

UDK: 528

CODEN: GDLIAW

ISSN 0016-710X (Tisak)
ISSN 1849-0611 (Online)

Geodetski list

GLASILO HRVATSKOGA GEODETSKOG DRUŠTVA



GEOD. LIST

GOD. 79 (102) 3

S. 151-254

ZAGREB

RUJAN 2025.

Izdavač / Published by:



HRVATSKO GEODETSKO DRUŠTVO CROATIAN GEODETIC SOCIETY

HR-10000 Zagreb, Berislavićeva 6, Tel./Fax.: (+385 1) 46 39 371, IBAN: HR1723600001101433512 (Zagrebačka banka);
E-mail: HGD1952hr@gmail.com, URL: <https://www.hgd1952.hr/>

Glavni urednik / Editor-in-chief:

Prof.dr.sc. Damir Medak

Zamjenici glavnog urednika / Associate editors:

Prof.dr.sc. Robert Župan

Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Tomić

Tehnički urednik / Technical editor:

Prof.dr.sc. Mladen Zrinjski

Urednički odbor / Editorial board:

Univ.Prof.Dr.-Ing. Thomas Wunderlich (München, Germany),

Prof.dr.ing. Pavao Štefanović (Enschede, Netherland),

Prof.Dr. Alojz Kopačik (Bratislava, Slovakia), prof.dr. Anton Prosen (Ljubljana, Slovenia),

prof.dr.sc. Tomislav Bašić, prof.dr.sc. Mario Brkić, prof.dr.sc. Teodor Fiedler,

prof.dr.sc. Stanislav Frangeš, prof.dr.sc. Damir Medak, izv.prof.dr.sc. Rinaldo Paar,

izv.prof.dr.sc. Hrvoje Tomić, prof.dr.sc. Mladen Zrinjski,

prof.dr.sc. Robert Župan (svi iz Zagreba), prof.dr.sc. Ivana Racetin (Split)

Adresa uredništva / Editorial board:

Geodetski fakultet, HR-10000 Zagreb, Kačićeva 26

Tel.: +385 1 46 39 222, Fax: +385 1 48 28 081

E-mail: geodetskilist@gmail.com

Uredništvo ne mora uvijek biti suglasno sa stavovima autora.

Časopis je besplatno dostupan / Free available:

<https://hrcak.srce.hr/geodetski-list>; <https://www.hgd1952.hr/index.php/geodetski-list>

Lektorica / Proof reader:

Branka Makovec, prof.

Geodetski list se tiska uz financijsku pomoć

Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske.

Međunarodni izvori u kojima se referiraju članci iz Geodetskog lista

1. Emerging Sources Citation Index (Web of Science Core Collection) - od broja 1/2005
2. Science Citation Index Expanded (Web of Science) - od broja 1/2007 do broja 1/2011
3. SCOPUS
4. DOAJ - Directory of Open Access Journals
5. Bibliographia Cartographica, Internationale Dokumentation des kartographischen Schrifttums, K.G. Saur München, New Providence, London, Paris
6. Bibliography of Publications in the Field of Geodetic Computations, Geodesy Bulletin, Cracow
7. GEOBASE
8. GEOPHOKA
9. TRIS
10. Referativnyj žurnal 52. Geodezija i aerofotogrametrija, VINITI, Moskva
11. Referativnyj žurnal 07. Geografija, VINITI, Moskva
12. Übersicht über die Literatur im Vermessungswesen, Zeitschrift für Vermessungswesen, Stuttgart
13. Journal of Geodesy (Continuation of Bulletin Geodesique and manuscripta geodaetica), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Geodetski list izlazi u pravilu četiri puta u godini. Cijena: 40 kn. Godišnja pretplata: 120 Kn; umirovljenici, đaci, studenti 20 Kn; inozemstvo 30 €. Za članove HGD-a pretplata je uključena u članarinu.

Tisak / Printed by:

Feroproms d.o.o., Zagreb

Priprema / Copyset:

Tomislav Kalmar, Zagreb

Naklada / Issue: 1000

Geodetski list

GEOD. LIST

GOD. 79 (102) 3

S. 151–254

ZAGREB, RUJAN 2025.

SADRŽAJ

Izvorni znanstveni članci

<i>Dubrović, Nevistić, Bačić</i> : Ispitivanje interferencije signala na bespilotne letjelice	151
<i>Singla, Gupta, A., Pankaj, Singh, Gupta, V. K.</i> : Učinkovito prikupljanje otpada: GIS metoda optimizacije rute	177

Pregledni znanstveni članak

<i>Šugar, Jelić</i> : Format opažanja RINEX i GPPS CROPOS-a	199
Terminologija	223
Vijesti	228
Pregled stručnog tiska i softvera	241
In memoriam	252
Predstojeći događaji	254

CONTENTS

Original scientific papers

<i>Dubrović, Nevistić, Bačić</i> : Analysis of Signal Interference in UAV Operations	151
<i>Singla, Gupta, A., Pankaj, Singh, Gupta, V. K.</i> : Efficient Waste Collection: A GIS Approach to Route Optimization	177

Review

<i>Šugar, Jelić</i> : RINEX Observation Format and CROPOS GPPS	199
Terminology	223
News	228
Publications and Software review	241
In memoriam	252
Forthcoming events	254

Naslovna stranica: GNSS antena Trimble Zephyr 3 Geodetic sa zaštitnom kupolom stanice RGNF CROPOS-a; u pozadini je vidljiva cjelovito obnovljena zgrada AGG fakulteta (autor fotografije: izv. prof. dr. sc. Danijel Šugar).

INHALT

Originalbeiträge

<i>Dubrović, Nevistić, Bačić</i> : Untersuchung von Signalinterferenzen bei unbemannten Luftfahrzeugen	151
<i>Singla, Gupta, A., Pankaj, Singh, Gupta, V. K.</i> : Effiziente Abfallsammlung: GIS-gestützte Methode zur Routenoptimierung	177
<i>Wissenschaftliche Übersichtsartikel</i>	
<i>Šugar, Jelić</i> : RINEX-Aufzeichnung und GPPS-Dienst des CROPOS-Systems	199
Terminologie	223
Nachrichten	228
Bücher- und Softwareschau	241
In Memoriam	252
Termine	254

SOMMAIRE

Contributions scientifiques authentiques

<i>Dubrović, Nevistić, Bačić</i> : Analyse de l'interférence de signaux sur les véhicules aériens sans pilote	151
<i>Singla, Gupta, A., Pankaj, Singh, Gupta, V. K.</i> : Collecte efficace des déchets: la méthode SIG pour l'optimisation des itinéraires	177
<i>Contribution scientifique synoptique</i>	
<i>Šugar, Jelić</i> : Format RINEX et le GPPS de CROPOS	199
Terminologie	223
Actualités	228
Revue de la littérature professionnelle et du software	241
In memoriam	252
Événements précédents	254

СОДЕРЖАНИЕ

Подлинные научные статьи

<i>Дубровић, Невистић, Баџић</i> : Анализ помех в сигналах беспилотных летательных аппаратов	151
<i>Сингла, Гупта, А., Панкадж, Сингх, Гупта, В. К.</i> : Эффективный сбор отходов: применение ГИС для оптимизации маршрутов	177
<i>Обзорная научная статья</i>	
<i>Шугар, Елич</i> : Формат RINEX и GPPS системы CROPOS	199
Терминология	223
Новости	228
Обзор специальной печати и программного обеспечения	241
In memoriam/В память	252
Предстоящие события	254

UDK 629.73:528.7:535.4

Izvorni znanstveni članak / Original scientific paper

Ispitivanje interferencije signala na bespilotne letjelice

Marin DUBROVIĆ – Donji Miholjac¹, Zvonimir NEVISTIĆ,
Željko BAČIĆ – Zagreb²

SAŽETAK. *Bespilotne letjelice (BPL) postaju sve važniji dio svakodnevnog života za obavljanje zadataka u različitim područjima kao što su misije spašavanja, praćenje prirodnih katastrofa, nadzor prometa, poljoprivrede i dr. Također, BPL danas se sve više koriste i u geodeziji gdje im je glavna svrha masovno prikupljanje prostornih podataka fotogrametrijskim metodama ili metodama laserskog skeniranja, što omogućuje stvaranje trodimenzionalnih modela za različite primjene, od GIS analiza i katastra do prostornog planiranja i izmjere dosad nepristupačnih područja klasičnim metodama izmjere. BPL dio je sustava bespilotnih zrakoplova (engl. Unmanned Aerial System – UAS) gdje se komunikacija između različitih komponenti, navigacija i pozicioniranje odvijaju primjenom radio signala koji su podložni interferenciji. Interferencija radio signala može biti namjerna ili slučajna te može dovesti do poremećaja rada UAS-a čime posljedično mogu nastati katastrofalne posljedice. Ovaj rad ispituje utjecaj namjernog ometanja (blokiranja) signala (engl. jamming) na radio komunikaciju i navigaciju BPL-a. Istraživanje je provedeno koristeći dvije letjelice, DJI Phantom 4 i DJI Mavic 3E koje su jedne od najčešće upotrebljivanih letjelica u praksi. Ometanje je provedeno koristeći dva različita ometača signala, a rezultati predstavljaju vizualnu analizu ponašanja letjelice tijekom leta pod utjecajem ometača, ispitivanje točnosti koordinata projekcijskih središta fotografija za različite metode pozicioniranja te statističku analizu parametara koji utječu na točnost pozicioniranja poput broja vidljivih satelita i kvalitete primljenog signala. Ukupno je napravljeno sedam testova s letjelicom DJI Phantom 4 i šest testova s letjelicom DJI Mavic 3E koji su pokazali različito ponašanje i ranjivost letjelica pod utjecajem interferencije. Ovaj rad pruža vrijedne rezultate o ranjivosti BPL-a na interferenciju signala i potiče daljnja istraživanja u razvoju rješenja za poboljšanje otpornosti na ometanje.*

Ključne riječi: bespilotna letjelica, UAS, ometač, GNSS, interferencija.

¹ Marin Dubrović, mag. ing. geod. et geoinf., Karašica-Vučica d.d., Trg Ante Starčevića 9, HR-31540 Donji Miholjac, Hrvatska, e-mail: mdubrovic@geof.hr

² dr. sc. Zvonimir Nevistić, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: zvonimir.nevistic@geof.unizg.hr
prof. dr. sc. Željko Bačić, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: zeljko.bacic@geof.unizg.hr

1. Uvod

Razvoj tehnologije, smanjenje troškova i nove funkcionalnosti dovele su do široke upotrebe bespilotnih letjelica (BPL) u različitim područjima ljudske djelatnosti. BPL tako nalaze primjenu u misijama spašavanja, praćenju prirodnih katastrofa, nadzoru prometa, poljoprivrednoj proizvodnji, nadzoru industrijskih postrojenja, upravljanju kriznim situacijama i u različitim drugim situacijama. U području geodezije BPL primjenjuju se za fotogrametrijska i laserska snimanja iz zraka. Kao rezultat dobivaju se trodimenzionalni modeli koji se mogu koristiti za potrebe katastarske i topografske izmjere, izrade geodetskih podloga i karata, praćenje i nadzor klizišta, kamenoloma i različitih deponija, izradu modela fasada zgrada i kulturnih spomenika te mnoge druge primjene.

BPL dio je sustava bespilotnih zrakoplova (engl. *Unmanned Aerial Systems* – UAS). Komunikacija između komponenti UAS-a, određivanje položaja i navigacija letjelice odvija se primjenom radio signala koji su podložni interferenciji s drugim radio signalima. Interferencija, odnosno ometanje signala može biti prirodna smetnja ili radio interferencija koja može biti izazvana namjerno ili slučajno (Zhouyi i dr. 2015) i ona može dovesti do poremećaja funkcioniranja UAS-a. Slučajno ometanje obično uzrokuje manje probleme, dok se namjerno ometanje izvodi s ciljem onesposobljavanja ili preuzimanja kontrole nad BPL-om. Za namjerno ometanje signala koriste se ometači (engl. *jammer*) i zavaravači (engl. *spoofers*). Ometači rade na principu ometanja radio signala emitiranjem signala iste frekvencije koji su jače snage od izvornih signala. Emitiranjem dovoljno snažnih signala ometač osigurava da prijemnik ne može interpretirati izvorne signale, što onemogućuje njegovo ispravno funkcioniranje (Heuschamps 2022). Zavaravanje signala odnosi se na odašiljanje krivotvorenih signala koje prijemnik interpretira kao autentične signale (Rozenbeek 2020). Zavaravanjem signala moguće je preuzeti kontrolu nad BPL-om. U ovom radu korištena je tehnika ometanja signala (engl. *jamming*).

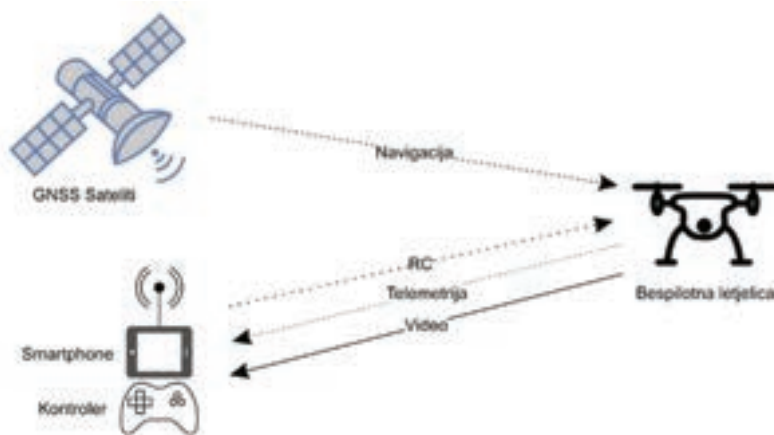
Utjecaj ometanja signala u području geodezije odnosi se uglavnom na GNSS (Globalni navigacijski satelitski sustav) signale koje primaju precizni geodetski prijamnici ili bespilotne letjelice. Istraživanja utjecaja jammera na precizne prijamnike napravljena su kroz nekolicinu radova na Geodetskom fakultetu (Gudelj 2023, Hulina 2018), ali su i predmet objavljenih stručnih članaka (Vidulin i dr. 2013, Bažec i dr. 2020). Prema Gudelj (2023) i Hulina (2018) ovisno o udaljenosti ometača od statičnog GNSS prijemnika dolazi do potpunog gubitka prijema signala ili dolazi do njegove degradacije. Ispitivanja su provedena za jednofrekvencijski i višefrekvencijski ometač pojedinačno i simultano za oba ometača. U radu Vidulin i dr. (2013) testiran je utjecaj jednofrekvencijski ometača na precizni geodetski GNSS prijemnik, uređaj za navigaciju i mobilni telefon te je zaključeno da testirani ometač onemogućuje prijem signala ispitivanih uređaja i na udaljenostima većim od 15 metara. Bažec i dr. (2020) proveli su ispitivanja utjecaj statičnog i kinematičkog ometanja na niz preciznih geodetskih prijemnika i zaključili da instrumenti različitih proizvođača i različitih specifikacija reagiraju različito na ometanje signala. Ometanje signala bespilotnih letjelica isto tako je obrađeno kroz niz radova (Rozenbeek 2020, Heuschamps 2022, Pärilin i dr. 2018). Rozenbeek (2020) je napravio detaljno ispitivanje ometača i zavaravača na signale bespilotne letjelice i zaključio da

je tehnike zavaravanja teško implementirati dok je utjecaj ometača različit ovisno o tome koji spektar se ometa te o karakteristikama BPL-a. Heuschamps (2022) u svom radu bavio se studijama i dizajnom, odnosno konstrukcijom ometača BPL-a za neutralizaciju letjelica koje se koriste u negativne svrhe. Pärlin i dr. (2018) ispitali su mogućnosti neutralizacije BPL-a ometanjem komunikacije između letjelice i kontrolne stanice i zaključili su da udaljenosti na kojima dolazi do uspješnog ometanja ovise o tehnici ometanja kao i protokolu kojeg koristi letjelica.

Ovaj rad ispituje utjecaj interferencije radio signala na bespilotne letjelice s naglaskom na utjecaj ometanja signala na točnost pozicioniranja letjelice. Smetnje i interferencija u GNSS signalu, utječe na kvalitetu opažanja GNSS-a bespilotne letjelice, a time posljedično na točnost vanjske orijentacije fotografija. Za testirane bespilotne letjelice ispitana je točnost položaja snimljenih fotografija, ponašanje letjelica prilikom ometanja radio signala, napravljena je analiza broja opažanih satelita i kvalitete primljenih signala. Korišteni ometači u ovom radu, u prethodno spomenutim radovima, već su ispitani te su prema stečenim saznanjima kreirani poligoni za testiranje.

2. Komunikacijski kanali bespilotnih letjelica

UAS se sastoji od bespilotne letjelice, zemaljske kontrolne stanice, navigacijskog sustava, komunikacijskog sustava, sustava za prikupljanje podataka i udaljenog pilota (Gillins i dr. 2018). Od navedenih dijelova UAS-a navigacijski i komunikacijski sustav primjenjuju radio signale koji su podložni interferenciji i mogu biti ometani primjenom ometača. Uspješnost onespособljavanja, odnosno ometanja bespilotne letjelice najviše ovisi o uspješnosti onespособljavanja navigacijskog (GNSS) sustava letjelice (Matić i dr. 2020, Tedeschi i dr. 2019). Slika 1 prikazuje tipičnu bežičnu komunikaciju unutar sustava bespilotnih zrakoplova koja se sastoji od navigacijskih signala, signala radio kontrole te signala koji prenose video i telemetrijske podatke.



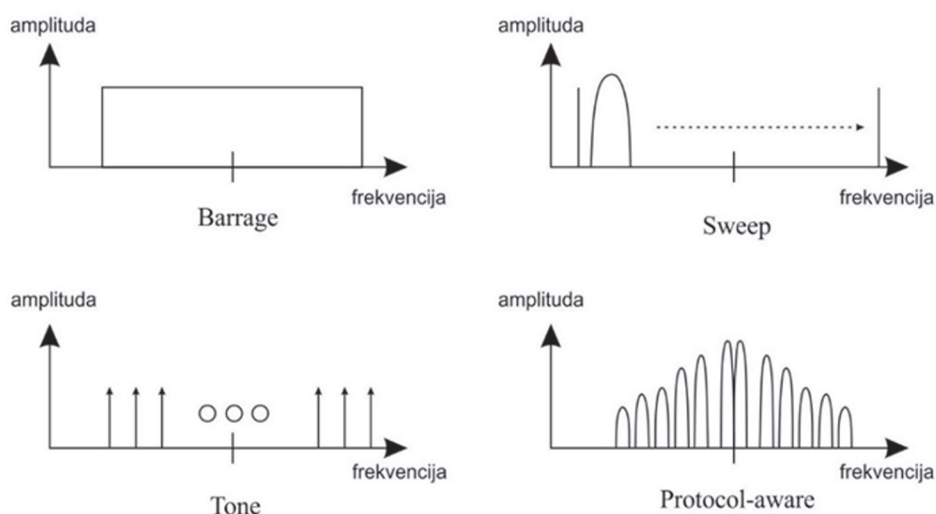
Slika 1. Bežična komunikacija sustava bespilotnih zrakoplova (Rozenbeek 2020).

Navigacijski sustav sastoji se od GNSS-a, INS-a (engl. *Inertial Navigation System*), magnetometra, barometra, infracrvenih i optičkih sustava, čija je osnovna zadaća određivanje pozicije i brzine bespilotne letjelice te vremena, odnosno osiguravanje PVT informacije (engl. *Position Velocity Time*) (Rozenbeek 2020). Primjena navigacijskog sustava pruža pilotu informaciju o položaju letjelice u svakom trenutku, a omogućuje i druge funkcionalnosti poput automatskog povratka letjelice na početnu točku (engl. *Return To Home* – RTH) te stabilno lebdenje kompenzirajući utjecaj vjetera. Osobito važna funkcionalnost koju omogućuje GNSS komponenta je praćenje unaprijed definiranog plana leta, što je neophodno za primjenu UAS-a za potrebe snimanja iz zraka te ostvarivanja pokrivenosti područja od interesa i preklopa između snimaka. Napredni UAS sustavi za snimanje iz zraka obično su opremljeni RTK (engl. *Real Time Kinematic*) modulom koji omogućuje prikupljanje faznih mjerenja na dvije frekvencije te određivanje položaja letjelice u trenutku snimanja s točnošću od nekoliko centimetara. Takvi sustavi daju elemente vanjske orijentacije snimaka, povećavaju relativnu točnost unutar modela te smanjuju potrebu za zemaljskim kontrolnim točkama (engl. *Ground Control Point* – GCP). Međutim, primjena RTK tehnologije zahtjeva korištenje korekcija s permanentne mreže GNSS stanica ili s vlastite bazne stanice koje se prenose korištenjem GSM (engl. *Global System for Mobile communications*) mreže ili putem radio veze, stoga i ti signali mogu biti ometani. Ovaj problem moguće je zaobići korištenjem PPK (engl. *Post-Processed Kinematics*) obrade podataka na temelju pohranjenih opažanja bespilotne letjelice.

Komunikacija između letjelice i kontrolne stanice odvija se u dva smjera. Kontrolna stanica odašilje naredbe pilota, konfiguraciju leta, RTK korekcije i drugo, putem RC veze (engl. *Remote Control*) obično kao male pakete na redundantan način kako bi se postigla stabilnost i smanjili problemi kašnjenja (Rozenbeek 2020). Bespilotna letjelica kontrolnoj stanici odašilje telemetrijske i video podatke. Telemetrijski podaci odnose se na stanje baterije, položaj i orijentaciju bespilotne letjelice, brzinu letjelice, brzinu vjetera i ostalo. Video veza prenosi video s ugrađene kamere bespilotne letjelice do kontrolne stanice, odnosno do pilota. RC, telemetrijski i video podaci mogu se prenositi korištenjem različitih kanala i protokola ili se mogu prenositi jednim kanalom i protokolom što je slučaj za WiFi sustave bespilotnih letjelica (Rozenbeek 2020).

3. Ometanje GNSS i radio signala

Prema definiciji ometanja radio signala moguća je namjerna interferencija, poremećaj i blokiranje autentične radio komunikacije između odašiljača i prijemnika (Rozenbeek 2020). Osnovni princip ometanja je povećati šum unutar signala kako prijemnik ne bi mogao raspoznati autentični signal. Ometanje radio signala može se napraviti različitim tehnikama među koje spadaju Barage, Sweep, Tone i Protocol-aware (slika 2).



Slika 2. Tehnike ometanja signala (Rozenbeek 2020).

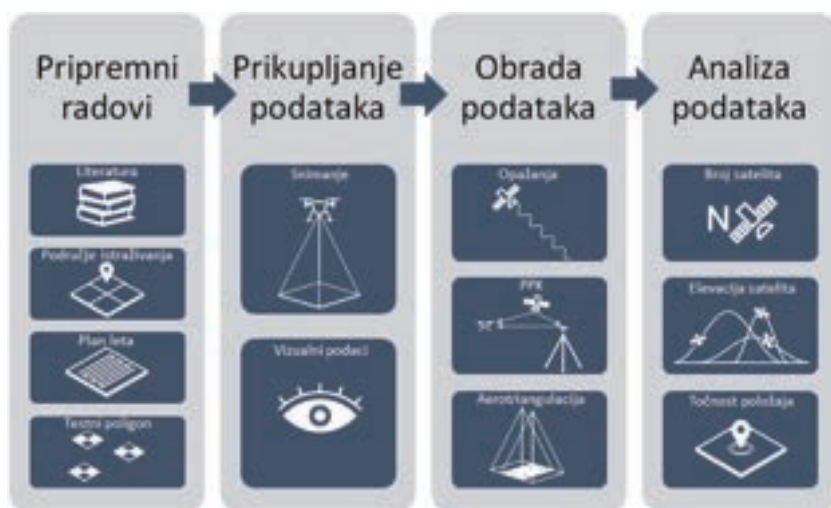
Barrage tehnika ometa cijelo frekventijsko područje i može ometati bilo koju vrstu signala te utječe na sve uređaje koji koriste frekvencije u ometanom području. Glavni nedostatak je što zahtjeva veliku količinu energije koja se povećava s povećanjem širine ometanog frekventijskog područja. Sweep tehnika odašilje signal uskog područja koji varira unutar cijelog frekventijskog područja koje se ometa (Rozenbeek 2020). Uz dovoljno veliku brzinu kojom se mijenja frekvencija moguće je postići efekt barrage tehnike. Tone tehnika koristi jedan ili više strateški postavljenih diskretnih tonova (Heuschamps 2022), koji se emitiraju istovremeno ili naizmjenično. Položaj i broj tonova uvjetuje učinak ometanja. Protocol-aware tehnika odašilje lažne signale slične izvornim signalima kako prijemnik ne bio u mogućnosti filtrirati šum. Primjena ove tehnike zahtjeva da signali budu konstruirani za određenu vrstu komunikacije.

Potpuno blokiranje signala UAS-a može polučiti različite scenarije ovisno o tome jesu li blokirani GNSS signali ili komunikacija između letjelice i kontrolne stanice ili su blokirani svi signali. Potpunim blokiranjem signala između bespilotne letjelice i kontrolne stanice, ako pritom GNSS signal nije u potpunosti blokiran moguće je nekoliko scenarija. Bespilotna letjelica će se autonomno vratiti na početnu točku (RTH), ostatak će lebdjeti u zraku, izvest će sigurnosno slijetanje ili će dovršiti snimanje prema planu leta. U slučaju potpunog blokiranja GNSS signala, ako signal između bespilotne letjelice i kontrolne stanice nije blokiran izgubit će se informacije o položaju, brzini i vremenu i sve funkcije koje koriste GNSS. Pilot će letjelicom moći manualno upravljati, ali RTH funkcija neće raditi. Ovakav scenarij odgovara letu u zatvorenom prostoru. Potpuno blokiranje svih signala dovelo bi do sigurnosnog slijetanja bespilotne letjelice ako je opremljena sustavima za potpomognuto slijetanje ili bi došlo do pada letjelice. U slučaju da je ometanje GNSS signala djelomično, bespilotna

letjelica može završiti snimanje iz zraka, ali će pri tome biti smanjena točnost vanjske orijentacije snimaka.

4. Metodologija istraživanja

U ovom istraživanju testirano je ponašanje GNSS-a i BPL-a na utjecaj ometača GNSS i radijskih signala. Istraživanje se sastojalo od četiri dijela: planiranje i pripremni radovi (proučavanje literature i prethodnih istraživanja, definiranje lokacije istraživanja, izrada plana leta i postavljanje testnog poligona); prikupljanje podataka (snimanje fotografija prema planu leta i prikupljanje vizualnih podataka); obrada podataka (obrada sirovih podataka opažanja, PPK izjednačenje, aerotriangulacija i skupno izjednačenje bloka); analiza podataka (analiza broja satelita i SNR (engl. *Signal-to-Noise Ratio*) vrijednosti, analiza točnosti položaja pojedine metode pozicioniranja, analiza utjecaja ometanja signala na satelite različitih elevacija). Grafički prikaz metodologije istraživanja nalazi se na slici 3.



Slika 3. Dijagram istraživanja.

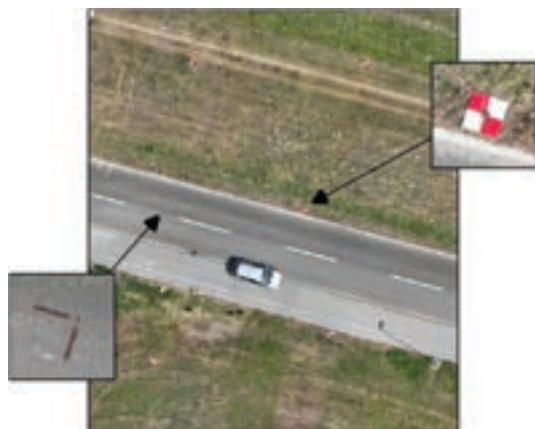
Metoda kojom je ispitan utjecaj ometača na točnost položaja letjelice temelji se na usporedbi prikupljenih podataka o položaju letjelice različitim GNSS tehnikama s koordinatama dobivenim aerotriangulacijom u odnosu na zemaljske kontrolne točke (GCP). S obzirom da se aerotriangulacijom dobivaju koordinate projekcijskih središta fotografija iz fotografija na kojima su označene točke s poznatim koordinatama (GCP), ti podaci nisu opterećeni utjecajem ometača iako su fotografije prikupljene tijekom ometanja signala.

Utjecaj ometača na broj opažanih satelita i kvalitetu primljenog signala ispitan je metodom analize sirovih podataka pohranjenih u letjelici tijekom sni-

manja. Na identičan način napravljena je analiza utjecaja elevacije satelita na prijem signala uz prethodno povezivanje podataka elevacije s podacima opažanja. Ponašanje letjelice tijekom ometanja analizirano je primjenom vizualne metode.

4.1. Područje istraživanja i korištena oprema

Ispitivanje utjecaja ometača na bespilotnu letjelicu provedeno je uz nasip na desnoj obali rijeke Save na području naselja Blato u Novom Zagrebu (slika 4). Područje ispitivanja udaljeno je od naselja i glavnih prometnica kako ometanje signala ne bi utjecalo na korisnike GNSS-a te kako bi se izbjegle moguće interferencije koje bi utjecale na rezultate istraživanja.



Slika 4. Poligon za testiranje ometača.

Na terenu je postavljeno 15 zemaljskih kontrolnih točaka od kojih je dio označen bojom, a dio s kartonskim oznakama što je vidljivo na slici 4. Koordinate zemaljskih kontrolnih točaka određene su GNSS RTK metodom korištenjem korekcija s CROPOS servisa. Opažanje je obavljeno korištenjem Topcon Hiper SR prijemnika i Topcon FC5000 kontrolera u deset epoha. Koordinate točaka određene su u HTRS96/TM koordinatnom sustavu i kartografskoj projekciji te HVR571 visinskom sustavu. U središte područja ispitivanja parkiran je osobni automobil u kojem je bio uključen jednofrekvencijski ometač, a u neposrednoj blizini postavljen je i višefrekvencijski ometač, specifikacije kojih su predstavljene u tablici 2.

Za ispitivanje utjecaja interferencije signala korištene su BPL DJI Phantom 4 i DJI Mavic 3E čiji su opisi i specifikacije dani u tablici 1. Phantom 4 opremljen je tehnologijom izbjegavanja prepreka Vision system (naprijed i ispod), a za pozicioniranje se koriste infracrveni senzori, ultrazvučni sonar i GNSS (GPS + GLONASS). Upravljanje letjelicom provodi se korištenjem Phantom 4 SDK kontrolera koji omogućuje korištenje aplikacija trećih proizvođača ili vlastito

razvijenih aplikacija na pametnom telefonu (URL 1). Za izradu plana leta i snimanje korištena je Pix4DCapture aplikacija (URL 2).

Mavic 3E letjelica je Enterprise serije namijenjena fotogrametrijskom snimanju. Za pozicioniranje i navigaciju u prostoru koristi GNSS (GPS, Galileo, BeiDou, GLONASS), Vision system u horizontalnom (naprijed, natrag i bočno) i vertikalnom smjeru (iznad i ispod), infracrveni sustav i barometar. PSDK port omogućuje montiranje RTK modula koji osigurava položajnu točnost na centimetarskoj razini kao i naknadnu obradu podataka (PPK). Upravljanje letjelicom omogućeno je preko kontrolera DJI RC Pro, a izrada plana leta i snimanje izvedeno je korištenjem DJI Pilot 2 aplikacije (URL 3).

Tablica 1. *Karakteristike korištenih bespilotnih letjelica (URL 1, URL 3).*

Specifikacije bespilotnih letjelica		
Tip	DJI Phantom 4	DJI Mavic 3E
Masa	1380 g	915 g
Klasa UAS	-	C2
Max brzina snimanja	15 m/s	15 m/s
Max vrijeme leta	28 min	39 min
GNSS	GPS, GLONASS	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
GNSS format podatka	-	RINEX 3.05
GNSS frekvencija podataka	-	5 Hz
Točnost položaja	HZ: 1,5 m, V: 0,5 m	HZ: 1 cm + 1 ppm V: 1,5 cm + 1 ppm
WiFi (prijenos videa, telemetrijskih podataka i radio kontrola)	2,400–2,4835 GHz 5,725–5,850 GHz	2,400–2,4835 GHz 5,150–5,250 GHz 5,725–5,850 GHz
Bluetooth	2,400–2,4835 GHz	2,400–2,4835 GHz
Max udaljenost prijenosa podataka (bez interferencije i prepreka)	10 km (FCC), 6 km (CE/SRRC/MIC)	15 km (FCC), 8 km (CE/SRRC/MIC)

Ometanje signala provedeno je korištenjem jednofrekvencijski (SF) i višefrekvencijski (MF) ometača (tablica 2). SF ometač djeluje samo na GNSS signale u L1, dok ne utječe na GNSS signale u drugim područjima, kao ni na WiFi i GSM signale. SF ometač opskrbljuje se energijom iz 12V utičnice automobila. Domet ometača je od 2 do 15 metara. MF ometač djeluje na GNSS signale u svim frekvencijskim područjima, kao i na WiFi signale. Signali ometača odašilju se preko 5 više smjernih antena, a moguć je odabir frekvencija koje će se ometati. Ometač se napaja energijom iz interne baterije. Domet MF ometača je od 2 do 30 metara. Na temelju prethodnih istraživanja Huline (2018) i Gudelj (2023), definirane su udaljenosti ometača za testiranja. Prema navedenim istraživanjima SF i MF ometači imaju black-out zonu od 13 m, odnosno u tom rasponu u potpunosti blokiraju prijem GNSS signala i onemogućuju navigac-

iju i određivanje pozicije. Na većim udaljenostima, do 300 m, ometači smanjuju broj opažanih satelita, degradiraju vrijednosti SNR-a i povećavaju PDOP (engl. *Position Dilution Of Precision*). Također, do 60 m udaljenosti ometači onemogućuju inicijalizaciju RTK mjerenja dok MF ometač također ometa bluetooth i WiFi komunikaciju prijamnika i kontrolne stanice.

Tablica 2. *Karakteristike korištenih ometača signala (URL 4, URL 5).*

Specifikacije ometača		
Tip	Jednofrekvencijski ometač	Višefrekvencijski ometač
Ukupna izlazna snaga	do –10 dBm	do 4,2 W
Radna frekvencija	1500–1600 MHz	173 MHz, 1170–1180 MHz 1370–1380 MHz, 1220–1260 MHz 1570–1620 MHz, 2400–2500 MHz
Dimenzije	75 × 20 × 20 mm	125 × 75 × 35 mm
Napajanje	DC 12 V	AC 100–240 V i DC 12 V
Radna temperatura	–30 °C do +60 °C	–20 °C do +50 °C
Antena	1 Omnidirectional	5 High Gain Omnidirectional
Domet	2–15 m	2–30 m

4.2. Prikupljanje i obrada podataka

Prikupljanje podataka napravljeno je 17. srpnja 2024. na testnom poligonu. Podaci su prikupljeni vizualno (praćenjem ponašanja BPL za vrijeme rada ometača) i s bespilotnim letjelicama kroz pripadajuće aplikacije. Obrada podataka napravljena je primjenom različitih komercijalnih i otvorenih programa.

Plan leta za Mavic 3E izrađen je u aplikaciji DJI Pilot 2. Visina leta odabrana je 12 i 20 metara iznad točke polijetanja, a pripadni GSD (engl. *Ground Sample Distance*) bio je 0.32cm, odnosno 0.54cm. GSD je veličina koja definira prostornu veličinu slikovnog elementa, odnosno definira prostornu rezoluciju o kojoj ovisi razina detalja koja se može raspoznati na fotografijama. Uzdužni preklop fotografija je 80% dok je poprečni preklop 70%, a za visinu 20 metara poprečni preklop je 80%. Okidač za prikupljanje snimaka je postavljen na jednake vremenske intervale. Kontrolna stanica letjelice povezana je na CROPOS servis s kojeg su preuzimane diferencijalne korekcije za RTK pozicioniranje. Uz RTK pozicioniranje uključena je i opcija RTK *maintain position accuracy*, koja u slučaju lošijeg signala održava točnost RTK do 10 minuta uz postepeno smanjenje točnosti. U slučaju gubitka signala postavljeno je da letjelica lebdi na mjestu, a po završetku misije da se vrati na početnu točku (RTH). Mavic 3E automatski je prikupljao navigacijsku poruku, opažanja satelita i pomake projekcijskog središta fotografija u odnosu na fazni centar RTK modula. Plan leta za Phantom 4 napravljen je u aplikaciji Pix4D Capture u obliku double grid mission (dvostruki prelet preko područja interesa) s nagibom kamere 20°

u odnosu na nadir. Let je izvođen na 12, 20, 25 i 30 metara visine s pripadnim GSD vrijednostima 0.33cm, 0.55cm, 0.69cm i 0.82cm.

Za potrebe PPK obrade podataka izvan područja ometanja na nasipu postavljen je bazni prijemnik Topcon Hiper VR koji je prikupljao podatke tijekom ispitivanja. Koordinate baznog prijemnika određene su CROPOS RTK metodom opažanjem u 30 epoha. Opažanja baze prikupljena su za sve dostupne satelite s frekvencijom 1Hz i pohranjena su u *.tps formatu koji je preveden u RINEX 3.05 format. Računanje koordinata projekcijskih središta PPK metodom provedeno je u besplatnoj aplikaciji Emlid studio. U računanju korištene su RINEX datoteke opažanja i efemeride baznog prijemnika i datoteka opažanja letjelice te datoteka s vremenskim oznakama fotografija i ofsetima projekcijskog središta u odnosu na fazni centar RTK modula. Radi osiguravanja kvalitetnog i pouzdanog rješenja korištena je elevacijska maska od 15°, kombinirani filtar i SNR maska od 35dBHz. Nakon obavljenog računanja dobivena je datoteka s položajima letjelice u trenutku svakog opažanja i datoteka s koordinatama projekcijskih središta fotografija.

