nije detektirao veliki broj piksela na kojima su vodene površine. Implementirani algoritmi automatskog određivanja praga na globalan i lokalni način imaju potencijal daljnje primjene za detekciju poplavljenih površina i u drugim područjima.

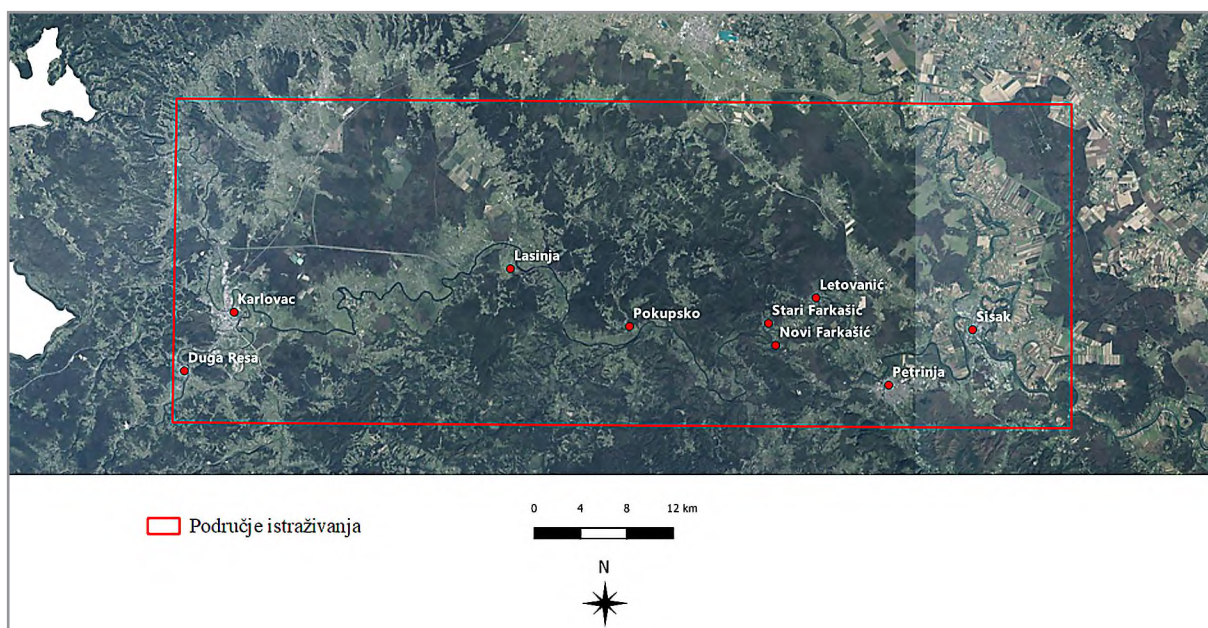
**Ključne riječi:** Google Earth Engine, Kittler-Illingworth, Otsu, poplava, Random Forest, Sentinel.

## 1. Uvod

Poplava je privremena pokrivenost zemljišta vodom koja može biti uzrokovana izlivanjem rijeka, bujica, privremenih podotoka, jezera, kao i morske vode u priobalnim područjima i suvišnim podzemnim vodama. Tradicionalno, uobičajeni pristup detekciji vodenih površina je korištenje satelitskih snimki prikupljenih pasivnim sensorima, kao što su optičke satelitske snimke, te primjenom tehnika kao što je normalizirani indeks razlike vode (NDWI) i drugih indeksa vode. Iako su takvi algoritmi detekcije koji koriste optičke snimke i druge multispektralne slike izvedene iz pasivnih senzora pokazali veliki potencijal, njihova uporaba je često ograničena lošim vremenskim prilikama, kao što su velika koncentracija oblaka ili manjak dnevnog svjetla iznad promatranog područja (Nemni i dr. 2020). Iz tog razloga, jedan od najčešće korištenih oblika satelitskih podataka koji se koriste za detekciju poplava su snimke prikupljene pomoću aktivnih senzora - radara sa sintetičkim otvorom (engl. Synthetic Aperture Radar; SAR).

Uz sve veću dostupnost SAR snimki, razvijen je širok spektar metoda za izdvajanje vodenih površina na

snimkama, među kojima su najrasprostranjenije metode određivanja praga (engl. *threshold*). Osim metoda određivanja praga, u literaturi se često koriste i sljedeće metode detekcije poplava na SAR snimkama (Manavalan, 2016), npr. metode nadzirane klasifikacije (obuhvat poplavljenog područja identificira se na SAR snimkama temeljem statističkih svojstava ručno odabranog seta za treniranje) ili objektno orijentirane analize snimke (temeljem kriterija sličnosti sivih vrijednosti ili svojstava teksture, ovaj postupak prvo izdvaja uniformne objekte na snimci bez ikakvog semantičkog značenja, koji se potom klasificiraju na temelju skupa hijerarhijskih pravila). Nadalje, budući da su pravovremene i točne informacije o opsegu poplavnih voda ključne za planiranje u hitnim slučajevima i upravljanje katastrofama, Google Earth Engine (GEE) se nameće kao idealno rješenje za obradu velike količine geoprostornih podataka u vrlo kratkom vremenu. Glavne prednosti GEE-a su besplatno dostupni skupovi podataka, sposobnost za geoprostornu analizu velikih podataka, podrška za JavaScript i Python API te niski zahtjevi za performanse korisničkog računala (Zhao i dr., 2021).



Slika 1: Prikaz područja istraživanja na Sentinel-2 optičkom satelitskom snimku od 11.07.2015. godine.

Kao što je prethodno navedeno, metode automatskog određivanja praga predstavljaju najrašireniji pristup izdvajanja vodenih površina na satelitskim snimkama, pri čemu se mogu brzo i efikasno dobiti informacije o poplavljenim površinama. Stoga, glavni cilj ovog rada biti će određivanje i usporedba manualnih i automatskih metoda za određivanje praga na SAR snimkama s ciljem definiranja obuhvata poplavljenih područja.

## 2. Područje istraživanja i podaci

Područje istraživanja ovog rada je u rasponu od šireg područja grada Karlovca do grada Siska. Za potrebe ovog rada (Slika 1), područje istraživanja iznosi cca. 2161 km<sup>2</sup>. Navedena područja su odabrana radi poplave koja se dogodila uslijed vodenog vala koji je započeo 15. listopada 2015. u okolici grada Karlovca, te se širio sve do grada Siska i trajao do 17. listopada 2015. godine. Tom prilikom, za područje grada Karlovca je bilo proglašeno stanje elementarne nepogode.

Na Sentinel-1 (S1) satelitima ugrađen je C-SAR (engl. *Synthetic Aperture RADAR*) koji radi u području valnih duljina od 5,55 cm. Dobiveni podaci mogu biti u različitim kombinacijama horizontalne i vertikalne polarizacije, prostorne rezolucije između 5 i 100 m te veličini sekcije od 20 do 400 km. Za potrebe ovog istraživanja korištena je GRD snimka (engl. *Ground Range Detected*) razine 1 za datum od 18.05.2015 (prije poplave) te 21.10.2015. (za vrijeme poplave). Korištene snimke su VV (engl. *Vertical Transmit-Vertical Receive*) polarizirane. Naime, prethodna istraživanja pokazala su da je VV polarizacija, koja je dobivena sa srednjim upadnim kutom, adekvatniji izbor za kartiranje poplava u odnosu na VH (engl. *Vertical Transmit-Horizontal Receive*) polarizaciju (Tiwari i dr., 2020).

Sentinel-2 (S2) satelitska snimka razine 1C preuzete su GEE platforme i pomoću Sensor Invariant Atmospheric Correction (SIAC) metode dostupne sa repozitorija na GitHub-u (Yin i dr., 2022) konvertirane iz razine 1C (refleksija na vrhu atmosfere) u razinu 2A (refleksija pri dnu atmosfere). Datumi S2 snimaka su iz 7. i 8. mjeseca (prije poplave), te sveukupno 3 snimke su korištene za provedbu nadzirane klasifikacije u svrhu izdvajanja stalnih vodenih površina te računanja poplavljenih površina po klasama. Za potrebe ovog istraživanja korišteni su spektralni kanali 2, 3, 4 i 8 (plavi, zeleni, crveni i blisko-infracrveni) koji su jednake prostorne rezolucije od 10 m kao i obradena S1 GRD snimka.

Nakon predobrade radarskih i satelitskih snimaka, uzorci za potrebe nadzirane klasifikacije prikupljali su se u Quantum GIS programu verzije 3.28., dok se za klasifikaciju snimaka, određivanje praga na snimkama i provjeru točnosti klasifikacije koristio Google Earth Engine.

## 3. Metode

Za potrebe izdvajanja vodenih površina na satelitskim snimkama korištene su dvije metode automatskog određivanja praga, Otsu i Kittler-Illingworth (KI) algoritam, te metoda manualnog određivanja praga metodom uzorkovanja Sentinel-1 SAR satelitske snimke. Navedene metode implementirane su u Google Earth Engine (GEE) platformi. U svrhu evaluacije rezultata, provedena je nadzirana klasifikacija primjenom Random Forest (RF) algoritma na SAR snimci za vrijeme poplave.

Otsuova metoda (Otsu, 1979) za određivanje praga je algoritam koji se koristi za automatsko određivanje praga, te funkcionira na temelju pretpostavke da se

Tablica 1: Vrijednosti lokalno i globalno izračunatih pragova signala povratnog raspršenja (u dB) primjenom Otsu, Kittler-Illingworth i manualne metode.

Algoritam	Prag (dB)			
	Lokalno (broj segmenata)			Globalno
	5	10	20	
Otsu	-14,08	-13,77	-12,61	-13,10
Kittler-Illingworth	-17,08	-16,93	-16,43	-20,21
Manualna metoda	-	-	-	-20,40

slika sastoji od dvije klase piksela koje slijede histogram intenziteta slike - pozadinu i objekte od interesa. Cilj je odabrati prag koji minimizira varijancu unutar klase (unutar-klasna varijanca) a maksimizira varijancu između klasa (između-klasna varijanca). Ukoliko histogrami objekata i pozadine nisu dobro odvojeni, Otsu neće dati optimalne rezultate, i tada se koristi Kittler-Illingworth-ov (KI) algoritam. Kittler-Illingworth algoritam je globalna parametarska tehnika za automatsko određivanje praga koja koristi pristup određivanja minimalne pogreške (engl. *Minimum Error Approach*).

