

UDK: 528

CODEN: GDLIAW

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

Geodetski list

GLASILO HRVATSKOGA GEODETSKOG DRUŠTVA

dani hrvatskih geodeta

21. susreti

**hotel Medena
Trogir
8. - 11. 5. 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. 78 (101) 4

S. 253–380

ZAGREB, PROSINAC 2024.

SADRŽAJ

<i>Paar, Roić, Marendić, Miletić: Tehnološki razvoj i primjena fototeodolita i videoteodolita.</i>	267
<i>Izvorni znanstveni članak</i>	
<i>Stipetić, Zrinjski, Barković, Kljajić, Tupek, Špoljar: Određivanje horizontalnih pomaka stupova kalibracijske baze metodom deformacijske analize</i>	305
<i>Prethodno priopćenje</i>	
<i>Lapaine: Novi izvod formule za duljinu luka loksodrome na rotacijskom elipsoidu</i>	335
Terminologija	345
Vijesti	349
Pregled stručnog tiska i softvera	375
Predstojeći događaji	378
Godišnji sadržaj	379

CONTENTS

<i>Paar, Roić, Marendić, Miletić: Technological Development and Application of Photo and Video Theodolites</i>	267
<i>Original scientific paper</i>	
<i>Stipetić, Zrinjski, Barković, Kljajić, Tupek, Špoljar: Determination of Horizontal Displacements of Calibration Baseline Pillars Using a Deformation Analysis Method</i>	305
<i>Preliminary Communication</i>	
<i>Lapaine: New Derivation of the Formula for the Length of a Loxodrome Arc on a Rotational Ellipsoid</i>	335
Terminology	345
News	349
Publications and Software review	375
Forthcoming events	378
Yearly Contents	379

INHALT

<i>Paar, Roić, Marendić, Miletić: Technologische Entwicklung und Verwendung von Fototheodoliten und Videotheodoliten</i>	267
<i>Originalbeiträge</i>	
<i>Stipetić, Zrinjski, Barković, Kljajić, Tupek, Špoljar: Bestimmung der horizontalen Verschiebungen der Pfeiler der Kalibrierbasis mithilfe der Methode der Deformationsanalyse</i>	305
<i>Vorherige Mitteilung</i>	
<i>Lapaine: Neue Ableitung der Formel für die Bogenlänge der Loxodrome auf dem Rotationsellipsoid</i>	335
Terminologie	345
Nachrichten	349
Bücher- und Softwareschau	375
Termine	378
Jahresinhalt	379

SOMMAIRE

<i>Paar, Roić, Marendić, Miletić: Développement technologique et application des photothéodolites et des vidéothéodolites</i>	267
<i>Contribution scientifique authentique</i>	
<i>Stipetić, Zrinjski, Barković, Kljajić, Tupek, Špoljar: Détermination des déplacements horizontaux des colonnes de base d'étalonnage par la méthode d'analyse des déformations</i>	305
<i>Note préliminaire</i>	
<i>Lapaine: Nouvelle dérivation de la formule de la longueur de l'arc d'un loxodrome sur un ellipsoïde en rotation</i>	335
Terminologie	345
Actualités	349
Revue de la littérature professionnelle et du software	375
Événements précédents	378
Sommaire annuel	379

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Паар, Роич, Марендич, Милетић: Технологическое развитие и применение фотоэлектронного теодолита и видеотеодолита</i>	267
<i>Подлинная научная статья</i>	
<i>Стипетић, Зрински, Баркович, Кляйич, Тупек, Шпольяр: Определение горизонтальных перемещений столбов калибровочной базы методом деформационного анализа</i>	305
<i>Предварительное сообщение</i>	
<i>Лапайн: Новое представление формулы для длины дуги локсодромы на вращающемся эллипсоиде</i>	335
Терминология	345
Новости	349
Обзор специальной печати и программного обеспечения	375
Предстоящие события	378
Годовое содержание	379

PROFESSOR EMERITUS DR. SC. NIKOLA SOLARIĆ
(15. 9. 1934. – 28. 10. 2024.)



Dana 28. listopada 2024. u 91. godini života preminuo je naš dragi i uvaženi profesor emeritus dr. sc. Nikola Solarić, dugogodišnji djelatnik Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i doajen geodezije u Hrvatskoj.

Nikola Solarić rođen je 15. rujna 1934. u Podgorici, gdje mu je otac dvije godine bio u službi. Osnovnu školu i gimnaziju pohađao je u Bjelovaru od 1941. do 1953., u mjestu gdje su živjeli njegovi djedovi i pradjedovi, a maturirao je na ljeto 1953.

Na Geodetskom odjelu Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu diplomirao je početkom 1958. s izvrsnim uspjehom. Na Odjel za fiziku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu upisao se 1962., a studij je završio s izvrsnim uspjehom 1969.

Početkom 1980. promoviran je u doktora tehničkih znanosti na temelju disertacije *Fotoelektrični uređaj za registraciju vremena prolaza zvijezda*, koju je obranio na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu pred povjerenstvom u međunarodnom sastavu (prof. dr. sc. Leo Randić – Zagreb, prof. dr. sc. Vladimir Muljević – Zagreb i prof. dr. sc. Hans Zetsche – Bonn, tada vodeći svjetski stručnjak za geodetske elektroničke instrumente, izumitelj digitalnog elektroničkog teodolita, digitalnog nivelira te niza patenata).

Dana 1. siječnja 1959. zaposlen je na radnom mjestu asistenta na Katedri za astronomiju AGG fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Od 1972., uz redovite dužnosti asistenta, povjerenost mu je honorarno predavanje iz predmeta *Elektrotehnika*, koji je poslije dobio naziv *Fizikalne osnove geodetskih instrumenata*, a ubrzo i iz predmeta *Fizika*. Za izvanrednog profesora iz predmeta *Fizikalne osnove geodetskih instrumenata* izabran je 1980., za redovitog profesora iz predmeta *Fizikalne osnove geodetskih instrumenata* i *Geodetska astronomija* 1986., a za redovitog profesora u trajnom zvanju 1997. U počasno zvanje profesora emeritusa Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu izabran je 2003.

Bio je na usavršavanjima u Švicarskoj 1980. i 1984., u tvornici geodetskih instrumenata Kern, za elektrooptičke daljinomjere Kern DM 500, Kern DM 501, Kern DM 502, Kern DM 503 i Kern DM 504 te za elektronički teodolit Kern E1. Također, bio je na usavršavanju u Njemačkoj 1986., u tvornici geodetskih instrumenata Carl Zeiss Jena za elektronički tahimetar Zeiss EOT 2000.

Prodekan za znanstveni rad na Geodetskom fakultetu bio je od 1981. do 1985.

Razvio je samostalno i sa suradnicima 36 automatiziranih metoda mjerenja u geodeziji i geodetskoj astronomiji. Objavio je više od 250 znanstvenih i stručnih radova te je vodio i sudjelovao u izradi u više od 100 stručnih projekata.

Dobitnik je više nagrada i priznanja, od kojih su najznačajnije:

- Državna nagrada "Nikola Tesla" za značajnu znanstvenu djelatnost, 1994.
- Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, redoviti član, 1998., član emeritus, 2005.
- Počasno zvanje professor emeritus Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 2003.
- Nagrada "Josip Juraj Strossmayer" (zajedno s prof. dr. sc. Dušanom Benčićem) za najbolje znanstveno djelo iz područja tehničkih znanosti objavljeno u Hrvatskoj u 2008., koju dodjeljuju Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Zagrebački velešajam, za sveučilišni udžbenik "Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici".
- Nagrada za životno djelo Hrvatskoga geodetskog društva, 2015.