Fotogrametrijska obrada snimaka provedena je u programu Agisoft Metashape, gdje je napravljena aerotriangulacija skupnim izjednačenjem u bloku. Pri obradi podataka korištene su isključivo zemaljske kontrolne točke, dok podaci o položaju projekcijskih središta fotografija nisu korišteni. Na taj način dobiveni su stvarni položaji fotografija na koje nije utjecala interferencija GNSS signala. Za Mavic 3E korištena je kompenzacija mehaničkog zatvarača i parametri kalibracije kamere zapisani u exif podacima. Nakon računanja veznih točaka provedeno je filtriranje rijetkog oblaka točaka s obzirom na pogrešku rekonstrukcije, pogrešku reprojekcije i točnost projekcije. Za sve letove korišteni su jednaki parametri filtriranja. Za Phantom 4 korištene su jednake postavke uz razliku onemogućene kompenzacije mehaničkog zatvarača. S obzirom da je Phantom 4 za pojedine letove snimio nedovoljan broj fotografija za fotogrametrijsku obradu, snimljene fotografije pridružene su fotografijama snimljenog nultog stanja i napravljena je zajednička obrada.

Za referentne koordinate projekcijskih središta snimljenih fotografija uzeti su podaci dobiveni aerotriangulacijom. Iako su dobiveni podaci opterećeni pogreškom određivanja položaja zemaljskih točaka (GCP) u odnosu na koje se provode računanja, druga metoda određivanja stvarnog položaja letjelice nije bila dostupna, a i pretpostavka je da pogreške položaja neće biti značajne u odnosu na očekivane pogreške zbog ometanja signala. Za koordinate dobivene RTK, PPK metodom i GNSS-om letjelice određene su razlike za koje su provedena statistička računanja minimuma, maksimuma, srednje vrijednosti i srednje kvadratne pogreške. Za Phantom 4 usporedba koordinata definirana je samo za podatke projekcijskih središta fotografija dobivenih GNSS-om letjelice. Točnost pozicioniranja pojedine metode analizirana je i grafički preklapanjem putanja leta bespilotne letjelice.

Analiza broja opažanih satelita i SNR vrijednosti napravljena je na temelju pohranjenih datoteka s opažanjima u RINEX formatu za letjelicu Mavic 3E. Izrađen je niz grafičkih prikaza prikupljenih podataka koji su omogućili detaljnu analizu utjecaja ometača na GNSS signale. Grafički prikazi pokazuju ovisnost broja satelita, SNR-a i prosječnog SNR-a u odnosu na vrijeme sniman-

ja te ovisnost dostupnosti satelita u odnosu na elevaciju u pojedinom trenutku snimanja fotografije.

Detaljni podaci o svakom letu zabilježeni su u .txt datoteci DJIFlightRecord. Ova datoteka je svojevrsna crna kutija koja sadrži veliku količinu podataka koji se u slučaju problema prilikom leta mogu analizirati. Na taj način proizvođač može unaprjeđivati sustav bespilotne letjelice kako bi se smanjile mogućnosti sličnih problema. Vizualizacija podataka crne kutije provedena je online aplikacijom Airdata u kojoj su iščitani podaci o brzini leta, visini, stanju baterije, udaljenosti od početne točke, kvaliteti radio signala, broju satelita, modu leta kao i sve obavijesti koje su prikazane na ekranu kontrolera prilikom leta. U KML (engl. *Keyhole Markup Language*) obliku preuzeta je putanja leta letjelice kao i položaji snimljenih fotografija određeni GNSS-om letjelice. Podaci su prikupljeni samo za letjelicu Mavic 3E, dok su datoteke za Phantom 4 bile oštećene i nije bilo moguće prikupiti podatke o letu.

5. Rezultati istraživanja

Nakon obavljenog prikupljanja i obrade podatka dobiveni su podaci o broju opažanih satelita, SNR vrijednosti, točnosti položaja pojedine metode pozicioniranja, vrsti RTK/PPK rješenja i ponašanju letjelice za različite scenarije ometanja signala. DJI Phantom 4 pružio je manji broj podataka koji su uglavnom vizualni dok je DJI Mavic 3E letjelica dala velik broj različitih informacija koje su omogućile detaljnu analizu utjecaja ometača na bespilotnu letjelicu.

5.1. DJI Phantom 4

Za letjelicu DJI Phantom 4 provedeno je ukupno sedam testova. Prvi test je let bez ometanja signala u kojoj je letjelica obavila cijelu planiranu misiju. Usporedbom podataka dobivenih aerotriangulacijom i podataka iz GNSS-a letjelice vidljiva je pogreška apsolutnog položaja od 3 metra (tablica 3). Relativna položajna točnost je ispod 1 metra. Za sve letove rezultati apsolutne položajne točnosti lošiji su od relativne uz tendenciju povećanja točnosti za svaki sljedeći let. Usporedbom položajne i visinske točnosti potvrđena je specifikacija proizvođača da je visinska točnost veća od položajne.

U drugom testu upaljen je SF ometač prije polijetanja i blokiran je prijem svih GNSS signala. Ometač je ugašen i ponovno upaljen nakon što je letjelica započela misiju. Zbog interferencije signala misija je prekinuta na 10%, a letjelica je lebdjela u zraku na zadanoj visini od 12 metara. Nakon gašenja ometača nije bilo moguće dovršiti let, stoga je izvedeno ručno slijetanje. Po završetku testa nije bilo moguće ponovno pokrenuti isplanirani let, jer je letjelica poletjela do visine 2 metra i lebdjela. Svaki prekid leta zbog interferencije signala doveo je do potrebe ponovnog definiranja plana leta u aplikaciji Pix4DCapture. Rezultati prethodnog testa sugerirali su izvođenje ponovnog testa na većoj visini leta, stoga su izvođeni testovi dok se nije došlo do visine na kojoj letjelica

može obaviti misiju unatoč djelovanju ometača. Let na visini 20 metara uz ometanje SF ometačem Phantom 4 letjelica izvela je do razine oko 40% kada je došlo do prekida. Pokrenuta je naredba RTH (Return to Home), no letjelica se nije vratila na početnu točku, nego je samo vertikalno sletjela.

Test na visini 25 metara prekinut je odmah na početku sa snimljenih samo 5 fotografija, a letjelica je sletjela korištenjem RTH naredbe. Let na visini 30 metara uz ometanje SF ometačem obavljen je u cijelosti bez prekida, a letjelica je sletjela korištenjem RTH naredbe.

Testiranje MF ometača napravljeno je na visini 12 i 20 metara. Prije polijetanja upaljen je ometač postavljen u blizini letjelice koji je blokirao sve GNSS signale. Zbog interferencije signala bilo je potrebno izraditi novi plan leta za istu visinu od 12 metara. Kada je letjelica započela misiju upaljen je ometač i snimljene su 54 fotografije, nakon čega je došlo do prekida misije. Letjelica je vertikalno sletjela na mjestu prekida snimanja. Letom na visini 20 metara uz ometanje MF ometačem snimljeno je 49 fotografija kada je snimanje prekinuto. Letjelica je sletjela identično kao u prethodnom testu.

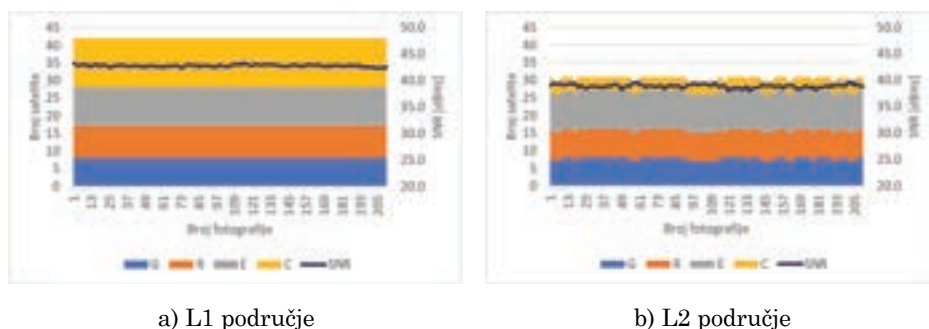
Tablica 3 prikazuje rezultate položajne i visinske točnosti Phantom 4 letjelice dobivene usporedbom koordinata projekcijskih središta fotografija izračunatih aerotriangulacijom i određenih GNSS-om letjelice. Iz dobivenih rezultata vidljivo je povećanje točnosti položaja letjelice protekom vremena, prema tome testovi koji su prije izvođeni daju lošiju točnost položaja dok posljednje izvođeni testovi daju točnost položaja identičnu onoj koju specifikacijama daje proizvođač (tablica 1). Analizom točnosti položaja GNSS-a letjelice nije moguće detektirati utjecaj ometača, jer je letjelica prekinula misiju snimanja kada je došlo do interferencije signala.

Tablica 3. *Položajna i visinska odstupanja Phantom 4 letjelice.*

Test	Odstupanje	Max	Min	Avg	RMSE
Bez ometanja	ΔH_z	4,647	2,771	3,623	3,638
	ΔV	3,426	0,937	2,458	2,516
SF ometač 12 m	ΔH_z	5,302	4,416	4,898	4,903
	ΔV	3,221	2,339	2,807	2,820
SF ometač 20 m	ΔH_z	1,863	1,308	1,508	1,514
	ΔV	2,504	0,634	1,619	1,666
SF ometač 25 m	ΔH_z	1,881	1,776	1,841	1,841
	ΔV	1,555	1,109	1,337	1,350
SF ometač 30 m	ΔH_z	1,409	0,759	1,099	1,112
	ΔV	2,275	0,547	1,699	1,726
MF ometač 12 m	ΔH_z	2,205	0,920	1,464	1,498
	ΔV	1,183	0,057	0,544	0,626
MF ometač 20 m	ΔH_z	1,627	0,961	1,312	1,326
	ΔV	1,188	0,259	0,697	0,734

5.2. DJI Mavic 3E

Testiranje interferencije signala za Mavic 3E provedeno je u šest različitih testova. Prvi test se odnosi na let bez korištenja ometača koji je izveden na visini 12 metara. Na slici 5 prikazani su rezultati prvog testa letjelicom Mavic 3E iz koje je vidljiv broj opažanih satelita (kodnih pseudoudaljenosti) u trenutku snimanja fotografije za GPS (G), GLONASS (R), Galileo (E) i BeiDou (C) satelitske sustave i prosječna SNR vrijednost tijekom izvođenja testa. Ukupan broj opažanih signala satelita u L1 području je 42 tijekom cijelog leta. Broj opažanih satelita u L2 području je 30 – 31 s prekidima opažanja satelita izrazito niskih elevacija. SNR vrijednost lošija je za satelite nižih elevacija. Prosječne vrijednosti SNR-a pokazuju bolju kvalitetu signala u L1 području, nego u L2 području s iznosima 42.8dBHz i 38.9dBHz. Broj satelita i SNR vrijednost identičnih su iznosa u svim položajima letjelice, što upućuje da ne postoji ometanje signala iz drugih izvora na području testiranja.



Slika 5. Broj satelita i prosječna SNR vrijednost za prvi test letjelicom Mavic 3E.

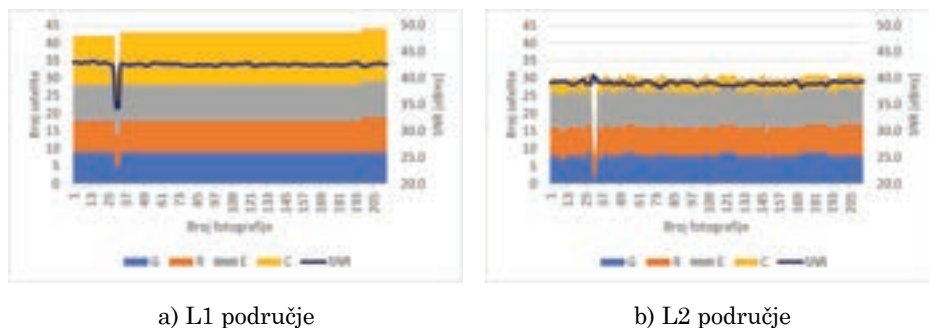
RTK i PPK rješenje je fiksno za sve položaje projekcijskih središta fotografija. Tablica 4 prikazuje rezultate položajne i visinske točnosti pojedine metode pozicioniranja u odnosu na podatke aerotriangulacije. Podaci PPK daju najkvalitetnije podatke, RTK daje neznatno lošije rezultate dok su podaci GNSS-a letjelice na sub-metarskoj razini.

Tablica 4. Položajna i visinska odstupanja Mavic 3E letjelice za prvi test.

	RTK		PPK		GNSS
Odstupanje	ΔH_z	ΔV	ΔH_z	ΔV	ΔH_z
Max	0,065	0,085	0,066	0,028	1,269
Min	0,001	0,029	0,001	0,000	0,075
Avg	0,018	0,054	0,017	0,010	0,634
RMSE	0,023	0,055	0,023	0,012	0,687

Drugim testom analiziran je utjecaj SF ometača na visini 12 metara. Početna točka polijetanja postavljena je 2 metra od upaljenog ometača. SF ometač blokirao je sve satelite u L1 području dok signali satelita u L2 području nisu

značajno degradirani. RTK rješenje nije fiksno, stoga nije bilo moguće poletjeti. Isključenjem RTK pozicioniranja letjelica je mogla poletjeti unatoč djelovanju ometača. Ometač je zatim ugašen dok letjelica nije došla na početnu točku prema planu leta pa je ponovno upaljen. Let je izvođen prema planu leta do snimanja 30. fotografije kada je došlo do snažne interferencije signala i letjelica je stala. Prekinuta misija ručno je ponovno pokrenuta od točke prekida i dovršena je do kraja bez ikakvih prekidanja. Na slici 6 jasno je vidljiv trenutak prekida misije, kada broj opažanih satelita i SNR vrijednost u L1 području naglo padaju, a u L2 području dolazi samo do pada broja opažanih satelita. Broj opažanih satelita u L1 do prekida signala je 42, dok je broj opažanih satelita u trenutku prekida 31. Do kraja misije opažano je 43, odnosno 44 satelita. U L2 području u trenutku najsnažnije interferencije došlo je do pada opažanih satelita sa prosječnih 30 na 8. SNR vrijednost u L1 u trenutku prekida za sve satelite pada za 10dBHz, dok SNR u L2 za opažane satelite ostaje jednak tijekom cijelog snimanja. U trenutku prekida misije došlo je do gubitka signala sa satelita neovisno o njihovoj elevaciji.



Slika 6. Broj satelita i prosječna SNR vrijednost za drugi test letjelicom Mavic 3E.

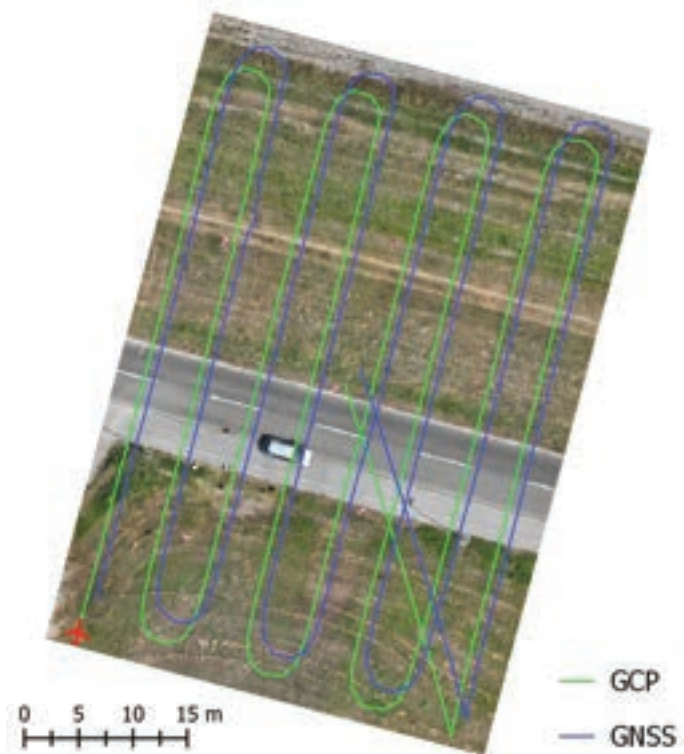
RTK rješenje fiksno je za sve položaje projekcijskih središta, dok PPK rješenje nije fiksno za tri projekcijska središta u trenutku najjače interferencije. Točnost pozicioniranja PPK je najtočnija, dok je RTK neznatno lošiji (tablica 5). Pozicioniranje GNSS-om odstupa u prosjeku više od 2 metra, stoga je utjecaj ometača najveći na GNSS prijamnik letjelice.

Tablica 5. Položajna i visinska odstupanja Mavic 3E letjelice za drugi test.

	RTK		PPK		GNSS
Odstupanje	ΔH_z	ΔV	ΔH_z	ΔV	ΔH_z
Max	0,116	0,111	0,117	0,046	3,439
Min	0,002	0,037	0,001	0,000	1,130
Avg	0,027	0,072	0,027	0,015	2,186
RMSE	0,034	0,074	0,034	0,019	2,281

Planirana putanja leta identična je kao u prethodnom testu, ali zbog pogreške GNSS-a stvarna putanja po kojoj je obavljen let pomaknuta je jugozapadno u

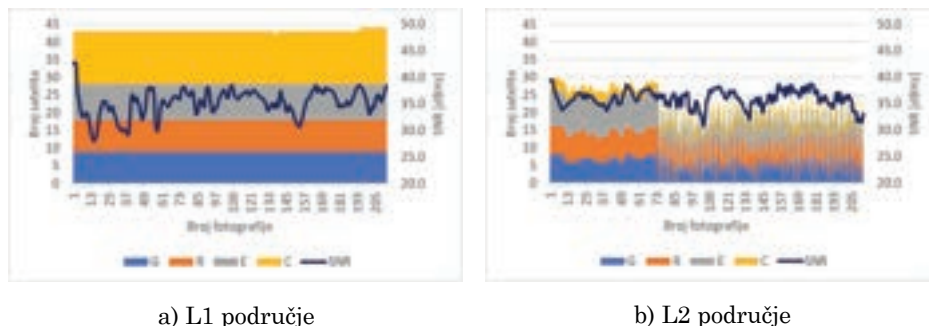
iznosu oko 2 metra. Ovaj pomak vidljiv je na slici 7 gdje je zelenom linijom prikazana stvarna putanja leta, dok je plavo prikazana putanja dobivena GNSS-om letjelice koji se koristi za navigaciju. Na slici je vidljiv i trenutak prekida misije na početku druge linije gdje položaj fotografije odstupa od pravca snimanja. Za sve letove početak misije nalazi se u jugozapadnoj točki putanje označeno crvenom oznakom.



Slika 7. Stvarna putanja i putanja leta određena GNSS-om za drugi test letjelicom *Mavic 3E*.

Nakon testa SF ometača napravljeno je testiranje MF ometača na visini 12 metara. Prije početka testiranja letjelica je postavljena 2 metra od ometača koji je blokirao sve signale GNSS-a i nije bilo moguće poletjeti. Ometač je ugašen dok letjelica nije došla do početne točke snimanja. Cijeli let obavljen je bez prekida, a prilikom slijetanja na visini 2.5 metra u blizini ometača došlo je do značajnog pada broja opažanih satelita. Broj opažanih satelita u L1 je 43, a pri završetku leta 44. Broj opažanih satelita u L2 pokazuje manje varijacije od 26 do 30 satelita do opažanja 75. fotografije. Nakon toga broj satelita se visokofrekvencijski mijenja od 12 do 26 što daje vrlo nazubljen grafički prikaz koji je vidljiv na slici 8. SNR vrijednosti u L1 značajno su degradirane u trenutku paljenja ometača. Tijekom cijelog leta prosječna SNR vrijednost nije

konstantnog iznosa već varira za više od 10dBHz. Signali svih satelita jednako su degradirani, odnosno SNR u istim trenucima opada i raste identično za sve satelite. SNR vrijednosti u L2 pokazuju slično ponašanje kao u L1. Analizom elevacije satelita i prijema signala vidljivo je da kodne pseudoudaljenosti u L1 području nisu prekinute u prijemu samo je došlo do već spomenute degradacije signala. Fazne pseudoudaljenosti u L1 prekidane su u prijemu uglavnom za satelite nižih elevacija. U L2 području utjecaj ometača jednak je na fazna i kodna mjerenja i ne ovisi o elevaciji satelita.



Slika 8. Broj satelita i prosječna SNR vrijednost za treći test letjelicom Mavic 3E.

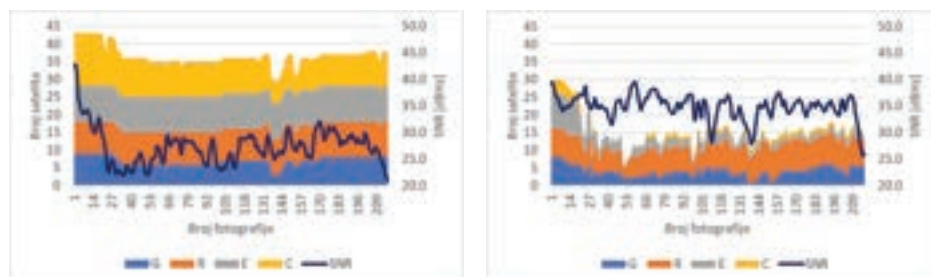
Položaj projekcijskih središta fotografija određen s PPK nije fiksna samo za četiri fotografije u trenutku kada je i prosječna SNR vrijednost najmanja. S obzirom na primijenjeni SNR filter u tom trenutku nije opažan dovoljan broj kvalitetnih signala za računanje pozicije. RTK pozicija fiksna je za prve 92 fotografije, a nakon toga rješenje je float, ali ipak visoke točnosti zbog korištenja RTK *maintin position accuracy*. Prema tablici 6 vidljiva je visoka točnost položaja identična kao u slučaju leta bez ometanja.

Tablica 6. Položajna i visinska odstupanja Mavic 3E letjelice za treći test.

Odstupanje	RTK		PPK		GNSS
	ΔHz	ΔV	ΔHz	ΔV	ΔHz
Max	0,098	0,100	0,112	0,068	1,328
Min	0,001	0,028	0,001	0,000	0,064
Avg	0,039	0,068	0,030	0,016	0,662
RMSE	0,044	0,069	0,038	0,020	0,713

Četvrti test ispituje utjecaj oba ometača na bespilotnu letjelicu na visini leta 12 metara. Ometači su upaljeni kada je letjelica došla na početnu točku snimanja prema planu leta. Tijekom leta dogodila su se četiri prekida misije koja je ručno ponovno pokrenuta od točke prekida misije. Posljednji prekid dogodio se prilikom snimanja posljednje fotografije kada zbog jake interferencije nije bio moguć nastavak misije pa je pokrenuta RTH naredba. Prilikom slijetanja broj opažanih satelita pao je na nulu, a letjelica nije sletjela na točku polijetanja, nego otprilike 1 metar dalje. Sa slike 9 vidljivo je da je broj opažanih satelita

u L1 prije paljenja ometača 43 i taj broj ostaje do prvog prekida kada broj opažanih satelita pada na 35. Kod svakog prekida misije vidljiv je značajan pad broja opažanih satelita (slika 9). Fazna mjerenja u L1 području blokirana su značajno više od kodnih. Nakon prvog prekida misije do kraja snimanja broj opažanih faza je više nego dvostruko manji od kodnih mjerenja. Broj satelita u L2 nakon paljenja ometača smanjuje se s početnih 30 i varira u rasponu od 5 do 17 satelita (slika 9). Ometači su na fazna i kodna mjerenja u L2 području djelovali podjednako. Prosječna SNR vrijednost u L1 području nalazi se u rasponu od 21 do 32dBHz, dok je u L2 manje degradiran i varira u rasponu od 26 do 39dBHz. Signali su blokirani neovisno o elevaciji satelita iako su u pojedinim slučajevima više blokirani signali sa satelita nižih elevacija.

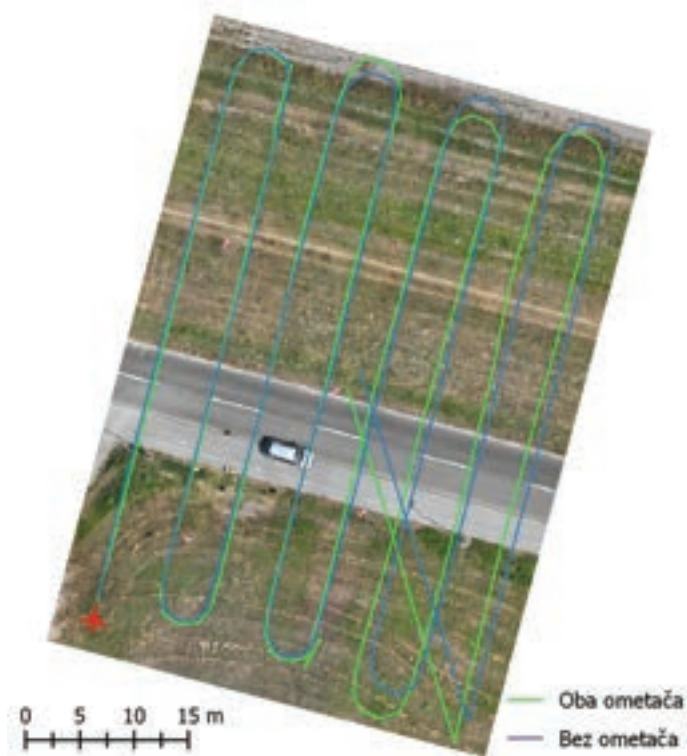


a) L1 područje

b) L2 područje

Slika 9. Broj satelita i prosječna SNR vrijednost za četvrti test letjelicom Mavic 3E.

Na slici 10 zelenom bojom prikazana je putanja leta prilikom ometanja oba ometača i plavom bojom putanja bez ometanja. Usporedbom dviju putanja vidljivo je da je letjelica pratila planiranu putanju do prvog prekida kada dolazi do odstupanja na početku druge linije. Letjelica je dalje pratila planiranu putanju do drugog prekida na početku treće linije kada let počinje sve više odstupati od planirane misije. Na kraju položaj letjelice odstupa više od 2 metra od planiranog.



Slika 10. Putanja leta za četvrti test letjelicom Mavic 3E i putanja bez ometanja.

RTK rješenje fiksno je na početku misije do prvog prekida, kada je letjelica prešla na RTK *maintain position*. Visoka točnost pozicije zadržana je sve do posljednjeg prekida kada je RTK rješenje bilo single point s odstupanjem na razini 2 metra. PPK pozicija fiksna je za mali dio fotografija snimljenih na početku, a nakon prvog prekida rješenje je single point s pogreškom položaja koja poprima vrijednosti veće od 46 metara. S obzirom da su gotovo svi signali imali manju kvalitetu od 35dBHz, nije bilo dovoljno opažanih satelita za dobivanje PPK pozicije. Tablica 7 pokazuje da su podaci RTK najtočniji, zatim dolaze podaci GNSS-a letjelice dok se rezultati PPK ne mogu upotrijebiti niti za određivanje približnog položaja fotografija.

Tablica 7. Položajna i visinska odstupanja Mavic 3E letjelice za četvrti test.

Odstupanje	RTK		PPK		GNSS
	ΔH_z	ΔV	ΔH_z	ΔV	ΔH_z
Max	2,813	0,654	46,539	7,372	4,103
Min	0,004	0,001	0,001	0,000	0,046
Avg	0,065	0,058	23,515	4,047	1,693
RMSE	0,267	0,087	27,262	4,559	2,022

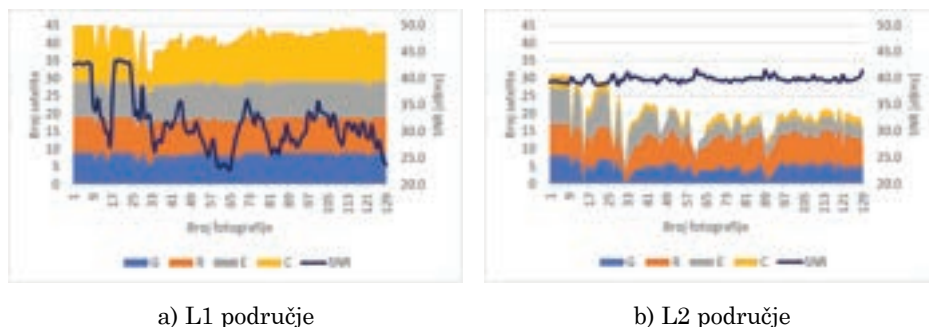
Utjecaj SF ometača na Mavic 3E ispitan je i na visini leta 20 metara kroz peti test. Ometač je uključen u trenutku kada je letjelica došla na početnu točku snimanja. Prilikom snimanja dogodio se jedan prekid misije koja je ručno pokrenuta. Nakon prekida ometač je nakratko ugašen i ponovno upaljen. Tijekom snimanja letjelica je pri najvećoj interferenciji signala odstupila od planirane putanje što je vidljivo na slici 11. Na kraju druge i četvrte linije vidljivo je odstupanje od pravilne putanje za iznose do 2 metra. S obzirom da nije napravljeno testiranje bez ometanja signala na visini 20 metara nije bilo moguće usporediti planiranu i izvedenu putanju leta.



Slika 11. Putanja leta za peti test letjelicom Mavic 3E.

Prilikom slijetanja u blizini ometača došlo je do većeg pada broja opažanih satelita. Slika 12 pokazuje velik broj opažanih kodnih mjerenja u L1 dok je broj faznih mjerenja više nego dvostruko manji za vrijeme djelovanja ometača. SNR vrijednost nakon paljenja ometača značajno opada, a gašenjem ometača odmah se vraća na početnu vrijednost (slika 12). Broj opažanih satelita u L2 pada u pojedinim trenucima snimanja ispod 10, dok ometač nije utjecao na kvalitetu signala onih satelita koji su opažani. Kvaliteta signala u L1 području najviše je narušena u blizini ometača, dok je u L2 neovisna od položaja letjelice. Signali

su blokirani neovisno o elevaciji satelita iako su u pojedinim slučajevima više blokirani signali sa satelita nižih elevacija.



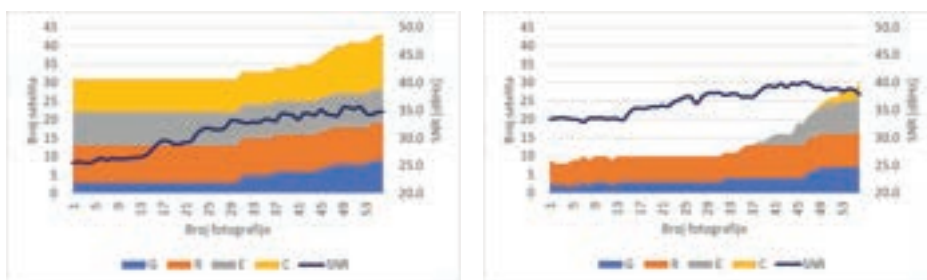
Slika 12. Broj satelita i prosječna SNR vrijednost za peti test letjelicom Mavic 3E.

RTK rješenje fiksno je za gotovo sve fotografije osim 7 položaja projekcijskih središta u području najlošije kvalitete signala. PPK rješenje po cijeloj putanji varira između fiksnog, float i single point. Prema tablici 8 vidljivo je da RTK daje najkvalitetnije rezultate koji su na razini rezultata dobivenih bez ometanja. PPK daje lošije rezultate od unutarnjeg GNSS-a letjelice.

Tablica 8. Položajna i visinska odstupanja Mavic 3E letjelice za peti test.

	RTK		PPK		GNSS
Odstupanje	ΔH_z	ΔV	ΔH_z	ΔV	ΔH_z
Max	0,069	0,095	6,954	0,893	1,977
Min	0,000	0,046	0,006	0,000	0,000
Avg	0,020	0,071	1,010	0,438	0,643
RMSE	0,026	0,071	1,677	0,564	0,715

Posljednji test odnosi se na vertikalni let iznad oba ometača od visine 10 do 120 metara. Let je izveden ručno na način da je letjelica zaustavljena na određenim visinama gdje je snimljena fotografija. Broj opažanih satelita udaljavanjem od ometača, odnosno povećanjem visine raste. Tako u L1 području broj opažanih satelita raste od 31 do 43, a u L2 od 8 do 30 (slika 13). Prosječna SNR vrijednost porastom visine se povećava, ali na najvećoj visini ne dostiže vrijednosti koje poprima u testu bez ometanja signala što je vidljivo na slici 13. Kvaliteta signala u L2 veća je nego u L1 iako je broj satelita veći u L1 području. S obzirom na elevaciju manje su ometani sateliti više elevacije.



a) L1 područje

b) L2 područje

Slika 13. Broj satelita i prosječna SNR vrijednost za *šesti* test letjelicom Mavic 3E.

RTK rješenje float je za sve fotografije, dok je PPK single point do visine 105 metara kada postaje fiksno za preostale fotografije. Položajna točnost najveća je za RTK, a zatim slijedi PPK i unutarnji GNSS letjelice (tablica 9).

Tablica 9. Položajna i visinska odstupanja Mavic 3E letjelice za *peti* test.

	RTK		PPK		GNSS
Odstupanje	ΔHz	ΔV	ΔHz	ΔV	ΔHz
Max	0,302	1,077	2,071	19,922	2,702
Min	0,043	0,098	0,039	0,827	1,691
Avg	0,118	0,356	0,959	11,272	2,248
RMSE	0,136	0,469	1,162	13,128	2,262

6. Diskusija rezultata istraživanja

Phantom 4 u slučaju neometanog signala pokazuje položajnu točnost na razni od nekoliko metara i ta točnost položaja raste s vremenom, odnosno svakim novim testom. Uzrok toga može se pripisati činjenici da letjelica nije korištena dugo vremena i da je bilo potrebno određeno vrijeme kako bi se popravila točnost pozicioniranja. Najveći problem uočen kod Phantom 4 je nemogućnost nastavka leta nakon prekida uzrokovanog ometanjem signala. Za svaki slučaj gubitka signala nije bio moguć daljnji nastavak misije, nego samo ručno slijetanje. U pojedinim slučajevima bilo je moguće korištenje RTH naredbe, ali se letjelica nije vratila na početnu točku, nego se samo vertikalno spustila u odnosu na točku prekida snimanja. Nakon prekida misije istu nije bilo moguće ponovno pokrenuti, jer bi letjelica poletjela do visine 2 metra i ostala lebdjeti u zraku, stoga je nakon prekida uvijek iznova bilo potrebno izraditi plan leta. Phantom 4 uz ometanje signala u potpunosti je proveo snimanje tek na visini od 30 metara za SF ometač, a u svim ostalim slučajevima misija nije dovršena. Za razliku od Phantom 4, Mavic 3E letjelica pokazala je puno veću otpornost

na ometanje signala. Uz nekoliko prekida obavljeni su svi letovi u cijelosti što se može pripisati robusnom rješenju na temelju mjerenja s preko 40 satelita na četiri satelitska sustava. Broj opažanih satelita dvostruko je veći nego u slučaju Phantom 4 letjelice. Točnost RTK pozicije za sve testove na razini je nekoliko centimetara zbog mjerenja na dvije frekvencije kao i primjene RTK *maintain position accuracy*. PPK položaj najtočniji je za let bez ometanja signala, te u slučaju leta uz ometanje SF i MF ometačem odvojeno. U slučaju jačeg ometanja PPK pozicija daje najlošije rezultate, odnosno u slučaju najjače interferencije s oba ometača nije uopće bilo moguće dobiti rješenje.

Ometanje SF ometačem na visini 12 metara rezultiralo je jednim prekidom snimanja. U trenutku prekida broj satelita u L1 značajno je pao kao i prosječna SNR vrijednost. U L2 području broj opažanih satelita također je značajno pao, ali prosječna SNR vrijednost preostalih opažanih satelita blago je porasla. Slične rezultate pokazuje SF ometač na visini 20 metara. U L1 broj opažanih satelita je visok, ali SNR vrijednost značajno pada, dok je u L2 značajno pao broj opažanih satelita, ali je kvaliteta preostalih opažanih satelita izrazito visoka. Identični rezultati su u slučaju oba ometača. Kod polijetanja u blizini ometača RINEX datoteka ne sadrži nikakve podatke za L1, dok su podaci u L2 pohranjeni u potpunosti. Također, puno više su ometanjem blokirana mjerenja faza. SF ometač u testovima pokazao je da utječe na signale u L1, ali i u L2 frekvencijskom području iako po specifikacijama ometa samo L1. U frekvencijskom području L1 SF ometač više utječe na kvalitetu opažanih satelita, dok u L2 više utječe na broj opažanih satelita. Podaci mjerenja dok je letjelica mirovala u blizini ometača i kada je letjela pokazuju da ometač različito djeluje u slučaju mirovanja i kretanja GNSS prijemnika.

MF ometač nije utjecao na broj opažanih satelita u L1, nego samo na kvalitetu signala, odnosno ometanje nije bilo dovoljno snažno da GNSS ne bi mogao prikupiti mjerenja. S obzirom da je prvi test pokazao veću kvalitetu signala u L1 području, a prosječni SNR gotovo je jednak na obje frekvencije, može se zaključiti da je ometanjem došlo do smanjenja kvalitete signala u L2 u manjoj mjeri nego u L1. Broj opažanih satelita u L2 stabilan je do trenutka kada počinje visokofrekvencijski varirati. Prilikom polijetanja u blizini ometača bili su blokirani svi signali i letjelica nije mogla započeti misiju. Također kao i u slučaju SF ometača vidljiv je različit efekt ometanja kada se GNSS kreće i kada miruje. MF ometač zbog frekvencijskog raspona ometanja utjecao je na kvalitetu signala u L1 i u L2 području, ali nije bio u mogućnosti blokirati signale zbog dometa i izlazne snage.