RF metoda temelji se na izgradnji stabla odluke (engl. *decision tree*). Iz trening podataka nasumično se uzimaju uzorci te iz dobivenih nasumičnih uzoraka algoritam izgradi „šumu“ stabala. Konačna klasa u klasifikaciji odabere se na temelju odgovora većine stabala (Breiman, 2001). Prema istraživanju Belgiju i Dragut (2016), broj stabala (*n<sub>tree</sub>*) odabran je na 100, dok je *m<sub>try</sub>* parametar određen kao kvadratni korijen od ukupnog broja ulaznih varijabli.

Rezultati dobiveni primjenom Otsuove metode i KI algoritma, kao i metode uzorkovanja, provjereni su kroz korištenje klasificirane SAR snimke. Klasifikacija Sentinel-1 snimke tijekom poplave ograničena je na dvije klase: voda i ostalo. Za svaku od ovih klasa, sakupljeno je tristo uzoraka u obliku točaka. Glavna svrha ovog rada bila je određivanje svih vodenih površina, uključujući i poplavljena područja.

Za provjeru točnosti korištena je matrica konfuzije, unutar koje dijagonale predstavljaju ispravno klasificirane piksele, dok su pikseli izvan dijagonale pogrešno klasificirani u drugu klasu. Pored ukupne točnosti klasifikacije, u istraživanju će se prikazati točnosti dobivene za pojedinu klasu ovisno o korištenom senzoru za klasifikaciju. Računanje i objašnjenje pojedinih elemenata matrice konfuzije detaljno su prikazani u Foody (2002).

## 4. Rezultati i diskusija

U sklopu ovog istraživanja izvršene su globalne i lokalne metode za određivanje praga (engl. *thresholding*) na SAR snimkama. To podrazumijeva konverziju rasterske snimke u binarnu, odnosno podjelu snimke na dva dijela, pozadinu i objekt od interesa

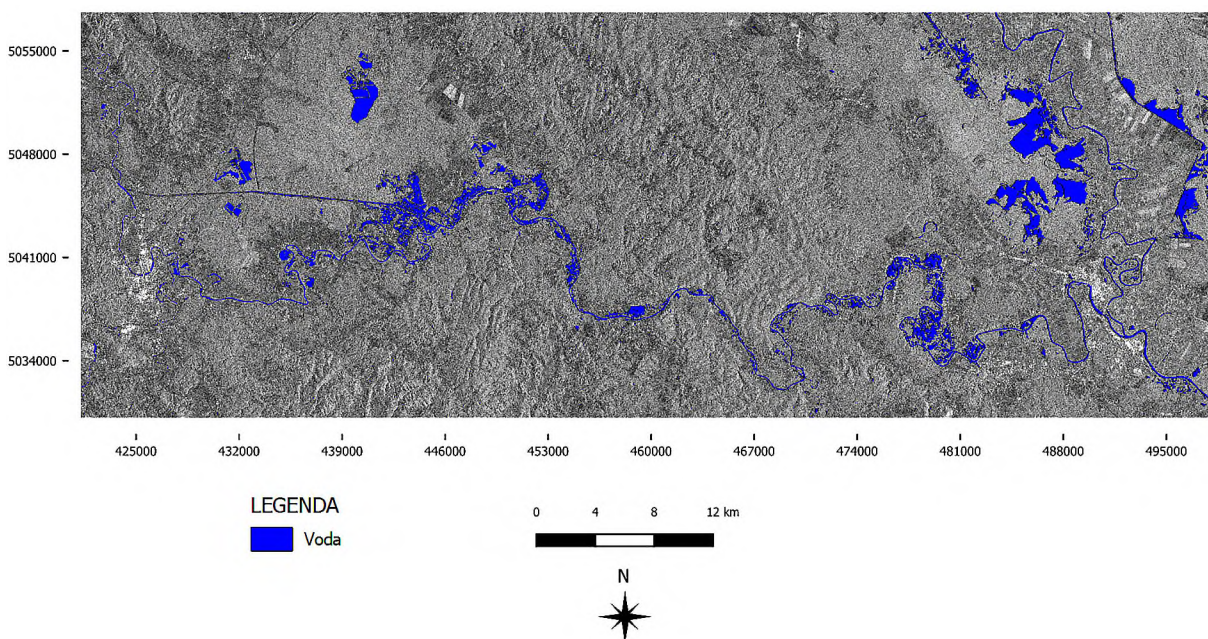
– vodene površine. Globalan način određivanja praga podrazumijeva primjenu istog praga na cijelu sliku. Međutim, u nekim situacijama primjena istog praga na cijelo područje neće dati zadovoljavajuće rezultate, stoga je potrebno područje istraživanja podijeliti na manje segmente te prag izračunati za svaki pojedini dio (Liang i Liu, 2020). Pod pretpostavkom da veća standardna devijacija unutar segmenta upućuje na heterogenost zemljišnog pokrova pri čemu vodene površine imaju najniže vrijednosti signala povratnog raspršenja (engl. *backscatter*) na SAR snimkama, lokalno određivanje praga izvršeno je za pet, deset i dvadeset SAR segmenata. U Tablici 1. prikazane su vrijednosti lokalno i globalno izračunatih pragova signala povratnog raspršenja primjenom Otsu i Kittler-Illingworth (KI) automatskih metoda te manualne metode za određivanje praga.

Usporedbom izračunatih pragova kod globalnog načina računanja, vidljivo je da KI metoda i manualna metoda uzorkovanja daju vrlo slične rezultate. S druge strane, Otsu metoda kod oba načina računanja daje drastično više vrijednosti praga od ostale dvije metode. Posljedično, Otsu metoda daje više lažnih pozitivnih piksela, tj. piksela koji su pogrešno klasificirani kao vodene površine. Lokalno izračunati pragovi za pet, deset i dvadeset odabranih segmenata za Otsu i KI metodu poprimaju slične vrijednosti koje se kreću od -14,08 do -12,61 dB, odnosno -17,08 do -16,43 dB uz opasku da se vrijednosti praga povećavaju dodavanjem segmenata u izračun, odnosno smanjivanjem standardne devijacije. Nakon usporedbe dobivenih rezultata sa sličnim istraživanjima (Tran i dr., 2022; Wang i dr., 2023), u nastavku će biti detaljnije analizirane sve globalne metode uzorkovanja te Otsu i KI metoda izračunata lokalno na 10 segmenata.

Stoga, u svrhu validacije rezultata, prvo je napravljena klasifikacija S2 satelitske snimke prije poplave pomoću RF algoritma kako bi se dobile stalne vodene površine. Budući da je za vrijeme poplave velika prekrivenost oblacima te optičke snimke nisu dostupne, provedena je nadzirana klasifikacija primjenom Random Forest (RF) algoritma na SAR snimci za vrijeme poplave. Klasificirana snimka (Slika 2) korištena je kao referentna snimka za validaciju Otsu, KI i manualne metode određivanja pragova (Tablica 1).

Stupanj neuravnoteženosti (IR) klasa na referentnoj snimci iznosi 1:28, što znači da se radi o izrazito neuravnoteženom setu podataka s manjim brojem pik-





Slika 2: Klasificirana Sentinel-1 SAR snimka za vrijeme poplave pomoću Random Forest (RF) algoritma.

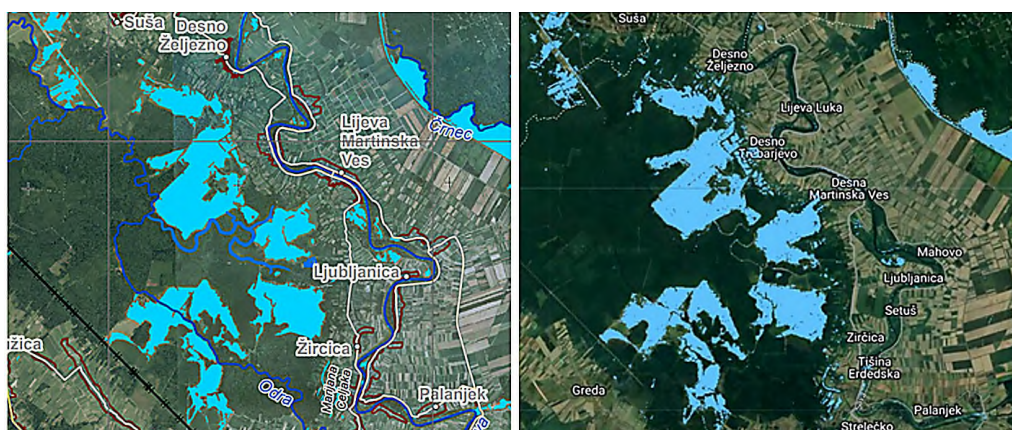
sela na kojima su vodene površine, u odnosu na sve ostale površine. Iz tog razloga je točnost dobivenih rezultata procijenjena pomoću višestrukih mjera točnosti (Tablica 2), uključujući: Ukupnu Točnost (UT), F1–ocjena (F1), Preciznost (PR) i Odziv (engl. *Recall*; OD). Osim računanja navedenih metrika točnosti, točnost je procijenjena i vizualno, usporedbom s CEMS kartom (Slika 3).

Tablica 2: Validacija rezultata lokalno (prva dva retka; 10 segmenata) i globalno (GL) izračunatih pragova za detekciju vodenih površina.

Algoritam	UT [%]	F1 [%]	PR [%]	OD [%]
Otsu (10)	93,32	49,63	33,41	96,44
KI (10)	98,76	83,04	77,88	88,94
Manual (GL)	98,10	61,43	97,46	44,85
Otsu (GL)	93,32	49,63	33,41	96,44
KI (GL)	98,24	66,27	96,30	50,52

Kao što je navedeno, ukupna točnost je veoma visoka za metode budući da se radi o veoma neuravnoteženom setu referentnih podataka. Stoga je važno detaljnije analizirati F1–ocjenu koja kombinira preciznost i odziv u jednu brojčanu vrijednost i daje veću težinu modelima koji imaju uravnotežene vrijednosti preciznosti i odziva. Stoga, KI metoda izračunata lokalno na 10 segmenata pokazala se najpouzdanijom u ovom istraživanju.

Na prethodnoj slici prikazana je i vizualna usporedba poplavljenih područja dobivenih preko KI metode određivanja praga koja je izračunata lokalno na 10 segmenata sa kartom koju je izradio Copernicus Emergency Management Service (CEMS; URL 1). Također, u Tablici 3 prikazane su izračunate površine poplavljenih područja po klasama zemljišnog pokrivača za KI lokalnu metodu za 10 segmenata u usporedbi sa SAR referentnom snimkom koja je klasificirana pomoću RF algoritma.