Professor emeritus dr. sc. Nikola Solarić ostat će u sjećanju generacijama studenata i zaposlenika Geodetskog fakulteta po ustrajnosti pri prenošenju svoga znanja i iskustva iz geodezije, astronomije i fizike te nadasve po zaljubljenosti u znanost, istraživanje i inovacije.

Izražavamo iskrenu sućut kćeri, unukama, obitelji i prijateljima.

Dragi profesore, hvala Vam na prenesenom znanju, zanimljivim idejama, raspravama o geodeziji i pomoći u ključnim životnim trenucima čime ste obogatili naš život.

Popis objavljenih radova (odabir)

Znanstvena djelatnost

Knjiga

1. Benčić, D.; Solarić, N. (2008): Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici, Školska knjiga, Zagreb, 996 str.

Poglavlje u knjizi

1. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1995): Sunčani sat Fausta Vrančića, poglavlje u knjizi Kučerin zbornik, izdavač Astronomsko društvo "Faust Vrančić", Šibenik, (ur. Berić, M.; Lakić, V.), str. 65-70.
2. Solarić, N. (1996): Geodezija, str. 281.

Geodetski hvatni lanac za mjerenje duljina, str. 282.

Poglavlja u knjizi Znanost u Hrvata – prirodoslovlje i njegova primjena 1, izdavač Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske, Zagreb, (ur. Pifat-Mrzljak, G.).

3. Solarić, N. (1996): Pasažni instrument Mailhat iz Astronomskog paviljona u Maksimiru, str. 180.
Praktična geodezija i zemljomjerstvo Franjo pl. Kružić, str. 459.
Zaštićeno područje Varaždinskih toplica, str. 460.
Nacrt grada Zagreba, str. 461.
Situacijski plan gimnazije, realne i obrtničke škole, str. 461.
Teodolit Voigtländer-Wien za topografsku izmjeru, str. 462.
Terestrička fotogrametrijska kamera, str. 462.
Optički tahimetar, str. 463.
Topografski stol i kipregel, str. 463.
Brounsviga dvostruki računski stroj, str. 465.
Mali ortogonalni koordinatograf, str. 465.
Terenska vrpca, str. 466.
Precizni optički tahimetar Wild RDH, str. 466.
Nivelir s kompenzatorom za automatsko horizontiranje, str. 467.
IGN – kamera za fotografsko opažanje umjetnih Zemljinih satelita, str. 467.
Elektronički teodolit za automatsko određivanje azimuta pomoću Sunca i zvijezda, str. 468.
Visoke opservacijske piramide, str. 468.
Optički laboratorij za ispitivanje geodetskih optičkih instrumenata, str. 469.
Astronomski paviljon u Maksimiru, str. 469-470.
Kalibracijska baza za ispitivanje i kalibriranje elektrooptičkih daljinomjera, str. 470.
Novoodređeni geoid Hrvatske subdecimetarske točnosti, str. 471-472.
Poglavlja u knjizi Znanost u Hrvata – prirodoslovlje i njegova primjena (nastavak) 2, izdavač Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske, Zagreb, (Pifat-Mrzljak, G.).
4. Solarić, N.; Solarić, M.; Špoljarić, D. (1998): Kalibracijska baza za umjeravanje i ispitivanje elektrooptičkih daljinomjera, poglavlje u knjizi Spojivost i infrastruktura, izdavač Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, (ur. Božičević, J.), Zagreb, str. 83-88.
5. Solarić, N.; Barković, Đ. (2002): Development of the Laboratory for Geodetic Electronic Instruments at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, Annual 2002 of the Croatian Academy of Engineering, str. 87-99.
6. Barković, Đ.; Solarić, N. (2003): Automatizacija komparatora za nivelmanske letve, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima iz 2001., (ur. Landek, I.), Zagreb, str. 3-44.
7. Špoljarić, D.; Solarić, N. (2003): Zvezdarnica HPD-a i Geodetski fakultet, Razvoj položajne astronomije u Hrvatskoj u 20. stoljeću, Spomenica Zvezdarnice Zagreb 1903.-2003. povodom stote obljetnice, (ur. Kren, T., Roša, D.), Zagreb, str. 69-77.

Znanstveni rad objavljen u znanstvenom časopisu

1. Solarić, N. (1975): Prijedlog za otklanjanje atmosferskih smetnji na interferencionom komparatoru elektroničkim putem, *Geodetski list*, 7-9, 142-147.
2. Solarić, N. (1975): Fotoelektrični uređaj na pasažnom instrumentu s pet nivoa amplitudne diskriminacije, *Geodetski list*, 10-12, 175-186.
3. Solarić, N. (1983): Optimalna deklinacija zvijezda kod određivanja razmaka konaca u vidnom polju durbina, *Geodetski list*, 1-3, 14-23.
4. Solarić, N. (1985): Automatische Bestimmung des Richtungswinkels mit dem elektronischen Theodolit Kern E1 mittels Zenitdistanzen der Sonne, *Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden*, Heft 6/1984, 114-117.
5. Solarić, N.; Benčić, D. (1987): Razvoj novih elektrooptičkih daljinomjera s posebnim osvrtnom na impulsne daljinomjere, *Geodetski list*, 10-12, 319-328.
6. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1988): Accuracy of the Automatic Grid Azimuth Determination by Observing the Sun Using Kern E2 Theodolite, *Surveying and Mapping*, 48, 1, 19-28.
7. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1989): Automatische Bestimmung geographischer Breite durch Beobachtung eines Himmelskörpers mit dem elektronischen Theodolit Kern E2, *Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden*, 38, Heft 2, 96-99.
8. Solarić, N. (1989): Automatisierung der Registrierung der Richtungsmessung und Stationsausgleichung mit einem elektronischen Rechner, *Vermessungstechnik*, 3, 91f.
9. Benčić, D.; Solarić, N.; Lasić, Z. (1989): Problemi mjerenja visokom točnosti elektrooptičkim daljinomjerom, *Geodetski list*, 4-6, 135-146.
10. Solarić, N.; Špoljarić, D.; Nogić, Č. (1990): Analysis of the accuracy of automatic azimuth determination by measuring zenith distances of stars with electronic theodolite Kern E2, *Hvar Observatory Bulletin*, 14, 1-14.
11. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1990): Automatic determination of the geographical longitude using an electronic theodolite Kern E2 by observing celestial bodies, *Hvar Observatory Bulletin*, 14, 15-22.
12. Solarić, N.; Špoljarić, D.; Nogić, Č. (1990): Reception of radio time signals before the automatic determination of grid azimuth by celestial bodies, *Hvar Observatory Bulletin*, 14, 23-28.
13. Solarić, N.; Bilajbegović, A.; Špoljarić, D. (1990): Kontrola geodetskih mreža iznad tunela pomoću azimuta, *Gradevinar*, 11, 12-15.
14. Solarić, N. (1991): Automatic time recording in determination of astronomical latitude and longitude using an astrolabe and an HP41CX, *Astrophysics and Space Science (An International Journal of Cosmic Physics)*, 177, 169-173.
15. Solarić, N. (1991): Automatic grid azimuth by hour angle of the sun, star or a planet, *Astrophysics and Space Science (An International Journal of Cosmic Physics)*, 177, 175-179.
16. Solarić, N.; Špoljarić, D.; Vresk, M.; Skender, I. (1991): Automatic determination of the astronomical azimuth by observing a celestial body using the electronic theodolite Kern E2 and the laptop computer Toshiba T1600, *Hvar Observatory Bulletin*, 15, 35-43.

17. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1992): Accuracy of the automatic astronomical azimuth determination by Polaris with Leica–Kern E2 electronic theodolite, *Surveying and Land Information System*, 2, 80-85.
18. Solarić, N.; Solarić, M.; Benčić, D. (1992): Projekt i izgradnja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, *Geodetski list*, 1, 7-27.
19. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1993): Automatische Zeitregistrierung mit einen Laptop-computer Toshiba T1600 und Genauigkeitsanalyse, *Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden*, H.6, 101-104.
20. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1993): The second improved variant of automatic time recording using a laptop Toshiba T1600 Computer, *Hvar Observatory Bulletin*, 17, 47-54.
21. Solarić, N. (1993): Automations in geodetic astronomy at the Faculty of Geodesy of Zagreb, *Hvar Observatory Bulletin*, 17, 55-63.
22. Benčić, D.; Solarić, N.; Lasić, Z. (1993): Značenje metrološke djelatnosti i njezin razvoj u Republici Hrvatskoj, *Geodetski list*, 4, 293-304.
23. Solarić, N.; Špoljarić, D.; Lukinec, Z. (1994): Accuracy of Automatic Grid Azimuth Determination by Astronomical Methods with the Leica–Kern E2 Theodolite, *Surveying and Land Information Systems*, 1, 5-19.
24. Solarić, N.; Špoljarić, D.; Vresk, M. (1996): Automatizirano određivanje deformacija građevinskih objekata pri probnim opterećenjima, *Geodetski list*, 3, 233-240.
25. Solarić, N.; Bilajbegović, A.; Solarić, M.; Špoljarić, D. (1997): Nezavisna kontrola geodetskih mreža iznad dugih tunela pomoću astronomski određenih smjernih kutova, *Geodetski list*, 51 (74), 1, 13-24.
26. Solarić, N.; Veršić, Z.; Solarić, S. (1997): Princip rada ručnog laserskog daljinomjera Leica Disto i njegove primjene, *Geodetski list*, 2, 107-125.
27. Solarić, M.; Solarić, N. (2000): Pregled geodetskih određivanja položaja Opservatorija Hvar i ostvarenih znanstvenih rezultata, *Geodetski list*, 3, 167-188.
28. Solarić, N.; Veršić, Z.; Vresk, M. (2000): Automatizirano određivanje prosječne temperature zraka pomoću brzine zvuka i kroskorelacijske funkcije pri preciznom mjerenju duljina, *Geodetski list*, 54 (77), 4, 247-257.
29. Solarić, M.; Solarić, N. (2001): Analiza ostvarenih znanstvenih rezultata geodetskih određivanja položaja Opservatorija Hvar, *Geodetski list*, 55 (78), 2, 79-104.
30. Maurer, W.; Schnädelbach, K.; Solarić, N.; Novaković, G. (2001): Povezivanje Münchenske i zagrebačke kalibracijske baze za ispitivanje i umjeravanje elektrooptičkih daljinomjera, *Geodetski list*, 55 (78), 3, 177-194.
31. Solarić, N.; Lapaine, M.; Novaković, G. (2002): Testing the Precision of the Precise Electro-Optical Distance Meter Mekometer ME5000 on the Calibration Baseline Zagreb, *Survey Review*, 36, 286, 612-626.
32. Boljkovac, D.; Solarić, N.; Solarić, M. (2002): Stability estimation of the Ilizarov external frame by electronic, *Periodicum Biologorum*, 104, 3, 335-344.
33. Solarić, N.; Barković, Đ.; Zrinjski, M. (2003): Halbautomatische Bestimmung der Punktverschiebung von der durch die Walzenständermite durchlaufende Achse, *Allgemeine Vermessungs Nachrichten*, 6, 224-230.
34. Solarić, N.; Veršić, Z.; Barković, Đ. (2004): Semi-Automatic Determination of the Parallelism of Rollers in the Aluminium Factory TLM-Šibenik, *Survey Review*, 37, 293, 577-588.

35. Solarić, N.; Veršić, Z.; Špoljarić, D. (2005): Independent control of GPS Networks above Long Tunnels by Means of Astronomically Determined Azimuth or Bearing Angels, *Survey Review*, 38, 298, 308-316.
36. Solarić, N.; Špoljarić, D. (2005): Nezavisna astronomska kontrola vanjske geodetske mreže tunela Mala Kapela, *Geodetski list*, 59 (82), 1, 15-30.
37. Solarić, N.; Solarić, M.; Barković, Đ.; Šoško, N. (2008): Mogućnost nezavisne kontrole duljine kalibracijske baze s pomoću GPS-a, *Geodetski list*, 62 (85), 2, 67-82.
38. Solarić, M.; Solarić, N. (2008): Povijesni pregled širenja znanja o geomagnetizmu i njegovim promjenama, *Geodetski list*, 62 (85), 4, 211-233.
39. Solarić, M.; Solarić, N. (2009): Povijesni pregled uporabe magnetskoga kompasa, osnovni princip rada elektroničkog kompasa i autonavigacije, *Geodetski list*, 63 (86), 2, 89-116.
40. Solarić, N.; Solarić, M.; Zrinjski, M. (2009): GPS-antena Zephyr Geodetic, *Geodetski list*, 63 (86), 4, 329-352.
41. Solarić, M.; Solarić, N. (2009): Prvi začeci klasičnih trigonometrijskih mreža, *Kartografija i geoinformacije*, 8, 11, 102-123.
42. Solarić, M.; Solarić, N. (2010): Himalaja i pregled određivanja visina Mt. Everesta, *Kartografija i geoinformacije*, 9, 14, 58-97.
43. Solarić, N.; Solarić, M.; Barković, Đ.; Zrinjski, M. (2011): Nova tehnološka dostignuća u konstrukcijama integriranih mjernih stanica, *Geodetski list*, 65 (88), 4, 311-322.
44. Solarić, N.; Solarić, M. (2012): Prijedlog da se u Zagrebu i okolici uz CROPOS-ove stanice postavi i nekoliko GPS (GNSS)-permanentnih stanica za geodinamiku i moguću najavu većeg potresa u sljedećem vremenskom razdoblju, *Geodetski list*, 66 (89), 3, 149-164.
45. Solarić, N.; Solarić, M.; Švehla, D. (2012): Nove revolucionarne mogućnosti u geodeziji koje pružaju otkrića za koje su dobivene Nobelove nagrade za fiziku 2005. i 1997., *Geodetski list*, 66 (89), 1, 1-19.
46. Solarić, N.; Barković, Đ.; Zrinjski, M. (2012): Automatizacija mjerenja atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina, *Geodetski list*, 66 (89), 3, 165-186.

Znanstveni rad objavljen u drugom časopisu

1. Solarić, N. (1983): Dodatni dio za povećanje dometa elektrooptičkih daljinomjera, objava prijave patenta, *Patentni glasnik*, 4 (broj prijave 1172/81), 508, 523.
2. Solarić, N. (1999): Elektroničko osjetilo za registriranje sile, ako sila nije djelovala kraće niti dulje od nekog dozvoljenog vremenskog intervala i elektroničko osjetilo za registraciju položaja na kojem je djelovala sila, *Hrvatski glasnik intelektualnog vlasništva*, 6, 3, 595.
3. Solarić, N.; Bošnjak, A. (2000): Inercijski sustav uz prizmu koji omogućava da automatska mjerna stanica "grubo" pronalazi prizmu, *Hrvatski glasnik intelektualnog vlasništva*, 7, 3.
4. Solarić, N.; Vresk, M.; Veršić, Z. (2001): Automatizirano određivanje prosječne temperature zraka pomoću brzine zvuka i kroskorelacijske funkcije ili i vremenom prolaza signala kroz srednji nivo, *Hrvatski glasnik intelektualnog vlasništva*, 8, 4, 1404.
5. Solarić, N.; Barković, Đ. (2002): Development of the Laboratory for Geodetic Electro-

- nic Instruments at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, Annual 2002 of the Croatian academy of engineering, 114.
6. Solarić, M.; Solarić, N. (2010): Prva opažanja gibanja umjetnih Zemljinih satelita u Hrvatskoj i određivanje koordinata položaja opservatorija Hvar, Ekscentar, 12, 22-26.
 7. Zrinjski, M.; Solarić, N.; Bašić, T. (2011): Analiza parametara kvalitete prijema GPS signala na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta, Ekscentar, 14, 76-79.
 8. Solarić, N.; Barković, Đ.; Zrinjski, M. (2012): 50 godina razvoja Laboratorija za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta, Godišnjak Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 2011–2012, 1, 99-112.