Kombinacija oba ometača očekivano daje najveći utjecaj na rezultate ometanja. Broj opažanih satelita na obje frekvencije se smanjio, kao i kvaliteta signala. Iz grafičkog prikaza broja satelita i prosječne SNR vrijednosti može se zaključiti da su se utjecaji ometača na GNSS signale međusobno zbrojili. Oba ometača zajedno dovela su do četiri prekida misije, a posljednji koji se dogodio u neposrednoj blizini ometača onemogućio je nastavak misije leta. Time su oba ometača na kraju snimanja uspjela onesposobiti letjelicu za automatski let, ali nisu onemogućili ručno upravljanje.

Vertikalni let iznad ometača pokazao je kako udaljenost utječe na rezultate ometanja. Očekivano povećavanjem visine leta, odnosno udaljenosti povećava

se broj satelita i kvaliteta signala. S obzirom da je vertikalni let izvođen podizanjem letjelice i njezinim zaustavljanjem na određenoj visini ovaj test ispituje utjecaj ometača na statični GNSS letjelice. U usporedbi s ostalim testovima broj satelita i kvaliteta signala nemaju velike skokove i padove, nego su grafički prikazi glatkog izgleda.

Ometači nisu utjecali na radio vezu između letjelice i kontrolne stanice, stoga je u svakom trenutku bilo moguće preuzeti ručno upravljanje letjelicom. Isto tako nisu utjecali na GSM signale, niti na WiFi hotspot preko kojih su osigurane diferencijalne korekcije za RTK.

7. Zaključak

Utjecaj interferencije GNSS signala na bespilotnu letjelicu do sada nisu ispitivana na način koji je proveden u ovom istraživanju, stoga je bilo teško postaviti hipoteze istraživanja. Metode ispitivanja temeljile su se na specifikacijama ometača i rezultatima koji su dobiveni tijekom ispitivanja. Phantom 4 i Mavic 3E letjelice pokazale su različito ponašanje pri utjecaju ometača, stoga je tijekom ispitivanja i vrsta testa za svaku letjelicu drugačija.

Rezultati su pokazali veliku ranjivost Phantom 4 letjelice na interferenciju GNSS signala dok je s druge strane Mavic 3E zbog mogućnosti primanja signala sa svih dostupnih satelitskih sustava u L1 i L2 području i unaprijeđenih algoritama uz manje prekinde uspio odraditi sve planirane misije. U neposrednoj blizini SF ometača za Mavic broj opažanih satelita se prepолоvio, dok su u blizini MF ometača svi signali izgubljeni. Time je vidljivo da je za zaustavljanje letjelice ove vrste potrebno blokirati široki spektar signala, a blokiranje samo L1 nije dovoljno. Domet ispitivanih ometača doveo je do degradacije signala, ali nije onesposobio letjelicu za nastavak misije, odnosno u slučaju Phantom 4 za preuzimanje ručne kontrole.

SF ometač po specifikacijama blokira signale samo u L1, ali se ispitivanjem pokazalo da utječe i na L2 područje. Svako ispitivanje SF ometačem pokazalo je da se u L1 blokira tek manji broj signala, ali dolazi do značajnog pada SNR vrijednosti. Za L2 vidljivo je da se značajno smanjuje broj opažanih satelita, ali se SNR vrijednost za opažane satelite ne mijenja. Na visini od 12 metara utjecaj ometača je manji nego na 20 metara što je činjenica koja bi se mogla pripisati načinu na koji se signal širi, ali to zahtjeva dodatna istraživanja.

MF ometač na ispitivanoj udaljenosti 12 metara pokazuje slične rezultate kao SF ometač. U L1 nije došlo do blokiranja signala, ali je došlo do značajnog pada kvalitete, s druge strane u L2 došlo je do velikog pada broja opažanih satelita, ali je degradacija signala preostalih opažanih satelita manja nego u L1 području. Za oba ometača vidljivo je da se fazna mjerenja blokiraju u većoj mjeri od kodnih mjerenja, što je vezano uz širinu područja u kojoj djeluje ometač.

Ispitivanje u vertikalnom smjeru pokazalo je da ometači imaju utjecaja na broj satelita sve do visine 120 metara, kada broj opažanih satelita je sličan kao bez ometanja signala. SNR vrijednost značajno je degradirana i nakon visine od 120 metara, ali zbog zabrane leta na većim visinama nije ispitano do koje

visine ometači imaju utjecaj na GNSS signale. Broj satelita i SNR vrijednost povećavaju se udaljavanjem od ometača. Vertikalni test daje rezultate slične onima koji se dobiju ispitivanjem utjecaja ometača na statični GNSS-a. Broj satelita i kvaliteta signala nemaju velikih skokova i promjena tijekom ispitivanja. S druge strane ostali testovi pokazuju velike promjene i skokove, stoga se može zaključiti da ometači različito djeluju na GNSS u mirovanju i pokretu u odnosu na ometač. Ovisno o tome je li GNSS u mirovanju ili pokretu u odnosu na ometač, konstrukcija ometača treba se razlikovati. Ometači koji bi onespobili bespilotnu letjelicu trebali bi imati znatno veći domet, odnosno znatno veću izlaznu snagu kao i široki spektar frekvencija.

Provedeno istraživanje polučilo je rezultate koji omogućuju postavljanje hipoteza i provođenje novih istraživanja u ovom području. Zbog velike brzine leta istraživanja su vrlo dinamična i daju rezultate u kojima je teže raspoznati uzročno posljedične veze između karakteristika ometača, prijemnika i svih drugih čimbenika. Za razliku od statičkih ispitivanja interferencije GNSS signala, moguće je postaviti veći broj scenarija ispitivanja, ali i doći do dodatnih zaključaka.

Rezultati istraživanja trebaju skrenuti pozornost korisnika na posljedice ometanja signala na UAS-a s obzirom da se BPL sve češće koriste u svakodnevnom životu bilo u profesionalne ili amaterske svrhe. Ometače signala lako je nabaviti, a njihovo djelovanje može izazvati značajne materijalne štete, a i predstavlja opasnost po ljudsko zdravlje. U slučaju primjene BPL-a u geodetske svrhe potrebno je voditi računa o tome da ometanje može dovesti do loše određenih parametara vanjske orijentacije fotografija, a time i do smanjenja kvalitete 3D modela.

ZAHVALA. Posebna zahvala tvrtki Karašica-Vučica d.d., Donji Miholjac, na ustupljenoj bespilotnoj letjelici DJI Mavic 3E, GNSS prijamniku baze za PPK mjerenja i programu za fotogrametrijsku obradu podataka Agisoft Metashape.

Literatura

- Bažec, M., Dimc, F., Pavlovčić-Prešeren, P. (2020): Evaluating the vulnerability of several geodetic GNSS receivers under chirp signal L1/E1 jamming, *Sensors*, 20 (3), 814.
- Gillins, D. T., Parrish, C., Gillins, M. N., Simpson, C. (2018): Eyes in the sky: Bridge inspections with unmanned aerial vehicles (No.FHWA-OR-RD-18-11), Federal Highway Administration, Washington.
- Gudelj, M. (2023): Testiranje rješenja za smanjenje utjecaja ometača na prijem GNSS signala, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Heuschamps, A. (2022): Master thesis: Study and Design of UAS Jamming Systems, Université de Liège, Faculté des Sciences appliquées, Liège.

- Hulina, D. (2018): Ispitivanje utjecaja GNSS ometača, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Matić, V., Kosjer, V., Lebl, A., Pavić, B., Radivojević, J. (2020): Methods for drone detection and jamming, Proceedings of the 10th International Conference on Information Society and Technology (ICIST), 16–21.
- Pärilin, K., Alam, M. M., Le Moullec, Y. (2018): Jamming of UAV remote control systems using software defined radio, 2018 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS), 1–6.
- Rozenbeek, D. J. (2020): Evaluation of drone neutralization methods using radio jamming and spoofing techniques, School of Electrical Engineering and Computer Science, Stockholm.
- Tedeschi, P., Oligeri, G., Di Pietro, R. (2019): Leveraging jamming to help drones complete their mission, IEEE Access, 8, 5049–5064.
- Vidulin, M., Polovina, M., Grgić, M. (2013): Razvoj i primjena uređaja za ometanje signala GNSS satelita, Ekscentar, 16, 76–80.
- Zhouyi, Xiong, W., Zhen, W. (2015): Classification of GNSS interference, ICG Expert meeting, Vienna.

Mrežne adrese

- URL 1: Support for Phantom 4 Pro,
<https://www.dji.com/hr/support/product/phantom-4-pro>, (31. 5. 2025.).
- URL 2: PIX4Dcapture Pro,
<https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture/>, (31. 5. 2025.).
- URL 3: DJI Mavic 3 Enterprise,
<https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise/specs>, (31. 5. 2025.).
- URL 4: Mini GPS Satellite Blocker,
<https://www.jammer4uk.com/product/mini-gps-satellite-blocker>,
(31. 5. 2025.).
- URL 5: GPS L1 L2 L5 Jammer,
<https://jammers.store/gps-l1-l2-l5-jammer-3g-gsm-cdma-dcs-pcs-cell-phone-blocker-p-285.html>, (31. 5. 2025.).

Analysis of Signal Interference in UAV Operations

ABSTRACT. *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are becoming an increasingly important part of everyday life for performing tasks in various fields such as rescue missions, natural disaster monitoring, traffic surveillance, agriculture, and more. UAVs are also increasingly used in geodesy, where their main purpose is the mass collection of spatial data with photogrammetric methods or laser scanning, enabling the creation of 3D models for various applications—from GIS analyses and cadasters to spatial planning and surveying of areas that are inaccessible by traditional surveying methods. UAVs are a part of the Unmanned Aerial System (UAS), in which communication between different components, navigation, and positioning is based on radio signals, which are susceptible to interference. Radio signal interference can be intentional or accidental and may disrupt the operation of the UAS, potentially resulting in catastrophic consequences. This paper examines the impact of intentional signal interference (jamming) on UAV radio communication and navigation. The research was conducted using two UAVs, DJI Phantom 4 and DJI Mavic 3E, which are one of most used drones in practice. Jamming was carried out using two different devices (jammers), and the results present a visual analysis of UAV behavior during flight under the influence of jammers, an examination of the accuracy of the coordinates of the photographic projection centers under different positioning methods, and a statistical analysis of parameters affecting positioning accuracy such as the number of visible satellites and signal quality. A total of seven tests were performed with the DJI Phantom 4 and six with the DJI Mavic 3E, showing varying behavior and vulnerability of the UAVs under interference. This study provides valuable insights into UAV susceptibility to signal interference and encourages further research in developing solutions to improve jamming resistance.*

Keywords: UAV, UAS, jammer, GNSS, interference.

Primljeno / Received: 2025-06-10

Prihvaćeno / Accepted: 2025-08-01

UDK 628.4:528.4:910:004.65

Original scientific paper / Izvorni znanstveni članak

Efficient Waste Collection: A GIS Approach to Route Optimization

**Sandeep SINGLA – Punjab¹, Anjali GUPTA,
Anupama PANKAJ – Faridabad², Priyanka SINGH – Noida³,
Vishan Kumar GUPTA – Mohali⁴**

***ABSTRACT.** Efficient collection and disposal of the collected waste is a prerequisite of effective waste management system. Waste management also includes solving the problem of collection and disposal of solid waste. It also includes the allocation and reallocation of bins and checking for the unsuitability and inconvenience due to waste bin location to the users. The imbalance in the location and inadequacy in the transportation system generates more waste. The optimization of routes for reducing the travel distance and ultimately reducing the overall costs and travel times along with the selection of appropriate site for waste disposal without causing any adverse effects on the environment are the major components of waste management. The selection of suitability of potential dumping sites and location of collection bins and modifications to the existing facilities requires a comprehensive assessment of the existing conditions. This paper addresses the problems associated with the existing waste collection and disposal system in the study area. By optimizing the system, the number of collection points has been reduced from 101 to 50, with increased bin capacity, and two alternative dumping sites have been proposed. From the analysis of distance traveled from collection point to dumping sites using GIS with proposed routes covering the entire city and no waste is left uncollected resulted in reduction of 12.4% travel distance and hence reducing cost incurred in solid waste management of the city.*

***Keywords:** waste, geographic information system, route optimization, dumping sites, sustainability.*

¹ Sandeep Singla, Chitkara, corresponding author, University Institute of Engineering and Technology, Chitkara University, Punjab, India, e-mail: sandeep.singla@chitkara.edu.in

² Anjali Gupta, Department of Civil Engineering, School of Engineering and Technology, Manav Rachna International Institute of Research and Studies, Faridabad, Haryana, India, e-mail: anjaligupta.set@mriu.edu.in
Anupama Pankaj, School of Computer Application, Manav Rachna International Institute of Research and Studies, Faridabad, Haryana India, e-mail: anupma.fca@mriu.edu.in

³ Priyanka Singh, Department of Civil Engineering, Amity School of Engineering and Technology, Amity University, Noida, Uttar Pradesh, India, e-mail: psingh28@amity.edu

⁴ Vishan Kumar Gupta, Amity School of Engineering and Technology, Amity University Punjab, Mohali, India, e-mail: vishangupta@gmail.com

1. Introduction

To improve waste management systems, new technologies have been developed, with Geographic Information System (GIS) being one of the most impactful advancements. GIS has made significant contributions to waste management and society within a short period (Fatima et al. 2023). It enables data manipulation, simulation, and analysis, facilitating the search for alternatives to support effective decision-making. GIS is a system combination of software and hardware, that allows the user to collect, analyze and retrieve volumes of spatially referenced data along with the attribute data collected for the study (Nguyen-Trong and Nguyen 2022, Sanjeevi and Shahabudeen 2016). GIS helps in dealing with many factors that are required to be considered while planning waste management simultaneously.

The manual methods used for the analysis are very lengthy and tedious and during the merging of spatial and non-spatial data there are more possibilities of errors. But in GIS, different layers are used to incorporate the data and to carry out the work, making the system capable of coordinating between spatial and non-spatial data, hence reducing the chances of confusion and errors. GIS can be used as a good decision support tool for the various waste management aspects. Due to its multifunctional approach, there is a good flexibility in spatially relating the data for comparing, evaluating and analyzing the information for its processing. Accessing the location and combining the information with surrounding feature information enables one to take decisions for efficient management. GIS has been used by many researchers for the efficient collection and disposal systems of waste management. GIS in combination with site investigations, GIS with Multi-criteria evaluation (MCE) and GIS with analytical hierarchy process (AHP) have been used for landfill siting. GIS has also been used for route optimization to reduce the overall travel distances and costs (Cheng et al. 2018, Akhtar et al. 2017). GIS has also proven to be an efficient tool in transportation model of solid waste disposal (Abdullah et al. 2021, Nanda and Berruti 2020).

1.1. Study Area

The study area is a city which is the administrative headquarters of a District in Punjab, India situated at Latitude of 30.3398° N and Longitude of 76.3869° E. Founded in 1974 by Baba Ala Singh, a Soldier par excellence on an ancient mound, “*PRASTHALA*”, frequently referred to in the Mahabharata and has long acquired a place of eminence in political, social, religious, music and the fine arts, academic and military spheres. It has long been a centre of trade and commerce, but in recent years the commercial activities and educational institutes have duly increased the population of the city, and it has gradually developed into an industrial town. As per census of 2011 the population of the city was 4451969 with an area of 70.20 sq km. The city is divided into 50 municipal wards with a waste Generation of 260 MT per day as per records of the Municipal Corporation of the city. Generated solid waste is collected at 101 collection points and the disposal site is 3.5 km from the centre of the city. The present

infrastructure of the solid waste management of the city is not sufficient to cope with the ever-increasing generation of solid waste by the households. The collection points are not uniformly divided, the few wards do not have any collection points and in few of the wards there are more than required collection points. All the points are merely open dumps and near to the residential areas causing unhygienic conditions in the city. There is neither any container for the collection of waste at any collection point nor any vehicle to transport waste. Due to which the waste is littering on the roads, creating unhealthy conditions in the city. There is no specific collection route and no fixed time for collection and disposal of waste. The existing route followed in the city by the trucks passes through residential areas causing health problems and foul smell. The width of the roads is also not wide therefore traffic jams are also caused. The site meant for dumping waste is within the residential area with no arrangement for waste transport or any treatment.

With the present waste management systems and conditions of the city, most of the area of the city remain un-served and waste collection points and dumping site is not properly located resulting in poor waste management. Therefore, there is an urgent need for the proposal of an ideal site for dumping and for the new route.

2. Data Collection

The database of the study area has been prepared by collecting information from different sources and the collected information is transferred into the GIS database. Maps were collected from the Municipal Corporation and Department of Town and Country Planning Punjab. The maps contained information on the city boundary, wards boundary and important landmarks. Another map of the city contained information about major buildings, Institutes, detailed road networks, water streams, railway station, bus terminal, and landmarks. Both the maps were scanned and later were imported to GIS and joined together. Then the base map raster image of the city was geo-referenced. The map raster image of the city was located on its position on the city map. Finally, the raster images were digitized for inclusion of spatial information in vector form. Point, Polyline and Polygon feature were used to spatially locate the information collected (Hashemi-Amiri et al. 2023, Thomé et al. 2016).

2.1. City Boundary and Ward Boundary Data

The maps collected from the Municipal office contained the city boundary and wards boundary. The city is divided into 50 municipal wards with varying area and population. As there was no availability of population distribution in the maps so the information relating to wards boundary gathered from the maps was incorporated in the database.

2.2. Land Use Data

The areas which are shown in the land use are the residential area, commercial area, industrial area, public/semipublic area, important landmarks, and environmental sensitive areas like forest area, green area, canal area, parks and protected area. The maps being old, some latest information was also updated in the database. There is one natural water stream passing through the city, which is also demarked on the map. Figure 1 shows the land use map of the city and Figure 2 shows the percentage land use area of the city.

2.3. Waste Collection Points Data

Collection point information was collected from the Municipal office. The actual location of collection points that can be used in database was collected using handheld GPS. The information of 101 collection points has been used in the database.

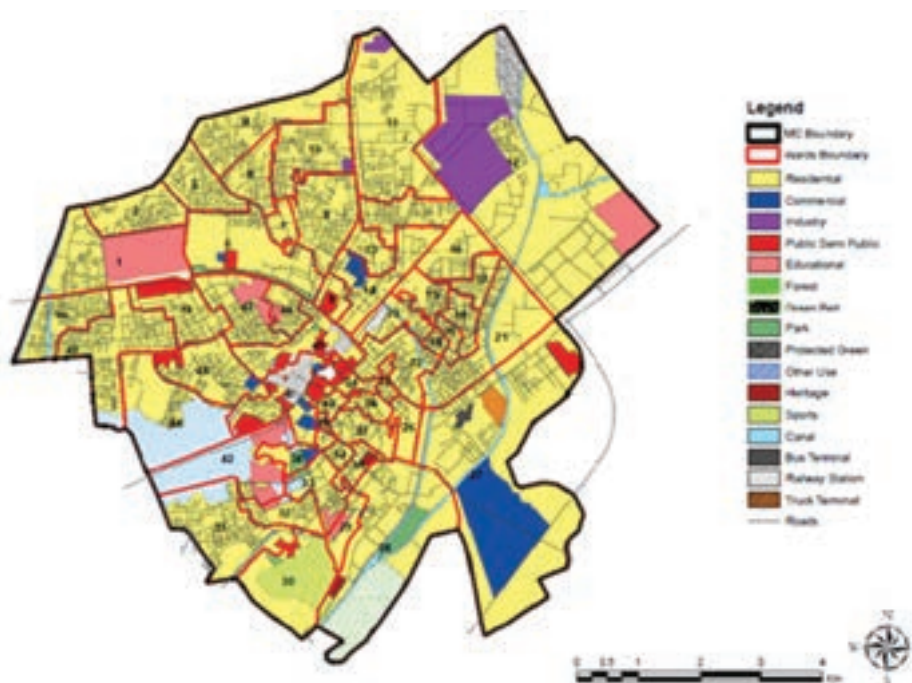


Figure 1. Land Use Map of the City.

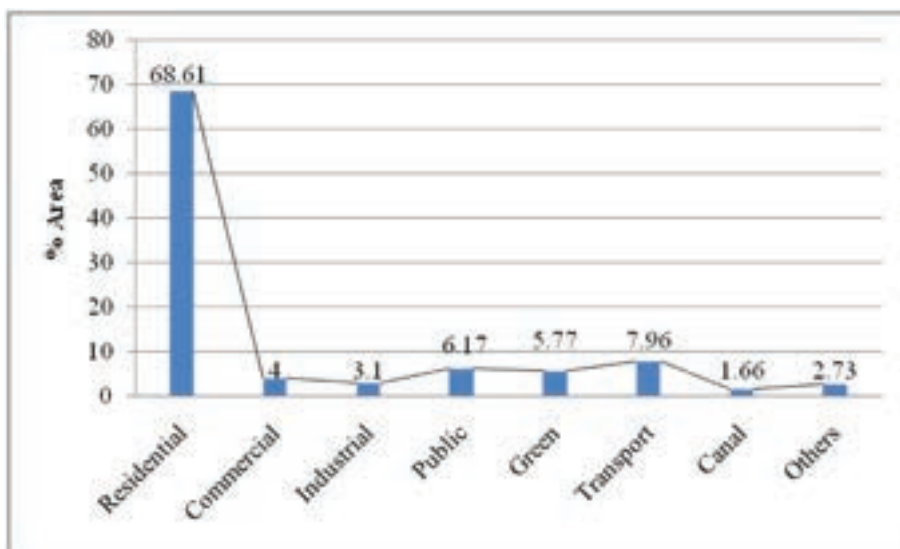


Figure 2. *Percentage Land use area of the city.*

2.4. Dumping Site Data

Information about the dumping site was collected from the Municipal office. The actual location of the site was collected using handheld GPS. It was a complex job to collect detailed information about the area of the dumping site as no boundaries are specified for the dumping site and the municipal office had only location data of the site. Hence, dumping site is represented by a point in the database.

2.5. Routing Data

There is no specific collection route and no fixed time for collection and disposal of waste. So, data regarding the routes was collected by physical interactions with the municipal workers and the drivers. Based on information collected the routes have been incorporated into the database.

2.6. Limitations of The Data

In the GIS database, efforts have been made to incorporate the collected detailed data information but there were some limitations in the data. The maps available from the Municipal office were old and were not updated with the information about the latest dates and changes. The collection points and

dumping site data is available in a point feature. The point feature depicts only location by point but does not provide exact area information. There is no availability of detailed information on population density or distribution, so the quantity of waste generation cannot be related to the area density. Although population density data was not available in spatial format within the base maps, ward-level population statistics were obtained from municipal records and used for waste generation calculations.

3. GIS Workflow Model

The designed model can be used for proposing a system that will reconsider the existing collection point and dumping site locations in the city and provide some better alternatives for allocating and relocating the existing facilities (Wang et al. 2019, Sah et al. 2021, Singh and Sharma 2018). The proposed modifications in the system would increase the efficiency of collection and disposal of waste thereby reducing the adverse effects of the environment and reduce travel distances ultimately reducing the time and cost. Figure 3 shows the proposed GIS workflow model that has four components i.e. primary data, analysis, function and finally the results.

4. Results and Discussions

The primary data comprises of various map layers of the study area. The layers being, boundaries, collection point's locations, dump site location, land use, road network, environmentally sensitive areas, and important landmarks. The city boundaries, ward boundaries and land use areas including environmentally sensitive areas like parks are represented by a polygon, the collection points and dumping site locations are marked by point and the road network and natural water stream have been represented using line feature. On the basis of availability of primary data different analyses have been covered by the model for the improvement in the existing waste collection and disposal efficiency of the study area. The results of the analysis will serve as decision support in the relocation of the collection points and the dumping site along with the proposal for new routes. These analyses are discussed below.

4.1. Ward-Wise Coverage of Collection Points

There are 50 municipal wards in the city that need to be covered by all collection points. So, this factor has been analyzed for the existing collection points and will serve as a guideline for the proposal to relocate them. For this, collection points have been compared with the ward boundaries of the city. This would provide information regarding the ward areas that are not being covered by the existing collection points.

4.2. Proximity of Dumping Site from Residential Areas

The residential areas are to be kept away from the dumping sites. In the case study area dumping site is in a close proximity of the residential area. So, this factor is analyzed for particular area.

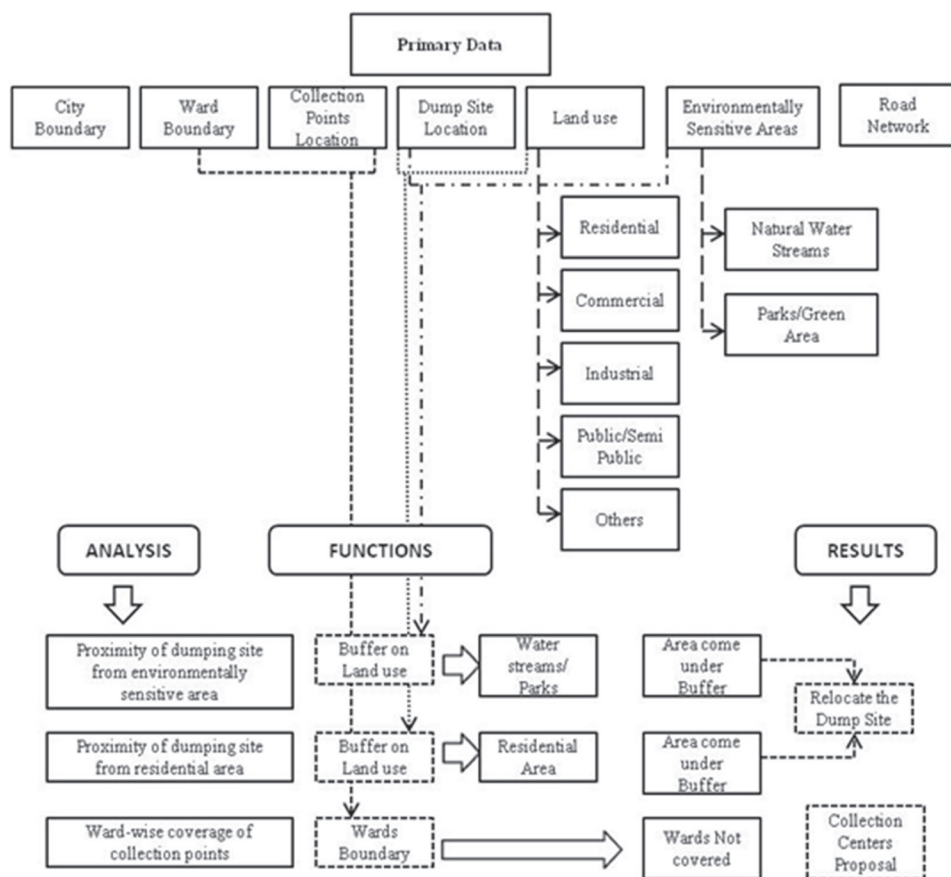


Figure 3. *Proposed GIS workflow Model.*

For this buffer analysis has been carried out around the dumping site. A buffer of 1000 meters is applied around the site based on literature recommendations and urban planning standards, which suggest this minimum distance to protect residential and environmentally sensitive areas from potential health and environmental hazards (Cheng et al. 2018, Sah et al. 2021). This will highlight the residential area which is in proximity to 1000 meters. As residential areas cannot be moved, the existing dump site will be relocated.

4.3. Proximity of Dumping Site from Environmental Sensitive Areas

In this case, one natural water stream is passing through the study area. The dumping site is in a close proximity to the water stream polluting the natural water stream. Also, there is a Park area near to the dumping site. For this buffer analysis has been carried out around the dumping site. A buffer of 1000 meters is applied around the site. This will highlight the environmentally sensitive areas which are in proximity of 1000 meters. As natural streams and parks need to be protected from pollution so the existing dump site will be relocated. Based on the analysis of maps, observations were made from solid waste management point of view. The following are the observations from the analysis:

1. There are 50 municipal wards in the city with varying population density and an area with total 107 waste collection points, out of which only 101 points are practically available.
2. The collection points are not uniformly divided, few wards have as high as 10 collection points whereas there is no collection point in few of the wards. All the points are very closely placed, causing unhygienic conditions in the city. Figure 4 Ward-wise number of collection points and Figure 5 shows a map of city with existing collection points.
3. The site for dumping waste is within the residential area without any arrangement for waste transport or any treatment. And it is also near to the Environmental sensitive areas like water bodies and Parks. Figure 6 shows existing dump site with buffer (1000 meter).
4. The widths of the roads approaching the dumping site are also not wide therefore traffic jams are also caused. The existing route followed in the city by the trucks passes through the residential areas causing health problems and bad odours.

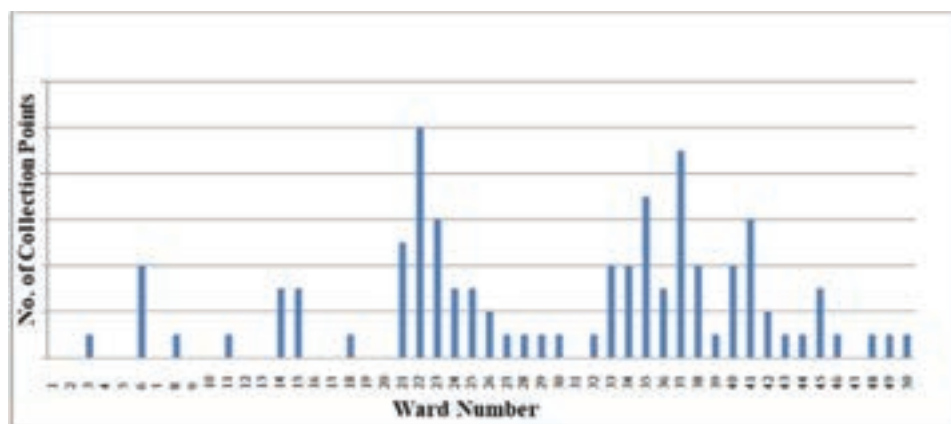


Figure 4. *Numbers of Collection Points (Ward-Wise).*

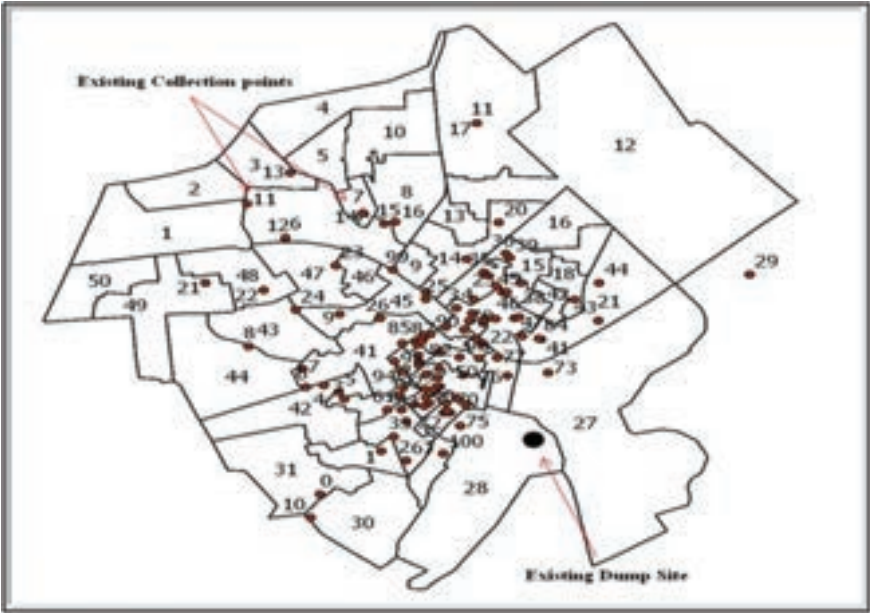


Figure 5. Ward-Wise Map (Existing Collection Points).

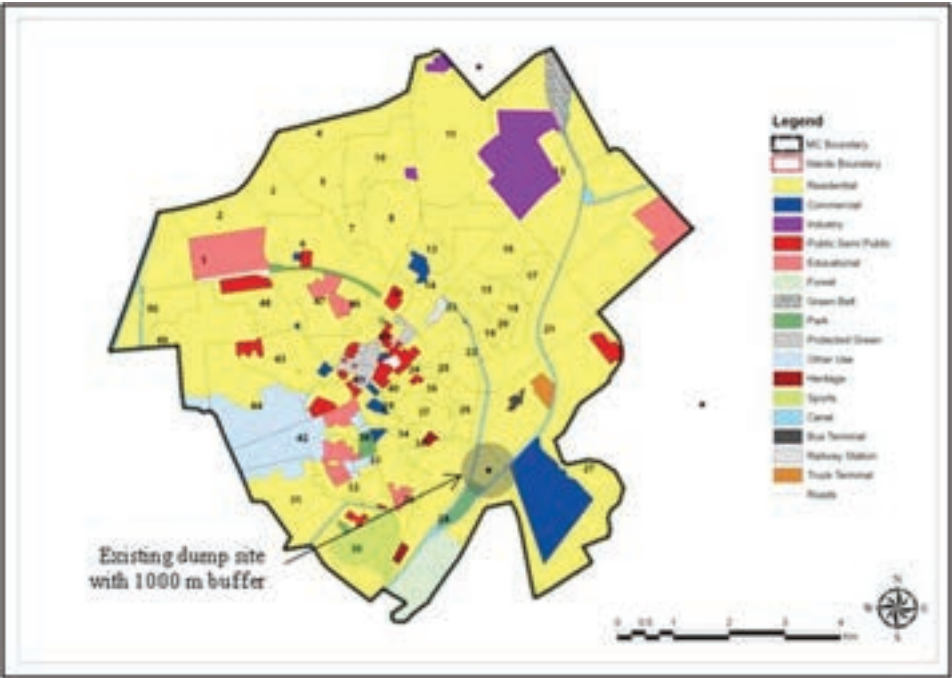


Figure 6. Existing Dumping Site with Buffer.

5. Proposal of Collection Centres and Alternate Dumping Site

The collection centers are the storage places where the solid waste is collected and stored and then transferred to the dumping site. Dumping site is the place where collected waste from all the collection centers is dumped.

Based on analysis of the primary data, fifty (50) collection centers keeping one collection centre in each municipal ward in place of existing 101 collection points and two dumping sites i.e. site-1 and site-2 have been proposed. The reduction from 101 to 50 collection points was based on the need to eliminate redundancy and optimize collection. Each of the 50 proposed points corresponds to a municipal ward, ensuring equitable distribution and increased efficiency with upgraded bin capacity. Although the number of collection points has been reduced, the spatial distribution now ensures one point per ward, improving accessibility in previously underserved areas. The strategic placement of higher-capacity bins mitigates the risk of reduced convenience. Figure 7 shows the location of proposed collection centers and the proposed dump sites, and Figure 8 shows the proposed site-1 and site-2 with 1000 m buffer. The proposed collection centers will serve most of the un-served areas of the wards and proposed dumpsites fulfill the criteria discussed in the analysis (Table 1). The waste from all the ward houses will be collected at respective collection centers and from here it will be taken to the selected dump site. The amount of waste collected at each collection center is calculated based on the population of the ward.

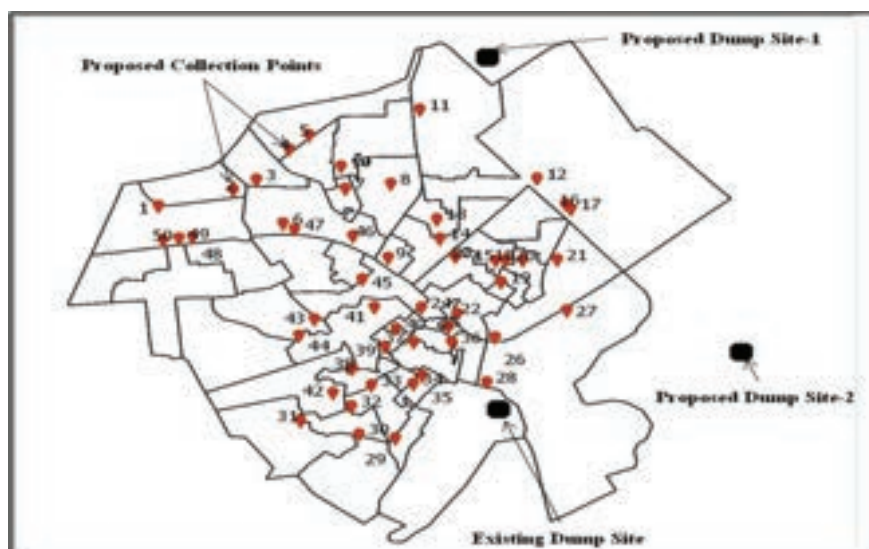


Figure 7. Ward-Wise Map showing Proposed Collection Centers.