Slika 3: Usporedba karte poplavljenih područja preuzeta sa Copernicus Emergency Management Service (lijevo) i KI metode (desno) izračunate lokalno na 10 segmenata.

Tablica 3: Usporedba površina poplavljenog područja po klasama zemljišnog pokriva.

	KI (10)	RF
Klasa	Površina [km <sup>2</sup> ]	Površina [km <sup>2</sup> ]
Visoka vegetacija	4,38	1,77
Niska vegetacija	35,60	31,91
Golo tlo	25,01	21,99
Izgrađeno	1,53	1,17

## 5. Zaključak

U istraživanju su razmatrane metode detekcije poplava na SAR snimkama, uključujući metode određivanja praga (Otsu i Kittler-Illingworth, te manualni odabir uzoraka) na globalan i lokalan način te pomoću nadzirane klasifikacije. Svi algoritmi su implementirani u Google Earth Engine platformi koja se iskazala kao korisna platforma za obradu velikih količina geoprostornih podataka u kratkom vremenskom roku. Najbolji rezultati postignuti su za KI metodu primijenjenu na lokalan način za 10 segmenata uz ostvarenu točnost od 98,76%, F1-ocjenu od 83,04%, preciznost od 84,80% i odziv od 88,94%. Otsu metoda postigla je nisku razinu preciznosti, odnosno rezultirala je kartiranjem velikog broja lažnih pozitivnih piksela, dok manualnim odabirom uzoraka model nije detektirao veliki broj piksela na kojima su vodene površine.

Implementirani algoritmi automatskog određivanja praga na globalan i lokalan način imaju potencijal daljnje primjene za detekciju poplavljenih površina i u drugim područjima, kao što su određivanje linije morske obale ili obuhvata područja obuhvaćenim izljevom nafte u more.

## Literatura

Belgiu, M., Drađuč, L. (2016): Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31.

Breiman, L. (2001): Random forests. *Machine Learning*, 45, 1, 5-32.

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

Liang, J. i Liu, D. (2020): A local thresholding approach to flood water delineation using sentinel-1 SAR imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 159, 53-62.

Manavalan, R. (2016): SAR image analysis techniques for flood area mapping - literature survey, *Earth Science Informatics*, 10(1), 1-14.

Nemni, E., Bullock, J., Belabbes, S., Bromley, L. (2020): Fully Convolutional Neural Network for rapid flood segmentation in synthetic aperture radar imagery, *Remote Sensing*, 12(16), 2532.

Otsu, N. (1979): A threshold selection method from gray-level histograms, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66.

Tiwari, V., Kumar, V., Matin, M.A., Thapa, A., Ellenburg, W.L., Gupta, N. and Thapa, S., (2020): Flood inundation mapping-Kerala 2018; Harnessing the power of SAR, automatic threshold detection method and Google Earth Engine, *PLoS One*, 15(8), 0237324.

Tran, K. H., Menenti, M., Jia, L. (2022): Surface Water Mapping and Flood Monitoring in the Mekong Delta Using Sentinel-1 SAR Time Series and Otsu Threshold, *Remote Sensing*, 14(22), 5721.

Wang, J., Huang, B., Wang, F. (2023): Extraction and Classification of Flood-Affected Areas Based on MRF and Deep Learning. *Water*, 15(7), 1288.

Yin, F., Lewis, P. E., Gómez-Dans, J. L. (2022): Bayesian atmospheric correction over land: Sentinel-2/MSI and Landsat 8/OLI, *Geoscientific Model Development*, 15(21), 7933-7976.

Zhao, Q., Le, Y., Xuecao, L. Dailiang, P., Yongguang, Z., Peng, G. (2021): Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth engine, *Remote Sensing*, 13(18), 3778.

URL 1: Copernicus Emergency Management Service, <https://emergency.copernicus.eu/>, (07.07.2023.).



# Land Cover Classification using Data from Sentinel Satellite Missions

## Abstract

---

A flood is one of the most frequent natural disasters and is defined as a rise in the water level, where the water level is high and exceeds the upper contours of the coast and spreads to the coastal areas by overflowing. The traditional, common approach to water surface detection is to use satellite imagery acquired by passive optical satellite sensors, but their use is limited to flood times due to high cloud coverage. Therefore, one of the most commonly data used for flood detection are imagery collected using active sensors - Synthetic Aperture Radar (SAR). Automatic thresholding methods represent the most widespread approach to the extraction of water surfaces on satellite images, whereby information on flooded surfaces can be obtained quickly and efficiently. In this work, two automatic threshold determination methods are used, the Otsu and Kittler-Illingworth (KI) algorithm, and a manual threshold determination method using the method of sampling Sentinel-1 SAR satellite images. The aforementioned algorithms are implemented in the Google Earth Engine (GEE) platform, which is emerging as an ideal solution for processing a large amount of geospatial data in a very short time. The best results were achieved for the KI method applied locally for 10 segments with an accuracy of 98.76%, F1-score of 83.04%, and a precision of 77.88%. The Otsu method achieved a low level of precision, that resulted in the mapping of a large number of false positive pixels, while the manual selection of samples did not detect a large number of pixels with water surfaces. The implemented algorithms of automatic determination of the threshold in a global and local way have the potential of further application for the detection of flooded areas and in other areas as well.

**Keywords:** *Google Earth Engine, flood, Kittler-Illingworth, Otsu, Random Forest, Sentinel.*



# Korištenje Copernicusovog CEMS servisa za detekciju obuhvata elementarnih nepogoda pri upravljanju kriznim situacijama na području Republike Hrvatske

**Olga Bjelotomić Oršulić<sup>1</sup>, Sanja Šamanović<sup>1</sup>, Danko Markovinović<sup>1</sup>, Bojan Đurin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Odjel za Geodeziju i geomatiku, Sveučilište Sjever, Ul. 104. brigade 3, 42000 Varaždin, Hrvatska, oborsulic@unin.hr, sasamanovic@unin.hr, danko.markovinovic@unin.hr

<sup>2</sup> Odjel za Graditeljstvo, Sveučilište Sjever, Ul. 104. brigade 3, 42000 Varaždin, Hrvatska, bojan.durin@unin.hr

## Sažetak

Ovaj rad istražuje ključnu ulogu daljinskih istraživanja u geodetskom detektiranju deformacija i obuhvata kriznih situacija poput poplava, požara i potresa. Kroz analizu podataka prikupljenih putem satelitskih snimaka, Copernicus programa predstavlja ključni alat za praćenje i analizu prirodnih katastrofa diljem svijeta. U ovom istraživanju analiziramo ulogu Copernicus Emergency Management Service (CEMS) usluge Copernicus programa u brzim odgovorima na nekoliko izvanrednih situacija uzrokovanih elementarnim nepogodama na području Republike Hrvatske u posljednjih pet godina. Korištenjem satelitskih snimaka Copernicusovih Sentinel misija, analizirani su prikupljeni objektivni i prostorno detaljni podaci o razmjerima štete. Prilikom svih navedenih elementarnih nepogoda, satelitske snimke bile su ključan radni poligon u brzom identifikaciji pogođenih područja, omogućujući pravovremenu reakciju i hitne intervencije. Zaključno, ovaj rad ističe važnost Copernicus programa kao ključnog alata u upravljanju kriznim situacijama uzrokovanim prirodnim katastrofama omogućujući hitne reakcije, prioritetizaciju intervencija i planiranje obnove. Rad naglašava ključnu ulogu daljinskih istraživanja u poboljšanju razumijevanja i upravljanja kriznim situacijama, pridonoseći boljoj pripravnosti i smanjenju rizika za ljude i infrastrukturu.

**Ključne riječi:** *Copernicus program, daljinska istraživanja, krizne situacije, obuhvat nepogode, upravljanje u kriznim situacijama*

## 1. Uvod

Daljinska istraživanja igraju važnu ulogu u kriznim situacijama, jer omogućuju prikupljanje informacija i donošenje odluka bez fizičkog prisustva na terenu. Prema UNISDR-u (Međunarodna strategija Ujedinjenih naroda za smanjenje katastrofa), otpornost predstavlja sposobnost sustava, zajednice ili društva izloženog prijetnjama da se odupre, ublaži, prilagodi učincima prijetnji i oporavi od njih na učinkovit i pravovremeni način, što podrazumijeva i očuvanje nužnih i osnovnih struktura i funkcija (URL 1). Otpornost na katastrofe, ključni koncept u upravljanju katastrofama, odnosi se na sposobnost pojedinca, grupe ili zajednice da se nakon opasnosti vrate u prethodno normalno stanje (URL 2).

Proteklih godina, korištenje daljinskih istraživanja, poput satelitskih snimaka, geodetskih mjerenja i zračnih senzora, značajno je doprinijelo u upravljanju kriznim situacijama. Prikupljanje podataka metodama daljinskih istraživanja koristi se za planiranje korištenja zemljišta i ključni je alat koji vlasti i zajed-

nice koriste za izbjegavanje ili ublažavanje rizika od opasnosti (Burby, 1998). Uloga daljinskih istraživanja u kartiranju za potrebe hitnih situacija služi kao alat za podršku u odlučivanju, kroz analizu različitih slojeva GIS-a. Geografski podaci u stvarnom vremenu poboljšavaju raspodjelu resursa za odgovor na nastale situacije. Uloga daljinskih istraživanja u upravljanju kriznim situacijama korisna je u detekciju potencijalnih zona opasnosti, modeliranju rizika od katastrofa i ljudskoj prilagodbi opasnostima, ali i za podršku u odlučivanju pri upravljanju katastrofama.

Tehnologija daljinskih istraživanja pružila je inovativan pristup prikupljanju objektivnih i sveobuhvatnih podataka o prirodnim katastrofama, kao što su potresi, poplave, šumski požari i klizišta. Sposobnost za brzo detektiranje, praćenje i analizu promjena u stvarnom vremenu omogućuje preciznije procjene štete, identifikaciju rizičnih područja i planiranje učinkovitih intervencija. Integracija daljinskih istraživanja u domeni geodezije omogućava napredne

alate u upravljanju kriznim situacijama za smanjenje rizika i spašavanje života.