Znanstveni rad objavljen u zborniku radova s međunarodnoga znanstvenog skupa

1. Solarić, N. (1972): The additional equipment used at Hvar to improve the accuracy of time registration and to simplify the observation procedure for the IGN-camera, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge II, 251-259.
2. Solarić, N. (1978): Fotoelektričeskaja ustanovka dlja registracii momentov prohoždenija zvezd v Zagrebe, Astrometrija i astrofiz. Resp. mežved. sb., 34, 68-69.
3. Solarić, N. (1983): Automatische Bestimmung des Richtungswinkels mit dem elektronischen Theodolit Kern E1 mittels Zenitdistanzen der Sonne, XVII Internationaler Kongres FIG, Sofia, June 19-28, 10, 503.6, 1-9.
4. Solarić, N.; Špoljarić, D.; Nogić, Č. (1990): Accuracy of the geographical latitude determination by observing the stars using Kern E2 theodolite, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, 67, 272-280.
5. Solarić, N.; Solarić, M.; Junašević, M.; Barković, Ž. (1995): Automatic Determination of the Cross-section in the Tunnels by means of the Hand-held Laser Meter "Leica-DISTO", Proceedings of the 1st International Symposium of Laser Technique in Geodesy and Mine Surveying, Ljubljana, September 14-16, 53-60.
6. Solarić, N.; Solarić, M.; Špoljarić, D.; Novaković, G. (1996): Precision of laser distance meter in electronic precision total station Leica TC2002, International symposium "Applications of laser, GPS and GIS technologies in geodesy", Sofia, November 13-14, (u organizaciji FIG, International Society for Photogrammetrie and Remote Sensing, International Cartographic Association), 111-118.
7. Solarić, N.; Bilajbegović, A.; Solarić, M.; Špoljarić, D. (1997): Independent control of geodetic networks above long tunnels by means of astronomically determined azimuths, Proceedings surveying of large bridge and tunnel projects, FIG-symposium, Copenhagen, June 2-5, 215-227.
8. Solarić, N.; Solarić, M.; Špoljarić, D. (1998): Automated Method of Determining the Deformations on Construction Objects under Test Load, INGEO'98, Proceedings of the 1st International Conference of Engineering Surveying (u organizaciji FIG: Commision 6E), Bratislava, 197-203.
9. Boljkovac, D.; Solarić, N.; Solarić, M. (1999): Automatic determination of deformations at external fixateur in medicine by means of electronic theodolite, Proceedings,

- 9th FIG International Symposium on deformation Measurements, Olsztyn, September 27-30, 354-360.
10. Solarić, N.; Špoljarić, D. (2005): Independent Automated Astronomic Control of the external Geodetic Network of the Tunnel "Mala Kapela", International Symposium, Proceedings, Design, Construction and Operation of Long Tunnels, (ur. Chiou L.), Taipei, November 7-10, 1293-1303.
 11. Solarić, N.; Barković, Đ.; Vučić, N. (2008): Automated measurement with electrooptical distance meter and precise distance measurement processing at the calibration baseline of the Faculty of geodesy in Zagreb, Proceedings, 1st International Symposium RMO 2008 – Regional Metrology Organizations Metrology Symposium, (ur. Ilić, D.; Boršić, M.; Jučević, M.), Cavtat–Dubrovnik, Metrology Consulting, Zagreb, 224-226.
 12. Špoljarić, D.; Solarić, N. (2010): Automatizacije u astrogeodetskim mjerenjima, 10th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & EXPO Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2010, Volume 1, (ur. Sabotinov, N.; Mazhdrakov, M.), Sofia, 837-844.
 13. Zrinjski, M.; Solarić, N.; Barković, Đ. (2011): Analysis of the Influence of Multipath Effects on GPS Measurements at the Calibration Baseline of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, Proceedings of Papers – 1st Serbian Geodetic Congress, (ur. Joksic, D.), Beograd, Republic Geodetic Authority, 223-228.
 14. Zrinjski, M.; Solarić, N.; Barković, Đ. (2011): Determination of Pillar Coordinates at the Calibration Baseline of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb by Applying CROPOS, Proceedings of Papers – 1st Serbian Geodetic Congress, (ur. Joksic, D.), Beograd, Republic Geodetic Authority, 233-239.

Znanstveni rad objavljen u zborniku radova s domaćega znanstvenog skupa

1. Solarić, N. (1970): Prijedlog za konstrukciju fotoelektričnog uređaja na pasažnom instrumentu Zvezdarnice Geodetskog fakulteta u Zagrebu, Zbornik radova povodom 50. godišnjice Geodetskog fakulteta, Zagreb, 315-327.
2. Solarić, N. (1971): Dodatni elektronički uređaj za povećanje točnosti registracije vremena i za pojednostavljenje procesa opažanja IGN uređajem na Satelitskoj stanici Hvar, Zbornik radova Geodetskog fakulteta u Zagrebu, Zagreb, 57-68.
3. Solarić, N. (1978): Pet nivoa amplitudne diskriminacije za određivanje vremena prolaza zvijezda, Zbornik II. Savjetovanja o mjerenju vremena i frekvencija, JUKEM, Beograd, 47-59.
4. Solarić, N. (1977): A photoelectrical registering device with five discrimination level on a transit instrument, Zbornik III. Nacionalne konferencije astronoma Jugoslavije, Beograd, (tiskano 1979), 216-222.
5. Solarić, N. (1979): Analysis of the difference in accuracy of the photoelectrical time registration obtained on five levels and one discrimination level, Zbornik IV. Nacionalne konferencije astronoma Jugoslavije, Sarajevo, Publikacije Astronomske opservatorije u Sarajevu 1981, Vol. 1, No. 1, 115-124.
6. Solarić, N. (1979): The application of the cross-correlation function at the photoelectrical time registration of the stellar transits, Zbornik IV. Nacionalne konferencije astronoma Jugoslavije, Sarajevo, Publikacije Astronomske opservatorije u Sarajevu 1981, Vol. 1, No. 1, 125-130.