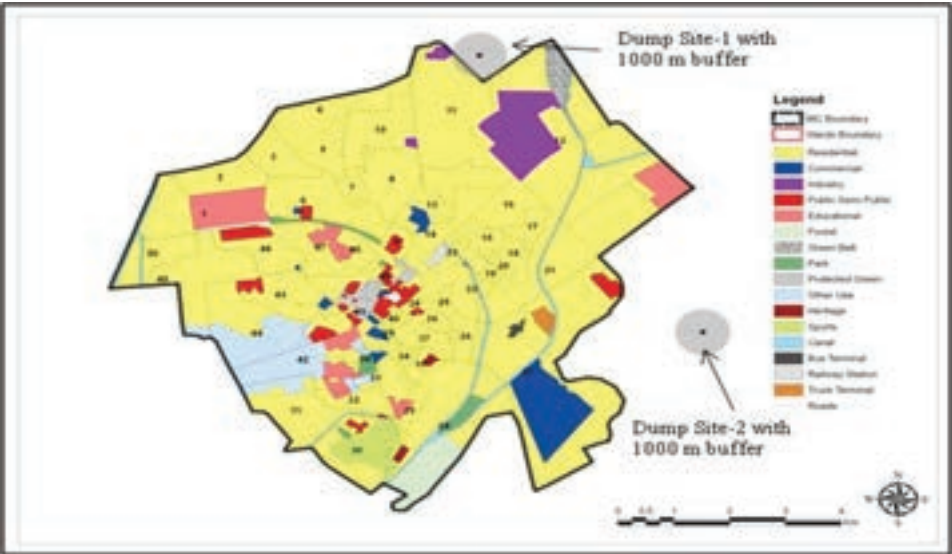


Figure 8. Dumping Site-1 and 2 with Buffer.

Table 1. Analyses of Existing and Proposed Disposal Sites.

Criteria	Existing Site	Site-1	Site-2
Distance from residential area (1000 meters)	×	✓	✓
Proximity to water user (1000 meters)	×	✓	✓
Proximity to water body (1000 meters)	×	✓	✓
Proximity to Eco Sensitive Area (1000 meters)	×	✓	✓
Wide roads	×	✓	✓

5.1. Site Selection and Proposed Routes

Site selection and routing require careful examination and evaluation of all the components that can potentially result in adverse effects on the environment and increase in travel distance and ultimately time and cost of the system (Kumar et al. 2022, Okot and Abandu 2024, Gilardino et al. 2017, Zaveri 2016). For the selection of ideal site and optimized route for the efficient collection and disposal of solid waste each of the 50 collection points was assigned a waste quantity based on ward-wise population figures collected from municipal data, applying a standard waste generation rate of 0.61 kg/capita/day and the following points have been considered while doing analysis and calculations:

- The amount of total waste generated in the city that is to be collected at 50 collection centers is 273.86 MT/day (0.61 kg/capita/day).

- The number of collection points is 50 (one center in each ward) accommodating waste quantity according to the population of the ward.
- Each truck used for carrying waste from collection center to dumping site can cater up to 5MT of waste.

Site selection has been made on the basis of the minimum distance from the proposed collection centers and the routes have been decided accordingly. The route distances of the existing dumping site from the existing collection points and proposed route distances from the proposed dumping sites to the collection centers have been calculated using network analyst tool of the GIS. While making calculations of the shortest route distances of collection center from dumping sites, the collection centers falling on the route have also been accounted for depending upon the truck capacity. For example, while calculating the shortest route distances of collection center-1 from dumping site-1 collecting 3MT of waste, collection center-2 collecting 2 MT of waste is falling on the route. Then the waste from both the collection centers can be picked in one go and the distance of collection center –1 will be used for calculations.

Table 2 shows the calculation of route distances for the existing collection points from existing dumping site and Table 3 and Table 4 shows the calculation of route distances for the proposed collection centers from proposed dumping site-1 and dumping site-2 respectively. Table 5 and Table 6 show the comparison of the route distances and comparison of existing and proposed routes respectively.

From the calculations of route distances Site-1 is the ideal site as there is a reduction of total travel distance by 12.4% as compared to the existing practices and it earmarks the selection criteria for the dump site. The reduction in travel distance was calculated using the GIS Network Analyst tool based on shortest path algorithms. The total distance of all existing routes was compared with those of the proposed routes, and site-1 showed a 12.4% reduction in cumulative travel distance. Figure 9, Figure 10 and Figure 11 shows sample examples of routes adopted for Optimized route from Collection Point No. 13 to Existing Dump Site, Optimized route from Proposed Collection Centre No. 31 to Dump Site-1, and Optimized route from Proposed Collection Centre No. 50 to Dump Site-2 respectively.

Table 2. *Route Distance Calculation for Existing System.*

Collection Point Number		Number of Trips	Distance from Existing Site (km)	Multiplying factor for round trip	Total travel Distance (km)
Start Point	Points Covered				
0	-	2	4.381	2	17.524
1	-	1	3.955	2	7.91
3	3,71,70	1	3.772	2	7.544
4	-	1	4.324	2	8.648
5	-	1	4.017	2	8.034
6	-	1	4.625	2	9.25
7	-	1	4.604	2	9.208
8	-	2	5.422	2	21.688
9	-	1	4.72	2	9.44
10	-	2	4.94	2	19.76
11	11,12	1	7.66	2	15.32
13	-	1	7.805	2	15.61
14	24,19	1	6.281	2	12.562
15	-	1	5.85	2	11.7
16	-	2	5.787	2	23.148
17	-	2	7.783	2	31.132
18	-	1	5.502	2	11.004
20	-	1	6.028	2	12.056
21	21,99	2	8.85	2	35.4
22	-	1	7.295	2	14.59
23	-	1	5.57	2	11.14
24	-	1	6.359	2	12.718
25	-	1	4.88	2	9.76
26	26,83,55,91,92	1	4.137	2	8.274
27	27,28	1	4.06	2	8.12
29	-	1	5.898	2	11.796
30	-	1	3.66	2	7.32
31	-	1	3.557	2	7.114
32	-	1	4.251	2	8.502
33	-	1	4.417	2	8.834
35	35,34	1	4.525	2	9.05
36	36,37,47	1	4.538	2	9.076
38	38,45	1	4.518	2	9.036
39	-	1	4.422	2	8.844

42	-	1	4.738	2	9.476
44	44,43	1	4.56	2	9.12
46	46,40	1	3.217	2	6.434
50	-	1	3.538	2	7.076
51	51,49,59,48,60	1	3.042	2	6.084
52	-	1	2.267	2	4.534
53	-	1	2.645	2	5.29
54	-	1	2.598	2	5.196
56	-	1	2.781	2	5.562
57	57,2,67	1	4.166	2	8.332
58	-	1	2.783	2	5.566
61	-	1	4.609	2	9.218
62	-	1	3.854	2	7.708
63	-	1	3.484	2	6.968
65	-	1	2.079	2	4.158
68	68,64,66,72	1	2.479	2	4.958
73	-	2	3.054	2	12.216
74	-	1	2.91	2	5.82
75	-	1	1.699	2	3.398
76	-	1	2.277	2	4.554
77	-	1	2.775	2	5.55
78	-	1	3.135	2	6.27
79	79,80	1	3.392	2	6.784
84	84,41	1	3.306	2	6.612
85	85,82,81	1	4.367	2	8.734
86	-	1	4.334	2	8.668
87	-	1	4.235	2	8.47
88	-	1	4.243	2	8.486
89	-	1	3.815	2	7.63
90	-	1	4.057	2	8.114
91	91,93	1	2.989	2	5.978
94	94,2,67	1	5.212	2	10.424
95	95,69	1	3.369	2	6.738
96	-	1	2.529	2	5.058
97	-	1	2.967	2	5.934
98	-	1	2.759	2	5.518
99	-	1	4.881	2	9.762
100	-	1	2.035	2	4.07

Table 3. *Route Distance Calculation for Proposed System (Site-1).*

Collection Centre Number		Number of Trips	Distance from Site-1 (km)	Multiplying factor for round trip	Total travel Distance (km)
Start Point	Points Covered				
1	4	1	7.44	2	14.88
1	-	1	7.44	2	14.88
4	-	1	4.382	2	8.764
2	-	1	6.09	2	12.18
2	3	1	6.09	2	12.18
5	-	2	4.023	2	16.092
6	-	2	6.759	2	27.036
7	-	1	4.58	2	9.16
7	11	1	4.58	2	9.16
11	-	1	1.978	2	3.956
8	-	2	3.824	2	15.296
9	-	1	5.262	2	10.524
10	-	2	4.749	2	18.996
14	-	1	4.708	2	9.416
14	13	1	4.708	2	9.416
13	-	1	4.369	2	8.738
15	-	1	7.454	2	14.908
15	23	1	7.454	2	14.908
16	-	1	5.23	2	10.46
18	-	1	7.115	2	14.23
19	-	1	7.812	2	15.624
19	12	1	7.812	2	15.624
12	-	1	4.548	2	9.096
20	17	1	7.377	2	14.754
17	-	1	5.359	2	10.718
21	-	2	6.532	2	26.128
22	-	1	6.832	2	13.664
24	-	1	6.703	2	13.406
25	-	1	7.242	2	14.484
26	-	1	7.64	2	15.28
27	-	2	8.06	2	32.24
28	-	1	8.591	2	17.182
29	-	1	9.635	2	19.27
30	-	2	9.499	2	37.996
31	-	2	9.765	2	39.06

32	-	1	8.882	2	17.764
33	-	1	8.414	2	16.828
34	-	1	9.043	2	18.086
35	-	1	9.262	2	18.524
36	-	2	7.852	2	31.408
37	-	1	7.64	2	15.28
38	-	1	8.07	2	16.14
39	-	1	7.649	2	15.298
40	-	1	7.333	2	14.666
41	-	1	6.56	2	13.12
42	-	2	8.824	2	35.296
43	-	1	7.068	2	14.136
44	-	2	7.538	2	30.152
45	-	1	5.866	2	11.732
47	-	1	6.609	2	13.218
47	46	1	6.609	2	13.218
48	-	1	7.779	2	15.558
49	-	2	8.029	2	32.116
50	-	1	8.378	2	16.756

Table 4. *Route Distance Calculation for Proposed System (Site-2).*

Collection Centre Number		Number of Trips	Distance from Site-1 (km)	Multiplying factor for round trip	Total travel Distance (km)
Start Point	Points Covered				
1	-	1	12.711	2	25.422
1	6	1	12.711	2	25.422
6	-	1	9.954	2	19.908
6	46	1	9.954	2	19.908
2	-	2	11.399	2	45.596
3	-	1	11.483	2	22.966
4	-	1	11.385	2	22.77
4	12	1	11.385	2	22.77
12	-	1	6.284	2	12.568
5	-	2	10.961	2	43.844
7	-	2	10.655	2	42.62
8	-	2	10.223	2	40.892
9	-	1	8	2	16
10	-	2	10.875	2	43.5

11	-	1	8.954	2	17.908
11	17	1	8.954	2	17.908
17	-	1	5.417	2	10.834
13	-	1	8.888	2	17.776
14	-	1	8.48	2	16.96
15	-	1	6.457	2	12.914
15	20	1	6.457	2	12.914
16	-	1	6.547	2	13.094
18	-	1	6.017	2	12.034
19	-	2	5.715	2	22.86
21	-	2	5.376	2	21.504
22	-	1	6.358	2	12.716
23	-	1	7.968	2	15.936
24	-	1	7.178	2	14.356
25	-	1	6.826	2	13.652
26	-	1	5.661	2	11.322
27	-	2	4.334	2	17.336
28	-	1	6.591	2	13.182
29	-	1	8.785	2	17.57
30	-	2	9.499	2	37.996
31	-	2	10.752	2	43.008
32	-	1	9.791	2	19.582
33	-	1	9.88	2	19.76
34	-	1	8.458	2	16.916
35	-	1	7.221	2	14.442
36	-	2	6.683	2	26.732
37	-	1	7.691	2	15.382
38	-	1	9.647	2	19.294
39	-	1	8.456	2	16.912
40	-	1	7.724	2	15.448
41	-	1	8.2	2	16.4
42	-	2	10.39	2	41.56
43	-	1	9.799	2	19.598
44	-	2	10.215	2	40.86
45	-	1	8.605	2	17.21
48	47	1	11.349	2	22.698
47	-	1	9.622	2	19.244
49	-	2	11.562	2	46.248
50	-	1	11.782	2	23.564

Table 5. *Comparison of Existing and Proposed Route Distance.*

	Existing Site	Proposed Site-1	Proposed Site-2
Calculated Route Distance (km)	691.58	909.002	1207.595
Waste Collected (MT)	186.71	273.76	273.76
Area Covered (%)	70	100	100
Factor for 100% Collection	1.5	1	1
Equivalent Route Distance for 100% Collection (km)	1037.37	909.002	1207.595
Reduction in Distance	-	128.368	-
% Distance Reduction	12.40%		

Table 6. *Comparison of routes for collection and disposal at Existing dump site with proposed.*

Existing Route	Proposed Route
The area is not fully served.	The area is served fully.
The road approaching the dump site does not have enough widths.	Enough road width is available near the dumping site.
The route passes through the residential areas of the city.	The route passes through the main road of the city without causing disturbance to residential areas.
It causes traffic congestion problems.	Does not cause traffic congestion.
Increased travel distance, time of travel and cost.	Reduced travel distance, time and cost.

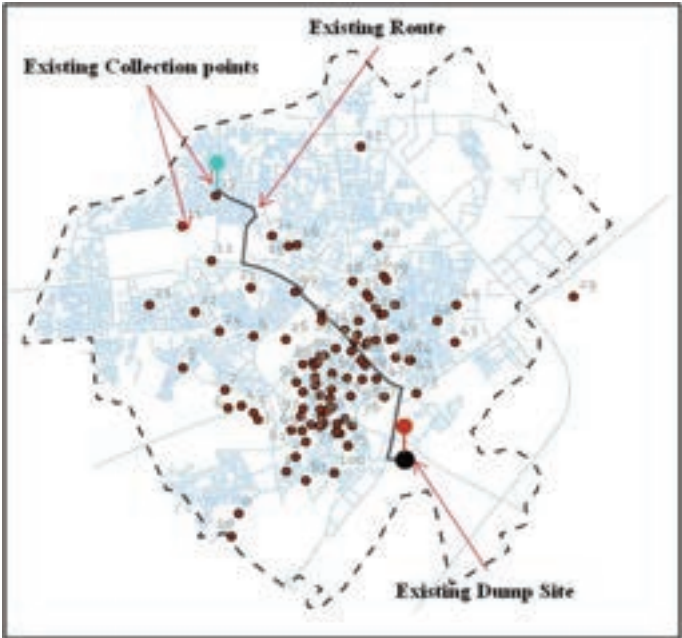


Figure 9. Optimized route from Collection Point No. 13 to Existing Dump Site.

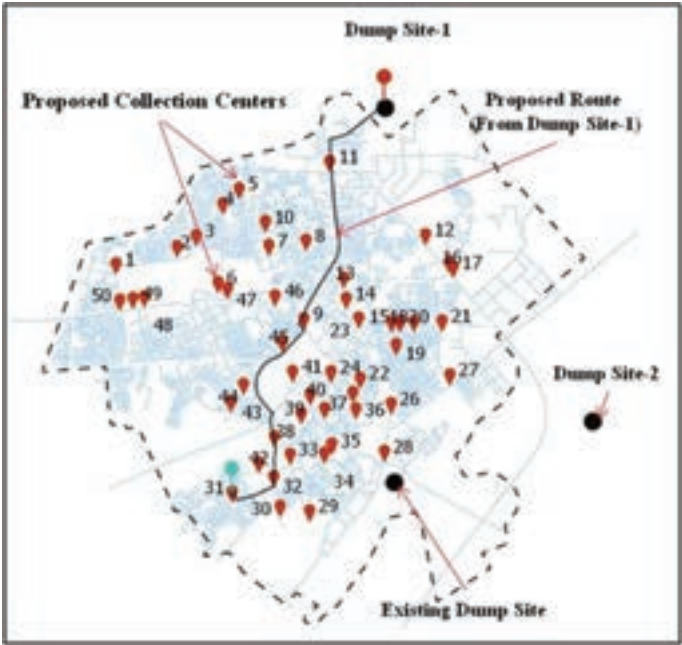


Figure 10. Optimized route from Proposed Collection Centre No. 31 to Dump Site-1.

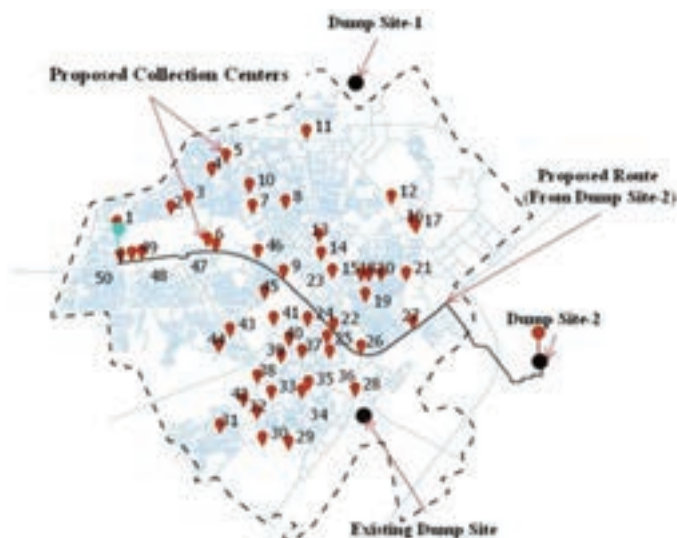


Figure 11. *Optimized route from Proposed Collection Centre No. 50 to Dump Site-2.*

6. Conclusion

The amount of waste collected in the existing system is only 186.76 MT/day whereas total production in the city is 273.86 MT/day. The current route followed for the collection of waste is also not properly designed therefore it causes traffic congestion problems as well as the waste collection and disposal vehicles pass through the residential areas. The collection of the waste is insufficient, untimely, and inefficient. The poor practice of waste management leads to increased time of travel and cost of the collection. Thus, there is a need for additional collection points and proper management of the waste.

To overcome the above problems the number of collection points have been reduced from 101 to 50 with increased capacity and ensuring one collection point in each ward. The current dumping site has been proposed to shift to two alternative dumping sites. From the analysis of distance travelled from collection point to dumping site, it is seen that site-1 is ideal as there is a reduction of 12.4% travel distance. The proposed route covers all the parts of the city, and no waste is left uncollected. These routes were tested using GIS-based simulation. The model incorporates realistic parameters such as road network geometry, travel distances, and truck capacity, ensuring dependable optimization results. This will result in efficient waste collection and minimize travel distance as well as time of travel. Hence, reducing cost incurred in solid waste management of the city. Implementation under real-world conditions forms part of the future scope of this work.

References

- Abdullah, A. A., Al-Hanbali, S., Sabri, N. A. (2021): Role of GIS in environmental waste management, *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (4), 1–11.
- Akhtar, M., Hannan, M. A., Begum, R. A., Basri, H., Scavino, E. (2017): Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization, *Waste Management*, 61, 117–128.
- Cheng, J., Li, Z., Song, Z. (2018): Integrating GIS and multicriteria decision analysis for optimal waste management in urban areas, *Sustainability*, 10 (6), 1839.
- Fatima, S., Ash'aari, Z. H., Ramli, M. F., Sharaai, A. H., Chaudhry, M. N. (2023): GIS-based tools for optimising municipal solid waste collection and transportation routes, *International Journal of Environment and Waste Management*, 32 (4), 402–417.
- Gilardino, A., Rojas, J., Mattos, H., Larrea-Gallegos, G., Vázquez-Rowe, I. (2017): Combining operational research and life cycle assessment to optimize municipal solid waste collection in a district in Lima (Peru), *Journal of Cleaner Production*, 156, 589–603.
- Hashemi-Amiri, O., Mohammadi, M., Rahmanifar, G., Hajiaghahi-Keshteli, M., Fusco, G., Colombaroni, C. (2023): An allocation-routing optimization model for integrated solid waste management, *Expert Systems with Applications*, 227, 120364.
- Kumar, P., Shukla, S. P., Behera, S. N., Singh, R. M. (2022): A GIS-based route optimization approach for municipal solid waste management, *Indian Journal of Environmental Protection*, 42 (13), 1616–1623.
- Nanda, S., Berruti, F. (2020): Municipal solid waste management and land-filling technologies: A review, *Environmental Chemistry Letters*, 18 (1), 167–193.
- Nguyen-Trong, K., Nguyen, T. D. (2022): A review of solid waste collection and disposal: The potential role of GIS, *Journal of Environmental Management*, 303, 113855.
- Okot, P., Abandu, J. (2024): Shortest route identification model for urban solid waste disposal management using GIS: A case of Gulu City, Northern Uganda, *Journal of Remote Sensing & GIS*, 15 (1), 1–19.
- Sah, B., Dev, S., Pantha, D. (2021): GIS-based waste management route planning for cost and time efficiency, *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (24), 30857–30866.
- Sanjeevi, V., Shahabudeen, P. (2016): Optimal routing for efficient municipal solid waste transportation by using ArcGIS application in Chennai, India, *Waste Management & Research*, 34 (1), 11–21.
- Singh, A., Sharma, V. K. (2018): Application of GIS in urban waste manage-

- ment: A case study, *Spatial Information Research*, 26 (4), 421–431.
- Thomé, A. M., Sousa-Zomer, T. T., Ceryno, P. S. (2016): An international analysis of solid waste management using GIS, *Waste Management*, 56, 179–188.
- Wang, X., Zhang, Y., Yu, Y. (2019): GIS-based routing algorithm for urban solid waste collection trucks, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (5), 789.
- Zaveri, P. (2016): GIS-based route optimization for solid waste management: A case study of Surat City, *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 3 (4), 9–15.

Učinkovito prikupljanje otpada: GIS metoda optimizacije rute

SAŽETAK. Učinkovito prikupljanje i zbrinjavanje prikupljenog otpada predviđeno je učinkovitog sustava gospodarenja otpadom. Gospodarenje otpadom također uključuje rješavanje problema prikupljanja i zbrinjavanja krutog otpada. Ono također obuhvaća dodjelu i preraspodjelu spremnika te provjeru neprikladnosti i smetnji za korisnike vezano uz lokaciju spremnika za otpad. Neuravnoteženost lokacije i neadekvatnost transportnog sustava stvara više otpada. Optimizacija ruta u svrhu skraćivanja duljine putovanja te konačno smanjenje ukupnih troškova i vremena putovanja zajedno s odabirom odgovarajućeg mjesta za odlaganje otpada bez izazivanja štetnih učinaka za okoliš glavne su komponente gospodarenja otpadom. Odabir prikladnosti potencijalnih odlagališta i lokacija spremnika za sakupljanje te modifikacija postojećih objekata zahtijeva sveobuhvatnu procjenu postojećih uvjeta. Ovaj rad bavi se problemima povezanim s postojećim sustavom prikupljanja i odlaganja otpada na području istraživanja. Optimizacijom sustava broj sabirnih točaka smanjen je sa 101 na 50, uz povećanje kapaciteta spremnika, a predložena su i dva alternativna odlagališta. Analiza prijedene udaljenosti od sabirnog mjesta do odlagališta korištenjem GIS-a s predloženim rutama koje pokrivaju cijeli grad s time da niti jedan otpad nije ostao neprikupljen, rezultirala je smanjenjem udaljenosti putovanja za 12,4%, a time i smanjenjem troškova koji nastaju u gospodarenju krutim otpadom u gradu.

Ključne riječi: otpad, geografski informacijski sustav, optimizacija rute, odlagališta otpada, održivost.

Received / Primljeno: 2025-03-18

Accepted / Prihvaćeno: 2025-08-12

UDK 629.052.9:629.056.8

Pregledni znanstveni članak / Review

Format opažanja RINEX i GPPS CROPOS-a

Danijel ŠUGAR, Petar JELIĆ – Zagreb¹

SAŽETAK. RINEX format je međunarodni standard za pohranu i razmjenu GNSS podataka opažanja. Njegov je razvoj započeo AIUB krajem 1980-ih godina za potrebe razmjene podataka opažanja prikupljenih pomoću GPS prijamnika različitih proizvođača u prvoj velikoj mjernoj kampanji čiji je cilj bio uspostava europskog referentnog okvira EUREF89. Uspostava GNSS konstelacija kao i njihova kasnija nadogradnja i modernizacija zahtijevale su definiranje novih verzija formata (RINEX 2, 3, 4) kao i njihovih ažuriranja kroz podverzije (npr. 2.10, 2.11; 4.01, 4.02). Od verzije 3.02, razvoj i održavanje RINEX formata povjereno je međunarodnoj organizaciji International GNSS Service (IGS) te je uvedeno pravilo dodjele dugih imena datoteka. RINEX format se sastoji od ASCII znakova te je kao takav čitljiv ljudima i računalima. Format se sastoji od tri tipova datoteka: datoteka s opažanjima (OBS), datoteka s emitiranim (broadcast) efemeridama (NAV) te datoteka s meteorološkim podacima (MET). Na primjeru datoteke s podacima opažanja točke CROPOS CORS točke RGNF, objašnjena je struktura RINEX verzije 3.04 koja se sastoji od zaglavlja (Header) i sekcije s podacima (Body), a svakoj je opažanoj veličini pridružen odgovarajući troznakovni kôd. Zbog ograničenog prostora ovoga članka, ali i značaja kojeg ona ima za geodete i geodetsku operativu, ovdje je fokus stavljen na strukturu i sadržaj datoteke s opažanjima (OBS). Na osnovi uspjeha RINEX formata, nastali su njemu slični ASCII formati (npr. ANTEX, IONEX, SINEX), a koje održava i razvija IGS.

Ključne riječi: RINEX, GNSS, OBS datoteka, IGS, GPPS CROPOS-a.

1. Uvod

Od samih početaka civilne upotrebe GPS-a (engl. *Global Positioning System*) i pohrane podataka opažanih veličina, svaki je proizvođač prijamnika razvijao svoj zaseban, vlasnički format datoteke (engl. *proprietary format*), koji je zbog smanjene veličine i efikasnosti pohrane bio isključivo definiran u bina-

¹ izv. prof. dr. sc. Danijel Šugar, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: danijel.sugar@geof.unizg.hr
Petar Jelić, mag. ing. geod. et geoinf., Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: petar.jelic@geof.unizg.hr

nom formatu. Takvi su formati redovito bili čitljivi samo softverima za obradu podataka proizvedenima od istog proizvođača GPS prijamnika. Na taj su način korisnici uređaja određenog proizvođača bili primorani naknadnu obradu podataka (engl. *post-processing*) obaviti u softverskom rješenju tog istog proizvođača. Takav pristup je onemogućio suradnju i interoperabilnost među geodetima i ostalim korisnicima GPS-a, pa je zbog toga nastala potreba za definiranjem jednog zajedničkog razmjenskog formata koji bi bio čitljiv svim ili velikom broju softvera za naknadnu obradu podataka. Tako se krajem 1980-ih godina počeo razvijati RINEX (engl. *Receiver Independent Exchange*) format, koji se od tadašnje verzije RINEX 1 razvio do aktualne verzije RINEX 4.02 te je u međuvremenu postao međunarodni standard za razmjenu i pohranu GNSS (engl. *Global Navigation Satellite System*) podataka opažanja. RINEX format je omogućio interoperabilnost između GNSS prijamnika različitih proizvođača, kao i programskih rješenja za obradu GNSS mjerenja.

2. Povijesni razvoj formata RINEX

GPS se od svoje idejne koncepcije 1973. godine razvijao kao vojni sustav koji je kao takav bio namijenjen isključivo za vojne potrebe. Međutim, nakon obaranja civilnog putničkog zrakoplova *Korean Air Lines*, leta 007 na liniji od New Yorka preko Anchoragea (Aljaska) do Seoula (Južna Koreja) od strane vojnog zrakoplovstva SSSR-a, a koji se dogodio u rujnu 1983. godine jugozapadno od otoka Sahalina, tadašnji predsjednik SAD-a Ronald Reagan donio je odluku o početku korištenja GPS-a za civilne potrebe. Naime, zbog navigacijske pogreške pilota, putnički zrakoplov je skrenuo s predviđene putanje, ušao je u zračni prostor SSSR-a te je procijenjen kao špijunski i oboren pri čemu su poginuli svi putnici i članovi posade (URL 1). Omogućavanje korištenja GPS-a za civilne potrebe ubrzalo je razvoj i proizvodnju odgovarajućih GPS prijamnika, definiranja tehnika opažanja te se uskoro uvidio veliki potencijal njegove primjene u geodeziji. Tada razvijane metode relativnog pozicioniranja ponajprije su se oslanjale na prikupljanje podataka opažanja i njihovoj naknadnoj obradi. Metoda relativnog pozicioniranja s određivanjem koordinata u realnom vremenu (engl. *Real-Time Kinematic – RTK*) pojavila se tek ranih 1990-ih godina. Iako je svaki geodetski GPS prijamnik pohranjivao iste opažane veličine (kôdne pseudoudaljenosti i fazna opažanja na jednoj ili dvije noseće frekvencije), svi su proizvođači razvili svoj zaseban, vlastiti format datoteke za pohranu podataka koji je bio optimiran za njihove prijamnike, a format je uključivao neke dodatne i pomoćne podatke (Gurtner 1994). GPS uređaji svih proizvođača pohranjivali su sirove podatke opažanja u vlastitim, binarnim formatima koji su po svojim karakteristikama kompaktni, optimiziraju opažane veličine, povećavaju izvedbu putem svojih vlastitih algoritama i softverskih modula (ili cijelih programskih paketa) čime se korisnici vezuju upravo za tog specifičnog proizvođača. Softver za naknadnu obradu podataka opažanja razvijen od strane proizvođača prijamnika, bio je potpuno prilagođen za čitanje i interpretaciju takvih vlastitih formata binarnih datoteka. Problem je bio u tome što takvi softveri za obradu podataka GPS opažanja nisu mogli čitati formate datoteka drugih proizvođača. To se moglo riješiti na dva načina: ili da

se razvije unutarnji softver koji će interpretirati i konvertirati sirove podatke (engl. *raw data*) za svaki pojedini tip prijamnika ili je bilo potrebno definirati jedinstveni format datoteke za razmjenu i odgovarajući softver za konverziju sirovih podataka u taj razmjenski format. U ovom drugom slučaju, softveri za obradu podataka opažanja bi pored vlastitih formata prihvaćali i taj razmjenski format. Međutim, sada je trebalo postići dogovor i usuglasiti detalje oko tog zajedničkog razmjenskog formata (*ibid.*).

S obzirom na veliki broj proizvođača GPS prijamnika prisutnih na tržištu kao i njihovih vlastitih softverskih paketa i formata datoteka, geodeti i ostali korisnici GPS-a su postali uvelike zainteresirani za razmjenu podataka opažanja i njihovu zajedničku obradu. Zbog toga su različite istraživačke skupine razvile četiri razmjenska formata (*ibid.*):

- FICA (engl. *Floating Integer Character ASCII*) format razvio je *Applied Research Laboratory of the University of Texas*, Austin, SAD,
- ARGO (engl. *Automatic Reformatting GPS Observations*) format razvio je *U.S. National Geodetic Survey (NGS)*,
- ASCII (engl. *American Standard Code for Information Exchange*) razmjenski format za svoje unutarnje potrebe razvio je *Geodetic Survey of Canada*,
- RINEX format, čiji je nacrt verzije razvio *Astronomical Institute of the University of Berne (AIUB)*, Bern, Švicarska, za potrebe razmjene podataka opažanja između institucija uključenih u veliku mjernu GPS kampanju koja je provedena u svibnju 1989. godine s ciljem uspostave europskog geodetskog referentnog okvira EUREF89. U mjernoj kampanji EUREF89 korišteno je preko 60 GPS prijamnika, četiriju različitih proizvođača na više od 90 stajališta (Janssen 2023, AIUB 2018). Sukladno izvoru URL 2 to su bili sljedeći proizvođači GPS prijamnika: *MINIMAC*, *Trimble*, *Wild-Magnavox (WM)* i *Texas Instruments (TI)*.

U ožujku 1989. godine na 5th *International Geodetic Symposium on Satellite Positioning* u Las Cruces, Novi Meksiko, SAD, susreli su se autori navedenih formata kako bi raspravili razlike između tih formata i postigli dogovor oko jednog preporučenog formata. Taj preporučeni zajednički razmjenski format slijedio je nacrt RINEX formata s nekoliko izmjena. Format je tada nazvan RINEX verzija 1 te je postao preporučeni format unutar geodetske zajednice (Gurtner 1994). RINEX format se temeljio na formatu koji je razvio i koristio *US National Geodetic Survey (NGS)* za razmjenu GPS podataka opažanja prikupljenih u sklopu *Cooperative International GPS Network (CIGNET)* – prve globalne mreže permanentnih GPS prijamnika korištenih za civilne geodetske svrhe (AIUB 2018).

Rasprave oko formata nastavljene su u kolovozu 1989. godine na *General Meeting of the International Association of Geodesy*, Edinburgh, Ujedinjeno Kraljevstvo te ponovno u rujnu 1990. godine na *Second International Symposium on Precise Positioning with GPS* u Ottawi, Kanada. Nakon tih sastanaka nastao je format RINEX verzija 2 koji je omogućavao pohranu opažanja prikupljenih brzom statičkom (*Fast-Static*) i kinematičkom (*Kinematic*) metodom, a uključivao je i dodatna manja poboljšanja. Tako je RINEX format postao međunarodni standardni format za razmjenu GPS podataka opažanja.

Ranih 2000-tih planirane su nove GNSS konstelacije, a uskoro je počelo emitiranje njihovih novih signala te je ubrzo postalo jasno da RINEX 2 ne može pružiti punu potporu praćenju novih signala. Novi BeiDou, Galileo, QZSS kao i modernizirani GPS i GLONASS s novim frekvencijama i kôdovima opažanja zahtijevali su novu verziju formata – RINEX 3 (IGS 2018). Godine 2021. objavljen je RINEX 4 koji predstavlja značajniju reviziju formata s ciljem modernizacije datoteka navigacijske poruke koja će biti prilagođena novim porukama svih GNSS konstelacija kao i drugim sistemskim podacima poput ionosferskih korekcija, EOP-a (engl. *Earth Orientation Parameters*) te otklonima sistemskih vremena satelitskih sustava (URL 3). Format opažanja proširen je tj. pripremljen je za buduće nadolazeće signale GPS-a, ali i drugih satelitskih sustava, dok je format za meteorološke podatke ostao isti (Gini 2024).

Kako je RINEX format postajao prihvaćen od šire zajednice, proizvođači geodetskih GPS prijamnika počeli su izrađivati samostalne programe za konverziju vlastitih binarnih formata u razmjenski format RINEX verzija 2. Također, softveri za obradu GPS podataka opažanja često proizvedeni od strane istih proizvođača GPS prijamnika, počeli su prihvaćati RINEX kao ulazni (*Input*) format. Isto tako, znanstveni softveri za obradu GPS opažanja (npr. *Bernese SW*) sadržavali su module za konverziju vlasničkih formata više proizvođača GPS prijamnika (Gurtner 1994).

Potrebno je ovdje istaknuti kompleksnost pregovora između strana uključenih u definiranje i razvoj formata kao i razinu povjerenja koja je bila potrebna između AIUB i proizvođača GPS uređaja i opreme kako bi ovi potonji dopustili pristup svojem intelektualnom vlasništvu sadržanom u strukturi i sadržaju vlastitih formata datoteka svakog pojedinog proizvođača, a sve u cilju postizanja razmjenskog formata koji će omogućiti interoperabilnost (Janssen 2023).

Tijekom vremena, počevši od 1989. godine do današnjih dana, RINEX format se razvijao, nadograđivao, modificirao i proširivao (od verzije 3.02 pod okriljem IGS-a) kako bi odgovorio izazovima novih i moderniziranih GNSS sustava i opažanih veličina te tako postao međunarodni standard koji se koristi za prijenos, arhiviranje i distribuciju podataka. Dovoljno je istaknuti da se podaci u RINEX formatu uvelike koriste za praćenje i definiranje novih verzija ITRF-a (*International Terrestrial Reference Frame*) koji se pored ostalih svemirskih tehnika (VLBI – *Very Long Baseline Interferometry*, SLR – *Satellite Laser Ranging*, DORIS – *Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*) temelje na GNSS podacima opažanja (URL 3).

U okviru IGS-a, u prosincu 2011. godine uspostavljen je *IGS/RTCM Receiver Independent EXchange (RINEX) Committee* s ciljem ažuriranja i održavanja RINEX formata. Budući da se RINEX format uvelike koristi kako u GNSS zajednici tako i u industriji, odlučeno je da njime trebaju zajednički upravljati IGS i *Radio Technical Commission for Maritime Services – Special Committee 104 (RTCM-SC104)*. Taj odbor se sastoji od znanstvenih i institucionalnih članova IGS-a te od članova industrije u sklopu RTCM-SC104 (URL 3).

U tablici 1 prikazan je razvoj verzija RINEX formata i pripadajućih podverzija s njihovim bitnim karakteristikama od 1989. godine do danas aktualne verzije 4.02.

Tablica 1. *Razvoj RINEX formata s bitnim karakteristikama pojedine verzije.*

Verzija/podverzija	Sadržaj/bitna karakteristika	Godina objave
RINEX ver. 1	Samo statička GPS opažanja, jedno stajalište po datoteci.	1989.
RINEX ver. 2	Mogućnost praćenja drugih satelitski sustava (GLONASS, SBAS).	1990.
RINEX ver. 2.10	Uvedene jačine signala kao nove opažane veličine.	2002.
RINEX ver. 2.11	Uvedeni dvoznakovni kôdovi opažanih veličina, mogućnost praćenja Galileo satelita.	2005.
RINEX ver. 3	Podrška za multi-GNSS s jasno naznačenim načinom praćenja, uvođenje troznakovnog kôda opažanih veličina za sve GNSS konstelacije.	2007.
RINEX ver. 3.00	Podrška za multi-GNSS, definiranje prijamnika u svemiru.	2007.
RINEX ver. 3.01	Uvedeno generiranje konzistentnih opažanja faza.	2009.
RINEX ver. 3.02	Dodana podrška za QZSS, dodatne informacije za BDS.	2013.
RINEX ver. 3.03	Dodana podrška za NavIC, pojašnjeni implementacijski problemi iz verzije 3.02.	2015.
RINEX ver. 3.04	Dodana su pojašnjenja za signale GLO, QZSS i BDS.	2018.
RINEX ver. 3.05	Dodana je podrška za signale BDS-2 i BDS-3 kao i njihovi kôdovi praćenja.	2020.
RINEX ver. 4	Dodana podrška za modernu, multi-GNSS navigacijsku poruku.	2021.
RINEX ver. 4.00	Modernizacija formata GNSS navigacijske poruke.	2021.
RINEX ver. 4.01	Dodani novi kôdovi opažanja budućih GPS satelita.	2023.
RINEX ver. 4.02	Nadopuna GLO navigacijske poruke, definiranje 1 ps rezolucije vremenske oznake u OBS datoteci.	2024.