Daljinska istraživanja koja se mogu primijeniti u kriznim situacijama obuhvaćaju satelitske snimke, daljinske senzore, geografsko informacijske sustave i slično. Satelitske snimke daljinskih istraživanja su korisne za dobivanje širokog pregleda o situaciji na terenu čime omogućuju informacije o razmjerima krize, poplavama, požarima, prirodnim katastrofama i drugim hitnim situacijama. Satelitske snimke mogu se koristiti za procjenu štete, identifikaciju opasnosti i planiranje hitnih mjera. Pored satelitskih snimki, danas se svakodnevno koriste i daljinski senzori kao što su senzori zraka ili senzori postavljeni na bespilotnim letjelicama (dronovima), za prikupljanje podataka o okolišu i izvanrednim situacijama, budući da mogu mjeriti različite parametre kao što su temperatura, vlažnost, zagađenje zraka i kemijski sastav tla, kako bi se procijenila situacija i donijele potrebne intervencije. Sa softverske strane, geografski informacijski sustavi (GIS) omogućuju analizu i vizualizaciju prostornih podataka prikupljenih daljinskim istraživanjima integrirajući podatke iz različitih izvora kako bi se stvorila cjelovita slika situacije na terenu. GIS sustavi mogu pomoći u identifikaciji rizičnih područja, planiranju evakuacije, organiziranju resursa i praćenju napretka tijekom kriznih situacija. Daljinska istraživanja u kriznim situacijama imaju značajan utjecaj na prikupljanje informacija, upravljanje krizama, brzu reakciju i spašavanje života. Kombinacija različitih metoda daljinskog istraživanja omogućuje donositeljima odluka da bolje razumiju situaciju i poduzmu odgovarajuće mjere za smanjenje štete i poboljšanje sigurnosti.

## 2. Copernicus program

Copernicus program Europske unije je program za praćenje Zemlje koji pruža globalnu pokrivenost i sustav za prikupljanje podataka o okolišu i sigurnosti. Copernicus program predstavlja integrirani europski sustav za prikupljanje, analizu i distribuciju podataka o Zemlji dobivenih putem satelitske tehnologije i drugih izvora. Program Copernicus, kao inicijativa Europske unije u suradnji s Europskom svemirskom agencijom (ESA), ima cilj pružiti široki raspon informacija o okolišu, klimatskim promjenama, sigurnosti, poljoprivredi i drugim relevantnim aspektima (URL 3). Program koristi seriju satelita, poznatih kao Sentinel sateliti, koji omogućuju kontinuirano praćenje i kartiranje Zemljine površine s visokom rezolucijom (URL 4). Ti podaci su besplatno dostupni za znanstvene istraživače, institucije, vladine agencije i javnost, pružajući dragocjeni alat za donošenje informiranih odluka i upravljanje resursima u skladu s potrebama i izazovima našeg planeta.

Sentinel sateliti su ključni dio tog programa i pružaju širok spektar podataka koji se koriste u kriznim situacijama. Primjena daljinskih istraživanja Copernicus programa i Sentinel satelita moguća je u raznovrsnim kriznim situacijama, poput praćenja prirodnih katastrofa, praćenja onečišćenja i izljeva, praćenje deforestacije i promjene krajolika, praćenje kvalitete zraka

i druge budući da generiraju detaljne slike, tj. slike visoke rezolucije, koje pomažu u procjeni štete, identifikaciji područja pogođenih katastrofom i koordiniranju hitnih reakcija (URL 5). Nadalje, Sentinel sateliti mogu otkriti i praćenje onečišćenja u vodi i zraku. To je posebno korisno u slučajevima izljeva nafte ili drugih štetnih tvari. Slike dobivene putem Sentinel satelita omogućuju brzu identifikaciju izvora onečišćenja i pomažu u praćenju širenja kako bi se poduzele odgovarajuće mjere zaštite okoliša i ljudskog zdravlja. Također, trenutno brzo rastuća domena istraživačkih timova koji koriste Sentinel satelite je područje praćenja deforestacije i promjene krajolika; Copernicus program koristi Sentinel satelite za praćenje deforestacije, promjene krajolika i gubitka biodiverziteta. Podaci Copernicusa pomažu u identifikaciji ilegalne sječe šuma, nadzoru nad urbanizacijom i planiranju održivog upravljanja prirodnim resursima. Copernicus program koristi Sentinel satelite za praćenje kvalitete zraka, identifikaciju zagađenja i mjerenje koncentracije ključnih onečišćujućih tvari što omogućuje daljnje razumijevanje širenja zagađenja, procjenu rizika za zdravlje ljudi i donošenje mjera za poboljšanje kvalitete zraka. Između mnogobrojnih drugih domena primjena, značajna je i primjena Copernicus programa u sigurnosti pomorskog prometa pri čemu snimke Sentinel satelita pružaju informacije o položaju brodova, praćenju ruta, detekciji potencijalnih prijetnji pomorskoj sigurnosti i potpori akcijama tražanja i spašavanja.

Daljinska istraživanja putem Copernicus programa i Sentinel satelita pružaju ključne informacije i podatke koji se koriste u kriznim situacijama. Oni podržavaju donošenje odluka, brzo reagiranje i upravljanje u hitnim situacijama, pružajući cjelovitu sliku situacije na terenu i pomažući u zaštiti ljudskih života, okoliša i imovine.

### 2.1. Primjena daljinskih istraživanja u geodeziji

Korištenje satelitskih snimki u domeni geodezije ima značajan doprinos u reagiranju na krizne situacije. Ključne mogućnosti korištenja satelitskih snimki u geodeziji za reagiranje u kriznim situacijama su:

- Brzo prikupljanje informacija o deformacijama tla putem satelitskih snimki, posebno putem tehnike interferometrije sa sintetskim otvorom (InSAR). Ove deformacije mogu biti uzrokovane potresima, klizanjem tla, podzemnim rudarskim radovima ili drugim prirodnim i antropogenim faktorima. Prikupljanje ovih informacija putem satelita omogućuje brzo razumijevanje promjena u tlu i pomaže u identifikaciji rizičnih područja.
- Praćenje klizanja tla i stabilnosti padina: geodetske metodologije daljinskih istraživanja, poput InSAR-a, omogućuju mjerenje i analizu promjena u praćenje klizanja tla i stabilnosti padina. To pomaže u identifikaciji područja s visokim rizikom od klizanja tla, omogućuje ranu detekciju klizanja i pomaže u planiranju odgovarajućih mjera zaštite i intervencija.
- Detekcija podzemnih rudarskih radova; njihovo otkrivanje i praćenje nezakonitih ili neovlašte-

nih podzemnih rudarskih radova iz satelitskih snimki. Analiza promjena u površinskim karakteristikama, kao što su deformacije i pomaci tla, omogućuje identifikaciju i nadzor takvih aktivnosti što se može koristiti u zaštiti okoliša i sprječavanju nezakonitih aktivnosti.

- Praćenje pomaka i deformacije građevinskih objekata iz satelitskih snimki, kao što su mostovi, brane, tuneli i visoke zgrade čime je moguće rano detektirati potencijalne probleme s infrastrukturom i pravovremeno poduzeti mjere za održavanje i sigurnost.
- Praćenje i analiza promjena u obalnim područjima, uključujući eroziju obale, pomicanje obalne linije i promjene morske razine a što je ključno u upravljanju obalnom zonom, planiranju zaštite od poplava i praćenju utjecaja klimatskih promjena.

Korištenje satelitskih snimki u geodeziji omogućuje brzo i objektivno prikupljanje podataka o deformacijama tla, klizanjima tla, pomacima građevinskih objekata i drugim geodetskim parametrima. Ove informacije pružaju ključne podatke za procjenu rizika, planiranje intervencija i održavanje infrastrukture u kriznim situacijama.

## 2.2. CEMS usluga Copernicus programa

CEMS (Copernicus Emergency Management Service) je jedan od šest operativnih usluga Copernicus programa. To je usluga Europske unije koja se bavi pružanjem podrške u upravljanju kriznim situacijama i hitnim situacijama širom svijeta (URL 6). CEMS koristi podatke iz Copernicus programa, uključujući satelitske snimke i druge izvore podataka, kako bi omogućio brzo i efikasno reagiranje na prirodne katastrofe, poput potresa, poplava, šumskih požara i drugih izvanrednih situacija.

Ova usluga pruža operativnu podršku za krizne situacije putem sustava za praćenje, detekciju, kartiranje i analizu štete i rizika. CEMS omogućuje prikupljanje

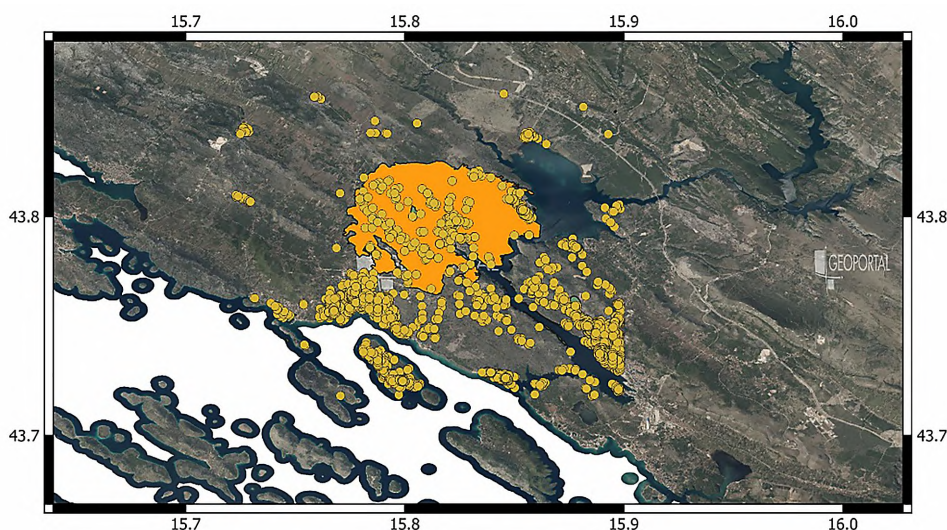
ključnih informacija za odlučivanje, identificiranje prioritarnih područja za intervencije, usmjeravanje spasilačkih timova i pomoć u planiranju obnove nakon kriznih događaja. Podaci i informacije CEMS-a besplatno su dostupni vlastima (URL 7), agencijama za upravljanje krizama, humanitarnim organizacijama i drugim relevantnim dionicima kako bi se poboljšala reakcija i smanjio utjecaj prirodnih katastrofa na ljude i okoliš.