7. Solarić, N. (1980): Primjena funkcije uzajamne korelacije pri fotoelektričnoj registraciji vremena prolaza zvijezda na pasažnom instrumentu, Mjerenje i metrologija, Zbornik radova JUREMA 25, Zagreb, 2. svezak, 125-128.
8. Solarić, N. (1983): Automatsko određivanje smjernog kuta elektroničkim teodolitom Kern E1 opažanjem zenitnih daljina Sunca, Savjetovanje o automatizaciji u geodeziji, Savez Geodetskih inženjera i geometara Jugoslavije, Bled, 227-236.
9. Solarić, N. (1984): Druga poboljšana varijanta automatskog određivanja smjernog kuta elektroničkim teodolitom Kern E2 pomoću zenitnih daljina Sunca, planeta i zvijezda, Zbornik radova XI. Jugoslavenskog simpozija o mjerenjima i mjernoj opremi, Novi Sad, 132.1-132.9.
10. Solarić, N. (1986): Treća poboljšana varijanta automatskog određivanja smjernog kuta elektroničkim teodolitom Kern E2 pomoću zenitnih duljina Sunca, planeta i zvijezda, Zbornik radova XII. Jugoslavenskog simpozija o mjerenjima i mjernoj opremi, Beograd, 143-152.
11. Solarić, N.; Junašević, M.; Špoljarić, D. (1990): Određivanje smjernog kuta astronomskim metodama u svakodnevnoj praksi, Stanje evidencije katastra vodova na području zajednice općina Osijek, Osijek, 102-112.
12. Solarić, N. (1992): Kalibracijska baza za ispitivanje elektrooptičkih daljinomjera Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zbornik radova, 37. međunarodni godišnji skup KOREMA, 236-241.
13. Solarić, N.; Špoljarić, D.; Randić, L. (1992): Automatska određivanja azimuta astronomskim metodama pomoću elektroničkog teodolita Leica-Kern E2 i programabilnog kalkulatora Hewlett-Packard HP41CX, Zbornik radova, 37. međunarodni godišnji skup KOREMA, 264-267.
14. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1992): Automatizacije registriranja vremena laptop Toshiba T1600, Zbornik radova, 30. obljetnica Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 53-60.
15. Solarić, N. (1992): Uređaj za precizno određivanje korekcije sata, Zbornik radova, 30. obljetnica Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 61-65.
16. Solarić, N. (1992): Automatizacije iz geodetske astronomije i praktične geodezije, Zbornik radova, 30. obljetnica Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 165-175.
17. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1993): Položajna astronomija na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Pogled u svemirski ocean, 90. obljetnica Zvezdarnice u Zagrebu, Zvezdarnica Hrvatskoga prirodoslovnog društva, (ur. Marković, Z.), Zagreb, 155-171.
18. Solarić, N.; Randić, L.; Špoljarić, D.; Skender, I. (1994): Točnost vremenskih signala javnih službi u Hrvatskoj 1990. i točnost potrebna pri opažanju u geodetskoj astronomiji, Zbornik radova, 39. godišnji skup KOREMA, Zagreb, 25-27. travnja, 238-241.
19. Solarić, N.; Špoljarić, D. (1995): Automatsko određivanje deformacija građevinskih objekata pri probnim opterećenjima primjenom elektroničkog teodolita, Zbornik radova, 40. jubilarni godišnji skup KOREMA, Zagreb, 273-276.
20. Solarić, N.; Novaković, G.; Džapo, M.; Barković, D.; Šljivarić, M. (1999): Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu za ispitivanje i umjeravanje elektrooptičkih daljinomjera, Zbornik radova simpozija "Državne geodetske osnove i zemljišni geoinformacioni sustavi", Opatija, 12-14. svibnja, 297-305.

21. Barković, Đ.; Solarić, N. (2002): Automatizirano mjerenje na komparatru za nivel-manske letve pomoću inkrementalne mjerne letve, Zbornik radova povodom 40. obljetnice Geodetskog fakulteta, Zagreb, 281-292.
22. Solarić, N.; Šimičić, K.; Novaković, G. (2002): Razvoj Laboratorija za mjerenje i mjernu tehniku Geodetskog zavoda Geodetskog fakulteta, Zbornik radova povodom 40. obljetnice Geodetskog fakulteta, Zagreb, 309-320.
23. Solarić, N.; Benčić, D.; Džapo, M.; Barković, Đ.; Zrinjski, M. (2002): Razvoj elek-troničkog dijela Laboratorija za mjerenje i mjernu tehniku Geodetskog zavoda Ge-odetskog fakulteta, Zbornik radova povodom 40. obljetnice Geodetskog fakulteta, Zagreb, 321-332.
24. Solarić, N.; Barković, Đ.; Džapo M.; Pribičević, B. (2008): Kalibracijska baza Zagreb za ispitivanje geodetskih instrumenata, Razvitak Zagreba, SECON HDGK d.o.o., Zagreb, 165-170.
25. Solarić, N.; Špoljarić, D. (2008): Predlaže se kontrola GPS mreže iznad budućeg tunela Medvednica astronomskom metodom, Razvitak Zagreba, SECON HDGK d.o.o., Zagreb, 365-370.
26. Solarić, N.; Solarić M. (2013): Moguća primjena CROPOS-a i za najavu većeg potre-sa, 3. CROPOS konferencija, Opatija, 24-25. listopada, 21-28.

Znanstveni projekti

1. Precizno mjerenje duljina, voditelj s hrvatske strane: prof. dr. sc. Nikola Solarić; voditelj s Technische Universität München: Prof. Dr.-Ing. Klaus Schnädelbach, međunarodni projekt (od 1995. do 2002.).
2. Astrofizička i astrometrijska izučavanja nekih nebeskih tijela (Fotoelektrični uređaj za registraciju prolaza zvijezda) (od 1971. do 1975.), voditelj projekta.
3. Revalorizacija osnovnih geodetskih radova – podzadatak: Primjena elektronike u geodeziji (od 1975. do 1980.), voditelj podzadatka.
4. Razvoj instrumentalne i mjerne tehnike u geodeziji – podzadatak: Primjena elek-tronike u praktičnoj astronomiji (od 1975. do 1980.), voditelj podzadatka.
5. Istraživanja geodetske mjerne tehnike, metoda izmjere i metoda uređenja zemljišta komasacijom (od 1980. do 1985.), voditelj podzadatka.
6. Uspostavljanje novih geoidnih točaka na prostoru Hrvatske (1985.), voditelji pro-jekta prof. dr. Krešimir Čolić i prof. dr. Nikola Solarić.
7. Istraživanja mjerne tehnike i geodetskih metoda na uređenju prostora i u gradi-teljstvu – podzadatak: Istraživanje i razvoj mjerne tehnike i metoda kalibracije (od 1985. do 1990.), voditelj znanstvenog projekta i podzadatka.
8. Istraživanja mjerne tehnike, automatizacije i metoda mjerenja (od 1991. do 1995.), voditelj projekta.
9. Održavanje kalibracijske baze – I. faza – sanacija stupova baze (1995.), voditelj projekta.
10. Održavanje kalibracijske baze – II. faza – ponovno mjerenje kalibracijske baze (1996.), voditelj projekta.
11. Geodetske metode mjerenja i njihove automatizacije (od 1996. do 2001.), voditelj projekta.
12. Automatizacija komparacije invarskih letava (2000.), voditelj projekta.

13. Automatizirane geodetske metode mjerenja (2002.), voditelj projekta.
14. Automatizacija komparacije čeličnih vrpce (od 2002. do 2003.), voditelj projekta.
15. Automatizacija geodetskih metoda mjerenja (od 2002. do 2006.), voditelj projekta.
16. Razvoj znanstvenog laboratorija za geodetske instrumente (od 2008. do 2014.), voditelj projekta.

Znanstvena društva

1. Nacionalni komitet za astronomiju Jugoslavije, tajnik od 1980. do 1985.
2. Međunarodna astronomska unija, član od 1984.
3. Član je međunarodnih komisija:
 - IAU (International Astronomical Union), Commission 8 (Positional astronomy), član od 1984.
 - FIG (International Federation of Surveyors), Commission 5 (Survey instruments and method), nacionalni delegat Hrvatske od 1989. do 2000.
 - FIG (International Federation of Surveyors), member of the Working Group 6E (Laser Techniques and Applications in Engineering Surveyors), član od 1993.

Znanstvena nagrada/priznanje

1. Državna nagrada "Nikola Tesla" za značajnu znanstvenu djelatnost, 1994.
2. Akademija tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ), redoviti član od 1998., član emeritus od 2005.
3. Počasno zvanje professor emeritus Sveučilišta u Zagrebu – Geodetski fakultet, 2003.
4. Nagrada "Josip Juraj Strossmayer" zajedno s prof. dr. sc. Dušanom Benčićem za najbolje znanstveno djelo s područja tehničkih znanosti objavljeno u Hrvatskoj u 2008., koju dodjeljuje Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Zagrebački velešajam.