S obzirom na to da je *dr. sc. Werner Gurtner* (1949–2009) (URL 4) predvodio razvojnu skupinu AIUB-a te sudjelovao u definiranju i razvoju RINEX formata od samog početka 1989. godine i RINEX verzije 1 pa kontinuirano sve do RINEX verzije 3.01 (lipanj 2009), možemo ga smatrati začetnikom RINEX-a. Detaljne specifikacije o RINEX formatima počevši od verzije 2.10 do najnovije verzije 4.02 mogu se pronaći na stranicama *EUREF Permanent GNSS Network – EPN* (URL 5) ili stranicama *International GNSS Service – IGS* (URL 6).

Zbog razumijevanja konteksta i povijesnih okolnosti u kojima je došlo do nastanka RINEX formata, potrebno je naglasiti da je *International Association of Geodesy (IAG)* 1987. godine na Općoj skupštini *International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)* održanoj u Vancouveru, Kanada utemeljila *IAG Reference Frame Sub-Commission for Europe – EUREF* s ciljem definicije, realizacije i održavanja Europskog referentnog okvira (URL 7). Mjerna GPS kampanja koja je pokrivala područje zapadne Europe pokrenuta je 1989. godine kako bi se uspostavio jedinstveni *European Reference Frame (EUREF)*. Kroz GPS kampanje kasnijih godina, mreža je proširena na istok Europe te je međunarodna suradnja rezultirala uspostavom trodimenzionalne geodetske mreže povezane

s globalnim i nacionalnim referentnim sustavima. Prije toga, krajem 1980-ih godina značajno su porasli zahtjevi za geoinformacijama koje bi se temeljile na jedinstvenom geodetskom referentnom sustavu što je potaknuto dostupnošću i razvojem GPS-a te njegovom primjenom u geodeziji, navigaciji, prometu, logistici itd. Tako je, primjerice, automobilska industrija za potrebe navigacije zahtijevala karte u jedinstvenom koordinatnom sustavu, a *EUROCONTROL* je s druge strane zahtijevao precizne pozicije zračnih luka, zbog čega su kartografske agencije (npr. u Hrvatskoj je to Državna geodetska uprava – DGU) bile pod pritiskom da se uspostavi jedinstveni referentni okvir (Adam i dr. 2000).

Danas RINEX format podataka koriste brojni sudionici: od međunarodnih organizacija poput IGS-a ili EPN-a, akademskih institucija poput AIUB-a ili GEOFA, državnih uprava (DGU, CROPOS) do privatnog sektora i brojnih korisnika u geodetskoj operativi. Također, RINEX format GNSS podataka opažanja se koristi za računanje koordinata s pomoću *online* servisa poput *Trimble CenterPoint RTX Post-Processing Service* (URL 8) ili *Natural Resources Canada CSRS-PPP* (URL 9). Oba servisa omogućavaju učitavanje RINEX datoteke opažanja prikupljenih samo statičkim (*CenterPoint RTX, CSRS-PPP*) ili i kinematičkim mjerenjima (*CSRS-PPP*) gdje se primjenom *Precise Point Positioning (PPP)* metode određuju koordinate iskazane u nekoj od verzija ITRF-a.

3. Struktura, sadržaj i naziv datoteke formata RINEX

Od samih početaka razvoja, razmjenski format GPS podataka opažanja trebao je imati sljedeće karakteristike (Gurtner 1994):

- jednostavnu prenosivost između operativnih sustava (OS) računala,
- laku čitljivost od strane softvera i ljudi,
- malu veličinu datoteke (smanjeni memorijski zahtjevi),
- olakšanu proširivost datoteke kako bi u budućnosti mogao uključiti nove opažane veličine,
- pristup svim podacima vezanima za stajalište unutar same datoteke za olakšanu naknadnu obradu (*Post-Processing*),
- izostanak redundantnih podataka,
- informacije koje su ograničene na ono što je potrebno za obradu (tj. ne radi se o formatu za arhiviranje),
- izostanak posebnih formatiranja za prijenos podataka u realnom vremenu (npr. nisu potrebne provjere pogrešaka prijenosa kao ni posebni podaci o sinkronizaciji).

RINEX kao format koji se sastoji isključivo od ASCII znakova udovoljava svim gore navedenim karakteristikama osim 'maloj veličini datoteke'. Prve dvije navedene karakteristike imaju puno veću težinu od treće, tim više što su za rješavanje tog nedostatka već tada postojali algoritmi za kompresiju/dekompresiju koji mogu značajno smanjiti veličinu datoteke. ASCII zapis je najčešći format kodiranja znakova za tekstualne potrebe u računalima čime su defini-

rani kôdovi za 128 znakova, uključujući velika i mala slova, brojeve od nula do devet i interpunkcijske znakove u sedmobitne cijele brojeve (URL 10).

U početku je format bio tako definiran da se sastoji od zapisa duljine maksimalno 80 ASCII znakova u jednom redu kako bi se ljudima omogućila lakša čitljivost i uređivanje sadržaja datoteke na zaslonima monitora, a u isto vrijeme osigurala jednostavna razmjena između različitih računalnih sustava. Cijena te čitljivosti je ta da takve datoteke uvijek zauzimaju više memorijskog prostora (veličina datoteke) u odnosu na izvorne datoteke u binarnom formatu.

Svaka se takva RINEX datoteka sastoji od zaglavlja (*Header*) u kojem se nalaze obavezni i opcionalni zapisi koji opisuju sadržaj datoteke te informacije koje ostaju konstantne za cijelu datoteku. To su zapisi poput tipa datoteke, imena stajališta, tipova opažanih veličina, približne pozicije antene, visine antene itd. Svaki zapis zaglavlja sadrži obavezne oznake u stupcima 61–80 koji moraju izgledati upravo onako kako je definirano samim formatom datoteke. Nakon zaglavlja dolazi tijelo datoteke (*Body*) tj. sekcija s oznakama vremena i podacima opažanja. Datoteka završava s praznom linijom (*Blank Line*) (Janssen 2023). Format je optimiziran za minimalno korištenje memorijskog prostora neovisno o broju različitih tipova opažanih veličina specifičnih za GNSS prijamnik ili satelitski sustav, na način da su u zaglavlju datoteke navedeni tipovi opažanih veličina (IGS 2018).

RINEX format se sastoji od tri zasebna tipa datoteka:

- datoteke s opažanjima (*Observation file – OBS*),
- datoteke s odaslanom (emitiranom) navigacijskom porukom (*Broadcast Navigation Message file – NAV*),
- datoteke s meteorološkim podacima (*Meteorological file – MET*).

Iako RINEX format sadrži više vrsta datoteka, u ovom radu je fokus stavljen na podatke opažanja (OBS) budući da su oni od posebnog značaja za geodete i najveća je vjerojatnost korištenja i mogućeg uređivanja tih podataka od strane geodetskog stručnjaka.

Kako bi se povećalo razumijevanje podataka zaglavlja koji se nalaze u stupcima 1–60, njihov opis nalazi se u stupcima 61–80 (vidi sliku 4). Taj je opis dio RINEX formata te je kao takav striktno propisan. Postoji određena sloboda u redoslijedu opisa zaglavlja, a samo zaglavlje završava sa zapisom 'END OF HEADER'. Opažane veličine koje se pohranjuju u RINEX formatu uključuju kodne pseudoudaljenosti [m], fazna mjerenja na jednoj ili više nosećih frekvencija [ciklus valne duljine], Dopplerova mjerenja [Hz], jačina signala [dBHz] i vrijeme opažanja [s].

Glavna nit vodilja za definiranje i razvoj RINEX formata je bila činjenica da većina geodetskih softvera za obradu GNSS podataka koristi dobro definiran skup opažanih veličina (Gini 2024):

- mjerenja faza na jednoj ili dvije frekvencije (radi se, zapravo o mjerenju razlike faza (engl. *beat phase*) između signala primljenog sa satelita i referentne frekvencije generirane u prijamniku). Naime, nosač kojeg generira prijamnik ima nominalno konstantnu frekvenciju, dok je primljeni signal

promjenjive frekvencije zbog Dopplerova pomaka kao posljedice relativnog gibanja prijamnika i satelita. Razlika primljenog nosača i u prijamniku generiranog nosača se naziva *'beat phase'* budući da je fazna razlika povezana s razlikom, ili *beat frekvencijom* dva vala nosača (Langley 1993),

- mjerenja kôdnih pseudoudaljenosti, a to odgovara razlici vremena između prijema signala (izraženog u vremenskom okviru sata prijamnika) i vremena odašiljanja signala (izraženog u vremenskom okviru sata satelita),
- Dopplerova mjerenja što odgovara razlici između opažane i emitirane frekvencije nosača,
- *Signal-to-noise* (SNR) mjerenja, a to je omjer gustoće nosača i šuma (*carrier to noise density ratio* – C/N0) odnosno omjeru snage primljenog signala i snage šuma,
- opažanje vremena tj. očitavanju sata prijamnika u trenutku referentnom za prikupljena opažanja kôdova i faza simultano prikupljenih sa svih satelita. Uobičajeno se iskazuje u GPS vremenu (*GPS Time*).

Uobičajeno, geodetski softver za obradu GNSS opažanja podrazumijeva da je vrijeme zapisano u RINEX formatu važeće za sva opažanja te za sve opažane satelite. Stoga, svi takvi softveri ne trebaju sve podatke koji su uobičajeno pohranjeni u prijamniku, već trebaju samo nužno potrebna opažanja faza, kôdova i vremena te nekoliko podataka o stajalištu poput imena točke, visine antene, modela antene i prijamnika itd. (Gini 2024).

Vrlo je važno da popis tipova opažanih veličina i njihov redoslijed budu striktno definirani u zaglavlju RINEX datoteke kako bi ih softver za naknadnu obradu GNSS opažanja ispravno interpretirao (Gurtner 1994).

Iako je u ovome radu fokus stavljen na datoteku s opažanjima (OBS), kratko ćemo se osvrnuti na strukturu i sadržaj NAV i MET datoteke. Navigacijska datoteka sadrži podatke o orbitama satelita (broadcast efemeride), parametrima satova satelita, informacije o zdravlju satelita i očekivane točnosti mjerenja pseudoudaljenosti. Iako su kod ranijih verzija RINEX formata navigacijske poruke za GPS i GLONASS bile dane u zasebnim datotekama, RINEX 3 podržava i datoteke mješovitih navigacijskih poruka (*Mixed navigation data file*) za sve GNSS konstelacije (Montenbruck i MacLeod 2017). RINEX format datoteke s meteorološkim podacima (MET) definiran je kako bi se pojednostavila razmjena i obrada meteoroloških podataka prikupljenih na stajalištima. Podaci koji se prikupljaju su tlak zraka [mbar], temperatura suhog termometra [°C], relativna vlažnost [%] i (opcionalno) vlažno zenitno troposfersko kašnjenje (*zenith wet tropospheric path delay*) [mm], a dobiveno iz radiometrijskih mjerenja vodene pare.

Kako je navedeno u radu Gurtner (1994), tadašnji IGS (do 2005. godine se nazivao *International GPS Service for Geodynamics*) je postao jedan od najvažnijih zajednica korisnika za razmjenu i korištenje (komprimiranih) RINEX podataka. Naime, podaci opažanja u RINEX formatu se distribuiraju putem interneta te kasnije koriste za računanje preciznih efemerida satelita. Također, Gurtner (1994) ističe da je još u tijeku imenovanje organizacije koja će biti zadužena za održavanje RINEX formata. Kasnije se ispostavilo da je to postao upravo IGS,

koji se od 2005. godine naziva IGS – *International GNSS Service* (Johnston i dr. 2017).

U početku su se imena datoteka definirala sukladno starom pravilu imenovanja (engl. *short file Naming Convention*), dok je od RINEX verzije 3.02 u primjeni novo pravilo (engl. *long file Naming Convention*) što će biti objašnjeno u nastavku. Imena RINEX datoteka ne smiju sadržavati znakove poput razmaka, zagrada ili simbola.

Do verzije 3.02 imena datoteka s opažanjima sastojala su se od 8 znakova nakon kojih dolazi troznakovna oznaka ekstenzije sukladno pravilu:

- XXXXDDDS.YYO

gdje se 'XXXX' odnosi na 4-znakovnu oznaku stajališta (npr. RGNF), 'DDD' se odnosi na dan u godini (*Day of the Year – DOY*; npr. 1 do 365 ili 366 za prijestupnu godinu) prvog zapisa s opažanjima, 'S' je broj sesije unutar dana opažanja (npr. 0 do 9 ili A do X gdje znak engleskog alfabeta označava sat prvog zapisa opažanja u tekućem danu npr. A = 0 sati, X = 23 sata), 'YY' se odnosi na zadnje dvije znamenke godine (npr. za godinu 2025. to je '25'), dok se oznaka 'O' odnosi na datoteku s opažanjima (*Observation file – OBS*). Ekstenzija ponekad ukazuje i na tip kompresije primijenjen da se dodatno reducira veličina izvorne ASCII datoteke.

Primjerice, RINEX ver. 3.04 datoteka s opažanjima za točku RGNF, a koja sadrži podatke iz vremenskog prozora 29. travnja 2025., 11:00:00 – 11:29:45 GPST (DOY = 119) nosi naziv 'RGNF119L00.25o' gdje je 'RGNF' = naziv točke', '119 = DOY', 'L = 11. sat' u kojem je prikupljen prvi zapis (epoha) s opažanjima, a znakovi '00' su nadopunjeni zbog pravila imenovanja (uvedeno s RINEX ver. 3.02) da elementi naziva moraju biti ispunjeni nulama ('0') kako bi se to polje ispunilo do svoje zadane veličine (u ovom slučaju to je 9 znakova i 1 znak delimitera ukupno čini 10 znakova).

Dr. sc. Yuki Hatanaka (2008) iz *Geospatial Information Authority of Japan*, razvio je algoritam kompresije i odgovarajući softverski alat koji koristi poznatu strukturu RINEX datoteke s opažanjima (OBS) tako da formira vremenske razlike višeg reda između opažanja istoga tipa i satelita. Uobičajeno je takva datoteka označena s ekstenzijom 'YYd' (Janssen 2023). Primjenom te kompresije nastaju tzv. *Compact RINEX* formati čime se smanjuju veličine izvorne ASCII RINEX datoteke za potrebe jednostavnije i brže distribucije putem interneta. Detalji o Hatanaka algoritmu kompresije i dekompresije RINEX datoteka s opažanjima mogu se pronaći na URL 11. Nadalje, veličine komprimiranih datoteka u Compact RINEX formatu mogu se dodatno smanjiti korištenjem standardnih programa za kompresiju čime se dobivaju UNIX komprimirane (YYd.Z) ili gzip komprimirane (YYd.gz) Hatanaka RINEX datoteke (Janssen 2023).

Cilj tog novog pravila imenovanja datoteka je da ono bude više opisno, fleksibilno i proširivo imajući u vidu činjenicu da moderni operativni sustavi dopuštaju imena datoteka duljine do 255 znakova. Ono omogućava efikasniju pohranu i razmjenu RINEX podataka posebice u velikim zajednicama poput IGS-a (Janssen 2023). Za praktičnu primjenu, ovo pravilo se čini previše složenim, međutim,

važno je upoznati se s njegovom strukturom i sadržajem koji uključuje podatke poput izvora podataka, početka opažanja, trajanja, intervala pohrane i tipa podataka. Struktura naziva RINEX datoteke može se prikazati kao:

IME_IZVOR_POČETAK_PROZOR_INTERVAL_SADRŽAJ.FORMAT.KOMPRESIJA.

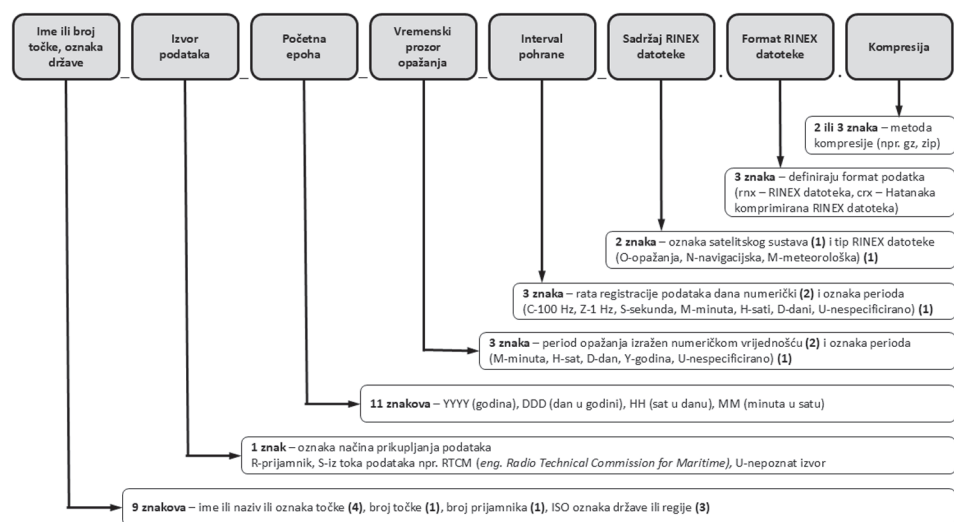
Svi elementi u tijelu imena datoteke moraju sadržavati velika ASCII slova ili brojeve, svi su elementi fiksne duljine te su odvojeni znakom '_'. Elementi tipa datoteke i ekstenzije su odvojeni znakom '.', a moraju sadržavati male ASCII znakove. Polja elemenata moraju biti ispunjeni nulama ('0') kako bi se ispunilo polje do zadane veličine.

Objašnjenje elemenata imena datoteke bit će prikazano na primjeru CROPOS CORS točke CAKO za cijeli dan opažanja 29. travnja 2025. (DOY 119), interval pohrane 30 sekundi (datoteka s opažanjima je preuzeta s EPN-a):

CAKO00HRV_S_20251190000_01D_30S_MO.crx.gz

- Ime točke: CAKO (Čakovec)
- Oznaka točke: 0
- Broj uređaja: 0
- ISO oznaka države: HRV (Hrvatska)
- Izvor podataka: S (protok podataka od CROPOS-a prema EPN-u)
- Godina, dan u godini (DOY), sat i minuta: 20251190000
- Vremenski prozor opažanja: 01D (1 dan)
- Interval pohrane opažanja: 30S (30 sekundi)
- Sadržaj datoteke (tip podataka): MO – *Mixed Observation* (mješoviti podaci opažanja – sve GNSS konstelacije)
- Format RINEX datoteke: crx (Comapact RINEX format – Hatanaka komprimirana RINEX datoteka)
- Metoda kompresije: gz (standardna GNU zip kompresija).

Na slici 1 prikazani su sastavni dijelovi (elementi) naziva datoteka zajedno s njihovim sadržajem. Element vezan za kompresiju je opcionalan.



Slika 1. *Elementi imena datoteke sukladno novom pravilu imenovanja uvedenom od verzije RINEX ver. 3.02. (prilagođeno i nadopunjeno prema Gini (2024)).*

RINEX formati su dizajnirani tako da se razvijaju i prilagođavaju tijekom vremena. Svi tipovi i sve verzije RINEX formata prate unaprijed određenu strogu strukturu unutar samog zapisa. Uspostavom novih satelitskih sustava i tipova mjerenja, format se svakom novom verzijom primarno proširio na duljinu zapisa kroz nadopunjavanje podacima i informacijama vezanima uz opažanja GNSS satelita.

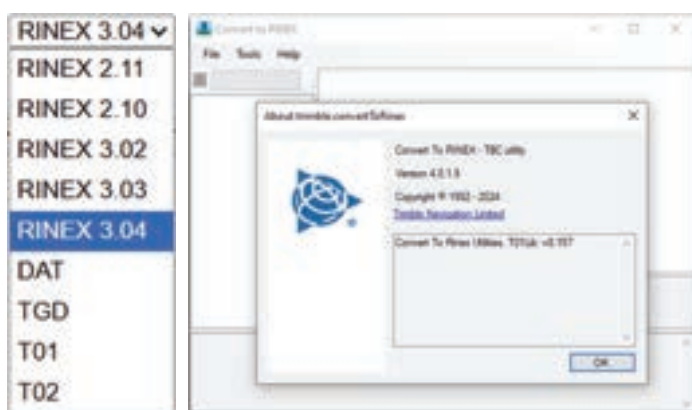
4. GPPS CROPOS-a i CORS RGNF

CROPOS (*Croatian Positioning System*) je državna mreža referentnih GNSS CORS (*Continuously Operating Reference Station*) stanica uspostavljena i puštena u rad u prosincu 2008. godine. Tada se mreže sastojala od ukupno 30 GNSS stanica ravnomjerno raspoređenih po teritoriju Republike Hrvatske na prosječnoj međusobnoj udaljenosti od 70 km (Marjanović i dr. 2009). Sustav se sastoji od tri servisa: DPS – diferencijalni pozicijski servis u realnom vremenu, VPPS – visokoprecizni pozicijski servis u realnom vremenu i GPPS – geodetski precizni pozicijski servis. GPPS se koristi u naknadnoj obradi, a namijenjen za primjenu u osnovnim geodetskim radovima, znanstvenim i geodinamičkim istraživanjima i sl. Ako se koriste RINEX podaci CORS točaka, tada se primjenom GPPS-a postižu točnosti <1 cm, dok se primjenom VRS RINEX podataka opažanja postižu točnosti 2–4 cm (URL 12). Koncept mrežnog rješenja implementiran u CROPOS-u se temelji na virtualnoj referentnoj stanici (*Virtual Reference Station* – VRS). Od svoje uspostave do današnjih dana, sustav je kontinuirano hardverski i softverski nadograđivan i proširivan. Modernizacija CROPOS-a se dogodila 2019. godine kada su na sve 33 tada postojeće GNSS

stanice na području RH uređaji i pripadajuće antene zamijenjene najnovijim *Trimble Alloy* uređajima (specifikacije dostupne na URL 13), koji podržavaju multi-GNSS (GPS, GLO, GAL, BDS), i pripadajućim antenama *Trimble Zephyr 3 Geodetic* (specifikacije dostupne na URL 14). Na ljetu 2020. provedeno je terensko ispitivanje rada VPPS i GPPS CROPOS-a s ciljem procjene doprinosa uključivanja podrške za Galileo koja je provedena kroz modernizaciju CROPOS-a (Šugar i dr. 2023). U specifikacijama uređaja Trimble Alloy stoji da su podržani formati pohrane: T02, T04, BINEX, RINEX v2.x/3.0x, gdje se formati T02 i T04 odnose na binarne vlasničke formate tvrtke Trimble. Iz brošure GNSS antene Trimble Zephyr 3 Geodetic (URL 14) slijedi da antena podržava noseće frekvencije svih GNSS-a (L1/L2/L5/G1/G2/G3/E1/E5ab/E6/B1/B2/B3).

Danas (rujan 2025. godine) u CROPOS mrežu je uključeno ukupno 59 CORS stanica: 41 s područja RH te 18 stanica iz okolnih zemalja (SLO 7, HUN 4, MNE 2 i BiH 5). Od ukupno 41 stanice na području RH, na 34 stanice su instalirani GNSS uređaji Trimble Alloy s pripadajućim antenama, dok su na preostalih 6 stanica instalirani nešto stariji modeli GNSS uređaja *Trimble NETR5* (CAZM, DARU, DRNI, GLIN, JAST) te jedan uređaj *Trimble NETR9* na točki RG01 (URL 15). Za upravljanje mrežom GNSS stanica te generiranje VRS korekcija u sklopu CROPOS-a koristi se softverska platforma *Trimble Pivot Platform (TPP)*, trenutačno instalirana ver. 5.1.1. Pet stanica CROPOS-a (CAKO, DUBR, PORE, POZE, ZADA) razmjenjuju podatke s EPN-om.

Putem CROPOS GPPS Web portala (URL 15) moguće je preuzeti podatke opažanja za pojedinu CORS stanicu i/ili VRS točku u RINEX 2 formatu (verzije 2.10 i 2.11), RINEX 3 formatu (verzije 3.02, 3.03, 3.04) te Trimbleovim vlasničkim (binarnim) formatima DAT, TGD, T01 i T02. Navedeni Trimbleovi formati se mogu konvertirati u RINEX formate pomoću samostalne i slobodno dostupne aplikacije *Convert to RINEX*, aktualna je verzija 4.0.1.9 objavljena u lipnju 2025. godine (slika 2). S pomoću te aplikacije moguće je i ostale Trimbleove formate (npr. T00, T01, T02, T04) konvertirati u RINEX format verzije 2.10, 2.11, 3.02, 3.03, 3.04, 3.05 i 4.01 (URL 16).



Slika 2. Lijevo: Formati datoteka s podacima GNSS opažanja koje je moguće preuzeti s GPPS CROPOS-a; desno: Convert To Rinex aplikacija za konverziju Trimbleovih formata datoteka u RINEX format.

Na primjeru datoteke s GNSS opažanjima prikupljenima na točki RGNF, bit će prikazana struktura i sadržaj formata RINEX ver. 3.04 (najnoviji format kojeg trenutačno podržava CROPOS). GNSS uređaj s pripadajućom antenom (točka RGNF) koji se nalaze na vrhu tornja Rudarsko-geološko-naftnog (RGN) fakulteta, ranije su se nalazili na krovu zgrade Geodetskog fakulteta, međutim, zbog cjelovite obnove zgrade, taj je GNSS uređaj zajedno s antenom premješten na točku RGNF. Točka RGNF stabilizirana je metalnom cijevi visine cca. 1,30 m (slika 3, desno), na čijem vrhu se danas nalazi antena Trimble Zephyr 3 Geodetic sa zaštitnom kupolom (IGS oznaka za tip antene: *TRM115000.00 TZGD*). Ispitivanje prikladnosti vrha tornja RGN (današnja točka RGNF) za provedbu GNSS mjerenja prikazano je u Šugar i dr. (2016). Procjena prikladnosti temelji se na osnovi analize broja mogućih i pohranjenih epoha opažanja, analize višestruke refleksije signala (*multipath*) te jačine signala na L1 i L2 nosačima.



Slika 3. Lijevo: točka RGNF s GNSS antenom Zephyr Geodetic 3 i zaštitnom kupolom; desno: elipsoidne koordinate (GRS80) točke RGNF (URL 15).

U razdoblju od 25. svibnja do 2. lipnja 1992. izvodila se prva hrvatska mjerna GPS kampanja *Zagorje '92*. Rezultati te kampanje objavljeni u radu Bilajbegović i dr. (1992), a tada se prvi put spominje i navodi točka 'RGN Toranj'. Ta se mjerna GPS kampanja provodila u sklopu znanstvenog projekta *Osnovni geodetski radovi informacijskoga prostornog sustava Republike Hrvatske* koji se izvodio u razdoblju 1991–1995 (Solarić i dr. 1996), a čiji su voditelji bili *prof. dr. sc. Asim Bilajbegović* (1950–2020) i *prof. dr. sc. Miljenko Solarić* (1934–2021). U toj je GPS kampanji korišteno 5 dvofrekvencijskih GPS prijamnika *Ashtech LD-XII*. Projekt je rezultat međunarodne suradnje Geodetskog fakulteta Sveučilišta u

Zagrebu (tri prijamnika) i Katedre za geodeziju FAGG iz Ljubljane (dva prijamnika). U mjernu kampanju je uključeno tada postojećih 12 točaka trigonometrijske točke I reda te nova točka RGN Toranj (RGNZ). Tada se planiralo da će ta točka biti uključena u EUREF mrežu, a središnji sustav točaka oko te točke „ujedno će poslužiti kao nulta mreža trigonometrijske mreže Zagreba“ (Bilajbegović i dr. 1992).

Ovdje smatramo vrijednim spomenuti činjenicu da je Geodetski fakultet 1990. godine nabavio tri dvofrekvencijska 12-kanalna geodetska GPS prijamnika Ashtech LD-XII, a to su bili prvi geodetski GPS-prijamnici u Hrvatskoj i tadašnjoj Jugoslaviji (Solarić 2006). Nabava tih prijamnika bila je najveća kapitalna investicija u znanosti u Hrvatskoj te godine, čime je učinjen ogroman iskorak u primjeni, popularizaciji i nastavi satelitske geodezije, te zacrtan put razvoja satelitske geodezije u Hrvatskoj (Bačić 2009).

Od uspostave CROPOS-a u prosincu 2008. godine, GNSS podaci opažanja u RINEX formatu namijenjeni naknadnoj obradi koriste se ponajviše u okviru GPPS-a.

5. RINEX verzija 3.04 (datoteka OBS)

Kao što je i ranije napomenuto, zbog značaja RINEX datoteke s opažanjima koja imaju za geodete i geodetsku operativu te s obzirom na mogućnost uređivanja takvih ASCII datoteka, važno je biti upoznat sa sadržajem i značenjem podataka zapisanih u takvoj datoteci. Budući da je RINEX 3.04 najnoviji format u kojem se datoteka s opažanjima GNSS satelita može preuzeti s CROPOS GPPS-a, ovdje će biti objašnjen sadržaj datoteke s opažanjima upravo u toj verziji za CORS točku RGNF (Rudarsko-geološko-naftni fakultet) i to za dan 29. travnja 2025., za vremenski prozor 11:00:00 – 11:29:45 GPST. Verzija 3.04, zajedno s verzijama 3.02 i 3.03, smatra se standardom verzijom razmjene GNSS podataka opažanja u formatu RINEX 3 (URL 6). Detalji o formatu RINEX ver. 3.04 mogu se pronaći u IGS (2018). Za razliku od starije verzije 2.11, verzija 3.04 potpuno podržava multi-GNSS opažanja (G = GPS, R = GLONASS, E = Galileo, C = BeiDou, J = QZSS, I = NavIC/IRNSS, S = SBAS) te jasno identificira sve tipove opažanih veličina koristeći troznakovni kôd što se posebice odnosi na mogućnost praćenja nosećih frekvencija na različitim kanalima. Format je optimiran tako da zauzima najmanje memorijskog prostora neovisno o broju različitih tipova opažanih veličina prikupljenih pojedinim tipom prijamnika ili od pojedinog satelitskog sustava.

Struktura i sadržaj datoteke s opažanjima (OBS) formata RINEX ver. 3.04 bit će objašnjena na sljedećem primjeru (slika 4 i slika 5).

```

1      3.04      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
2      TFF      Reference Data Shop 20250429 132034 UTC      PGM / RUN BY / DATE
3      RGNF      MARKER NAME
4      RGNF      MARKER NUMBER
5      Trimble Inc.      Trimble Inc.      OBSERVER / AGENCY
6      5920R40038      TRIMBLE ALLOY      REC # / TYPE / VERS
7      1431179096      TRM115000.00      TSSD      ANT # / TYPE
8      4282105.1778 1224950.8696 4550465.4910      APPROX POSITION XYZ
9      0.0000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA M/E/N
10     G 40 C1C C1W L1C L1W D1C D1W S1C S1W C2P C2W C2S C2L C2X      SYS / # / OBS TYPES
11     L2P L2W L2S L2L L2X D2P D2W D2S D2L D2X S2P S2W S2S      SYS / # / OBS TYPES
12     S2L S2X C5I C5Q C5X L5I L5Q L5X D5I D5Q D5X S5I S5Q      SYS / # / OBS TYPES
13     S5X      SYS / # / OBS TYPES
14     R 28 C1C C1P L1C L1P D1C D1P S1C S1P C2C C2P L2C L2P D2C      SYS / # / OBS TYPES
15     D2P S2C S2P C3X C3Q C3I L3X L3Q L3I D3X D3Q D3I S3X      SYS / # / OBS TYPES
16     S3Q S3I      SYS / # / OBS TYPES
17     E 48 C1X C1C C1B L1X L1C L1B D1X D1C D1B S1X S1C S1B C5X      SYS / # / OBS TYPES
18     C5Q C5I L5X L5Q L5I S5X S5Q S5I C6X C6C C6B L6X L6C      SYS / # / OBS TYPES
19     L6B S6X S6C S6B C8X C8Q C8I L8X L8Q L8I S8X S8Q S8I      SYS / # / OBS TYPES
20     C7X C7Q C7I L7X L7Q L7I S7X S7Q S7I      SYS / # / OBS TYPES
21     J 48 C1X C1C C1L C1S C1E L1X L1C L1E D1X D1C D1L D1S      SYS / # / OBS TYPES
22     D1E D1S S1C S1X S1L S1E S1E C2S C2L C2X L2S L2L L2X      SYS / # / OBS TYPES
23     D2S D2L D2X S2S S2L S2X C5I C5Q C5X L5I L5Q L5X D5I      SYS / # / OBS TYPES
24     D5Q D5X S5I S5Q S5X C6X L6X D6X S6X      SYS / # / OBS TYPES
25     C 36 C1X C1P C1D L1X L1P L1D D1X D1P D1D S1X S1P S1D C5D      SYS / # / OBS TYPES
26     C5P C5X L5D L5P L5X D5D D5P D5X S5D S5P S5X C6X L6X      SYS / # / OBS TYPES
27     D6X S6X C2X L2X D2X S2X C7X L7X D7X S7X      SYS / # / OBS TYPES
28     I 8 C5C L5C D5C S5C C9C L9C D9C S9C      SYS / # / OBS TYPES
29     15.000      INTERVAL
30     0      RCV CLOCK OFFS APPL
31     18 2364 3      LEAP SECONDS
32     2025 04 29 11 00 00.00000000      GPS      TIME OF FIRST OBS
33     24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 6 GLONASS SLOT / FREQ #
34     R09 -2 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1 GLONASS SLOT / FREQ #
35     R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2 GLONASS SLOT / FREQ #
36     END OF HEADER

```

Slika 4. Zaglavlje datoteke s opažanjima RINEX ver. 3.04 za točku RGNF (prozor opažanja 29. travnja 2025., 11:00:00 – 11:29:45 GPST, interval pohrane 15 sekundi).

Zaglavlje se nalazi na početku datoteke, a sastoji se od informacija i strukturiranih podataka koji se odnose na cijelu datoteku. U stupcima 61–80 nalaze se opisne oznake za svaki zapis (redak) zaglavlja. Te su oznake obvezne i moraju izgledati striktno onako kako je definirano u opisu formata. Program koji čita datoteku RINEX 3 mora najprije dekodirati zapise zaglavlja sukladno opisu zapisa (*Record Descriptor*). Redoslijed zapisa u zaglavlju je slobodan s nekoliko iznimki poput:

- RINEX VERSION / TYPE koji mora biti prvi zapis,
- END OF HEADER koji mora biti zadnji zapis u zaglavlju.

Zapis 'COMMENT' je opcionalan i može se nalaziti bilo gdje osim na pozicijama definiranim u iznimkama (IGS 2018).

U nastavku će biti dan opis svakog zapisa zaglavlja prikazanog na slici 4.

1. Redak: (RINEX VERSION / TYPE): RINEX datoteka s opažanjima (*Observation data*), verzija 3.04, datoteka sadrži mješovite podatke opažanja (*M – Mixed*) tj. opažanja više GNSS konstelacija.

2. Redak: (PGM / RUN BY / DATE): program kojim je kreirana datoteka (TPP), ime organizacije koja je kreirala datoteku (Reference Data Shop tj. GPPS CROPOS-a), dan i vrijeme kreiranja iskazano u formatu ‘yyyymmdd hhmmss zone’, gdje je ‘zone’ 3–4 znakovna oznaka vremenske zone (preporučeno UTC) – 20250429 132034 UTC.
3. Redak: MARKER NAME: ime oznake točke – RGNF.
4. Redak: MARKER NUMBER: broj točke – RGNF. Postoji niz mogućih oznaka, popis je dostupan u npr. IGS (2018). Opcionalan je zapis ‘MARKER TYPE’ koji sadrži tip oznake točke. U slučaju tipa GEODETIC (zemaljska stabilizacija visoke preciznosti) ili NON_GEODETIC (zemaljska stabilizacija niske preciznosti) zapis nije obavezan, u ostalim slučajevima je obavezan. Popis mogućih tipova stabilizacija naveden je u specifikacijama formata (IGS 2018).
5. Redak: OBSERVER / AGENCY: naziv opažača/agencije – Trimble Inc.
6. Redak: REC # / TYPE / VERS: serijski broj prijamnika (5920R40038), model/tip prijamnika (TRIMBLE ALLOY), podataka o verziji unutarnjeg softvera (*firmware*) nije poznat pa je to polje ostavljeno prazno (*blank*).
7. Redak: ANT # / TYPE: serijski broj antene (1431179096) i model/tip antene (TRM115000.00 TZGD). Model antene s mogućom zaštitnom kupolom (*Radome*) je dan u standardnoj IGS oznaci koja se ovdje odnosi na GNSS antenu Zephyr 3 Geodetic sa zaštitnom kupolom – *Trimble Hemisph. Dome for Zephyr Geodetic*). RINEX format definira tip antene kao 20-znakovno ime, uključujući nekoliko razmaka i završavajući s četiri znaka ukazujući na korištenu zaštitnu kupolu, u slučaju da nije korištena zaštitna kupola stavlja se oznaka ‘NONE’. IGS redovito ažurira popis s nazivima prijamnika i antena na URL 17. Detalji o prijamnicima i antenama te njihovim međunarodnim pravilima imenovanja nalaze se u datoteci URL 18, dok se grafički prikazi antena s fizičkim dimenzijama nalaze na URL 19.
8. Redak: APPROX POSITION XYZ: geocentrične koordinate, preporučeno iskazane u ITRS-u. Ovdje su koordinate dane u obliku Kartezijevih pravokutnih koordinata (X, Y, Z) u referentnom okviru ETRF00 (R05), a koje odgovaraju elipsoidnim koordinata (GRS80) prikazanim na slici 3 (desno).
9. Redak: ANTENNA: DELTA H/E/N: H = visina referentne točke antene (*ARP* – *Antenna Reference Point*) u odnosu na oznaku točke. E/N = položajne (horizontalne) komponente ekscentriciteta antene u odnosu na oznaku točke dane u metrima.
10. – 28. Redak: SYS / # / OBS TYPES: oznaka satelitskog sustava (G = GPS, R = GLONASS, E = Galileo, C = Beidou, J = QZSS, I = NavIC/IRNSS, S = SBAS), broj opažanih veličina po satelitskom sustavu (npr. G 40), troznakovna oznaka (kôd) opažane veličine. Npr. opažana veličina ‘C1C’ kod GPS se odnosi na kodnu pseudoudaljenost, na nosećoj frekvenciji L1 dobivenoj iz C/A kôda. Takvih opažanih veličina može biti maksimalno 13 u zapisu. U formatu RINEX 3 uvedeni su novi kôdovi opažanih veličina. Naime, nove strukture signala GPS, GAL i BDS sustava omogućile su generiranje kodnih i faznih opažanja koje se temelje na jednoj ili kombinaciji

nekoliko kanala: dvokanalni signali se sastoje od I i Q komponentata, trokanalni signali se sastoje od A, B i C komponentata. Također, moguće je i širokopojasno praćenje kombinirane E5a + E5b GAL frekvencije. Kako bi kôdovi opažanja ostali kratki, ali ipak omogućili detaljnu karakterizaciju generiranja signala, duljina kôdova opažanja je povećana s dva (RINEX 1, RINEX 2) na tri, dodajući atribut generiranja signala. Troznakovni kôdovi opažanja (*tna*) se sastoje od dijelova prikazanih u tablici 2 (prilagođeno prema IGS (2018)).