## 3. Korištenje CEMS satelitskih snimki na području Republike Hrvatske u kriznim situacijama

### 3.1. Požar u Zatonu, 2022. godine

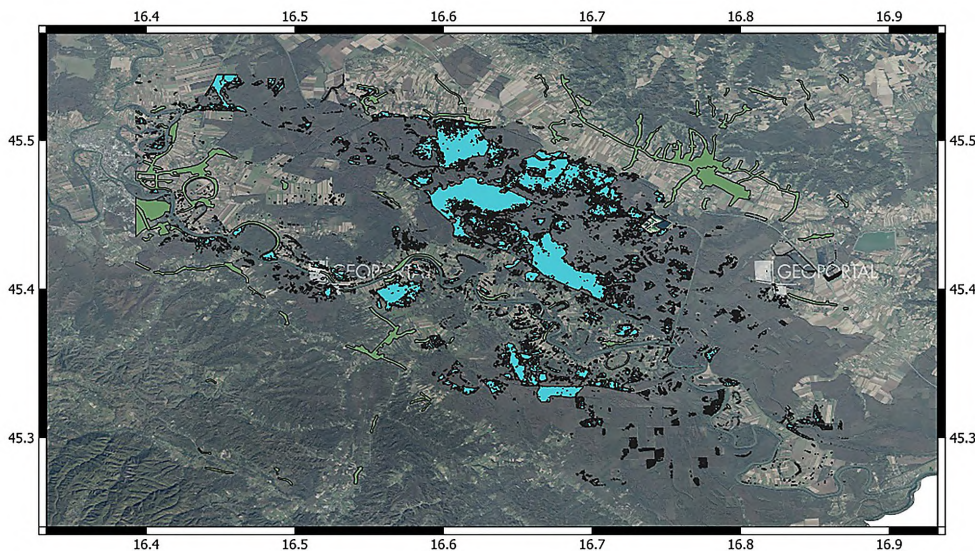
Snažan požar kod mjesta Zaton izbio je 13.07.2022. Izgorjelo je gotovo 2000 ha, a stradalo je nekoliko kuća i vozila. Angažirano je više od 300 vatrogasaca s više od 85 vozila. Na Slici 1 vidljiv je obuhvat područja zahvaćenog požarom, dobiven iz satelitskih snimki putem CEMS usluge u roku od nekoliko sati od početka požara, dok je požar još buktio.

Kartiranje područja zahvaćenog požarom prikazano na Slici 1 imalo je ključnu ulogu u učinkovitom upravljanju kriznom situacijom šumskog požara u Zatonu, 2022. godine. Brzo kartiranje omogućilo je precizno identificiranje područja koja su zahvaćena požarom, što je pružilo donositeljima odluka jasno razumijevanje širenja požara i aktualnu sliku situacije na temelju čega je bilo moguće donositi hitne odluke o evakuaciji stanovništva, usmjeravanju spasilačkih timova i prioritizaciji intervencija u stvarnom vremenu. Također, brza i točna karta zahvaćenih područja omogućuje bolje usmjeravanje spasilačkih i vatrogasnih timova što utječe na optimizaciju raspodjele resursa i osigurava da se intervencije usmjere tamo gdje su najpotrebnije. Na temelju ovakve brze i točne karte



Slika 1: Obuhvat požara u Zatonu 2022. godine iz Sentinel satelitskih snimki. Narančasta boja prikazuje obuhvat požarom zahvaćenog područja, a žuti kružići izgrađene objekte





Slika 2: Područje poplave 2018. godine na području Kutine u središnjoj Hrvatskoj. Plava boja prikazuje obuhvat poplavljenog područja, a zelena boja prikazuje izgrađeno područje

zahvaćenih područja, bilo je moguće brže planirati i provesti evakuaciju stanovništva iz ugroženih područja te planirati postavljanje zaštitnih zona kako bi se spriječilo daljnje širenje požara i zaštitilo ljude i imovinu.

### 3.2. Poplava u središnjoj Hrvatskoj, 2018. godine

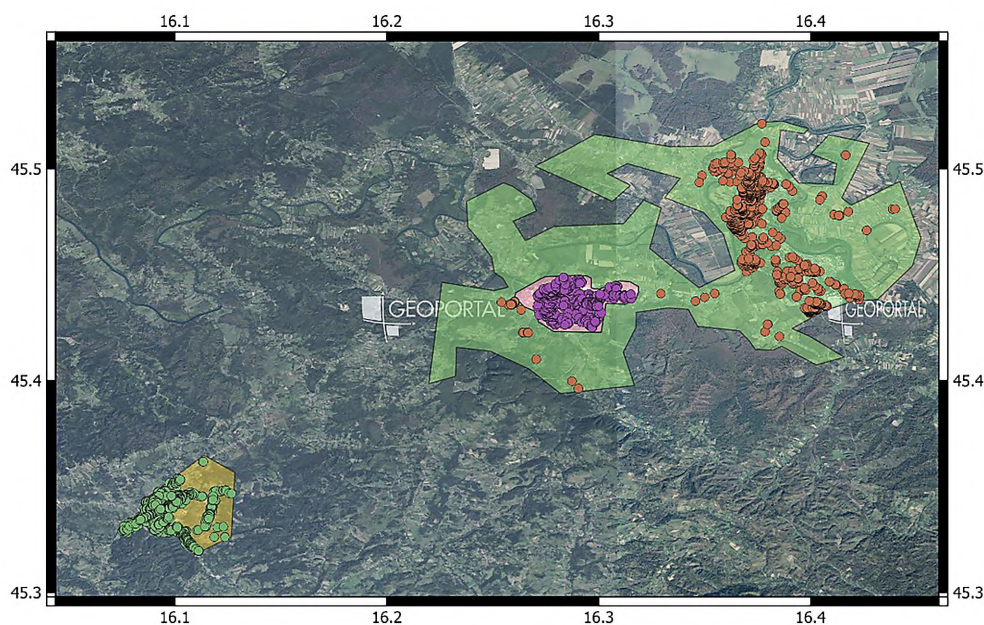
U ožujku 2018. godine topljenje dubokog snijega, koji je pao krajem veljače i početkom ožujka, te obilna kiše proteklih dana izazvali su poplave diljem središnje Hrvatske pri čemu je prijavljena velika materijalna šteta.

Korištenje satelitskih snimki za praćenje posljedica poplava i reagiranje u kriznim situacijama uzrokovanim poplavama predstavlja značajan korak naprijed u odnosu na tradicionalne metode praćenja i reagiranja. Brzo kartiranje iz satelitskih snimki omogućilo je brz i širok pregled područja pogođenih poplavama te brzo prikupljanje informacija o razmjerima poplava i identifikaciju područja koja su najviše pogođena. Vizualizacija i kartiranje poplava u realnom vremenu pomoglo je donositeljima odluka da lakše razumiju širenje poplava, procijene obuhvat i intenzitet poplava te identificiraju područja koja su najugroženija. Analiza satelitskih snimki omogućila je brzu procjenu štete na zgradama, infrastrukturi i drugim objektima te usmjeravanje resursa na najkritičnija područja. Također, satelitske snimke nakon poplave omogućile su praćenje procesa oporavka nakon poplava pri čemu se putem analize promjena u vegetaciji i korištenju zemljišta koristi informacija o obnovi vegetacije, obnovi poljoprivrednih područja i oporavku ekosustava. Korištenje satelitskih snimki u praćenju posljedica poplava i reagiranju na krizne situacije pruža sveobuhvatan, objektivan i prostorno opsežan pogled na stanje terena. To omogućuje bolje razumijevanje poplavnih događaja, bržu reakciju, usmjeravanje resursa i smanjenje rizika za ljude i imovinu.

### 3.3. Potres u Petrinji 2020. godine

Razoran potres koji je zadesio Petrinju krajem 2020. godine, bio je intenzivan seizmički događaj koji je uzrokovao značajne posljedice na lokalnoj i regionalnoj razini. Potres se dogodio 29. prosinca 2020. godine s epicentrom blizu Petrinje, oko 50 kilometara jugoistočno od Zagreba, a njegova magnituda iznosila je 6,4 prema Richterovoj ljestvici a intenzitet IX po EMS ljestvici (Markušić i dr., 2021). Potres je uzrokovao veliku štetu u Petrinji i okolnim mjestima pri čemu je srušeno ili oštećeno više od 10.000 zgrada, a oko 20.000 ljudi je ostalo bez krova nad glavom. Bio je to razorni potres koji je prouzročio štetu na infrastrukturi, uključujući ceste, mostove i vodovodne i kanalizacijske sustave, te na zgradama i objektima u Petrinji i okolnim područjima (Karimzadeh i dr., 2021). Potres u Petrinji bio je jedan od najrazornijih potresa u Hrvatskoj u posljednjih nekoliko desetljeća. Znanstvene analize potresa obuhvatile su procjenu seizmičkih parametara, kao što su magnituda, fokusna dubina i epicentralna udaljenost, kako bi se bolje razumjelo njegovo geodinamičko porijeklo, dok su se geodetske analize temeljile na geodetskim mjerenjima i satelitskim snimkama kako bi se kartirala deformacija tla i pomaci tla uzrokovani potresom.

Analize potresa putem satelitskih snimki pridonose boljem razumijevanju seizmičke aktivnosti u ovom području i važne su za jačanje kapaciteta upravljanja kriznim situacijama u slučaju sličnih budućih događaja. Satelitske snimke Copernicus programa, posebice Sentinel-1 satelita, pokazale su se iznimno korisnim pri rapidnom analiziranju potresa metodologijom interferometrije sa sintetskim otvorom (InSAR): InSAR tehnika koristi dvije ili više satelitskih snimaka kako bi se mjerile promjene u površini tla pri čemu nakon potresa, usporedbom satelitskih snimki, može se primijetiti pomak tla koji je uzrokovan tektonskim pokretima. Putem InSAR analize u (Bjelotomić Oršulić i dr., 2021.) kvantificirani su takvi pomaci uzrokovani



Slika 3: Područje snimano detaljnim satelitskim snimkama Copernicus programa. Poligoni zelene, roze i narančaste boje prikazuju područja najviše zahvaćenih gradova Siska, Petrinje i Gline, dok narančasti, ljubičasti i zeleni kružići označavaju izgrađene objekte

potresom u Petrinji u roku nekoliko dana od potresa s objavom prvih Sentinel snimki nakon samog događaja, što je pomoglo u razumijevanju oblika, veličine i smjera deformacije izazvane potresom. Precizna geodetska mjerenja koja su se dogodila nakon nekoliko tjedana, tj. mjeseci nakon samog događaja koincidirala su sa rezultatima dobivenim iz satelitskih snimki objavljenim u (Bjelotomić Oršulić i dr., 2021). Pored brze analize SAR metodologijom za precizno određivanje deformacije tla, CEMS uslugom se u realnom vremenu po događaju potresa brzo mapiralo područje zahvaćeno potresom s potencijalnim oštećenim objektima, vidljivo na Slici 3.