Nastavna djelatnost

Otvaranje, ustrojstvo i organizacija novih laboratorija, vježbališta, praktiku- ma (nabava i instalacija opreme osobnim angažmanom)

1. U Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta nastojao je razviti elektronički laboratorij za ispitivanje geodetskih elektroničkih instrumenata usmjeren na automatizaciju mjerenja u primijenjenoj geodeziji i geodetskoj astronomiji. U tom je cilju, uz njegovo zalaganje, nabavljeno:
 - digitalni counter HP 5328A (voltmetar, frekvencmetar)
 - univerzalni instrument (2 kom.)
 - osciloskop s memorijom Telequipment
 - digitalni voltmetar
 - DC izvori napajanja (4 kom.)
 - stalak za elektroničko justiranje elektrooptičkih daljinomjera Kern

- stalak za optičko justiranje elektrooptičkih daljinomjera Kern
- TV s enkoderom za ispitivanje točnosti frekvencije
- elektronički teodolit Kern E2, elektrooptički daljinomjer Kern DM503, računalo Alphacord i prizma za iskolčavanje (zajedno sa Zavodom za fotogrametriju Zagreb)
- stolno elektroničko računalo HP 9845 i digitizer HP 9864A (zajedno s Geodetskim zavodom Zagreb) (prvo računalo na Geodetskom fakultetu u Zagrebu)
- PC računalo (486) + laserski printer (od Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske za značajnu znanstvenu djelatnost)
- AA2 za automatsko mjerenje temperature
- analogno-digitalni konverter za PC
- prijenosno računalo Oliveti
- ručne radiopostaje (3 kom.)
- DAQ-Card za automatsko očitavanje napona na PC-u
- osciloskop s memorijom Hewlet-Packard
- prijenosna računala Compaq, Hewlet-Packard
- altimetar (digitalni termometar, barometar i psihrometar za postotak vlažnosti)
- precizna geodetska mjerna stanica Leica TC2003 (mjerne nesigurnosti bolje od 1 mm na duljinama do 300 m i 0,5 mgon za kutove)
- CCD kamera (Panasonic) za automatizaciju viziranja u mjernom laboratoriju
- frekvencmetar HP 5313A-010
- uređaj za mjerenje frekvencije u elektrooptičkim daljinomjerima (od Sveučilišta u Bonnu).

Poklon švicarske tvornice geodetskih instrumenata Kern dobio je za Geodetski fakultet:

- prijenosno računalo Toshiba T1600
 - printer NEC 2
 - interface HPIL/RS232
 - Alphacord (računalo)
2. U Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta projektirao je, organizirao i kontrolirao izgradnju stupova kalibracijske baze duljine 6000 m za ispitivanje elektrooptičkih daljinomjera. Na njoj se daljinomjeri trebaju ispitati prije i poslije obavljenih elektroničkih justaža u elektroničkom laboratoriju, a i prema zakonu jednom godišnje. Kalibracijska baza, osim kao poligon za znanstveno-istraživački rad, osigurava uvjete za postizanje jedinstvenog mjerila u Hrvatskoj pri mjerenju velikih duljina (do 6000 m) te geodetske tvrtke mogu prema zakonskim odredbama dati na ispitivanje i umjeravanje svoje elektrooptičke daljinomjere.

Sveučilišni udžbenik

1. Benčić, D.; Solarić, N. (2008): Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici, Školska knjiga, Zagreb, 996 str.

Skripta

1. Solarić, N. (1996): Automatisierte Bestimmung des Azimuts und des Richtungswinkels mit den astronomischen Methoden, Lehrmaterial für das Lehrgebit Landesvermessung, Dresden.
2. Solarić, N. (1994): Digitalni nivelir Wild (Leica) NA2000 i NA3000 s automatskim očitavanjem letve (visine i duljine), Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
3. Solarić, N. (1995): Kratke upute za sustav i programe Leica (Wild) T/TC1010 i T/TC1610, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Diplomski radovi

Prof. dr. sc. Nikola Solarić bio je mentor više od 70 diplomskih radova.

Magistarski radovi

1. Barković, Đ. (1997): Poluautomatsko određivanje profila tunela pomoću laserskog daljinomjera Leica DISTO, komentor, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
2. Špoljarić, D. (1997): Ispitivanje preciznosti automatiziranog određivanja smjernog kuta astronomskim metodama, mentor, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Prof. dr. sc. Nikola Solarić bio je član Povjerenstva za ocjenu i Povjerenstva za obranu osam magistarskih radova:

- mr. sc. Krsto Šimičić
- mr. sc. Zdravko Kapović
- mr. sc. Gorana Novaković
- mr. sc. Mladen Lero
- mr. sc. Marko Džapo
- mr. sc. Đuro Barković (1997)
- mr. sc. Drago Špoljarić (1997)
- mr. sc. Jasmin Taletović (Sarajevo, 2002).

Doktorske disertacije

Prof. dr. sc. Nikola Solarić bio je mentor pri izradi doktorskih disertacija:

- Špoljarić, D. (2002): Automatizacija simultanog određivanja astronomskih koordinata na geoidnim točkama, mentor, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Barković, Đ. (2002): Komparacija nivelmanskih letava pomoću inkrementalne mjerne letve, mentor, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Zrinjski, M. (2010): Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta

primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a, komentor, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Zbog iznimno bogatog i vrlo obimnoga cjelokupnog prethodno opisanog znanstvenog i nastavnog opusa profesora emeritusa Nikole Solarića te zbog ograničenog prostora, primorani smo izostaviti njegov stručni rad. Cjelokupni popis svih radova bit će objavljen u prigodnoj monografiji koja će biti posvećena našim dragim profesorima Nikoli i njegovu bratu blizancu Miljenku Solariću.

Đuro Barković i Mladen Zrinjski

Tehnološki razvoj i primjena fototeodolita i videoteodolita*

Autori: Rinaldo Paar¹, Miodrag Roić¹, Ante Marendić¹ i Stjepan Miletić²

¹ Zavod za primijenjenu geodeziju, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb

² Zavod za fotogrametriju d.d., Borongajska cesta 71, 10000 Zagreb

Sažetak: Teodoliti su temeljni geodetski mjerni instrumenti za sve praktične geodetske zadatke, kao i za eksperimentalne geodetske znanstvene svrhe. Njihov razvoj ima dugu povijest, foto i video teodoliti predstavljaju napredni razvoj klasičnih teodolita. Njihov razvoj je započeo u 19. stoljeću, ali tek u posljednjih 15 godina postignuta je komercijalna primjena u geodetskoj struci. Najnovije razvijeni nazvan je IATS (engl. Image assisted total station), a to je teodolit koji se sastoji od klasične robotizirane totalne stanice (RTS) s integriranim slikovnim senzorom. Predstavljen je početkom 2000-tih, a sa razvojem teodolita njihova primjena postala je mnogo šira. Danas se teodoliti mogu koristiti za strukturalni i geomonitoring, odnosno za određivanje statičkih i dinamičkih pomaka i deformacija građevinskih konstrukcija poput mostova, brana, vjetroelektrana i visokih zgrada, kao i prirodnih struktura, poput padina planina. Mogu se implementirati u geodetske sustave monitoringa koji su integralni dio inženjerske strukturne dijagnostike, pružajući ključne informacije o trenutnom stanju strukture. Ovaj rad opisuje tehnološki razvoj fototeodolita i videoteodolita podijeljen prema glavnim inovacijama u njihovom razvoju. Primjena modernih videoteodolita (tj. IATS) prikazana je na nekoliko eksperimentalnih studija koje su provedene. Detaljno je opisan postupak mjerenja s ovakvim instrumentima kao i analiza prikupljenih podataka i postignutih rezultata. Prema postignutim rezultatima autori na kraju zaključuju da se IATS, danas, može koristiti za određivanje kvazi-statičkih i dinamičkih pomaka s malim i visokim amplitudama.