Tablica 2. Troznakovni kôdovi opažanja (RINEX ver. 3.04).

<i>t</i> : tip opažanja	<i>C</i> = kodna pseudoudaljenost	<i>L</i> = faza nosača	<i>D</i> = Doppler	<i>S</i> = jačina signala
<i>n</i> : pojas/frekvencija	1, 2,...,9			
<i>a</i> : atribut	način praćenja ili kanal npr. I, Q, itd.			

Sekvenca (niz) opažanih veličina u zapisu opažanja mora odgovarati sekvenci tipova opažanih veličina u ovom zapisu odgovarajućeg satelitskog sustava. Kompletne tablice (popis) kôdova opažanja danih po GNSS konstelacijama, frekvencijama nosača, tipovima opažanja te metodama kodiranja signala dani su u IGS (2018).

29. Redak: INTERVAL: to je opcionalan zapis koji prikazuje interval pohrane u jedinici sekunda (s), 15.000.
30. Redak: RCV CLOCK OFFS APPL: opcionalan zapis koji prikazuje je li primijenjen pomak sata satelita određen u realnom vremenu; 0 = NE, 1 = DA. Vrijednost '0' znači da nije primijenjen pomak sata prijamnika na opažane veličine (epoha, kodna pseudoudaljenost, faza).
31. Redak: LEAP SECONDS: opcionalan zapis koji prikazuje trenutačan broj prijestupnih sekundi kao razliku između GPST (*GPS Time*) i UTC (*Universal Time Coordinated*) vremena: 18 sekundi. GPS tjedan (*GPS Week*) koji se kontinuirano broji od početne epohe 6. siječnja 1980.: 2364; odgovarajući dan u GPS tjednu (1–7): ovdje je to 3. Dakle, 3. dan u GPS tjednu 2364 odgovara danu 29. travnja 2025. (utorak).
32. Redak: TIME OF FIRST OBS: vrijeme (epoha) prvog zapisa opažanja u obliku (godina mjesec dan sat minuta sekunda). Oznaka sistemskog vremena (ovdje GPS) se odnosi na GPS sistemsko vrijeme u kojem su prikazane sve oznake vremena u datoteci s opažanjima. Oznaka je obavezna u mješovitim GNSS podacima opažanja, ovdje: 2025 04 29 11 00 00.0000000 GPS.
33. – 35. Redak: GLONASS SLOT / FRQ #: pozicije GLONASS satelita u orbiti (*orbital slot*) i brojevi frekvencija (–7...+6). U zapisu je moguće prikazati podatke za maksimalno 8 satelita.
36. Redak: END OF HEADER: obavezan zapis koji označava kraj zaglavlja nakon čega dolazi sekcija s podacima opažanja.

U nastavku (slika 5) je prikazan dio prve epohe pohranjenih opažanih veličina za satelitske sustave GPS i GLO. Od formata RINEX 3 uklonjeno

dane istim redoslijedom kako je definirano u odgovarajućem zapisu zaglavlja (SYS / # / OBS TYPES). Svaka opažana veličina je zapisana kao decimalna veličina s tri decimalna mjesta te ukupnim brojem znakova 14 (*Fortran F14.3 format*), nakon čega slijedi jednoznamenkasta oznaka za *Loss of Lock Indicator (LLI)* i *Signal Strength Indicator (SSI)* (Janssen 2023). Opažana veličina L1C (fazno mjerenje povezano s nosačem GPS L1) pokazuje LLI = 1, SSI = 6, tj. L1C = 134071920.281**16**; LL1 = **1**; SSI = **6**).

39. – 50. Redak: Zapisi su dani za svaki GPS satelit koji je opažan u navedenoj epohi.
51. – 59. Redak: opažane veličine satelita GLO R01: kodna pseudoudaljenost (C1C), kodna pseudoudaljenost (C1P), opažanje faze (L1C), opažanje faze (L1P), Doppler opažanje (D1C), Doppler opažanje (D1P), opažanje jačine signala (S1C), opažanje jačine signala (S1C).

Datoteka završava s praznim retkom (zapisom).

LLI se prikazuje samo za fazna opažanja, a radi se o trobitnom kôdu (binarno 000–111) pohranjenom kao cjelobrojna vrijednost iz raspona 0–7. Vrijednost LLI = 0 ili prazno ima značenje: OK ili nepoznato. Vrijednost LLI = 1 ima značenje gubitka signala i mogući cycle-slip (*Loss of lock: possible cycle-slip*). SSI (*Signal Strength Indicator*) je veličina čije su vrijednosti prirodni brojevi iz intervala 1–9, gdje vrijednosti imaju značenja: 1: najmanja moguća jačina signala, 5: prosječan ili dobar omjer signala i šuma (SNR), 9: najveća moguća jačina signala, 0 ili prazno: nepoznata veličina, nije prikazano.

Uobičajeno se vrijednosti za SNR iskazuju u jedinici dBHz, tablica s rasponima vrijednosti iskazanima u dBHz i pridruženim SSI vrijednostima je dana u npr. IGS (2018).

Epohe u RINEX datoteci moraju biti navedene kronološkim redoslijedom i nije dozvoljeno više zapisa s identičnom oznakom vremena (*time tag*) (IGS 2018). Vrlo korisna web stranica s opisom značenja i formata veličina sadržanih u datoteci s opažanjima (OBS) RINEX ver. 3.04 izrađena od *Research group of Astronomy and GEomatics (gAGE)* na *Universitat Politècnica de Catalunya*, Barcelona, Španjolska, je dostupna na URL 20.

6. Formati nastali na temelju RINEX-a

Nastavno na ideju o RINEX-u kao standardnom formatu za razmjenu GNSS opažanja, u okviru IGS-a je razvijen cijeli niz standarda s ciljem konzistentne razmjene GNSS proizvoda i pomoćnih informacija između korisnika i centara za analizu (AC – *Analysis Center*), pri čemu se ističu sljedeći formati (Montenbruck i MacLeod 2017):

- *Standard Product 3 (SP3)* format za informacije o preciznim orbitama i satovima satelita. Podaci u tom formatu pored podataka opažanja u RINEX formatu, predstavljaju okosnicu PPP metode pozicioniranja. Iako SP3 format kombinira podatke o orbitama i satovima satelita, podaci o satovima satelita su potrebni u kraćim intervalima zbog stohastičke prirode ponašanja satova satelita i posljedične potrebe za finijom interpolacijom podataka.

- *Clock RINEX* format za razmjenu rješenja pomaka (otklona) satova satelita i prijamnika određenih obradom podataka iz GNSS mreže za praćenje satelita.
- *IONosphere EXchange (IONEX)* razmjenski format za modele ionosfere koji se određuju obradom podataka iz GNSS mreže za praćenje satelita. Format je razvijen za razmjenu globalnih karata ionosfere (*Global Ionosphere Maps – GIM*) dobivenih iz analize GNSS opažanja. Pored praćenja svemirskog vremena (*Space Weather*) i analize ionosfere, proizvod omogućuje točnije i preciznije pozicioniranje s pomoću jednofrekvencijskih prijamnika nego što je to slučaj s korištenjem Klobucharova (GPS) ili NeQuick modela (Galileo) za ionosfersku korekciju unutar prijamnika u realnom vremenu. GIM proizvodi u IONEX formatu se računaju u IGS AC i donose procijenjene vrijednosti *Vertical Total Electron Content (VTEC)* koje su dane za pravilnu mrežu točaka (*grid*) u određenim trenucima.
- *ANtenna EXchange (ANTEX)* format s podacima pomaka i varijacija faznih središta geodetskih GNSS antena. Format je razvijen kako bi se olakšalo dokumentiranje i distribucija pomaka faznih središta (*PCO – phase center offsets*) i varijacije faznih središta (*PCV – phase center variations*) za GNSS prijamnike i satelite. Od 2005. godine unutar IGS-a se koriste isključivo podaci o apsolutnim kalibracijama antene dobivenih iz robotskih mjerenja ili iz mjerenja u gluhim komorama (*Anechoic chamber*).
- *Solution INdependent EXchange (SINEX)* format za harmoniziranu razmjenu procijenjenih parametara. Format je izvorno bio osmišljen da olakša razmjenu i distribuciju koordinata stanica, njihovih brzina i Zemaljskih orijentacijskih parametara (EOP) između centara za analizu (AC). Te se veličine rutinski određuju iz globalne IGS mreže primjenom različitih alata. Razmjenski format je stoga bio potreban kako bi omogućio usporedbu i računanje kombiniranih rješenja između centara za analizu. Format je prilagođen za potrebe VLBI, SLR i DORIS tehnika svemirske geodezije. Upravo je kombinacija tih tehnika zajedno s GNSS-om korištena za generiranje ITRF-a. Osnovna SINEX datoteka sadrži koordinate stajališta i parametar rotacije Zemlje zajedno s pomoćnim podacima o stajalištu poput prijamnika i antene, ekscentriciteta i faznim centrima. Dodatno, omogućena je pohrana podataka o kovarijancama ili normalnim jednadžbama kako bi se olakšalo kombinirano rješenje više centara za analizu.

Detalji o razmjenskim formatima, kao i ostalim IGS formatima i standardima, mogu se pronaći na URL 6.

7. Zaključak

RINEX format međunarodni je standard za razmjenu i pohranu GNSS podataka koji se počeo razvijati krajem 1980-ih godina na AIUB-u da bi se od 2013. godine njegov razvoj nastavio pod okriljem IGS-a. Kroz sve to vrijeme format se razvijao od početne verzije RINEX 1 kada je podržavao samo signale GPS satelita pa do posljednje i danas aktualne verzije 4.02 koja nudi podršku za multi-GNSS. Budući da je sudjelovao u razvoju RINEX-a od njegova samog početka pa sve do verzije 3.01, *dr. sc. Wernera Gurtnera* smatramo začetnikom

formata. RINEX se sastoji od tri tipa ASCII datoteka (OBS – opažanja, NAV – emitirane efemeride, MET – meteorološki podaci), a svaka se datoteka sastoji od zaglavlja (*Header*) i sekcije s podacima opažanja (*Body*). Kod starijih verzija formata (RINEX 1 i RINEX 2) podaci zaglavlja kao i podaci s opažanjima su bili ograničeni na retke duljine 80 znakova, dok se od verzije RINEX 3 to ograničenje zadržalo za podatke zaglavlja, a ukinulo za sekciju s podacima opažanja. Od verzije RINEX 3 uvedeni su troznakovni kôdovi opažanih veličina kako bi se one mogle razlikovati po tipu opažanja, nosećim frekvencijama i atributima koji uključuju način praćenja signala i kanale za praćenje. U cilju smanjenja veličine datoteka s opažanjima, Yuki Hatanaka je razvio algoritam kompresije/dekompresije čime je nastao format Compact RINEX.

Od RINEX verzije 3.02 uvedeno je novo, dulje pravilo imenovanja datoteke čime je omogućena efikasnija pohrana i razmjena RINEX podataka posebice u velikim zajednicama poput IGS-a ili EPN-a. Format RINEX datoteka s opažanjima uvelike se koristi u sklopu GPPS CROPOS-a s kojeg se mogu preuzeti datoteke starijih verzija 2.10 i 2.11, ali i novijih verzija 3.02. 3.03 i 3.04. Upravo je na primjeru RINEX ver. 3.04 s podacima prikupljenima na CROPOS CORS RGNF prikazana struktura i sadržaj datoteke s opažanjima. Točka RGNF ima dugu povijest GPS/GNSS opažanja budući da je to točka koja je uspostavljena u prvoj hrvatskoj mjernoj GPS kampanji početkom 1990-ih godina u kojoj su opažanja prikupljena prijamnicima Ashtech LD-XII – prvim geodetskim GPS uređajima na Geodetskom fakultetu i Republici Hrvatskoj. Važnost poznavanja strukture i sadržaja RINEX datoteke s opažanjima za geodetske stručnjake ogleda se ponajprije kroz mogućnost njezina uređivanja (editiranja), što se posebice odnosi na podatke sadržane u zaglavlju datoteke kao što su primjerice visina antene i načina njezina mjerenja.

Literatura

- Adam, J., Augath, W., Boucher, C., Bruyninx, C., Dunkley, P., Gubler, E., Gurtner, W., Hornik, H., Marel, H. V. D., Schlüter, W., Seeger, H., Vermeer, M., Zieliński, J. B. (2000): The European Reference System coming of age, In: Schwarz, K. P. (eds): *Geodesy Beyond 2000*. International Association of Geodesy Symposia, Vol. 121, Springer, Berlin, Heidelberg, https://doi.org/10.1007/978-3-642-59742-8_8.
- AIUB – Astronomical Institute of the University of Bern (2018): User manual of the Bernese GNSS Software, Version 5.2, Rolf Dach, Simon Lutz, Peter Walser, Pierre Fridez (eds), DOI: 10.7892/boris.72297.
- Bačić, Ž. (2009): CROPOS priznanja istaknutim pojedincima i ustanovama, Zbornik radova 1. CROPOS konferencije, Hrvatsko geodetsko društvo i Državna geodetska uprava RH, Zagreb, 11–14.
- Bilajbegović, A., Solarić, M., Bačić, Ž., Ambroš, F., Barković, Đ., Kuhar, M., Cigrovski-Detelić, B., Stepan, V., Stopar, B., Ivković, M., Džapo, M. (1992): Preliminarni rezultati GPS mreže “Zagorje ‘92” i ispitivanje kvalitete dijele postojeće triangulacijske mreže prvog reda, *Geodetski list*, 4, 413–426.

- Gini, F. (2024): The Receiver Independent Exchange Format Version 4.02, International GNSS Service, Pasadena, California, dostupno na: https://files.igs.org/pub/data/format/rinex_4.02.pdf.
- Gurtner, W. (1994): Rinex: The Receiver-Independent Exchange Format, GPS World, srpanj 1994., 48–52.
- Hatanaka, Y. (2008): A compression format and tools for GNSS observation data, Bulletin of the Geographical Survey Institute, 55, 21–30, <https://www.gsi.go.jp/ENGLISH/Bulletin55.html>.
- IGS – International GNSS Service, RINEX WG and RTCM Special Committee 104 (2018): RINEX – The Receiver Independent Exchange Format Version 3.04, dostupno na: <https://files.igs.org/pub/data/format/rinex304.pdf>.
- Janssen, V. (2023): Understanding the RINEX format for GNSS data transfer and storage, Coordinates, Volume XIX, Issue 11, November 2023, 20–27.
- Johnston, G., Riddell, A., Hausler, G. (2017): The International GNSS Service, In: Teunissen, P. J., Montenbruck, O. (eds.): Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, Springer Handbooks, Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1_33, 967–982.
- Langley, R. (1993): The GPS Observables, GPS World, April 1993, 52–59.
- Marjanović, M., Miletić, I., Vičić, V. (2009): CROPOS – prvih šest mjeseci rada sustava, Zbornik radova 1. CROPOS konferencije, Hrvatsko geodetsko društvo i Državna geodetska uprava RH, Zagreb, 15–21.
- Montenbruck, O., MacLeod, K. (2017): Annex A: Data Formats, In: Teunissen, P. J., Montenbruck, O. (eds.): Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, Springer Handbooks, Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1_33, 1207–1231.
- Solarić, M. (2006): Povijesni pregled smanjivanja dimenzija GPS-prijamnika, Geodetski list, 3, 153–171.
- Solarić, M., Bilajbegović, A., Junašević, M., Abroš, F., Cigrovski-Detelić, B., Džapo, M., Ivković, M., Hećimović, Ž., Barković, D., Bačić, Ž., Podunavac, B. (1996): Pregled ostvarenih rezultata na znanstvenom projektu “Osnovni geodetski radovi informacijskog prostornog sustava Republike Hrvatske”, Geodetski list, 1, 29–39.
- Šugar, D., Sučić, P., Bačić, Ž. (2016): Examination of Site Suitability for GNSS Measurements, Proceedings of the the International Symposium on Engineering Geodesy – SIG 2016, Paar, R., Marendić, A., Zrinjski, M. (eds.), 20–22 May 2016, Varaždin, Croatia.
- Šugar, D., Kliman, A., Bačić, Ž., Nevistić, Z. (2023): Assessment of GNSS Galileo Contribution to the Modernization of CROPOS's Services, Sensors, 23, 2466, dostupno na: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/5/2466>.

Mrežne adrese

- URL 1: Korean Air Lines Flight 007,
https://en.wikipedia.org/wiki/Korean_Air_Lines_Flight_007, (10. 9. 2025.).
- URL 2: Gurtner, W., Mader, G. M.: The RINEX Format: Current Status, Future Developments,
<https://www.navcen.uscg.gov/the-rinex-format-current-status-future-developments>, (10. 9. 2025.).
- URL 3: IGS RINEX Committe, <https://igs.org/wg/rinex/>, (10. 9. 2025.).
- URL 4: Werner Gurtner,
https://de.wikipedia.org/wiki/Werner_Gurtner, (10. 9. 2025.).
- URL 5: EUREF Permanent GNSS Network – EPN,
https://www.epncb.oma.be/_documentation/formats/rinex.php, (10. 9. 2025.).
- URL 6: IGS Formats and Standards,
<https://igs.org/formats-and-standards/>, (10. 9. 2025.).
- URL 7: EUREF, <https://www.euref.eu/about-euref>, (10. 9. 2025.).
- URL 8: Trimble CenterPoint RTX Post-Processing Service,
<https://www.trimblertx.com/Home.aspx>, (10. 9. 2025.).
- URL 9: Natural Resources Canada CSRS-PPP,
<https://webapp.csrscs-nrcan-rncan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>, (10. 9. 2025.).
- URL 10: ASCII, <https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII>, (10. 9. 2025.).
- URL 11: Hatanaka kopresija/dekompresija,
<https://terras.gsi.go.jp/ja/crx2rnx.html>, (10. 9. 2025.).
- URL 12: GPPS CROPOS-a, <https://cropos.hr/servisi/gpps>, (10. 9. 2025.).
- URL 13: Trimble Alloy DataSheet,
https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-867350/022506-243G_en-US_Alloy_GNSS_Ref_Receiver_USL_1122.pdf, (10. 9. 2025.).
- URL 14: Trimble Zephyr 3 Geodetic antena,
https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-410894/022543-429G_Antenna_BRO_USL_0817_LR.pdf?_gl=1*tfvhy*_*gcl_*au*OTg4NzI4Nzg0LjE3NTU2ODUzODE, (10. 9. 2025.).
- URL 15: CROPOS GPPS Web portal,
<https://gnss.cropos.hr/Map/SensorMap.aspx>, (10. 9. 2025.).
- URL 16: Convert to Rinex – v4.0.1.9,
<https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1080499/Trimble%20Convert%20to%20Rinex%20-%204.0.1.9%20release%20notes.pdf>, (10. 9. 2025.).
- URL 17: IGS popis s nazivima prijamnika i antena,
<https://files.igs.org/pub/station/general/>, (10. 9. 2025.).
- URL 18: Međunarodna pravila imenovanja IGS opreme,
https://files.igs.org/pub/station/general/rcvr_ant.tab, (10. 9. 2025.).

URL 19: Grafički prikazi antena s fizičkim dimenzijama,
<https://files.igs.org/pub/station/general/antenna.gra>, (10. 9. 2025.).

URL 20: Observation RINEX 3.04 Format,
https://server.gage.upc.edu/gLAB/HTML/Observation_Rinex_v3.04.html,
(10. 9. 2025.).

RINEX Observation Format and CROPOS GPPS

ABSTRACT. The RINEX format is an international standard for storing and exchanging GNSS observation data. Its development began at AIUB in the late 1980s to meet the needs for exchanging observation data collected with GPS receivers from different manufacturers during the first large-scale survey campaign, which aimed to establish the European reference frame EUREF89. The establishment of GNSS constellations, as well as their subsequent upgrades and modernization, required the definition of new format versions (RINEX 2, 3, 4) as well as their updates through subversions (e.g., 2.10, 2.11; 4.01, 4.02). Since version 3.02, the development and maintenance of the RINEX format have been entrusted to the International GNSS Service (IGS), and the rule of assigning long filenames was introduced. The RINEX format consists of ASCII characters and, as such, is readable by both humans and computers. The format consists of three types of files: observation files (OBS), broadcast ephemeris files (NAV), and meteorological data files (MET). Using the example of an observation data file from the CROPOS CORS station RGNF, the structure of RINEX version 3.04 is explained, which consists of a header and a data section (Body), with each observed quantity assigned a corresponding three-character code. Due to space limitations in this article, but also because of its importance for surveyors and geodetic practice, the focus here is placed on the structure and content of the observation (OBS) file. Based on the success of the RINEX format, similar ASCII formats (e.g., ANTEX, IONEX, SINEX) have been developed, which are also being maintained and developed by the IGS.

Keywords: RINEX, GNSS, observation file (OBS), IGS, GPPS CROPOS.

Primljeno / Received: 2025-09-11

Prihvaćeno / Accepted: 2025-09-28

NOVI GEODETSKO-GEOINFORMATIČKI NAZIVI 6

Nakon pet objavljenih priloga s definicijama novih geodetsko-geoinformatičkih naziva pripremili smo za čitatelje Geodetskog lista i šesti. Razlog je ubrzani razvoj tehnologije koji svakodnevno stvara nove nazive. Uključeni su i nazivi iz drugih struka nužni i geodetima.

Svi nazivi poredani su po abecedi. Kada se naziv sastoji od dviju ili više riječi, prva je uvijek imenica. Na primjer *novinarska kartografija* uvrštena je u rječnik kao *kartografija, novinarska*. Zarez znači da je uobičajeni redoslijed riječi obrnut. Na isti način upisani su u rječnik i nazivi na stranim jezicima.

Sinonim nazivu u hrvatskom jeziku označen je s *takoder*. Prednost se daje prvom navedenom nazivu. Ako u stranom jeziku postoje sinonimi, odvojeni su točkom sa zarezom (;).

S *vidi* upućuje se na nazive koji su poslužili u definiciji određenog naziva ili su u uskoj vezi s njim.

U *napomenama* dane su neke dodatne informacije.

analitika učenja

proces prikupljanja, analiziranja i izvještavanja o podacima o učenicima i njihovom okruženju za učenje kako bi se razumjeli i poboljšali ishodi učenja

Napomena: Uključuje korištenje podataka za stjecanje uvida u to kako učenici uče, prepoznavanje područja u kojima imaju poteškoća i prilagođavanje iskustava učenja kako bi se bolje zadovoljile njihove potrebe.

En. analytics, learning

CIM

Vidi: model grada, informacijski

datafikacija

trend u kojem se, s rastom interneta od 1990-ih, procesi u mnogim područjima društva bilježe, pohranjuju i vrednuju digitalnim podacima

En. datafication

Nj. Datafizierung

digitalizacija

primjena digitalnih tehnologija za poboljšanje postojećih procesa, proizvoda i poslovnih modela

Vidi: digitizacija

En. digitalization

Nj. Digitalisierung

digitizacija

proces pretvaranja analognog sadržaja ili podataka u digitalni oblik

Napomena: Za taj proces služili smo se nazivom digitalizacija. Međutim, s ubrzanim razvojem tehnologije, naziv digitalizacija dobiva novo značenje. Digitizacija je dio digitalizacije.

Vidi: digitalizacija

En. digitization

GPT-4V

Vidi: GPT-4 Vision

GPT-4 Vision

multimodalni model koji korisniku omogućuje učitavanje slike kao ulaznih podataka i sudjelovanje u razgovoru s modelom

Napomena: Razgovor može sadržavati pitanja ili upute u obliku upita, usmjeravajući model da izvrši zadatke na temelju unosa slike.

En. GPT-4 Vision; GPT-4V

inteligencija, prostorna umjetna

umjetna inteligencija koja omogućuje strojevima da percipiraju svoje okruženje, prepoznaju objekte i donose odluke na temelju prostornih podataka

Vidi: inteligencija, umjetna (Frančula i dr. 2020)

En. intelligence, spatial artificial; AI, spatial

Fr. intelligence artificielle spatiale

Nj. Intelligenz, räumliche künstliche; KI, räumliche

mreža, rubna

distribuirana računalna arhitektura koja približava računanje i pohranu podataka uređajima koji generiraju i troše podatke, umjesto da se oslanja isključivo na centralizirane poslužitelje u oblaku

Napomena: Takva lokalizirana obrada smanjuje latenciju, minimizira korištenje propusnosti i poboljšava performanse aplikacija i usluga, posebno onih koje zahtijevaju odziv u stvarnom vremenu.

En. network, edge

inteligencija, rubna

integracija mogućnosti umjetne inteligencije i strojnog učenja izravno na rubu mreže, bliže izvoru podataka, umjesto oslanjanja isključivo na centraliziranu obradu u oblaku

Napomena: Taj pristup omogućuje analizu podataka u stvarnom vremenu, brže donošenje odluka i smanjeno oslanjanje na propusnost mreže i infrastrukturu oblaka.

Vidi: mreža, rubna

En. intelligence, edge

Fr. intelligence de pointe

Nj. Edge-Intelligenz

inteligencija, u oblaku

integracija umjetne inteligencije i mogućnosti strojnog učenja unutar okruženja računalstva u oblaku

Napomena: Ta kombinacija omogućuje organizacijama učinkovitu obradu i analizu velikih skupova podataka, izvlačenje praktičnih uvida i automatizaciju složenih zadataka.

karta, duboka

karta koja nadopunjuje osnovnu kartu s nizom drugih kontekstualnih informacija o mjestu, koje je obično teško uključiti u slojeve karte, kao što su (auto)biografija, osobna i kolektivna sjećanja, priče, folklor i prirodna povijest kako bi se stvorio multimedijski, teksturirani osjećaj krajolika i ljudi u njemu

En. map, deep

kartografija, novinarska

grana kartografije koja se bavi kartama u medijima

Napomena: U ranom dijelu dvadesetog stoljeća to je uključivalo novine i časopise, ali se kasnije proširilo na televiziju i druge elektroničke medije.

En. cartography, journalistic

Fr. cartographie journalistique

Nj. Kartographie, journalistische

kartografija, posthumana

Vidi: kartografija, postumana

kartografija, postumana

Takoder: kartografija, posthumana

kartografija koja priznaje umjetnu inteligenciju kao važnog suproizvođača karata i preispituje kartografske prakse koje su povijesno bile usredotočene na ljudsku inteligenciju

Vidi: inteligencija, umjetna (Frančula i dr. 2020)

En. cartography, posthuman

model grada, informacijski

3D model urbanog krajolika u koji se mogu priložiti i pregledavati drugi prostorni i semantički podaci (uključujući podatke u stvarnom vremenu i 3D modele planiranih zgrada i infrastrukture), a simulacijski modeli mogu se pokretati prema različitim scenarijima, npr. analiza sjena, modeli poplava i prometa

Napomena: Iako su informacijski modeli gradova često digitalna zrcala gradskih krajolika – s točnom topologijom i topografijom te realističnim prikazom zgrada i krajolika – većina je daleko od toga da budu digitalni blizanci u smislu sinkrone međusobne veze.

Vidi: blizanac, digitalni (Frančula, Lapaine 2022)

En. model, city information; CIM

potencijal teritorija, inovacijski

sposobnost geografske regije da stvara i uvodi nove ideje, tehnologije i procese koji poboljšavaju gospodarsku učinkovitost i konkurentnost

En. potential of a territory, innovation

Fr. potentiel d'innovation d'un territoire

računalstvo u magli

Takoder: računarstvo u magli

tehnologija koja proširuje računalstvo u oblaku i usluge do ruba mreže korisnika
Napomena: Omogućuje premještanje podataka, aplikacija i drugih resursa bliže korisniku ili tik uz njega.

Vidi: računalstvo u oblaku (Frančula i dr. 2020)

En. fog computing

računarstvo u magli

Vidi: računalstvo u magli

sustav, pozadinski

temeljna tehnologija i infrastruktura koja pokreće prednji dio korisničkog sučelja
 Napomena: Uključuje baze podataka, poslužitelje i aplikacije koje upravljaju obradom i pohranom podataka. Pojam se uglavnom koristi u području razvoja weba i ključan je za održavanje funkcionalnosti mrežnih stranica i korisničkih podataka.

En. system, back-end

Fr. système back-end

učenje, preokrenuto

Također: preokrenuta učionica

pedagoški pristup u kojem je konvencionalni pojam učenja u učionici obrnut tako da se učenici upoznaju s materijalom za učenje prije nastave, a vrijeme u učionici se zatim koristi za produbljivanje razumijevanja u raspravi s vršnjacima i za aktivnosti rješavanja problema koje vode nastavnicima

En. learning, flipped; classroom, flipped

Fr. l'apprentissage inversé

Nj. Lernen, umgedrehtes

Literatura

- AdvanceHE (2025): Starter Tools – Flipped learning,
<https://www.advance-he.ac.uk/knowledge-hub/flipped-learning-0>, (16. 3. 2025.).
- Banafa, A. (2025): Spatial AI: Transforming the World with Intelligent Spatial Understanding, LinkedIn,
<https://www.linkedin.com/pulse/spatial-ai-transforming-world-intelligent-prof-ahmed-banafa-s4t2c>, (2. 2. 2025.).
- Bundesministerium für Wirtschaft and Klimaschutz (2022): Was ist Digitalisierung?
<https://www.de.digital/DIGITAL/Navigation/DE/Lagebild/Was-ist-Digitalisierung/was-ist-digitalisierung.html>, (18. 1. 2025.).
- Clancy, R., Hacking, E. (2023): What Is Fog Computing? Importance, Applications, and Everything You Need to Know, EC-Council,
<https://www.eccouncil.org/cybersecurity-exchange/ethical-hacking/fog-computing-everything-to-know/>, (17. 1. 2025.).
- Čerba, O. (2025): OpenStreetMap as the Data Source for Territorial Innovation Potential Assessment, ISPRS International Journal of Geo-Information, 14, 3, 127,
<https://www.mdpi.com/2220-9964/14/3/127>, (2. 3. 2025.).
- DevX (2023): Back-End System, Technology Glossary,
<https://www.devx.com/terms/back-end-system/>, (6. 3. 2025.).
- Frančula, N., Lapaine, M. (2022): Novi kartografski nazivi / New cartographic terms, Kartografija i geoinformacije, 21, 37, 74-81,
<https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-casopis/312339>, (17. 1. 2025.).
- Frančula, N., Lapaine, M., Jazbec, I.-P. (2020): Kartografski rječnik, Hrvatsko kartografsko društvo, Naklada Dominović,
<https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/knjiga/19366>, (17. 1. 2025.).
- Kitchin, R., Dawkins, O. (2025): Digital twins and deep maps, Transactions of the Institute of the British Geographers, 50, 1,
<https://doi.org/10.1111/tran.12699>, (14. 3. 2025.).

- Lin, Y., Zhao, B. (2025): Posthuman Cartography? Rethinking Artificial Intelligence, Cartographic Practices, and Reflexivity, *Annals of the American Association of Geographers*, 15, 3, 499–512, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24694452.2024.2435920>, (26. 2. 2025.).
- Retscher, G. (2025): Exploring the intersection of artificial intelligence and higher education: opportunities and challenges in the context of geomatics education, *Applied Geomatics*, 17, 1, 49–61, <https://doi.org/10.1007/s12518-024-00602-6>, (18. 3. 2025.).
- Schulten, S. (2015): Journalistic Cartography, M. Monmonier (Ed.), *The History of Cartography, Volume 6, Cartography in the Twentieth Century*, The University of Chicago Press, 706–718, https://press.uchicago.edu/books/hoc/HOC_V6/HOC_VOLUME6_J.pdf, (7. 3. 2025.).
- Thevapalan, A. (2025): GPT-4 Vision: A Comprehensive Guide for Beginners, DataCamp, https://www.datacamp.com/tutorial/gpt-4-vision-comprehensive-guide?dc_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F, (7. 3. 2025.).
- Wikipedia (2025): Datafizierung, <https://de.wikipedia.org/wiki/Datafizierung>, (7. 4. 2025.).
- Zhou, Y., Chen, X. (2025): Edge Intelligence: Edge Computing for 5G and the Internet of Things, *Future Internet*, 17, 3, 101, <https://www.mdpi.com/1999-5903/17/3/101>, (21. 3. 2025.).

Nedjeljko Frančula i Miljenko Lapaine

WORLD SKILLS CROATIA 2025 – DRŽAVNO NATJECANJE UČENIKA STRUKOVNIH ŠKOLA

U šest paviljona Zagrebačkog velesajma, od 9. do 11. travnja 2025. godine, Agencija za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih (ASOO), u okviru ESF projekta „Podrška izvrsnosti, inovativnosti i vidljivosti strukovnog obrazovanja i osposobljavanja“, organizirala je najveći događaj u obrazovanju u Republici Hrvatskoj i najveće strukovno natjecanje u ovom dijelu Europe, *Državno natjecanje učenika strukovnih škola – World-Skills Croatia 2025*.

Ciljevi natjecanja su: predstavljanje talenata i vještina učenika, kvalitete rada njihovih nastavnika i izvrsnost strukovnih škola. Na tom natjecanju više od 400 učenika strukovnih škola, u pratnji nastavnika i mentora natjecalo se u 44 discipline na više od 15 000 m² sajamskog prostora koje je simuliralo radno okruženje. Natjecatelji su se natjecali u širokom rasponu disciplina kao što su Administracija IT sustava, Zidarstvo, Robotika, Kuharstvo, Frizerstvo i mnoge druge, pa tako i *Geodezija*. U organizaciji natjecanja sudjelovale su 31 škola domaćina iz cijele Republike Hrvatske. Geodetska škola iz Zagreba bila je domaćin za natjecateljsku disciplinu *Geodezija*.

Članovi Prosudbenog povjerenstva (PP) za vrednovanje natjecatelja u disciplini Geodezija bili su:

- dr. sc. Antonio Tupek, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, predsjednik,
- izv. prof. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, članica,
- Goran Šurina, dipl. ing. geod., Geodetska škola Zagreb, član,
- Ivana Mlinarić, dipl. ing. geod., Graditeljsko-geodetska škola Osijek, članica i
- Tomislav Debeljak, dipl. ing. geod., Geodetska škola Zagreb, član.

Zadatak Prosudbenog povjerenstva bio je definirati tehnički opis, model zadatka, tablicu ocjenjivanja, zadatak za državno natjecanje te metodama mjerenja i prosudbe vrednovati izvedbu natjecatelja. Zadatak za Državno natjecanje u natjecateljskoj disciplini Geodezija sastojao se od šest modula:

1. Organizacija rada,
2. Komunikacijske vještine i poduzetništvo,
3. Geodetska terenska izmjera,
4. Obrada geodetskih mjerenja,
5. Geodetsko iskolčenje i
6. Dokumentiranje rezultata geodetskih radova.



Slika 1. Natjecatelji u disciplini Geodezija (s lijeva na desno): Marijana Opačak, Nina Šupić, Danijel Radešić, Leon Brnić, Stjepan Hrtica, Dominik Jularić, Jakov Gutzmirtl.

Državnom natjecanju *WorldSkills Croatia 2025* u natjecateljskoj disciplini Geodezija pristupilo je sedam učenika (slika 1). Tijekom tri dana natjecanja, natjecatelji su rješavali različite zadatke koji proizlaze iz modela zadatka (slika 2 i slika 3).



Slika 2. Učenici tijekom natjecanja – prikupljanje podataka.



Slika 3. Učenici tijekom natjecanja – iskolčenje.

Konačan poredak natjecatelja prema ukupnom broju ostvarenih bodova na državnom natjecanju prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Konačan poredak učenika u natjecateljskoj disciplini Geodezija.