## 4. Zaključak

Ovaj rad ukazuje na iznimnu korisnost kombinacija tehnologije daljinskog istraživanja i operative podrške Copernicus Emergency Management Service (CEMS) pri brzom prikupljanju, analizi i distribuciji podataka o prirodnim katastrofama poput požara, poplava i potresa u realnom vremenu. Satelitske snimke pružaju prostorno precizne i objektivne informacije o razmjerima štete, širenju katastrofe i deformacijama tla, što omogućuje hitne odluke i usmjeravanje resursa prema najugroženijim područjima. CEMS usluga doprinosi boljoj pripravnosti i bržem reagiranju na krizne situacije, smanjujući rizik za ljudske živote i infrastrukturu. Rad naglašava važnost korištenja daljinskih istraživanja u geodeziji za brze reakcije u kriznim situacijama, pružajući znanstveno utemeljeni i učinkoviti alat za upravljanje katastrofama i zaštitu zajednica. Daljnje unaprjeđenje tehnologija i suradnja između znanstvene zajednice, vlasti i javnih institucija ključni su za jačanje kapaciteta u borbi protiv prirodnih katastrofa. Kombinacija satelitskih snima-

ka, posebno uz dodatne podatke terenskih mjerenja i seizmičke mreže, omogućuje bolje razumijevanje potresa i njihovih posljedica. To je ključno za pružanje brze pomoći, upravljanje kriznim situacijama i planiranje obnove nakon potresa.

## Zahvala

*Ovo istraživanje je provedeno u okviru znanstvenog projekta Sveučilišta Sjever "Primjena suvremenih tehnologija i pametnih senzora u geomatici" u 2023. godini.*

## Literatura

Bjelotomić Oršulić, O.; Markovinović, D.; Varga, M.; Bašić, T. Coseismic Ground Displacement after the Mw6.2 Earthquake in NW Croatia Determined from Sentinel-1 and GNSS CORS Data. *Geosciences* 2021, 11, 170. <https://doi.org/10.3390/geosciences11040170>

Burby, R. J. (1998).; Natural hazards and land use: An introduction". In R. J. Burby (Ed.), *Cooperating With Nature: Confronting Natural Hazards with Land Use Planning for Sustainable Communities: 1 - 26*. Washington D.C.: Joseph Henry Press.

Karimzadeh, S.; Matsuoka, M. A Preliminary Damage Assessment Using Dual Path Synthetic Aperture Radar Analysis for the M 6.4 Petrinja Earthquake (2020), Croatia. *Remote Sens.* 2021, 13, 2267. <https://doi.org/10.3390/rs13122267>

Markušić, S.; Stanko, D.; Penava, D.; Ivančić, I.; Bjelotomić Oršulić, O.; Korbar, T.; Sarhosis, V.

Destructive M6.2 Petrinja Earthquake (Croatia) in 2020—Preliminary Multidisciplinary Research. *Remote Sens.* 2021, 13, 1095. <https://doi.org/10.3390/rs13061095>

URL 1. Definicija otpornosti prema UNISDR-u, <https://www.undrr.org/terminology/resilience>, (10.7.2023.).

URL 2. Definicija otpornosti u kontekstu rizika od prirodnih nepogoda, <https://www.preventionweb.net/understanding-disaster-risk/key-concepts/resilience>, (10.7.2023.).

URL 3. Program Copernicus, <https://www.copernicus.eu/hr/o-programu-copernicus>, (12.7.2023.).

URL 4. Copernicus, <https://www.copernicus.eu/>, (12.7.2023.).

URL 5. Sentinel-1 misija, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/>, (14.7.2023.).

URL 6. Copernicusovi servisi za upravljanje u kriznim situacijama, <https://emergency.copernicus.eu/>, (14.7.2023.).

URL 7. Preuzimanje podataka Copernicusovog CEMS servisa, <https://rapidmapping.emergency.copernicus.eu/EMSR665/download>, (14.7.2023.).

# The Use of Copernicus' CEMS Services in the Risk Management and Natural Disaster Coverage Detection in the Republic of Croatia

## Abstract

This paper explores the key role of remote sensing in geodetic deformation detection and includes crisis situations such as floods, fires and earthquakes. Through the analysis of data collected through satellite images, the Copernicus program represents a key tool for monitoring and analyzing natural disasters around the world. In this research, we analyze the role of the Copernicus Emergency Management Service (CEMS) service of the Copernicus program in quick responses to several emergency situations caused by natural disasters in the Republic of Croatia in the last five years. By using satellite images of the Copernicus Sentinel missions, collected objective and spatially detailed data on the extent of the damage were analyzed. During all the mentioned natural disasters, satellite images were a key training ground in the quick identification of the affected areas, enabling a timely reaction and emergency interventions. In conclusion, this paper highlights the importance of the Copernicus program as a key tool in the management of crisis situations caused by natural disasters, enabling immediate reactions, prioritization of interventions and planning of reconstruction. The paper highlights the key role of remote sensing in improving the understanding and management of crisis situations, contributing to better preparedness and reducing risks to people and infrastructure.

**Keywords:** *Copernicus program, natural disaster coverage, remote sensing, risk management*



# Uspostava DR lokacije podatkovnog centra DGU

Ilija Grgić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Hrvatska, ilija.grgic@dgu.hr

DR lokacija je mjesto za oporavak od katastrofe i dio je djelotvornog pričuvnog plana u slučaju da primarna lokacija ili sustavi tvrtke postanu nedostupni zbog nepredviđenog događaja, poput požara, poplave, ljudskog nemara ili korumpiranosti podataka. Ako dođe do katastrofe i tvrtka ima plan, može nastaviti s radom na lokaciji za oporavak od katastrofe sve dok ne postane sigurno nastaviti s radom na svojoj uobičajenoj lokaciji ili novoj stalnoj lokaciji.

Većina postojećih servisa Državne geodetske uprave (DGU) nalaze se na virtualnim poslužiteljima (VM), a manji dio poslužitelja još uvijek nije virtualiziran. Za virtualizaciju se koriste dvije platforme: VMware ESXi i Microsoft Hyper-V. Većina fizičkih poslužitelja su definirani samo za ulogu poslužitelja za virtualnu platformu. Da bi se postigla visoka dostupnost rada VM (lokalno u podatkovnom centru), fizički poslužitelji su konfigurirani za rad u klaster okolini. U podatkovnom centru postoji više klastera, fizičkih poslužitelja koji koriste više zajedničkih sustava za pohranu podataka (storage sustava – „SAN“).

S obzirom na važnost razvijenih sustava koji su smješteni u Podatkovni centar DGU-a čiji bi prekid u dostupnosti izazvao veliku štetu za gospodarstvo u cjelini DGU je pokrenula projekt kojim se planira omogućiti skalabilna uspostava Pričuvnog podatkovnog centra (u više faza) ovisno o kritičnosti servisa.

Projekt uspostave DR lokacije mora uzeti u obzir standarde koji su uobičajeni i prilagoditi ih specifičnostima podatkovnog centra za koji se izrađuje projekt kao i zahtjevima naručitelja. Za podatkovne centre primjenjuju se TIER standardi. Uptime Institute je organizacija koja je razvila TIER standard za

klasifikaciju podatkovnih centara prema razini dostupnosti. Ovi standardi ocjenjuju podatkovne centre na razinama od TIER I do TIER IV, pri čemu TIER IV predstavlja najvišu razinu dostupnosti. Klasifikacija prema TIER standardima omogućuje organizacijama da jasno definiraju razinu pouzdanosti i dostupnosti svojih podatkovnih centara.

Primjenom jednog od navedenih standarda osigurava se razina dostupnosti koja je usklađena s potrebama organizacije. Pri odabiru odgovarajuće razine TIER standarda za podatkovni centar, ključno je uzeti u obzir potrebe za dostupnošću i prihvatljivu razinu rizika.

Projektom uspostave DR lokacije razradit će nekoliko mogućih scenarija:

- A – Uspostava Pričuvnog podatkovnog centra na lokaciji u posjedu Naručitelja i na opremi u vlasništvu Naručitelja,
- B – Uspostava Pričuvnog podatkovnog centra sa smještajem na lokaciji pružatelja usluga podatkovnog centra na opremi u vlasništvu Naručitelja (Kolokacija),
- C – Uspostava Pričuvnog podatkovnog centra sa smještajem na lokaciji pružatelja usluga podatkovnog centra i na opremi pružatelja usluga podatkovnog centra (IAAS).

Temeljem projekta dobit će se ključni podaci za procjenu koji od scenarija je za DGU dugoročno u smislu osiguranja kontinuiteta poslovanja u slučaju nepredviđenih ugroza najprihvatljiviji.



# Podaci registra prostornih jedinica u funkciji upravljanja kriznim situacijama

Irena Magdić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Hrvatska, irena.magdić@dgu.hr

Registar prostornih jedinica evidencija je u kojoj se vode i održavaju podaci o prostornim jedinicama za koje je to određeno Zakonom o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (Narodne novine, br. 112/18 i 39/22) ili posebnim propisima. Registar prostornih jedinica predstavlja jedan od temeljnih registara o prostoru u Republici Hrvatskoj i osniva se u svrhu stvaranja službene osnove za prikupljanje, evidentiranje, iskazivanje, razmjenjivanje i povezivanje različitih vrsta prostornih podataka.

Informacijski sustav Registra prostornih jedinica (RPJ) uspostavljen je 2015. godine u obliku web GIS rješenja koje omogućuje zajedničko vođenje i održavanje geometrijskih i opisnih podataka RPJ od razine države do razine kućnog broja. RPJ je službena evidencija upravnih, statističkih, katastarskih, tehničkih i adresnih prostornih jedinica. U RPJ se vode podaci o sljedećim prostornim jedinicama: državi, županiji, Gradu Zagrebu, gradu, općini, naselju, dostavnom području poštanskog ureda, jedinici mjesne samouprave, zaštićenim područjima, katastarskoj općini, statističkome krugu, popisnome krugu, ulici i trgu, zgradi i pripadajućim kućnim brojevima. Podaci se unose u registar iz službenih dokumenata tijela koja donose odluke i druge akte sukladno propisima o naseljima. Sustav koriste djelatnici Središnjeg ureda Državne geodetske uprave (DGU), Gradskog ureda za katastar i geodetske poslove Grada Zagreba te područnih katastarskih ureda DGU.

Podaci RPJ su najtraženijih i najčešće korišteni podaci od strane tijela državne i javne vlasti, jedinica lokalne samouprave te gospodarstva koji sve više prepoznaju i uvažavaju RPJ kao izvorni registar za prostorne podatke koji se u njemu vode sukladno propisima. Sustav je razvijen u skladu s trenutnim GIS standardima i tehnologijama koji omogućuje web bazirano editiranje grafičkih podataka bez upotrebe dodatka u pretraživaču. Registar prostornih jedinica podržava OGC standarde poput WMS i WFS protokola te je baziran na INSPIRE kompatibilnom podatkovnom modelu pri čemu je osigurano servisno preuzimanje podataka koje je u potpunosti zamijenilo praksu dostave ukupnih podataka periodično izvezenih iz RPJ sustava.