Ključne riječi: fototeodolit; videoteodolit; IATS; tehnološki razvoj; praćenje pomaka i deformacija; strukturalni monitoring; geomonitoring

* Ovo je prijevod članka Technological Development and Application of Photo and Video Theodolites izvorno objavljenog u časopisu: Applied Sciences 2021, 11(9), 3893; <https://doi.org/10.3390/app11093893> uz odobrenje izdavača: MDPI (Basel, Switzerland). Prijevod je pripremio: Tomislav Debeljak, mag. ing. geod. et geoinf., Vatroslava Jagića 3, 10370 Dugo Selo (tdebeljak@geoskola.hr) uz podršku autora.

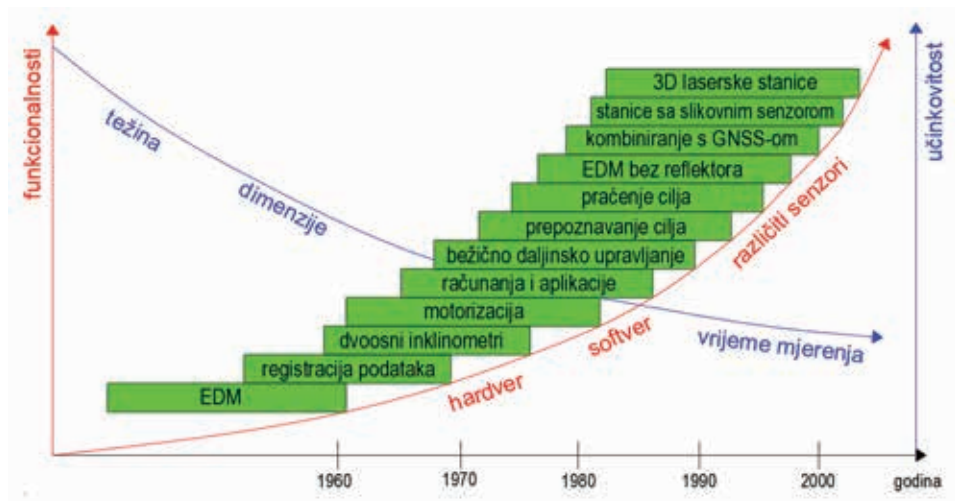
1. Uvod

Teodolit je geodetski instrument za mjerenje horizontalnih i vertikalnih pravaca, odnosno kutova u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini, a postoje optički i elektronički teodoliti [1–3]. Za određivanje položaja točaka u koordinatnom sustavu osim kutova moramo mjeriti udaljenost između instrumenta i cilja. Udaljenosti možemo mjeriti mehanički (lancima i mjernim vrpčama), optički (optičkim daljinomjerima i interferometrima) i elektronički (elektro-optičkim daljinomjerima i elektroničkim daljinomjerima – EDM). Točnost mehanički i optički mjerenih udaljenosti je niska i nije prikladna za računanje koordinata karakterističnih točaka terena. S vremenom su u teodolite ugrađene brojne tehnološke inovacije čime se značajno povećala točnost mjerenja kuta i udaljenosti. Možda najveći razvoj teodolita bio je integracija s elektroničkim daljinomjerom (EDM) koji se počeo pojavljivati oko 1940. godine i postao dostupan na tržištu krajem 1960-ih godina [4]. Vrsta EDM-a ugrađenog u moderne totalne stanice obično je elektro-optičkog tipa koji koristi infracrveno i lasersko svjetlo kao nositelje signala [3]. Instrumenti koji mogu istovremeno mjeriti kutove i udaljenosti, te zabilježiti rezultate i donekle ih obraditi nazivaju se elektroničkim tahimetrima ili totalnim stanicama (TS) [2]. Totalne stanice su elektronički digitalni teodoliti integrirani s EDM instrumentima i uređajima za elektroničko prikupljanje podataka s ciljem zamjene ručnog zapisivanja terenskih podataka, te omogućavaju elektronička očitavanja kuta i mjerenje udaljenosti [3].

Danas se u TS kombinira mnogo različitih senzora i metoda mjerenja kao što su visoko precizna očitavanja kuta, elektroničko mjerenje udaljenosti (EDM) do reflektora i do bilo koje druge površine (EDM bez reflektora), korekcija nagiba pomoću dvoosnih inklinometara, različite vrste motorizacije za horizontalno i vertikalno kretanje instrumenata, servo, piezo i magnetski motori (robotizirana totalna stanica – RTS), slikovni senzori CCD (charge-coupled device) ili CMOS (complementary metal–oxide–semiconductor) senzori (CCD ili CMOS) za automatsko fokusiranje, automatsko viziranje (tj. automatsko prepoznavanje ciljeva (automatic target recognition) i praćenje signaliziranih točaka), integracija s globalnim navigacijskim satelitskim sustavom (GNSS) pozicioniranja, bežičnom komunikacijom i radom upravljačem, dodatnim kamerama za dokumentaciju (image-assisted total station – IATS), te IATS-om s funkcijom skeniranja (image-assisted scanning total station – IASTS). Zbog brzog razvoja hardvera, kako je vidljivo na Slici 1, različite klase senzora svaka s vlastitim prednostima mogu se ujediniti, koristiti i spojiti kao jedan (gotovo) univerzalni instrument [5]. Moderne TS su multisenzorski sustavi koji mogu odrediti trodimenzionalne koordinate ciljanih točaka kombiniranjem mjerenja horizontalnih kutova, vertikalnih kutova i udaljenosti [6].

Slika 1 prikazuje tehnološki razvoj totalne stanice tijekom godina, odnosno od sredine 20. stoljeća do danas. Prikazani su glavni hardver i softver, integracija senzora i njihov utjecaj na funkcionalnosti instrumenta i učinkovitost operatera tijekom mjerenja na terenu. Nakon integracije EDM-a s osnovnim teodolitom 1960-ih godina otkad su se počeli koristiti tahimetri, očito je da su se smanjile dimenzije i težina instrumenata, potrebna sposobnost stručnjaka

vezano za metode mjerenja, kao i vrijeme provedeno na terenu. Suprotno tome funkcionalnosti instrumenta i mogućnosti za izmjernu i praćenje projekata brzo su porasle.



Slika 1. Tehnološki napredak totalne stanice.

Različite vrste motorizacije razvijene za pomicanje instrumenata u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini posebno su dizajnirane i implementirane u robotiziranu totalnu stanicu (RTS). RTS se najčešće koristi za visoko precizna mjerenja poput praćenja pomaka i deformacija građevinskih konstrukcija i Zemljine površine.

RTS s dodatno integriranim kamerama u durbinu često se naziva robotizirana stanica s integriranim slikovnim senzorima (IATS) [7]. U literaturi postoji niz alternativnih izraza za ovu klasu instrumenata [8]: fototeodolit, videoteodolit/tahimetar, laserski skener/totalna stanica i drugi. Često se pravi razlika između videa i fotografije. Ova činjenica bila je važeća u prošlosti s obzirom da su se analogni uređaji za snimanje fotografija pojavili krajem 19. stoljeća. Statični instrumenti na izravnom rotirajućem postolju s glavnom funkcijom snimanja fotografija pomoću fotogrametrijske kamere podržane teodolitom za određivanje elemenata vanjske orijentacije nazivaju se fototeodoliti [9,10].