Poredak	Ime i prezime natjecatelja	Naziv škole	Ime i prezime mentora
1.	Jakov Gutzmirtl	Graditeljsko-geodetska škola Osijek	Margareta Trconić
2.	Nina Šupić	Graditeljsko-geodetska tehnička škola Split	Ivana Denić
3.	Dominik Jularić	Geodetska škola Zagreb	Željko Budak
4.	Leon Brnić	Građevinska tehnička škola Rijeka	Marijan Đaniš
5.	Marijana Opačak	Srednja škola Matije Antuna Reljkovića Slavonski Brod	Alen Junašević
6.	Danijel Radešić	Tehnička škola Pula	Bojan Bradač
7.	Stjepan Hrtica	Obrtnička i tehnička škola Dubrovnik	Aida Čustović Lučić

Troje prvoplasiranih učenika: Jakov Gutzmirtl, Nina Šupić i Dominik Jularić (slika 4) svojim su rezultatom ostvarili izravan upis na sveučilišni prijediplomski studij Geodezije i geoinformatike na Sveučilištu u Zagrebu – Geodetskom fakultetu ili Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu.



Slika 4. Troje prvoplasiranih učenika s mentorima i članovima prosudbenog povjerenstva (s lijeva na desno): Ivana Mlinarić (PP), Vesna Poslončec-Petrić (PP), Antonio Tupek (PP), Ivana Denić (M), Nina Šupić (N), Margareta Trconić (M), Jakov Gutzmirtl (N), Dominik Jularić (N), Željko Budak (M), Tomislav Debeljak (PP), Goran Šurina (PP).

Tijekom natjecanja, za mentore natjecatelja organizirano je stručno usavršavanje, a u svakoj zoni discipline bile su osmišljene aktivnosti *Isprobaj vještinu* kroz koje su mnogobrojni posjetitelji mogli praktično isprobati svoje geodetske vještine. Tijekom natjecanja broj posjetitelja dosegao je oko 12 000, od čega više od 8000 učenika osnovnih škola iz cijele Republike Hrvatske.

Zahvaljujemo domaćinu ovogodišnjeg natjecanja Geodetskoj školi Zagreb i organizatoru natjecanja Agenciji za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih na lijepom gostoprimstvu.

Tomislav Debeljak i Antonio Tupek

GEOAI – GEOINFORMACIJE I UMJETNA INTELIGENCIJA

Stručni skup

Zagreb i namrežno, 5. 7. 2025.

Stručni skup o geoinformacijama i umjetnoj inteligenciji održan je 5. srpnja 2023. u Zagrebu i namrežno (online). Organizatori su bili Hrvatsko kartografsko društvo i Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Sponzor je bila tvrtka ListLabs d.o.o.



Skup je bio namijenjena svima onima koji žele obnoviti i proširiti svoja znanja i vještine. Skup je bio uvršten u program stručnog usavršavanja ovlaštenih inženjera geodezije, gdje je vrednovan s 8 akademskih sati iz Područja 2. Za skup je bilo prijavljeno 68 sudionika, od kojih je većina sudjelovala namrežno.

Tema stručnog skupa bila je veza umjetne inteligencije s geoinformacijama. Budući da je to tema koja je u današnje doba vrlo aktualna i relativno nova, svi predavači su zamoljeni da na početku svojih izlaganja daju definiciju umjetne inteligencije. Svi su se odazvali toj molbi i rezultat je očekivan: svaki autor imao je svoju definiciju! Naravno, one su međusobno vrlo slične, ali ipak različite. U tome nema ništa neobičnog, jer je to područje koje se tek razvija.

Tu se javlja još jedan problem koji će se riješiti u budućnosti sam od sebe. Riječ je o kratici za umjetnu inteligenciju: AI ili UI? Nadalje, ako je AI, kako se to čita? ai ili ejaj? Jedino što za sada znamo je da su u hrvatskom jeziku kratice muškoga roda. Dakle, premda je umjetna inteligencija ženskoga roda, kratice AI ili UI dekliniraju se kao imenice muškoga roda. Slično kao DGU, DGU-a itd. premda je uprava imenica ženskoga roda.

Na početku stručnoga skupa pozdravne riječi uputili su prof. dr. sc. Mladen Zrinjski, dekan Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, doc. dr. sc. Mladen Maradin, predsjednik Hrvatskoga geografskog društva, izv. prof. dr. sc. Jadranka Brkić-Vejmelka, predsjednica Hrvatskoga geografskog društva – Zadar i Stjepan Miletić, predsjednik Odbora za stručno usavršavanje HKOIG-a.

Slijedila su ova predavanja uz jednu stanku za osvježanje i drugu za ručak:

Ana Kuveždić Divjak: GeoAI u razrednoj nastavi

Vedran Vrhovac: Umjetna inteligencija u planiranju mreže 5. generacije

Adis Hamzić: Integracija umjetne inteligencije s geodezijom i geoinformatikom

Vedran Solarić, Boris Vetma: RTK GNSS prijemnici s AI i VR: Nova era prikupljanja podataka RTK GNSS prijemnicima s kamerama, SLAM 3D skeneri i dronovi, Obrada podataka uz pomoć 3D softvera s AI

Ivana Jarak, Mateo Gašparović: Umjetna inteligencija i daljinska istraživanja
Dubravko Gajski: Umjetna inteligencija u fotogrametriji
Miljenko Lapaine: Umjetna inteligencija i kartografija
Završetak stručnoga skupa.

Dva dana nakon stručnog skupa priređen je ispit znanja. Svrha tog ispita znanja bila je kontrola usvojenih znanja na stručnom skupu. Sudionicima bi trebao pomoći u procjeni vlastitog poznavanja problematike, a organizatorima dati procjenu obavljenoga posla i smjernice za budućnost. Predviđeno je da dva ispitanika s barem 75% točnih odgovora budu nagrađena. Nagrada je popust od 50% na kotizaciju za sudjelovanje na sljedećoj konferenciji u organizaciji Hrvatskoga kartografskog društva. Ovo su bili zadaci s ponudnim odgovorima koji su pripremljeni u obliku Google obrasca. Na početku popisa zadataka napomenuto je da je za neka pitanja ponudeno više točnih odgovora. Točni odgovori su podvučeni.

1. Engleska riječ buffer prema Geodetsko-geoinformatičkom rječniku Frančule i Lapainea na hrvatskom jeziku glasi:

- A) koridor
- B) prolaz
- C) putanja aviona

2. 5G je kratica za

- A) GGGGG
- B) mobilne mreže 5. generacije
- C) 5 GB

3. Može li se umjetna inteligencija integrirati s klasičnim geodetskim metodama?

- A) Možda
- B) Ne
- C) Da

4. SLAM je

- A) kratica za Simultaneous Localization and Mapping
- B) kratica za Simulation Language for Analogue Modelling
- C) ime proizvođača odjeće specijaliziranog za sportsku odjeću (odjeću za jedrenje) sa sjedištem u Genovi

5. Engleska riječ kernel u geoinformatici na hrvatskom jeziku uobičajeno je

- A) sjemenka
- B) zrno
- C) jezgra

6. SVM je

- A) metoda klasifikacije

B) kratica za *support vector machine*

C) matematički postupak na području strojnoga učenja za prepoznavanje uzoraka

7. Primjena umjetne inteligencije u fotogrametriji

A) značajno poboljšava brzinu i točnost interpretacije fotogrametrijskih snimki

B) značajno usporava brzinu interpretacije fotogrametrijskih snimki

C) značajno smanjuje točnost interpretacije fotogrametrijskih snimki

8. Zajednička karakteristika svih računalnih programa za razgovor s korisnicima (chat-botova) je da

A) vrlo brzo odgovaraju na pitanja

B) dobro komuniciraju na hrvatskom jeziku i vrlo su pristojni

C) gotovo redovito haluciniraju

9. Molim napišite s čime niste bili zadovoljni na stručnom skupu? O kojoj temi biste rado saznali nešto više?

Poziv na ispit znanja upućen je na 66 e-adresa. Pozivu se odazvalo 28 sudionika. Svaki točan odgovor nosio je jedan bod. Prema tome moglo se maksimalno prikupiti 14 bodova jer su na tri pitanja bila ponuđena tri točna odgovora.

Najlakši zadaci bili su 2. i 7. na koje su svi ispitanici dali točne odgovore.

Najteži zadatak bio je 4. jer vjerojatno većina ispitanika nije prepoznala da su u tom zadatku ponuđena tri točna odgovora, premda je na početku ispita bilo navedeno da neka pitanja imaju više točnih odgovora.

Najlošiji ispitanik prikupio je 6 bodova ili 43%.

Nitko nije uspio prikupiti svih 14 bodova. Čestitamo ispitanicima koji su prikupili 12 i 13 bodova i koje Hrvatsko kartografsko društvo nagrađuje s popustom od 50% na kotizaciju za sudjelovanje na sljedećoj konferenciji u organizaciji Hrvatskoga kartografskog društva. To su:

Tomislav Debeljak (86%) i Miroslav Trgovčević (93%).

Posljednje pitanje koje nije bodovano, nego se tražilo mišljenje o stručnom skupu i prijedlog teme za neki od idućih stručnih skupova u organizaciji Hrvatskoga kartografskog društva. Ovo su svi prikupljeni odgovori:

1. Detaljnija priča o korištenju umjetne inteligencije u geodetskim instrumentima.
2. Nemam zamjerki, obrada velikih količina podataka s AI
3. Bilo je malo problema oko rasporeda izlaganja predavača i nije se poštovao zadani vremenski okvir pa nije bilo prostora za pitanja.
4. Stručni skupom sam zadovoljna. Teme vezane za korištenje programa koji koriste umjetnu inteligenciju vezano za kartografiju.
5. Bez obzira koju definiciju UI koristili, neki predavači nisu razlikovali kvalitetno programiranje i UI.
6. AI daje odgovore o sebi. Da li to znači da je svjesna kako da ostane dobar sluga, a ne postane zao gospodar? Aksiom: ne nauditi ljudskom stvorenju, da li postoje

garancije za to?

7. Predavanje i teme su bile vrlo zanimljive.
8. Zanimljive su bile radionice za djecu, ali ipak to ne bih uvrstila u ova predavanja.
9. Zanima me općenito primjena umjetne inteligencije u svim područjima znanosti, kao i u nekim specifičnim područjima geodezije, sukladno mogućnostima. Zahvaljujem.
10. Poštovani profesore, teme su bile zanimljive, a ja bih rado saznao više o povezanosti AI-ja i katastarske geodezije, npr. kreiranje ili definiranje katastarskih granica ili građevnih čestica na način da se pomoću AI prouči važeći prostorni plan na lokaciji, time se kreiraju oblici i veličina građevnih čestica i internih prometnica u postavljenje nekih osnovnih uvjeta investitora, zatim udaljenost buduće granice od glavne prometnice na način da AI možda prepozna koji je to 1 i kolika je potrebna širina prometnice na toj lokaciji. Uglavnom nešto u tom smjeru. Zahvaljujem na Vašem vremenu. Lijepi pozdrav, Goran Kaurić
11. Skup je dobro pokrio temu. Sretno u organiziranju sljedećeg skupa.

Na temelju navedenih mišljenja i odgovora možemo zaključiti da skup u cjelini može dobiti zadovoljavajuću ocjenu uz uvažavanje dobronamjernih savjeta za poboljšanja. Tema sljedećeg skupa trebala bi ponovno uključiti umjetnu inteligenciju, jer je to novo područje koje se vrlo brzo razvija i koje postavlja niz otvorenih pitanja općenito, a posebno u području geoinformacija.

Zahvaljujemo:

Svim sudionicima koji su poslušali predavanja i nadam se, naučili nešto novo.

Svim predavačima koji su se odazvali pozivu i podijelili svoja znanja i iskustva.

Suorganizatoru Geodetskom fakultetu na čelu s dekanom prof. dr. sc. Mladenom Zrinjskim.

Sponzoru tvrtki ListLabs d.o.o. i direktoru mr. sc. Draganu Divjaku.

Članovima Organizacijskog odbora (abecednim redoslijedom): Mariji Brajković, Miji Maras, Dubravki Mlinarić, Marini Viličić, Jurici Jagetiću, Hrvoju Marinoviću, Mariju Seničiću i Krunoslavu Špoljaru.

Miljenko Lapaine

DODIJELJENE NAGRADE ZAPOSLENICIMA GEODETSKOG FAKULTETA ZA AK. GOD. 2024./2025.

Svečana dodjela nagrada zaposlenicima Geodetskog fakulteta održana je 26. rujna 2025. na svečanoj sjednici Fakultetskog vijeća, koja je održana povodom obilježavanja Dana Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Nagrade zaposlenicima dodijeljene su u jednoj kategoriji.

Dobitnici Nagrade za objavljeni znanstveni rad (N3) Geodetskog fakulteta za ak. god. 2024./2025. jesu:

u znanstvenom području tehničkih znanosti, znanstvenom polju geodezija:

- izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić
- izv. prof. dr. sc. Marko Pavasović i Antonio Banko, mag. ing. geod. et geoinf.,

u ostalim znanstvenim područjima:

- dr. sc. natur. Karmen Martinić, mag. phys.-geophys.

Nagrade je zaposlenicima Geodetskog fakulteta uručio dekan prof. dr. sc. Mladen Zrinjski. Čestitamo zaposlenicima Geodetskog fakulteta na dobivenim nagradama.

Mladen Zrinjski

DOBITNICI NAGRADE GEODETSKOG FAKULTETA ZA AK. GOD. 2024./2025.

Svečana dodjela Nagrade Geodetskog fakulteta najboljim studentima za postignuti izvrstan uspjeh održana je 26. rujna 2025. na svečanoj sjednici Fakultetskog vijeća, koja je održana povodom obilježavanja Dana Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Dobitnici Nagrade Geodetskog fakulteta za ak. god. 2024./2025. jesu:

Sveučilišni prijediplomski studij Geodezija i geoinformatika

- I. godina studija: Domagoj Slipac
- II. godina studija: Jan Jertec
- III. godina studija: Karlo Maletić i Matija Medi

Sveučilišni diplomski studij Geodezija i geoinformatika***Usmjerjenje: Geodezija***

- I. godina studija: Iva Krmek
- II. godina studija: Matej Rakitić i Antonia Božanić

Usmjerjenje: Geoinformatika

- I. godina studija: Marko Pintarić
- II. godina studija: Goran Herceg

Nagradu Geodetskog fakulteta studentima je uručio prodekan za nastavu i studente izv. prof. dr. sc. Mateo Gašparović.

Čestitamo studenticama i studentima na dobivenoj Nagradi Geodetskog fakulteta.

Mladen Zrinjski

SVEUČILIŠNI PRVOSTUPNICI (BACCALAUREUSI) INŽENJERI GEODEZIJE I GEOINFORMATIKE

Na sveučilišnom prijediplomskome studiju Geodezija i geoinformatika na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, dana 16. srpnja 2025. godine, Završni ispit položilo je 28 pristupnika i time su ostvarili akademski naziv sveučilišna prvostupnica (baccalaurea) inženjerka geodezije i geoinformatike, odnosno sveučilišni prvostupnik (baccalaureus) inženjer geodezije i geoinformatike.

Pregled sveučilišnih prvostupnika inženjera geodezije i geoinformatike na sveučilišnom prijediplomskome studiju Geodetskog fakulteta u ak. god. 2024./2025.:

16. srpnja 2025.

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| ▪ Tomislav Balentović | ▪ Matija Medi |
| ▪ Ela Bilić | ▪ Samanta Mendiković |
| ▪ Matej Bošković | ▪ Ema Perić |
| ▪ Domagoj Brkić | ▪ Vice Puhalo |
| ▪ Ana-Marija Cvitanović | ▪ Patrik Ružić |
| ▪ Dominik Domitrović | ▪ Klara Sekendek |
| ▪ Prošper Gurdulić | ▪ Luka Skenderović |
| ▪ Grgur Hajdari | ▪ Moreno Škopac |
| ▪ Stipe Knežević | ▪ Andrej Tometić |
| ▪ Helena Komorčec | ▪ Tara Verbanac |
| ▪ Marina Kovačević | ▪ Ivan Vidojević |
| ▪ Marko Lupić | ▪ Veronika Vučić |
| ▪ Karlo Maletić | ▪ Natali Vulić |
| ▪ Suzana Mandac | ▪ Miho Zelen |

Kratice za ovaj akademski naziv je: univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

Čestitamo novim sveučilišnim prvostupnicima inženjerima geodezije i geoinformatike.

Mladen Zrinjski

SVEUČILIŠNI MAGISTRI INŽENJERI GEODEZIJE I GEOINFORMATIKE

Na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, dana 4. srpnja, 5. rujna i 19. rujna 2025. godine, na sveučilišnom diplomskom studiju Geodezija i geoinformatika diplomiralo je 37 pristupnika i time su ostvarili akademski naziv sveučilišna magistra inženjerka geodezije i geoinformatike, odnosno sveučilišni magistar inženjer geodezije i geoinformatike.

Pregled sveučilišnih magistara inženjera geodezije i geoinformatike na sveučilišnom diplomskom studiju Geodezija i geoinformatika Geodetskog fakulteta:

Pristupnik Naslov diplomskog rada	Datum obrane, mentor
<i>Antea Šimić</i> "Analiza pouzdanosti mjerenja pametnim uređajima"	4. 7. 2025., izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić
<i>Sara Turčinović</i> "Primjena podataka prikupljenih termalnom kamerom u svrhu inspekcije zgrada"	4. 7. 2025., doc. dr. sc. Vanja Miljković
<i>Karlo Čuljak</i> "Primjena prostornih baza podataka za detekciju lokacije slike upotrebom vektorske sličnosti"	4. 7. 2025., izv. prof. dr. sc. Mario Miler
<i>Ema Kardum</i> "Primjena mobilnog ViDOC skenera u dokumentiranju barkajolskog guca – tradicijskog drvenog broda"	4. 7. 2025., izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić
<i>Ana Bupić</i> "Razvoj algoritma za analizu urbanizacije i procjenu starosti zgrada primjenom satelitskih i zračnih snimaka"	4. 7. 2025., izv. prof. dr. sc. Mateo Gašparović
<i>Ivan Roko Josić</i> "Primjenjivost viDoc uređaja u zaštiti kulturne baštine: dokumentiranje izvedenog stanja građevine"	4. 7. 2025., izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić
<i>Roberto Bešker</i> "Analiza stanja vegetacije nakon požara Camp Fire (Kalifornija) 2018. godine"	4. 7. 2025., izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić
<i>Matej Rakitić</i> "Prepoznavanje djelovanja dva ometača (J3 i J4) GNSS signala na referentne stanice CROPOS sustava"	4. 7. 2025., prof. dr. sc. Željko Bačić
<i>Matija Matijević</i> "GNSS RTK metoda mjerenja u uvjetima pojačane aktivnosti ionosfere"	4. 7. 2025., izv. prof. dr. sc. Danijel Šugar
<i>Nikolina Varga</i> "Analiza utjecaja indeksa zelene infrastrukture na vrijednost nekretnine u Gradu Zagrebu"	4. 7. 2025., izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić

<i>Klaudia Korpar</i> "Određivanje indeksa pješačke prohodnosti korištenjem lidar podataka na primjeru grada Zaboka"	4. 7. 2025., izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić
<i>Filip Pavlović</i> "Usporedba određivanja visina točaka geodetske mreže posebne namjene primjenom različitih geodetskih metoda niveliranja i njihovih kombinacija"	4. 7. 2025., prof. dr. sc. Đuro Barković
<i>Petar Lozo</i> "Nadzirana klasifikacija zemljišnog pokrova grada Makarske na osnovi WV-snimki"	5. 9. 2025., doc. dr. sc. Luka Rumora
<i>Sara Lozić</i> "Analiza godišnjih promjena NDVI-a na području Parka prirode Biokovo"	5. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić
<i>Ivo Moretić</i> "Primjena sustava bespilotne letjelice u izradi 3D modela objekta kulturne baštine"	5. 9. 2025., prof. dr. sc. Mladen Zrinjski
<i>Matej Mešin</i> "Analiza utjecaja gradnje interpoliranog objekta na visinske pomake postojeće građevine"	5. 9. 2025., prof. dr. sc. Mladen Zrinjski
<i>Eleonora Plazonić</i> "Integracija prostorno-vremenskih podataka za analizu kvalitete života u urbanim područjima grada Splita"	5. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić
<i>Lucija Bartulović</i> "Detekcija razmjera urbanizacije Grada Splita od 2017. do 2023. godine"	5. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić
<i>Klara Knežević</i> "Primjena automatiziranih modela procjene vrijednosti nekretnina na primjeru Arvio softvera"	5. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić
<i>Ema Mataija</i> "Interaktivna internetska karta lokacija Podunavskih konjanika"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić
<i>Luka Križanac</i> "Razlučivost interferencije GNSS signala uzrokovane različitim utjecajima (ionosfera, GNSS ometač) na referentne stanice CROPOS sustava"	19. 9. 2025., prof. dr. sc. Željko Bačić
<i>Ivan Pavao Vlaić</i> "Prostorno-vremenska analiza gradova Šibensko-kninske županije"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić
<i>Petra Prlić</i> "3D kartografska vizualizacija sakralnih objekata u Sjevernoj Hrvatskoj"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić
<i>Nikolina Mujan</i> "Interaktivna tematska kartografija u evidentiranju oštećenja kulturne baštine"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić

<i>Doris Jambrišak</i> "Klasifikacija podataka za DMR strojnim učenjem"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski
<i>Elizabeta Topić</i> "Praćenje klizišta bespilotnim letjelicama"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski
<i>Ljiljana Šimić</i> "Fotogrametrijsko praćenje klizišta"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski
<i>Mari Plećaš</i> "Interaktivna turistička karta otoka Zlarina"	19. 9. 2025., prof. dr. sc. Robert Župan
<i>Ružica Šarić</i> "Kartiranje opožarenih područja korištenjem satelitskih snimaka za područje Hrvatske"	19. 9. 2025., prof. dr. sc. Robert Župan
<i>Paola Rubin</i> "Interaktivna turistička karta grada Trogira"	19. 9. 2025., prof. dr. sc. Robert Župan
<i>Ante Tomaš</i> "Razvoj metode za klasifikaciju pokrova zemljišta temeljem podataka snimljenih 360 kamerom"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Mateo Gašparović
<i>Dino Žigulić</i> "Detekcija, analiza i kvantifikacija priobalnih izvora na području Kvarnerskog zaljeva"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Mateo Gašparović
<i>Marta Rakitić</i> "Kombinacija multisenzorskih satelitskih platformi pri analizi površinskih deformacija tla na zagrebačkom području"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Ante Marendić
<i>Josip Pinjatela</i> "Procjena prostorne distribucije urbane populacije u Hrvatskoj iz LiDAR podataka"	19. 9. 2025., prof. dr. sc. Damir Medak
<i>Antonia Božanić</i> "Digitalni turistički vodič: Interaktivna multimedijaska karta otoka Visa"	19. 9. 2025., prof. dr. sc. Robert Župan
<i>Antonio Gojak</i> "Razvoj sustava za projekcijsko preslikavanje prostornih podataka na sferu"	19. 9. 2025., doc. dr. sc. Ana Kuveždić Divjak
<i>Ivan Turić</i> "Razvoj algoritma za analizu urbanizacije i procjenu starosti zgrada u radu Zagrebu primjenom satelitskih i zračnih snimaka"	19. 9. 2025., izv. prof. dr. sc. Mateo Gašparović

Kratice za ovaj akademski naziv je: univ. mag. ing. geod. et geoinf.

Čestitamo novim sveučilišnim magistrima inženjerima geodezije i geoinformatike.

Mladen Zrinjski

ALATI ZA MJERENJE POVRŠINA GOOGLE EARTHA I GOOGLE MAPSA I UMJETNA INTELIGENCIJA

Razmatrajući problematiku određivanja površina mjerenjem na geografskim kartama Frančula i dr. (2021b) dokazali su da alati za mjerenje površina na kartama *Google Eartha* i *Google Mapsa* daju površine poligona oslobođene utjecaja deformacija kartografskih projekcija.

Budući da *Google* ne objavljuje podatke o načinu rada navedenih alata, Frančula i Lapašine (2021a) iznose pretpostavku da se površine poligona mjerenih na kartama *Google Eartha* računaju na elipsoidu. Tu pretpostavku dokazuju podacima o mjerenju površina dvaju jednakih geodetskih četverokuta duljina stranica oko 1100 km. Iako je jedan četverokut u sredini karte, a drugi blizu njezina ruba, mjerenjem su dobivene približno jednake površine, pri čemu je poligon na karti u blizini njezina ruba gotovo upola manji od poligona u sredini karte.

Zanima nas što o radu tih alata zna umjetna inteligencija. Stoga smo ChatGPT-ju, DeepSeeku, Groku, Perplexityju i Geminiju postavili pitanje: Da li alati za mjerenje površina *Google Eartha* i *Google Mapsa* daju površine opterećene deformacijama kartografskih projekcija ili su oslobođene njihova utjecaja?

Iz njihovih odgovora izdvojili smo ono najvažnije i stavili pod navodnike te komentirali njihove tvrdnje. Dijelove njihovih odgovora pisane zadebljanim slovima zamijenili smo običnim kurzivom i nismo ispravljali jezične pogreške.

ChatGPT

„Alati za mjerenje površina u *Google Earthu* i *Google Mapsu* daju rezultate koji su djelomično opterećeni deformacijama kartografskih projekcija, ali ne u jednakom stepenu i zavisi o tome koji alat koristite i kako ga koristite.

1. *Google Earth*

- *Google Earth (desktop verzija, tzv. Google Earth Pro)* koristi 3D model Zemlje i mjeri površine na osnovu elipsoida (WGS 84), odnosno modela zakrivljene Zemlje.
- Kada koristite alat za mjerenje površine u Earth Pro:
 - Površina se računa na zakrivljenoj površini Zemlje, ne na ravnoj projekciji.
 - Dakle, rezultati su oslobođeni većine tipičnih deformacija kartografskih projekcija koje se javljaju kod ravnih karata.
 - Ovo mjerenje je prilično precizno, pogotovo za manje i srednje površine.

2. *Google Maps*

- *Google Maps* koristi *Web Mercator projekciju* (EPSG:3857), koja je vrlo česta u web mapama.
- Ako mjerite površinu putem desnog klika > “*Measure distance*” i crtate poligon:
 - Površina se računa na osnovu koordinata, ali uz određeni utjecaj projekcije, jer je sve prikazano na ravnoj karti.
 - Deformacije su veće što ste dalje od ekvatora i za veće površine.“

Naš komentar: Već prva rečenica u kojoj navodi da navedeni alati „daju rezultate koji su djelomično opterećeni deformacijama kartografskih projekcija“ nije jasna. Ili su opterećeni deformacijama ili nisu. Za *Google Earth Pro* tvrdi: „rezultati su oslobođeni većine tipičnih deformacija kartografskih projekcija“ i u nastavku: „Ovo mjerenje je prilično precizno, pogotovo za manje i srednje površine.“ Za *Google Maps* navodi: „Površina se računa na osnovu koordinata, ali uz određeni utjecaj projekcije, jer je sve prikazano na ravnoj karti.“ i u nastavku: „Deformacije su veće što ste dalje od ekvatora i za veće površine“. Sve navedeno nije točno. Frančula (2020) dokazao je da alati za mjerenje površina *Google Eartha* i *Google Mapsa* daju površine oslobođene utjecaja deformacija kartografskih projekcija, neovisno o položaju područja na karti i njegovoj veličini. Dobivene površine opterećene su jedino pogreškama mjerenja.

DeepSeek

„Alati za mjerenje površina u *Google Earthu* i *Google Mapsu* koriste različite pristupe u ovisnosti o projekciji i načinu prikaza:

1. *Google Earth*

- Koristi *3D globus* (elipsoidni model Zemlje, WGS84), što omogućuje točnije mjerenje površina jer ne ovisi o kartografskim projekcijama.
- Površine su *oslobođene deformacija projekcija* jer se mjere direktno na elipsoidnoj površini.
- *Točnost* je veća, posebno za velike površine (npr. države, jezera, šume).

2. *Google Maps (2D mod)*

- U osnovnom 2D prikazu koristi *Mercator projekciju*, koja izobličuje površine (povećava ih blizu polova, a smanjuje blizu ekvatora).
- Mjerene površine su opterećene deformacijama projekcije, što znači da će rezultati biti manje točni, pogotovo za veće površine.“

Naš komentar: Većina onoga što tvrdi DeepSeek je pogrešno. Tvrdi da su u *Google Earthu* površine „oslobođene deformacija projekcija“ jer se mjere direktno na elipsoidnoj površini.“ Površine se mjere na kartama *Google Eartha*, a računaju na elipsoidu. Nejasno je zašto je točnost veća za velike površine. Za *Google Maps* pogrešno tvrdi da su površine opterećene deformacijama projekcije (vidi naš komentar za ChatGPT).

Grok

„Alati za mjerenje površina u *Google Earthu* i *Google Mapsu* daju površine *oslobođene utjecaja deformacija kartografskih projekcija*.

Oba alata koriste geodetske koordinate na elipsoidu (referentna ploha Zemlje, obično WGS84), a ne na sferi, za izračunavanje duljina i površina. To znači da mjerenja nisu opterećena deformacijama koje nastaju zbog projekcije, poput web-Mercatorove projekcije korištene u *Google Mapsu*. Na primjer, mjerenje površine Grenlanda u *Google Mapsu* daje vrijednost (2.146.522 km²) vrlo blisku stvarnoj površini (2.166.086 km² prema Wikipediji), što potvrđuje da su rezultati izračunati na elipsoidu, a ne na projiciranoj ravni gdje bi deformacije značajno iskrivile površinu (npr. Grenland izgleda gotovo velik kao Afrika u web-Mercatorovoj projekciji, iako je 14 puta manji).

Dakle, unatoč tome što su karte vizualno prikazane u projekciji koja ima deformacije

(web-Mercator za *Google Maps* ili opća perspektivna projekcija za *Google Earth*), alati za mjerenje koriste geodetske izračune na elipsoidu, čime se eliminira utjecaj deformacija projekcije.“

Naš komentar: Citirali smo cjeloviti odgovor Groka. Gotovo sve što je napisao je točno. Jedino nije objasnio kako mjerenja na kartama *Google Eartha* i *Google Mapsa* omogućuju računanja na elipsoidu. Trebalo je dodati da klikanjem točaka duž granice područja, alati bilježe geodetske koordinate tih točaka na elipsoidu (u *Google Earthu* te su koordinate vidljive uz donji rub ekrana). Primjere koje Grok navodi o površini Grenlanda preuzeo je iz teksta potpisnika ovog prikaza (Frančula 2020).

Perplexity

„Alati za mjerenje površina u *Google Earthu* i *Google Mapsu* ne daju rezultate opterećene deformacijama kartografskih projekcija, već koriste geodetske izračune na elipsoidu Zemlje. Ovo je ključno kako bi se izbjegle pogreške uzrokovane projekcijskim izobličenjima, posebno kod velikih područja ili udaljenosti¹³⁶.“

Naš komentar: Ne objašnjava kako mjerenja na karti omogućuju računanje na elipsoidu. Vidi *Naš komentar* u odjeljku o Groku.

Gemini

„Alati za mjerenje površina u *Google Earthu* i *Google Mapsu* nastojanjem su oslobođeni utjecaja kartografskih projekcija u smislu da izračunavaju površine na temelju trodimenzionalnog modela Zemlje (elipsoida), a ne na temelju dvodimenzionalne projekcije.

Međutim, važno je razumjeti nekoliko ključnih stvari:

Kako funkcioniraju alati za mjerenje?

- *Google Earth:* Kada mjerite površinu u *Google Earthu*, alat računa površinu na virtualnoj trodimenzionalnoj sferi/elipsoidu Zemlje. To znači da pokušava dati “stvarnu” površinu na globusu, a ne iskrivljenu površinu koja bi proizašla iz ravne projekcije.
- *Google Maps:* Iako *Google Maps* koristi Web Mercator projekciju za prikaz karte (koja jako izobličuje veličinu područja udaljenih od ekvatora, npr. Grenland izgleda puno veći nego što jest), *kada koristite alat za mjerenje površine, on također nastoji izračunati površinu na temelju sfernog modela Zemlje, a ne na temelju izobličene 2D projekcije.*“

Naš komentar: Riječ „nastojanjem“ u prvoj rečenici nepravilno je napisana, ali i suvišna. U odjeljku o *Google Earthu* nije jasno računaju li se površine na sferi ili elipsoidu. U sljedećoj rečenici suvišna je riječ „pokušava“ jer ako nešto pokušava možda i ne uspije. U odjeljku o *Google Mapsu* pogrešno piše da se površina računa na temelju sfernog modela Zemlje, umjesto elipsoidnog. Ni Gemini ne objašnjava kako mjerenja na karti omogućavaju računanja na elipsoidu. Vidi *Naš komentar* u odjeljku o Groku.

Na kraju ovog prikaza možemo zaključiti da računalni programi za razgovor s korisnicima (*chatbotovi*), kao što su ChatGPT, DeepSeek, Grok, Perplexity i Gemini još ne razumiju i ne razlikuju neke osnovne pojmove iz područja geodezije i geoinformatike. Možda bi im trebalo postavljati puno jednostavnija pitanja, a složenija ostaviti za budućnost. Da ne bude mo prestrogi, treba priznati da je Grokov odgovor na postavljeno pitanje bolji od ostalih.

Literatura

- Frančula, N. (2020): Measuring Lengths and Areas in Google Maps and Google Earth / Mjerenje duljina i površina u Google Mapsu i Google Earthu, *Kartografija i geoinformacije*, 19, 33, 114–119, <https://hrcak.srce.hr/243433>, (28. 5. 2025.).
- Frančula, N., Lapaine, M. (2021a): O novom pristupu određivanja površina s karata / On the New Approach to Determining Areas from Maps, *Kartografija i geoinformacije*, 20, 36, 104–107, <https://hrcak.srce.hr/clanak/443776>, (28. 5. 2025.).
- Frančula, N., Lapaine, M., Župan, R., Kljajić, I., Poslončec-Petrić, V., Vinković, A., Cibilić, I. (2021b): Determining Areas from Maps, *Geodetski list*, 75 (98), 4, 365–379, (<https://hrcak.srce.hr/272215>).

Nedjeljko Frančula i Miljenko Lapaine

OSVRT NA TRI ČASOPISA NAMIJENJENA PRIMJENI UMJETNE INTELIGENCIJE U GEOZNANOSTIMA I OBRAZOVANJU

Google Scholar pronalazi 240 000 radova s *artificial intelligence* u naslovu. Prvih osam radova objavljeno je 1950., a 2025. do 6. kolovoza 40 600. Nakon što je 30. studenoga 2022. javnosti postao besplatno dostupan konverzacijski program (*chatbot*) ChatGPT, interes za umjetnu inteligenciju naglo je porastao. U ovom kratkom osvrtu skrećem pozornost na tri časopisa namijenjena primjeni umjetne inteligencije u geoznanostima i obrazovanju. Za svaki časopis naveo sam članke, za koje smatram, da mogu biti od interesa geodetima. Svi citirani članci dostupni su u otvorenom pristupu.

Artificial Intelligence in Geosciences

<https://www.sciencedirect.com/journal/artificial-intelligence-in-geosciences/issues>

Časopis objavljuje članke iz područja fundamentalnih i primijenjenih istraživanja koji opisuju praktičnu primjenu metoda umjetne inteligencije u područjima geologije, fizike stijena, seizmičnosti, hidrologije, ekologije, morskih geoznanosti, planetarne znanosti, okoliša, vulkanologije, oceanografije, daljinskog istraživanja i GIS-a te srodnih područja. Izdavač časopisa je Elsevier, izlazi od 2020, uvršten je u Web of Science (ESCI), a objavljuje u otvorenom pristupu.

- S. Priscillia, C. Schillaci, A. Lipani: Flood susceptibility assessment using artificial neural networks in Indonesia, 2, 2021, 215–222, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666544122000090>
- C. E. Dum Dumaya, J. S. Cabrera: Determination of future land use changes using remote sensing imagery and artificial neural network algorithm: A case study of Davao City, Philippines, 4, 2023, 111–118, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666544123000254>
- J. Pwavodi, A. U. Ibrahim, P. Coston Pwavodi, F. Al-Turjman, A. Mohand-Said: The role of artificial intelligence and IoT in prediction of earthquakes: Review, 5, 2024, 100075, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666544124000169>
- M. Meadows, K. Reinke, S. Jones: Explaining machine learning models trained to

predict Copernicus DEM errors in different land cover environments, 6, 2025, 2, 100141, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666544125000371>

Computers and Education: Artificial Intelligence

<https://www.sciencedirect.com/journal/computers-and-education-artificial-intelligence/issues>

Časopis ima za cilj pružiti svjetsku platformu istraživačima, programerima i edukatorima za predstavljanje svojih istraživanja, razmjenu novih ideja i demonstraciju novih sustava i pedagoških inovacija na istraživačke teme vezane uz primjenu umjetne inteligencije u obrazovanju. Izdavač je Elsevier, a izlazi od 2020. u otvorenom pristupu.

X. Tan, G. Cheng, M. H. Ling: Artificial intelligence in teaching and teacher professional development: A systematic review, Volume 8, June 2025, Article 100355, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X24001589>

J. van Niekerk, P. M. J. Delpont, Iain Sutherland: Addressing the use of generative AI in academic writing, Volume 8, June 2025, Article 100342, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X24001450>

F. Valeri, P. Nilsson, A-M. Cederqvist: Exploring students' experience of ChatGPT in STEM education, Volume 8, June 2025, Article 100360, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X24001632>

International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)

<https://link.springer.com/journal/40593/volumes-and-issues>

Časopis objavljuje radove koji se bave primjenom umjetne inteligencije u obrazovanju. Cilj mu je pomoći u razvoju principa za dizajn računalnih sustava učenja. Njegova je pretpostavka da takvi principi uključuju modeliranje i predstavljanje relevantnih aspekata znanja, prije implementacije ili tijekom izvršenja, te stoga zahtijevaju primjenu tehnika i koncepata umjetne inteligencije. Izdavač je Springer, a objavljuje se u suradnji s Međunarodnim društvom za umjetnu inteligenciju u obrazovanju (IAIED). Izlaze četiri broja godišnje, a na mrežnim stranicama časopisa nalaze se brojevi od 23. godišta objavljenog 2013. U Web of Science (ESCI) uvršten je od 2013.