Sustav Registra prostornih jedinica se sustavno unaprjeđuje. Integracijom Registra prostornih jedinica DGU i Grada Zagreba krajem 2020. godine, obuhvaćeni su podaci Republike Hrvatske u jedan jedinstveni geoinformacijski sustav kojim su nad podacima uspostavljeni jedinstveni poslovni procesi. Tijekom 2021. godine Državna geodetska uprava omogućila je građanima izdavanje Potvrde o kućnom broju i Rješenja

o određivanju kućnog broja, elektroničkim putem, bez dolaska u katastarski ured, temeljem zahtjeva iz sustava One-Stop-Shop (OSS). Sustav OSS je integriran sa sustavom e-Građani kojeg je uspostavila Vlada Republike Hrvatske s ciljem modernizacije, pojednostavljenja i ubrzanja komunikacije građana i javnog sektora. Od 2021. godine RPJ SOAP servis je dostupan putem Državne sabirnice (engl. Government Service Bus – GSB), čime je krajnjim korisnicima olakšan pristup temeljnim adresnim i organizacijskim prostornim podacima Republike Hrvatske.

Za potrebe gradova i općina, sukladno propisima o naseljima, u 2023. godini sustav je unaprijeđen s dodatnim e uslugama, uspostavljena je javna web aplikacija s tri modula (dostupna putem Interneta): nadzor zakonitosti, karta – grafički preglednik i šifarnik ulica. Nadalje, za potrebe korisnika koji rade u sustavu, u 2023. godini sustav je integriran s OIB sustavom te sa servisom Ministarstva unutarnjih poslova (MUP) čime je omogućen dohvat podataka iz evidencija MUP-a o osobama koje su prijavljene na pojedinoj adresi. Navedenim integracijama omogućena je i dostava rješenja o određivanju/promjeni kućnog broja podnositelju zahtjeva i svim osobama koje su prijavljene na predmetnom kućnom broju u osobni korisnički pretinac (OKP).

Podaci Registra prostornih jedinica značajni su za funkcioniranje cjelokupnog društva te su kao takvi od iznimne važnosti i daju svoj doprinos u kriznim situacijama.

Kroz cijelu povijest čovječanstva razne nesreće, katastrofe, ali i ostale krizne situacije uzrokovale su goleme ljudske i materijalne gubitke i štetu za okoliš, do takve razine da su svojim negativnim učincima uništavale i pojedine civilizacije. Kriza je svaka nepogoda koja zahvaća neko područje, bilo manje (tvornica) ili veće (grad, država). Ona može biti namjerno izazvana (rat, ekonomska kriza) ili elementarna nepogoda na koju se ne može utjecati (potresi, poplave, snježne oluje).

Takve situacije prisutne su i danas, a današnja su društva posebice osjetljiva na takve događaje, uzimajući u obzir gustoću naseljenosti na određenim područjima, ovisnost o osjetljivoj tehnologiji i slično.

Stoga svako društvo i zajednica moraju biti spremni dočekati različite prijetnje s kojima se suočavaju, a jedna od najvažnijih funkcija koje moderna država mora pružiti svojim građanima jest sustavno upravljanje u krizama za što su potrebni točni, ažurni i pouzdani podaci.

Podaci državne izmjere, katastra nekretnina, registra zgrada, katastra infrastrukture, registra prostornih jedinica i registra geografskih imena, koje vodi i održava Državna geodetska uprava, imaju veoma važnu ulogu u pružanju točnih informacija u kriznim situacijama.

Podaci Registra prostornih jedinica u cjelokupnom sustavu upravljanja katastrofama od velikog su značaja. Sve sastavnice hitne službe, policija, hitna medicinska služba, vatrogasci, pomoć na cesti, sustav civilne zaštite, zaštita i spašavanje ljudi, životinja, ma-

terijalnih i kulturnih dobara i okoliša u velikim nesrećama i katastrofama, pružanje pomoći u slučaju opće opasnosti prouzročene elementarnim nepogodama, epidemijama i drugim katastrofama, kao prvu informaciju koriste podatak registra prostornih jedinica, adresu (država, poštanski broj, ime grada ili općina, ulica i kućni broj).

Stoga treba posebnu pažnju posvetiti unaprijedenu i dostupnosti podataka Registra prostornih jedinica, jer dobra pripremljenost na kriznu situaciju ključ je njezina upravljanja!



# SESIJA 5

## UPRAVLJANJE KRIZNIM SITUACIJAMA 2

# Application of Geodesy in Crisis Management

**Zlatko Srbinoski<sup>1</sup>, Zlatko Bogdanovski<sup>1</sup>, Filip Kasapovski<sup>1</sup>,  
Tome Gregovski<sup>1</sup>, Filip Petrovski<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Civil Engineering, Chair for advanced geodesy, Skopje, Republic of North Macedonia, srbinoski@gf.ukim.edu.mk, bogdanovski@gf.ukim.edu.mk, kasapovski@gf.ukim.edu.mk, gegovski@gf.ukim.edu.mk, petrovski@gf.ukim.edu.mk

## Abstract

The emergence of modern geodetic measurement technologies since the end of the last century has significantly improved the quality of geodetic measurements and the reliability of output results, which in digital form, become the basis for a large number of scientific disciplines that operate with spatial data. A particularly interesting segment is the multidisciplinary analyzes based on digital spatial data used in the field of crisis management, i.e. the management of crisis situations. In that direction, the paper shows the activities undertaken by the Department of Advanced Geodesy and the Department of Geotechnics at the Faculty of Civil Engineering in Skopje, for the needs of the project for the assessment of the danger of disturbance of the stability of the “Matka” dam near Skopje. Namely, it is about potential damage to the dam caused by the collapse of large rock masses above the right side of the dam. By applying high-quality close-up aerial photogrammetry based on unmanned aerial vehicles, a recording of the location in question was carried out. The previous appropriate preparation enabled the obtaining of extremely high-quality spatial data, which were further integrated into the state reference systems. The digital data enabled a series of qualitative analyzes and cartographic displays that were then used for software determination of the trajectory of rock masses after a potential landslide, caused by natural or anthropogenic activities.

**Keywords:** *crisis management, DMR, UAV-technology.*

## 1. Introduction

The “Matka” dam (Figure 1) was built on the Treska River, 14 km west of the city of Skopje. The dam was built in 1938 and is the oldest dam on the territory

of Macedonia, and the reservoir stretches through a distinctly rocky and tourist-famous Matka canyon.



Figure 1: Matka Dam and the characteristic rocky part on its right side (Srbinoski et al. 2013-2022)



Figure 2: GNSS positioning of the points from the microtrigonometric network of the dam

Basic technical characteristics of the dam are (Serafimov, 1970):

- Type: concrete arch dam;
- Crest length: 64 m;
- Construction height: 29.5 m;
- Crest width: 1 m;
- Elevation of the dam's crest: 319.4 msl.;
- Storage:  $3.55 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

In the past period, instability has been determined above the right side of the dam, where a danger of the collapse of part of the rock material has been registered, which would directly threaten the stability of the dam, and thus also threaten the settlements located downstream of the reservoir. Therefore, the Crisis Management Center of the Republic of Macedonia (URL 1), undertakes activities for the development of a project for the rehabilitation of the unstable blocks above the dam. Within the framework of those activities, a Project Program with a methodology for determining the trajectory of a landslide on the right side of the Matka Dam was first developed (Jovanovski and Bogdanovski, 2022).

The Project Program defines the activities that should precede the rehabilitation project:

- geodetic measurements with the creation of a 3D model of the location and
- geotechnical analysis of the trajectory of the collapsed rock blocks, with options for the performance of protective measures.

In the part of the Project Program that refers to geodetic works, the methods for acquisition of field data are defined, with an emphasis on the aerial photo-

grammetric method, with the production of a point cloud. This section also defines the contents of the Geodetic report for the performed measurements.

## 2. Geodetic field measurements and processing of the data

The geodetic measurements for the creation of a digital field model as a basis for determining the trajectory of the landslide on the right side of the dam were carried out in July 2022 and consisted of (Srbinoski et al. 2022):

- GNSS measurements to establish a single coordinate system for terrestrial and aerial photogrammetric measurements;
- terrestrial measurements to determine the coordinates of the orientation points;
- aerial photogrammetric recording with an unmanned aerial vehicle;
- terrestrial control measurements for densification of model points.

For the needs of the geodetic terrestrial and aerial photogrammetric measurements, GNSS measurements were performed to define a unique coordinate system and transform the geodetic measurements into the state reference systems (Srbinoski et al. 2020). They provided for the determination of coordinates of the points from the microtrigonometric network of the "Matka" dam, using the active reference GNSS network MAKPOS (URL 2). The selection of the points from the micro grid was made according to their overview position in relation to the rock mass on the right side of the dam. For the GNSS measure-



ments, the dual-frequency GNSS receiver Geo Fennel Lite was used, whose positioning accuracy fully meets the standards for this type of measurements (Figure 2).

The second part of the activities provided for the performance of quality geodetic measurements that will determine the aerial photogrammetric orientation points in the previously defined coordinate system. This is directly related to the accuracy of the digital model that is the product of the aerial photogrammetric survey. Considering the karst landscape of the rocky part on the right side of the dam, as well as the impossibility of access to it, additional terrestrial measurements were performed and used as control measurements to enrich the digital model. The actual measurements were performed with a Leica TS 06 plus R1000 total station with an accuracy of  $\pm 2$  mm + 2 ppm, for non-reflective length measurement. The accuracy of this instrument for this type of measurement is in accordance with the required accuracy of the model, and is achieved due to the relatively short distances (up to 150 m) that are measured from the microgrid poles to the rock detail. Through this method of measurement, 350 points were registered and they represent an addition to the digital model of the rock detail.

Aerial photogrammetric recording in addition to LiDAR technology are the two technologies that are proposed in the Project Program, but also the only ones that can give a result with satisfactory accuracy in terms of discretization of such distinct rocky and inaccessible landscapes. The aerial photogrammetry recording itself was performed with the DJI Phantom 4 Pro v 2.0 drone with a 4K digital photogrammetry camera.

Before the beginning of the recording, appropriate markers were placed on 12 orientation points with

dimensions of 70 cm x 70 cm, colored in black and yellow (Figure 3).



Figure 3: Orientation point's marker

In this way, the basic geodetic network with which the georeferencing of the point cloud was defined (Figure 4).

For the purposes of the digital model, a total of 279 digital images with a resolution of 4864 x 3648 pixels and a surface field resolution of 4.5 cm/pix were re-



Figure 4: Geodetic network with layout of orientation points



corded with the drone. In this way, coverage of the field of interest with a total area of 1.5 ha is ensured. The digital terrain model with a resolution of 9.16 cm/pix or 119 points/m<sup>2</sup> was formed from the images obtained in this way. AgiSoft Photoscan (URL 3) software was used for photogrammetric processing of the images, and AgiSoft Viewer (URL 3) software was used for visual use of the model.

The processing of the data from the digital model resulted in a series of views that were necessary for the geotechnical analyzes that followed in the continuation of the project, such as:

- orthophoto with generated isohypses (Figure 5),



Figure 5: Orthophoto with isohypses



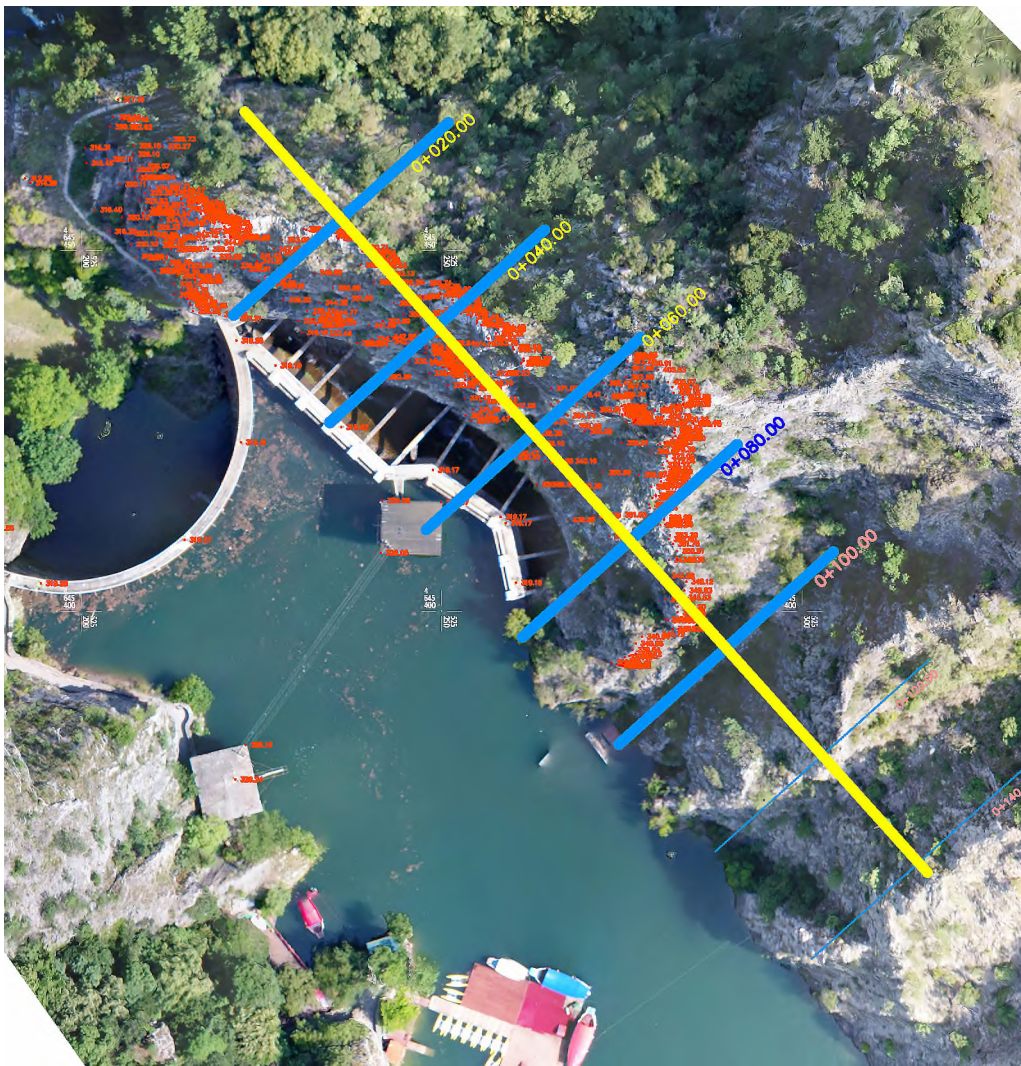


Figure 6: Characteristic longitudinal transverse profiles

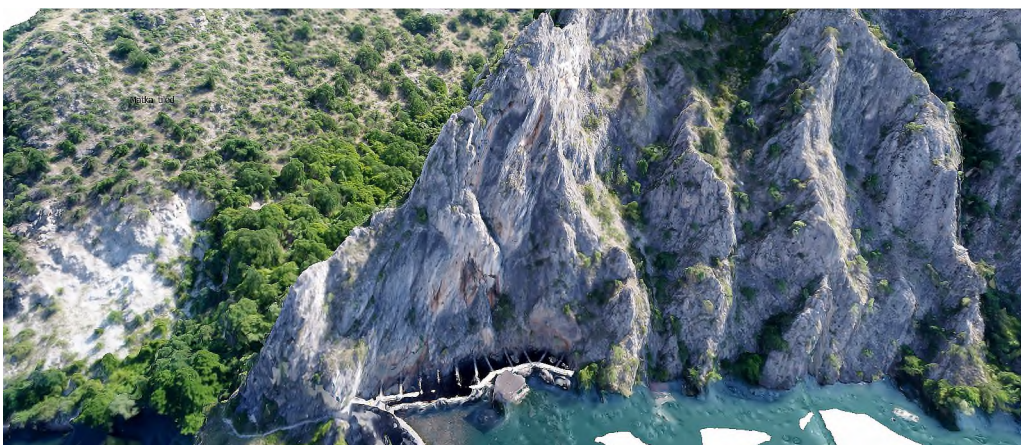


Figure 7: 3D view of the hazardous location

- characteristic longitudinal and transverse profiles (Figure 6),
- as well as a range of realistic 3D displays (Figure 7).

Finally, it should be emphasized that the applied geodetic measurement technology and data processing

result in a high-quality digital model of the terrain, which according to its characteristics satisfies all the set criteria regarding the accuracy and reliability of the spatial data.

These data, in the second phase of the project, were used for software prediction of the trajectory of the



landslide of the rock masses in question. The initial analyzes showed that there is no immediate danger to the stability of the "Matka" dam (and thus to the settlements downstream of the reservoir). However, the results of this analysis remain to be confirmed by engineering-geological mapping of the site, supported by appropriate geotechnical laboratory research.

### 3. Conclusion

The paper shows a successful multidisciplinary cooperation of the geodetic-geotechnical expert teams of the Faculty of Civil Engineering from Skopje, in the field of managing crisis situations.

It is a specific project related to the determination of a potential danger to the stability of the "Matka" dam, which is built on the Treska River in the immediate vicinity of the city of Skopje. The danger refers to defining the degree of instability of the rock masses above the right side of the dam and determining the possible trajectory of the movement of the rock masses in the event of a landslide, caused by natural or anthropogenic activities.

The aim of the paper is certainly to raise awareness of the importance of geodetic measurement technology and geodesy as a scientific discipline in specific fields such as crisis management itself.

### References

Jovanovski, M., Bogdanovski, Z. (2022): Predlog-metodologija za izработка na geodet-sko snimanje i traektorija na odron na desnata strana na brana Matka, Gradežen fakultet, Skopje.

Serafimov, P. (1970): Dams of Macedonia, VIII Congress of JNCHD, Nova Makedonija, Skopje.

Srbinoski, Z., Bogdanovski, Z., Kasapovski, F., Gegovski, T., Petrovski, F. (2013-2022): Elaborati za geodetska oskultacija na branata Matka - Skopje, Geing, Skopje.

Srbinoski, Z., Dimeski, S., Tundzev, B. (2020): Study for implementation of new official geodetic reference systems, AREC, Skopje.

Srbinoski, Z., Bogdanovski, Z., Kasapovski, F., Gegovski, T., Petrovski, F. (2022): Elaborat od geodetskite merenja za opredeluvanje traektorija na odron za desnata strana na brana Matka, Gradežen fakultet, Skopje.

URL 1: Centar za upravuvanje so krizi, <https://www.cuk.gov.mk>, (12.7.2023.).

URL 2: Agencija za katastar na nedviznosti, <https://www.makpos.katastar.gov.mk>, (12.7.2023.).

URL 3: AgiSoft Photoscan, <https://www.agisoft.com>, (12.7.2023.).

## Primjena geodezije u kriznom upravljanju

### Sažetak

Pojava suvremenih geodetskih mjernih tehnologija od kraja prošlog stoljeća značajno je poboljšala kvalitetu geodetskih mjerenja i pouzdanost izlaznih rezultata, koji u digitalnom obliku postaju temelj velikog broja znanstvenih disciplina koje operiraju s prostornim podacima. Posebno zanimljiv segment su multidisciplinarnе analize temeljene na digitalnim prostornim podacima koje se koriste u području kriznog menadžmenta, odnosno upravljanja kriznim situacijama. U tom smjeru, predmetni rad prikazuje aktivnosti koje su poduzele Katedra za višu geodeziju i Katedra za geotehniku Građevinskog fakulteta u Skoplju, za potrebe projekta procjene rizika od poremećaja stabilnosti brane "Matka" kod Skoplja. Naime, radi se o potencijalnom oštećenju brane uzrokovanom urušavanjem velikih stijenskih masa preko desne strane brane. Primjenom aerofotogrametrije temeljene na bespilotnim letjelicama, izvršeno je snimanje predmetne lokacije. Prethodna odgovarajuća priprema omogućila je dobivanje izuzetno kvalitetnih prostornih podataka koji su dalje integrirani u državne referentne sustave. Digitalni podaci omogućili su niz kvalitativnih analiza i kartografskih prikaza koji su zatim korišteni za softversko određivanje putanje stijenskih masa nakon potencijalnog klizišta, uzrokovano prirodnim ili antropogenim djelovanjem.

**Ključne riječi:** DMR, krizno upravljanje, UAV-tehnologija.

## SPONZORI

generalni



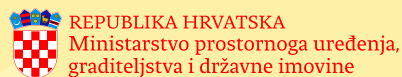
zlatni



brončani



Pokrovitelji



ISBN 978-953-49258-4-3



9 789534 925843