A. Gandolfi: GPT4 in Education: Evaluating Aptness, Reliability, and Loss of Coherence in Solving Calculus Problems and Grading Submissions, 35, 2025, 1, 367–397, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-024-00403-3>

Nedjeljko Frančula

SUVREMENI POGLED NA GEOMATIKU

Geomatika je suvremena nadogradnja tradicionalne geodetske izmjere i kartografije te pripadajućih stručnih vještina, pri čemu ključnu ulogu imaju informacijsko-komunikacijske tehnologije i procesi digitalizacije. Definira se kao interdisciplinarno područje koje integrira postupke prikupljanja, pohrane, obrade, modeliranja, analize i distribucije geoprostornih, tj. georeferenciranih podataka i informacija. Za provedbu navedenih postupaka nužna su specijalizirana znanja i vještine iz sljedećih područja: projektiranje geodetskih izmjera i mjernih kampanja; algoritmi za obradu, kalibraciju, vrednovanje i kartografsku vizualizaciju podataka; tehnološke značajke mjernih instrumenata i senzorskih sustava; te programska rješenja i informacijsko-komunikacijska infrastruktura.

Geomatika omogućuje produkciju, vrednovanje i kartografski prikaz geoprostornih podataka, čime se osigurava pružanje usluga usklađenih s društvenim potrebama. Neovisno o primjeni, temeljna zadaća geomatike jest izrada kartografskih prikaza. Karte su službeni, vjerodostojni i točni 2D, 2,5D ili 3D modeli stvarnog svijeta, nužne za potporu širokom spektru ljudskih djelatnosti. One mogu obuhvaćati različite sastavnice okoliša – kopno, vode, atmosferu – te potencijalno i izvanzemaljske prostore.

Geomatika pruža georeferencirano, vrednovano i znanstveno utemeljeno znanje koje je od temeljne važnosti za sve discipline i istraživanja povezana s okolišem te za potrebe prostornog planiranja i upravljanja prostorom.

U okviru geoprostorne umjetne inteligencije (GeoAI), geomatička zajednica pozvana je pažljivo pratiti proces, moguće kroz kontinuiranu usporedbu rezultata umjetne inteligencije s tradicionalnijim, osiguravajući snažno razumijevanje te tehnologije. Postoje neki prioriteti, na primjer, hitno je potrebno uskladiti tradicionalnu geomatičku terminologiju (u smislu i značenju) i onu iz informacijsko-komunikacijskog konteksta, odakle umjetna inteligencija dolazi. Također se moraju razmotriti stvarna poboljšanja umjetne inteligencije u odnosu na uobičajene metode. Osim toga, očuvanje odgovarajuće razine znanja o domeni (geomatici), unatoč pristupima temeljenim na umjetnoj inteligenciji, mora se osigurati i nastaviti prenositi na nove generacije.

U okviru građanske znanosti (*citizen science*), vrijedi naglasiti da se pristup prostornim podacima nesumnjivo širi na nove i raznolike korisničke zajednice koje su pokazale da mogu sudjelovati u proizvodnji i korištenju podataka. To građanske znanstvenike približava geomatici, omogućujući im suradnju unutar zajedničkih znanstvenih programa i studija podržavajući prikupljanje prostornih podataka, odabir i uređivanje podataka, sintezu, analizu i angažman javnosti. Poznato je da podaci promatranja iz građanske znanosti uključuju potencijalne pogreške i pristranosti te nedosljednost procesa prikupljanja podataka koji su tipični s obzirom na raznolikost uključenih aktera. I ovdje su hitno potrebni odgovarajući protokoli uzorkovanja i vrednovanja podataka, postupci obuke i najbolje prakse (Borgogno-Mondino 2025).

Literatura

Borgogno-Mondino, E. C. (2025): Back to Geomatics: Recognizing Who We Are, *Geomatics*, 5, 3, 31, <https://www.mdpi.com/2673-7418/5/3/31>, (28. 8. 2025.).

Nedjeljko Frančula

ASPEKT KARTOGRAFSKE PROJEKCIJE I UMJETNA INTELIGENCIJA

U većini tekstova o kartografskim projekcijama aspekt projekcije definira se položajem osi razvojnih ploha (konusa i cilindra) u odnosu na Zemljinu sferu i u azimutnim projekcijama položajem ravnine u odnosu na sferu. Autori takve definicije aspekta ne uočavaju da ona ne uključuje ostale skupine projekcija: pseudokonusne, pseudocilindrične, polikonusne, kružne i ostale. Vrlo često aspekt se definira kao polarni, ekvatorski i kosi, iako takav aspekt mogu imati samo azimutne projekcije (Frančula i Lapaine 2019).

Ispravno je aspekt definirati kao uspravni (normalni), poprečni i kosi jer ti aspekti uključuju sve skupine projekcija pa i azimutne. U definiciji aspekta projekcije služimo se mrežom pseudomeridijana i pseudoparalela. Ta mreža dobiva se zamišljenom rotacijom mreže meridijana i paralela u bilo koji drugi položaj. Umjesto sjevernog i južnog geografskog pola u toj mreži postoje sjeverni i južni pseudopol. Pravac koji prolazi sjevernim i južnim pseudopolom pa onda ishodištem koordinatnog sustava i središtem sfere naziva se os projekcije. Aspekt projekcije definira se položajem osi projekcije u odnosu na os rotacije Zemljine sfere, tj. spojnicu geografskih polova. U normalnom aspektu os projekcije podudara se sa spojnicom geografskih polova, a mreža pseudomeridijana i pseudoparalela s mrežom meridijana i paralela. Poprečni aspekt nastaje kada os projekcije leži u ravnini ekvatora, a kosi ako je os projekcije u bilo kojem drugom položaju (Lapaine i Frančula 2016).

Zanimalo nas je koliko od toga zna umjetna inteligencija. Da bismo to provjerili postavili smo ChatGPT-ju, Geminiju, DeepSeeku, Groku i Perplexitiju 2. rujna 2025. pitanje:

„Možeš li definirati aspekt kartografske projekcije, ali tako da vrijedi za sve skupine projekcija: konusne, cilindrične, azimutne, pseudokonusne, pseudocilindrične, polikonusne, kružne i ostale, a ne samo za konusne, cilindrične i azimutne.“

Odgovore ChatGPT-ja, Geminija i Perplexitija naveli smo u cjelini jer nisu preopširni, a iz odgovora ostala dva konverzijska programa izdvojili smo ono najvažnije. Njihove odgovore stavili smo pod navodnike ne mijenjajući ništa, samo smo dijelove teksta pisane zadebljanim slovima zamijenili običnim kurzivom. Nakon njihovih odgovora dali smo naše komentare.

ChatGPT

„U kartografiji *aspekt* (ponekad se naziva i *položaj projekcijske plohe u odnosu na Zemlju*) označava način na koji je osnovna geometrijska ploha projekcije (cilindar, konus, ravnina ili njihova varijanta) postavljena prema referentnoj sferi ili elipsoidu.

Ta se definicija može primijeniti na sve skupine projekcija – ne samo na konusne, cilindrične i azimutne, jer je svaka projekcija (pa i pseudokonusna, pseudocilindrična, polikonusna, kružna i druge izvedenice) konstruirana polazeći od neke zamišljene plohe ili njezine modifikacije.

U praksi se razlikuju tri osnovna aspekta:

- *ekvatorijalni (transverzalni)* – ploha je „naslonjena“ ili orijentirana uz ekvator,
- *polarni (normalni)* – ploha je orijentirana prema polovima,
- *kosni (oblique)* – ploha je nagnuta pod nekim kutom u odnosu na polove i ekvator.

☞ Dakle, *aspekt kartografske projekcije* možemo općenito definirati ovako:

Aspekt je orijentacija projekcijske plohe ili njezine matematičke izvedenice u odnosu na Zemljinu os i osnovne kružnice (ekvator, meridijane i paralele), bez obzira radi li se o konusnim, cilindričnim, azimutnim, pseudokonusnim, pseudocilindričnim, polikonusnim,

kružnim ili drugim vrstama projekcija.“

Naš komentar: ChatGPT-jev odgovor iznenađujuće je loš i pogrešan. Već u prvom retku piše da se aspekt projekcije ponekad naziva „*položaj projekcijske plohe u odnosu na Zemlju*“ i u nastavku navodi cilindar, konus i ravninu. U drugom odlomku navodi da su i ostale skupine projekcija konstruirane „polazeći od neke zamišljene plohe ili njezine modifikacije“ što je plod njegove halucinacije. I u nastavku pogrešno navodi tri osnovna aspekta: ekvatorijalni (transverzalni), polarni (normalni) i kosni (umjesto kosi) (oblique).

Gemini

„Definicija aspekta kartografske projekcije, primjenjiva na sve skupine, odnosi se na položaj *osnovne točke, crte ili površine* projekcije u odnosu na Zemljin globus.

Jednostavnije rečeno, aspekt određuje kako se Zemljina površina „naslanja“ na ravnu plohu projekcije. To utječe na orijentaciju i deformacije na karti.

Postoje tri glavna aspekta, koji se primjenjuju na sve navedene skupine projekcija:

- *Normalni (pravi ili polarni) aspekt*: Osnovna točka ili os projekcije poklapa se sa Zemljinim polovima, a referentna ravnina (za azimutne), plašt cilindra (za cilindrične) ili stošca (za konusne) je paralelna s osi rotacije Zemlje.
- *Poprečni (transverzalni) aspekt*: Osnovna os projekcije se nalazi u ravnini ekvatora, okomita na Zemljinu os rotacije.
- *Kosi (oblik) aspekt*: Osnovna os projekcije je postavljena pod bilo kojim kutom u odnosu na Zemljinu os rotacije, osim 0° ili 90° .

Iako se ovi termini najčešće spominju kod konusnih, cilindričnih i azimutnih projekcija, isti principi vrijede i za sve ostale tipove. Na primjer, *pseudocilindrična projekcija* može imati transverzalni aspekt, a *polikonusna projekcija* može biti definirana u kosom aspektu, čime se mijenja njen izgled i raspored deformacija.“

Naš komentar: Iako s nešto manje pogrešaka od ChatGPT-jeva odgovora i Geminijev je odgovor neprihvatljiv. U prvom odlomku nije definirano što su to osnovna točka, crta ili površina. Za normalni aspekt pogrešno navodi da je to ujedno i polarni aspekt te nastavlja „a referentna ravnina (za azimutne), plašt cilindra (za cilindrične) ili stošca (za konusne) je paralelna s osi rotacije Zemlje“. Ako je u azimutnim projekcijama ravnina paralelna s osi Zemljine rotacije, tada je to poprečni aspekt, a ne normalni, a nije jasno ni kako je to plašt stošca paralelan s osi Zemljine rotacije.

DeepSeek

„Odlično pitanje koje zahtijeva općenitiju i sveobuhvatniju definiciju.

Aspekt kartografske projekcije je položaj ili orijentacija projektivne površine (poput stošca, cilindra ili ravnine) u odnosu na Zemlju (ili drugo nebesko tijelo) u trenutku izrade projekcije. On definira koja se točka ili dio Zemljine površine nalaze u središtu karte i kako su koordinatne osi projektivne površine poravnate s osima Zemlje.

Kako bi definicija vrijedila za sve vrste projekcija, možemo je izraziti na sljedeći način:

Aspekt je parametar kartografske projekcije koji određuje relativnu orijentaciju osi simetrije projektivne površine (ako postoji) u odnosu na os rotacije Zemlje. On kontrolira položaj “prirodnog” središta projekcije (točke ili linije nultog izobličenja) na konačnoj karti.

U praksi se aspekt najčešće manifestira kroz tri klasična, univerzalno primjenjiva položaja, bez obzira na vrstu projekcije:

1. *Normalni (Polički) Aspekt*: Os projekтивne površine (npr. os cilindra ili stošca) poravnata je sa *Zemljinom osi rotacije*. Kao rezultat, središnji meridijan i paralele su obično pravocrtne i međusobno okomite.
 - *Primjer*: Kod cilindričnih projekcija (npr. Mercatorove) cilindar je omotan oko ekvatora. Kod azimutalnih projekcija ravnina dodiruje globus na polu.
2. *Transverzalni (Poprečni) Aspekt*: Os projekтивne površine okrenuta je *pod kutom od 90°* u odnosu na Zemljinu os rotacije, odnosno leži u ravnini ekvatora. Središte projekcije obično leži na ekvatoru.
 - *Primjer*: Kod cilindričnih projekcija (npr. Transverzalna Mercatorova) cilindar je omotan oko meridijana. Kod azimutalnih projekcija ravnina dodiruje globus na točki na ekvatoru.
3. *Kosi (Oblik) Aspekt*: Os projekтивne površine nije poravnata ni s osi rotacije ni s ekvatorom, već je postavljena pod *proizvoljnim kutom* između 0° i 90° u odnosu na Zemljinu os. Središte projekcije leži između pola i ekvatora.
 - *Primjer*: Azimutalna projekcija čija se ravnina dodiruje s globusom u točki poput New Yorka ili Tokija.“

Naš komentar: I DeepSeekov odgovor ima puno pogrešaka. Aspekt dijeli na normalni, transverzalni i kosi. Za normalni aspekt u zagradi navodi „Polički“ Nejasno je što znači „polički“, ako je polarni pogrešno je. U definicijama sva tri aspekta služi se „projektivnim površinama“ (cilindrom i stošcem). Definiciju normalnog aspekta završava tvrdnjom: „Kao rezultat, središnji meridijan i paralele su obično pravocrtne i međusobno okomite.“ To vrijedi samo za cilindrične i pseudocilindrične projekcije. Za transverzalni aspekt u zagradi navodi „poprečni“. Bilo bi bolje obrnuto. Hrvatski pogrešno i aspekt piše velikim početnim slovom. Za kosi aspekt u zagradi navodi „Oblik“ što je potpuno nepotrebno pohrvaćivanje engleskog „oblique“.

Grok

„Da, mogu definirati aspekt kartografske projekcije na način koji je općenit i primjenjiv na sve navedene skupine projekcija (konusne, cilindrične, azimutne, pseudokonusne, pseudocilindrične, polikonusne, kružne i druge). Tradicionalne definicije aspekta često su ograničene na glavne tri obitelji (konusne, cilindrične i azimutne) jer se one temelje na razvijajućim geometrijskim površinama (konus, cilindar ili ravnina), ali aspekt se može proširiti na širi matematički i konceptualni okvir koji obuhvaća i pseudo-varijante, polikonusne (kao što je polyconic projekcija), kružne (koje su često varijante azimutnih) i druge hibridne ili matematički izvedene projekcije.

Općenita definicija aspekta

Aspekt kartografske projekcije predstavlja orijentaciju ili položaj projekcijskog sustava (uključujući središnju točku, os simetrije ili referencu distorzije) u odnosu na Zemljinu os rotacije i geografsku mrežu (graticulu meridijana i paralela). Ova orijentacija određuje kako se distorzije (u obliku, površini, udaljenostima ili kutovima) distribuiraju na karti, te utječe na predstavljanje Zemljine površine – na primjer, gdje će biti minimalne distorzije i kako će se meridijani i paralele iscrtavati (kao ravne linije, lukovi ili krivulje). Aspekt nije ograničen samo na geometrijske površine, već se može matematički opisati kao rotacija koordinatnog sustava projekcije u odnosu na Zemljinu sferu, što omogućuje

primjenu na sve vrste projekcija, uključujući one koje nisu striktno geometrijske.

Ova definicija vrijedi za sve skupine jer se temelji na općenitim matematičkim principima projekcije (kao što su rotacija koordinata i parametri distorzije), a ne samo na specifičnim površinama. Na primjer:

Normalni (polarni ili ekvatorski) aspekt: Os projekcije poklapa se sa Zemljinom osi rotacije....“

„Transverzalni (poprečni) aspekt: Os projekcije je pravokutna na Zemljinu os (često uzduž meridijana). Ovo je korisno za regije s sjever-jug orijentacijom...”

„Obliqui (kosi) aspekt: Os projekcije je pod proizvoljnim kutom između normalnog i transverzalnog...”

Naš komentar: U prvom odlomku pogrešno tvrdi da se konusne, cilindrične i azimutne projekcije „temelje na razvijajućim geometrijskim površinama (konus, cilindar ili ravnina)“. Za normalni aspekt pogrešno u zagradi navodi „polarni li ekvatorski aspekt“. I Grok prednost daje nazivu transverzalni aspekt, a poprečni stavlja u zagradu. Nije jasno kako je u tom aspektu os projekcije okomita (on piše pravokutna), „na Zemljinu os (često uzduž meridijana)“. I za kosi aspekt na prvom mjestu navodi iskrivljeni engleski naziv „obliqui“.

Perplexity

„Kartografska projekcija u općenitom smislu je matematički postupak preslikavanja zakrivljene plohe, kao što je Zemljina površina (ili površina drugih nebeskih tijela), na ravninu. To preslikavanje uspostavlja preciznu korespondenciju između točaka na izvornom zakrivljenom obliku i njihovih slika na ravnini, pri čemu se koristi skup formula ili geometrijskih pravila.

Ova definicija vrijedi univerzalno za sve skupine projekcija, pa tako i za konusne, cilindrične, azimutne, pseudokonusne, pseudocilindrične, polikonusne, kružne i ostale. Svaka od tih skupina projekcija karakterizirana je posebnim načinom kako se mreža meridijana i paralela preslikava na ravninu, odnosno razlikuje se geometrijski oblik na koji se površina „omotava“ i način preslikavanja točaka, ali srž je uvijek isto – matematičko preslikavanje zakrivljene plohe u ravninu. Ovo preslikavanje može koristiti različite osnovne geometrijske površine kao što su stožac (konus), valjak (cilindar), ravnina, ili druge, što određuje vrstu projekcije, no definicija kartografske projekcije kao preslikavanja ostaje ista.

Stoga, aspekt kartografske projekcije koji je zajednički svim vrstama jest da se radi o funkciji ili matematičkom postupku koji pretvara geografske koordinate (širinu i dužinu) s trodimenzionalne zakrivljene površine u koordinatni sustav dvodimenzionalne ravnine karte, uz određene matematičke i geometrijske osobitosti svake pojedine skupine projekcija.

Ukratko, kartografska projekcija je sveobuhvatno matematičko preslikavanje zakrivljene Zemljine ili druge površine u ravninu, pri čemu se razlikuju vrste projekcija na osnovi specifičnih geometrijskih i matematičkih pravila za to preslikavanje, bez obzira na to jesu li konusne, cilindrične, azimutne ili druge skupine projekcija.“

Naš komentar: Perplexity nije odgovorio na pitanje što je aspekt projekcije.

Zaključak

Umjetna inteligencija nije položila ispit ni u testiranju njezina znanja o aspektu kartografskih projekcija. Najmanje pogrešaka sadrži Grokov odgovor. On je definirao normalni, poprečni i kosi aspekt projekcije položajem osi projekcije u odnosu na Zemljinu os, iako nije definirao os projekcije, a dao je i nejasnu definiciju poprečnog aspekta.

Autori ovog prikaza uveli su u kartografsku terminologiju pojam os projekcije i njezinu definiciju. Ovo testiranje pokazalo je da je umjetna inteligencija (Grok) usvojila taj pojam, iako još uvijek ne na korektan način.

Literatura

- Frančula, N., Lapaine, M. (2019): Polarni, ekvatorski i kosi aspekt imaju samo azimutne projekcije / The Polar, Equatorial and Oblique Aspect Have Only Azimuthal Projections, *Kartografija i geoinformacije*, 18, 32, 200–203, <https://hrcak.srce.hr/236160>, (2. 9. 2025.).
- Lapaine, M., Frančula, N. (2016): Map projections aspects, *International Journal of Cartography*, 2, 1, 38–58, <http://dx.doi.org/10.1080/23729333.2016.1184554>, (2. 9. 2025.).

Nedjeljko Frančula i Miljenko Lapaine

DAMIR DUBRAVAC, DIPL. ING. GEODEZIJE**(20. 1. 1966. – 20. 8. 2025.)**

Dana 20. kolovoza 2025. godine, u svojoj 60. godini života, iznenada nas je napustio Damir Dubravac, naš kolega i dragi prijatelj, diplomirani inženjer geodezije, dugogodišnji službenik Državne geodetske uprave, suprug i otac.

Damir je rođen 20. siječnja 1966. godine u Garešnici, gdje je odrastao i završio osnovnoškolsko obrazovanje. Srednju geodetsku školu završio je u Zagrebu. Na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu diplomirao je 2000. godine i stekao zvanje diplomiranog inženjera geodezije.

Svoj profesionalni život započeo je 18. svibnja 1992. godine u katastru, gdje je proveo 33 godine predanog rada, od pripravnika u Garešnici do višeg savjetnika-specijalista u Područnom uredu za katastar Bjelovar.

Svojim zalaganjem, kroz dugogodišnji rad u struci, dao je izniman doprinos važnim projektima i poslovima Državne geodetske uprave te samim time čitavoj zajednici. Bio je član Udruge geodeta Bjelovarsko-bilogorske županije od njezina osnutka 1993. godine, a u razdoblje od 2018. do 2023. godine bio je i predsjednik Udruge, uvijek se zalagajući za napredak struke i kolegijalnost među svojim suradnicima.

Pamtit ćemo ga kao vedrog, nesebičnog i brižnog, uvijek prijateljski spremnog pomoći kako starijim tako i mlađim kolegama, geodetima i građanima.

Svoj je život posvetio radu i službi ljudima. U najtežim vremenima za naš narod, bez oklijevanja se stavio u službu Domovine. Kao dragovoljac Domovinskog rata bio je pripadnik 1. satnije ZNG Garešnica. U akciji u Vriješkoj ranjen je i postao je hrvatski ratni vojni invalid, ali ga to nikada nije pokolebalo u borbi za bolje sutra. Bio je osnivač i prvi predsjednik HVIDRA-e Garešnica od 1993. godine, gdje je nesebično radio na dobrobit svojih suboraca i svih hrvatskih branitelja.

Osim geodezije, i sport je bio njegova velika ljubav. Kao dugogodišnji vratar NK Garić Garešnica stekao je poštovanje i prijateljstva koja su trajala cijeli život. Nakon aktivne karijere ostao je uz svoj klub kao tajnik u dva mandata, a do posljednjih dana života djelovao je u Upravnom odboru.

Uz nogomet, njegova velika ljubav bio je i stolni tenis s kojim se aktivno bavio sve do svoje smrti, te je bio jedan od istaknutijih stolnotenisača u našoj struci i osvajao medalje na više geodetskih susreta.

Opraštamo se od Damira s tugom, ali i s ponosom što smo imali priliku dijeliti život s čovjekom takvih vrijednosti. Njegov doprinos, rad i dobrodušnost ostat će svjedočanstvo jednoga plemenitog života.

Počivao u miru, dragi Damire.

Udruga geodeta Bjelovarsko-bilogorske županije

LISTOPAD

INTERGEO 2025

Frankfurt, Germany, 7.-9. 10.
 Web: <https://www.intergeo.de/>
 E-mail: info@hinte-expo.com

9th International Conference on Engineering Surveying – INGeo 2025

Brno, Czech Republic, 15.-17. 10.
 Web: <https://www.ingeoconference.com/>
 E-mail: ingeo2025@ingeoconference.com

18. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije

Bol, Hrvatska, 22.-25. 10.
 Web: <https://hkoig.hr/>
 E-mail: simpozij@hkoig.hr

Towards a State Plane Coordinate System: Scientific Approaches and Practical Challenges

Skopje and Online, North Macedonia, 31. 10.
 Web: <https://www.scersproject.mk/p/international-conference.html>

STUDENI

13th International FIG Workshop on LADM & 3D Land Administration

Florianópolis, Santa Catarina, Brazil, 3.-5. 11.
 Web: <https://gdmc.nl/3DCadastres/workshop2025/>

12th International Electronic Conference on Sensors and Applications (ECSA-12)

Online, 12.-14. 11.
 Web: <https://www.mdpi.com/journal/sensors/events/18397>
 E-mail: ecsa@mdpi.com

11th International Symposium on Sensor Science

Barcelona, Spain, 17.-19. 11.
 Web: <https://sciforum.net/event/I3S2025>
 E-mail: i3s2025@mdpi.com

EAASI Summit 2025

Dubrovnik, Croatia, 18.-21. 11.
 Web: <https://www.eaasi.eu/summit2025>
 E-mail: info@EAASI.eu

PROSINAC

2nd International Conference on Geomatics Education (ICGE 2025)

Hong Kong, 3.-5. 12.
 Web: <https://events.polyu.edu.hk/icge25/>
 E-mail: info.icge@polyu.edu.hk

XXV SGEM Vienna Green 2025

Vienna, Austria, 3.-6. 12.
 Web: <https://sgemviennagreen.org/>
 E-mail: science@sgemviennagreen.org

AGU 2025 Fall Meeting

New Orleans, LA, USA, 15.-19. 12.
 Web: <https://www.agu.org/annual-meeting>

2026

EUROCIVILENG2026

Paris, France, 19.-21. 2.
 Web: <https://eurocivileng2026.synergiasummits.com/>
 E-mail: eurocivileng2026@synergiasummits.com

XXVIII FIG Congress 2026

Cape Town, South Africa, 24.-29. 5.
 Web: <https://www.fig.net/fig2026/>
 E-mail: fig@fig.net

10th International Conference on Cartography and GIS

Nessebar, Bulgaria, 14.-19. 6.
 Web: <https://iccgis.cartography-gis.com/>
 E-mail: iccgis@cartography-gis.com

International Conference on Sensors and Sensing Technology (ICSST2026)

Florence, Italy, 15.-17. 6.
 Web: <https://sensors2026.conplussmeetings.com/>
 E-mail: contact@conplussmeeting.com

3rd International Conference on AI Sensors and Transducers

Jeju, South Korea, 2.-7. 8.
 Web: <https://sciforum.net/event/AIS2026>

22nd International Conference on Geometry and Graphics – ICGG 2026

Zagreb, Croatia, 3.-7. 8.
 Web: <https://icgg2026.grad.hr/>
 E-mail: icgg2026@grad.unizg.hr

ION GNSS+ 2026

Orlando, Florida, USA, 14.-18. 9.
 Web: <https://www.ion.org/gnss/future-meetings.cfm>
 E-mail: membership@ion.org

AGU 2026 Fall Meeting

San Francisco, CA, USA, 7.-11. 12.
 Web: <https://www.agu.org/annual-meeting>

2027

FIG Working Week 2027

Stavanger, Norway, 23.-27. 5.
 Web: <https://www.fig.net/fig2027/>
 E-mail: fig@fig.net

33rd International Cartographic Conference

Warsaw, Poland, 18.-23. 7.
 Web: <https://icaci.org/icc2027/>
 E-mail: secgeneral@icaci.org

Mladen Zrinjski

UPUTE SURADNICIMA

Geodetski list objavljuje znanstvene članke iz područja geodezije, geoinformatike, GNSS-a, GIS-a i općenito svih područja koja se bave informacijama o prostoru te donosi značajnije spoznaje iz drugih područja koje su važne za razvoj i unapređenje geodezije i geoinformatike. Objavljuje nadalje i sve što se odnosi na stručna zbivanja u nas i u svijetu, podatke iz prošlosti geodezije te aktivnosti Hrvatskoga geodetskog društva. List se tiska u pravilu 4 puta godišnje (ožujak, lipanj, rujan, prosinac).

Geodetski list objavljuje članke koji se recenziraju i one koji ne podliježu recenzentskom postupku, npr. članci u rubrikama: Terminologija, Povijest, Vijesti, Pregled stručnog tiska i softvera, In memoriam, Predstojeći događaji i dr.

Recenzirani se radovi razvrstavaju na sljedeći način:

- izvorni znanstveni članci
- prethodna priopćenja
- pregledni znanstveni članci
- izlaganja sa znanstvenih i stručnih skupova
- stručni članci.

Autori predlažu kategoriju za svoje radove, ali konačnu odluku o svrstavanju donosi uredništvo na temelju zaključaka recenzenata.

Izvorni znanstveni članak sadrži neobjavljene rezultate izvornih znanstvenih istraživanja. Znanstvene obavijesti trebaju biti izložene tako da se može provjeriti točnost analiza i dedukcija na kojima se temelje rezultati.

Prethodno priopćenje sadrži nove znanstvene spoznaje, koje treba hitno objaviti. Ne moraju omogućavati ponavljanje i provjeru iznesenih rezultata.

Pregledni znanstveni članak mora biti izvoran, sažet i kritički prikaz nekog područja ili njegova dijela, u kojem autor i sam aktivno djeluje. Mora biti naglašena uloga autorova izvornog prinosa tom području s obzirom na već publicirane radove te dan i pregled tih radova.

Izlaganja sa znanstvenih i stručnih skupova bit će u pravilu objavljena samo onda ako ne budu tiskana u zbornicima s tih skupova. Iznimno će se tiskati bitno prerađeni i dopunjeni članci.

Stručni članak koristan je prilog iz područja struke, problematika kojega nije vezana uz izvorna istraživanja. To se, primjerice, odnosi na reprodukciju u svijetu poznatih istraživanja koja su vrijedan materijal u pogledu širenja znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama znanosti i prakse.

Jednom prihvaćeni članak obvezuje autora da isti članak ne smije objaviti na drugome mjestu bez odobrenja uredništva Geodetskog lista, a i tada samo uz podatak o tome gdje je članak objavljen prvi put.

OPREMA RUKOPISA

1. Rukopis na hrvatskom književnom jeziku (ili engleskome) podnosi se uredništvu otisnut s jednostrukim proredom na stranici papira formata A4 (210 x 297 mm). Predaju se *dvi* kopije i CD (DVD) (bilo koji softver, npr. MS Word). S lijeve strane svakog otisnutog lista treba ostaviti barem 3 cm slobodnog prostora za oznake i napomene urednika. Sve stranice rukopisa označavaju se rednim brojevima. Radovi se šalju na e-mail: geodetskilist@gmail.com ili na adresu uredništva.
2. Opseg rada treba ograničiti *na najviše 16 stranica* s jednostrukim proredom.
3. Naslov treba biti jasan, informativan i po mogućnosti *što kraći*.
4. Rad treba napisati u najkraćem obliku što ga jasnoća izlaganja dopušta. Tekst treba biti jasan, koncizan, gramatički ispravan, bez tipografskih pogrešaka. Za isticanje važnih riječi i rečenica u radu upotrebljavati kurziv (italic), a ne masno (bold) pismo.
5. Crteži, dijagrami i fotografije prilažu se u digitalnom obliku, uključeni u rad i odvojeno (.tif, .jpg, .bmp), te moraju biti kvalitetni.
6. Osobitu pozornost treba posvetiti pravilnom citiranju literature. Citiranu literaturu treba poredati po abecednom redu prezimena autora.
Članci u časopisu se citiraju sljedećim redoslijedom: prezime autora (ako ih ima više, odvajaju se zarezmom), inicijali imena, godina u zagradi, naslov članka, naziv časopisa ili međunarodna kratica, broj sveska, početna i završna stranica.
Na primjer: Božićnik, M. (1992): Geodeti u hramu prirode Plitvička jezera, Geodetski list, 4, 497-505.
Knjige se citiraju na sljedeći način: prezime autora, inicijali imena, godina u zagradi, naslov knjige, izdavač, mjesto izdanja.
Na primjer: Macarol, S. (1950): Praktična geodezija, Tehnička knjiga, Zagreb. Pojedini naslovi iz popisa literature citiraju se u tekstu rukopisa navođenjem prezimena autora i godine, npr. (Macarol 1950).
URL adrese citiraju se u tekstu članka po njihovu redoslijedu: (URL 1), (URL 2), itd. U popisu literature na kraju članka treba biti: naslov, cijela URL adresa i datum posljednjeg pristupa navedenoj adresi, *na primjer:*
URL 1: Hrvatsko geodetsko društvo, <http://www.hgd1952.hr>, (25. 11. 2006.).
U popisu literature mogu se uvrstiti samo naslovi i URL adrese koji su citirani u tekstu.
7. Rad treba sadržavati ključne riječi i sažetak, koji mora objasniti svrhu rada i prikazati najznačajnije podatke i zaključke. Optimalan je opseg sažetka do 250 riječi. Sažetak i ključne riječi na jeziku članka nalaze se ispod naslova i imena autora, a naslov, sažetak i ključne riječi na drugom jeziku (npr. engleskome), na kraju članka.
8. U *popratnom dopisu* koji se šalje uz članak treba navesti: naslov članka, točno ime(na) i prezime(na) autora, njegovu stručnu spremu (npr. diplomirani inženjer geodezije), znanstveno zvanje (npr. doktor znanosti), naziv i adresu ustanove u kojoj radi, broj telefona, faksa, e-mail i točnu adresu te prijedlog rubrike i kategorizacije članka.

VAŽNO UPOZORENJE!

MOLIMO AUTORE DA SE TOČNO PRIDRŽAVAJU UPUTA.

SVE ČLANKE KOJI NE BUDU NAPISANI U SKLADU S UPUTAMA VRATIT ĆEMO AUTORIMA NA DORADU.

Zainteresirani za objavljivanje oglasa mogu dobiti informacije o mogućnostima oglašavanja i cijenama u tajništvu Hrvatskoga geodetskog društva, Berislavićeva 6, Zagreb, tel.: +385 1 46 39 371.

GeoPLUS i ZWCAD 2025

Vaš ključ za uspješne geodetske projekte

GeoPLUS:

- konverzija GML-a u DXF direktno u ZWCAD-u
- kontrola kvalitete crteža
- automatski ispis vlasnika i posjednika
- crtanje slojnica i izrada 3D profila

ZWCAD 2025:

- poboljšane 2D i 3D funkcionalnosti
- intuitivno korisničko sučelje
- specifični moduli za arhitekte, inženjere i dizajnere
- trajna licenca bez dodatnih troškova

Unaprijedite svoje geodetske projekte s najboljim rješenjima na tržištu!



GEOSOFT

ZWCAD

t. +385 (0)1 3768 250
e. info@geosoft.hr
www.geosoft.hr
www.geoplus.hr
www.zwcad.hr

Geodetski instrumenti i programski paketi talijanskog proizvođača STONEX S.r.l. za geodetska mjerenja, 3D skeniranja, fotogrametrijska mjerenja i GIS.

www.stonex.hr



TOTALNE STANICE



GIS GNSS I KONTROLERI



RTK GNSS PRIJEMNICI



3D SKENERI & SLAM



UREDSKI I TERENSKI SOFTVER

WINGTRARAY

wingtraOne GEN II

VTOL, PPK, 60 min. leta, Izmjenjivi RGB i LiDAR, GSD 0.7cm, Globalna točnost <2cm



www.geosustavi.hr



Emlid Studio

is a cross-platform desktop application designed specifically for post-processing. The application has four workflows:

PPK: Post-process the collected data.

Drone Data PPK: Geotag photos obtained during the drone flight for further mapping in photogrammetry software.

Stop & Go with RV3: Get separate points with ReachView 3.

Convert logs to RINEX: Convert raw data from the receiver to the industry-standard RINEX format.

REACH RS2

Datasheet

Key features

- Tracks GPS/QZSS L1C/A, L2C GLONASS L1OF, L2OF BeiDou B1I, B2I Galileo E1-B/C, E5b
- Fast RTK convergence
- Multi-feed antenna with multipath rejection
- 868/915 MHz LoRa modem for up to 8 km connectivity
- Global 3.5G modem
- 22 hours on 1 charge
- NTRIP and VRS support, works with RTCM3
- Logs RINEX at update rate up to 10 Hz
- 16 GB of internal storage
- IP67, water- and dustproof



EMLID

Emlid Studio

New post-processing software



www.emlid.com



www.arcgeo.hr

Engineered for

every day.

Trimble SX12

The Trimble® SX12 Scanning Total Station is the one instrument you need to handle any survey project by integrating surveying, imaging and 3D scanning capabilities into your everyday workflow.



Topo



Roading



Tunneling



As-Built



Powerline



Stakeout



Geomatica
SPOŁCA z o.o.



Trimble

Authorized Distribution Partner

TRIMBLE: NEXT GEN PRODUCTIVITY

Geospatial.trimble.com/SX12



Točnost | Izdržljivost | Sigurnost

Neka svaka koordinata bude pouzdana!

Uz poboljšanu GNSS točnost i dokazanu **TILT tehnologiju**, novi HiPer XR omogućuje vam da vjerujete svakom podatku, čak i u teškim uvjetima kao što je pojačana **ionosferska aktivnost**.

Zahvaljujući mogućnosti **nadzora integriteta** signala, HiPer XR zna jesu li primljeni satelitski signali opterećeni smetnjama i pogreškama, zbog čega možete raditi brže, nositi se s neočekivanim izazovima i postići preciznost koja ulijeva povjerenje i sigurnost u svaku koordinatu vašeg projekta.



THE **BEST** JUST GOT **BETTER**

 **Trimble**
Authorized Distribution Partner

© 2014, Trimble Inc. All rights reserved. PN 022516-724

TRIMBLE R980 GNSS SYSTEM

Elevate survey productivity with unmatched performance and Trimble trusted workflows. With a full suite of enhanced connectivity features, the Trimble® R980 GNSS system sets a new benchmark in versatility and enables you to tackle the most demanding GNSS environments to get the job done.

geospatial.trimble.com/r980