Trenutno IATS ima moguće primjene u poluautomatskim sustavima rekonstrukcije objekata [11], potpuno automatiziranim sustavima praćenja deformacija [12], industrijskim mjernim sustavima [13], mjerenjima amplituda vibracija mjerenjem fotografije visoke frekvencije [14], snimanjem dodatnih informacija poput visokofrekventnih pokreta ili fluktuacija intenziteta uzorka pomoću senzora fotografije za derivaciju temperaturnog gradijenta atmosfere kao odlučujućeg utjecajnog parametra za kutnu refrakciju [15] i praćenje pukotina [14,16].

Ovo istraživanje daje pregled i opisuje tehnološki razvoj fototeodolita i videoteodolita podijeljenih u faze prema glavnim inovacijama u njihovom razvoju (poglavlje 2). Naglasak je stavljen na komercijalno razvijene instrumente,

međutim analiziraju se i prototipovi iz akademske sfere budući da često potiču tehnološki razvoj. Objašnjavaju se osnovna načela moderne IATS, kalibracija kamere i sustava, te postupci mjerenja i pristupi obradi podataka (poglavlje 3). Primjena IATS-a kao nasljednika fototeodolita i videoteodolita prikazana je eksperimentalnim i na terenu prethodno provedenim istraživanjima (poglavlje 4). Na kraju je prikazana rasprava s glavnim zaključcima provedenih studija.

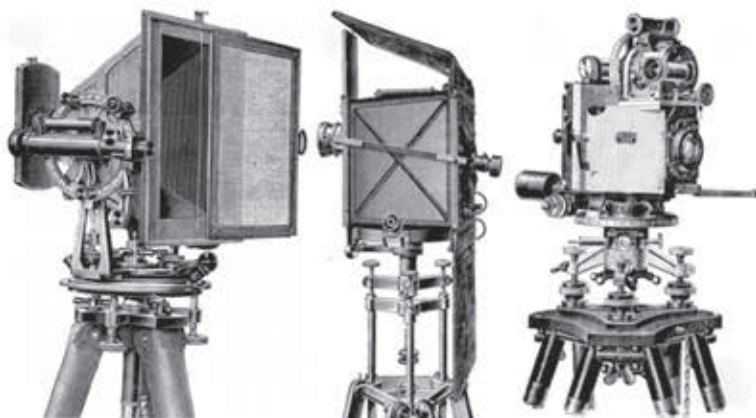
2. Tehnološki razvoj

Možemo razlikovati dvije glavne faze u razvoju fototeodolita i videoteodolita. Prva faza smatra se razdobljem kada je teodolit bio podrška fotogrametrijskim kamerama, te je nazivan fototeodolit, dok se druga faza smatra razdobljem kada je kamera postala podrška teodolitima, odnosno tahimetrima i totalnim stanicama koji su nazivani videoteodoliti.

Druga faza koja uključuje tehnološki razvoj videoteodolita može se podijeliti u četiri glavne faze prema glavnim inovacijama u njihovom razvoju. U ovom poglavlju opisuje se svaka faza, a objašnjene su i glavne inovacije.

2.1. Razvoj do 1940. godine

Fototeodoliti su poznati više od 150 godina u fotogrametriji. Glavna zasluga za uvođenje fotogrametrije pripada Aimeu Laussedatu, časniku u inženjerskom korpusu francuske vojske. Poznat je kao “otac fotogrametrije” jer je izradio prve upotrebljive kamere za terestričke radove 1851. godine [17]. Izradio je prve karte pomoću fotografija koje je snimao iz balona. Njegova daljnja istraživanja usmjerena su na terestričku fotogrametriju, te je osmislio prvi fototeodolit koji se sastojao od kamere i teodolita [18]. Kraj 19. stoljeća bio je značajan za razvoj terestričke fotogrametrije koja se primjenjivala u mnogim projektima kartiranja. Talijanska vojska razvila je fototeodolit 1889. godine (Slika 2, lijevo). Sebastian Finsterwalder napisao je svoju disertaciju 1899. godine o “osnovnoj geometriji fotogrametrije” u kojoj je riješio problem određivanja položaja stajališta dvije kamere, odnosno stereopara, neovisno o terenskim mjerenjima s četiri točke identificirane na obje fotografije, kao i metode relativne i apsolutne orijentacije. Također je razvio svoj vlastiti fototeodolit (Slika 2, sredina). Nijemac Carl Pulfrich konstrukcijom svog fototeodolita (Slika 2, desno) dizajnirao je prvi moderni stereokomparator koji je koristio principe stereofotogrametrije i x–y koordinatne skale [17,18]. Na početku je fotogrametrijska kamera kombinirana s komponentama poput uređaja za viziranje, dozne libele, cijevne libele i tronošca [19].



Slika 2. Fototeodolit talijanske vojske (lijevo), Finsterwalderov foto-teodolit (sredina) i Pulfrichov foto-teodolit (desno) [18].

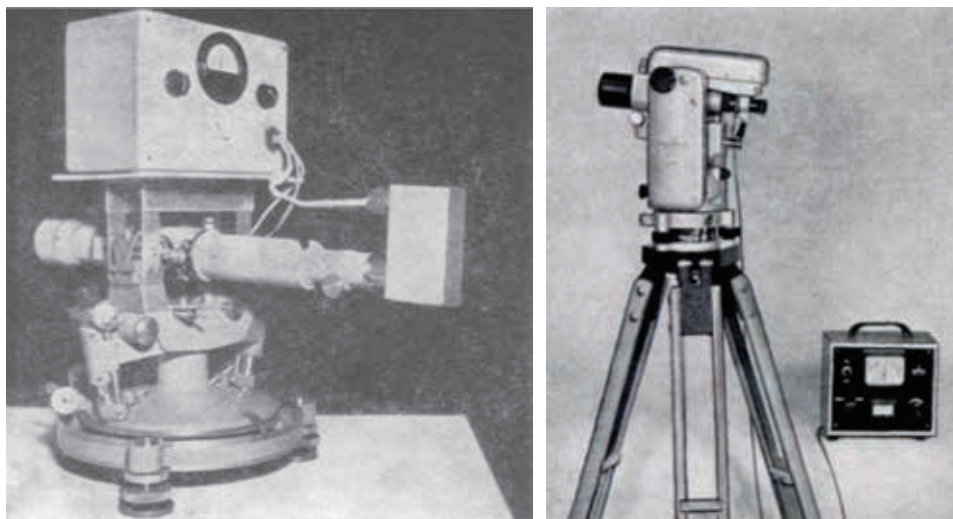
Wild je 1922. godine izradio prvi komercijalni fototeodolit Wild P30 (Slika 3, lijevo) [20]. Instrument je kombinacija kamere i teodolita i kao takav bio jedinstven u svijetu. Wildov fototeodolit bio je najtočniji sljedećih trideset godina. Povećanje dubina bilo je 28 $\times$, a očitavanje pravaca pomoću optičkog mikrometra bilo je 1". Žarišna duljina leće kamere bila je 165 mm. Težina kamere i teodolita iznosila je 27.5 kg, dok je težina potpune mjerne opreme sa svim potrebnim pomoćnim pomagalicama bila oko 65 kg. Instrument je bio primjenjiv za sve velike i male geodetske zadatke. Pouzdanost instrumenta tijekom terenskog rada u najtežim uvjetima, koji su česti tijekom istraživanja u visokim planinama, bila je jedna od njegovih glavnih prednosti. Tri godine kasnije Wild je predstavio novi model fototeodolita nazvan Wild FT9 (Slika 3, desno). Mehanička konstrukcija teodolita i kamere pojednostavila je određivanje orijentacije kamere za naknadnu fotogrametrijsku obradu.



Slika 3. Wildovi fototeodoliti P30 (lijevo) i FT9 (desno) [20].

2.2. Razvoj od 1941. do 1980. godine

Nakon Drugog svjetskog rata na Institutu za primijenjenu geodeziju u Frankfurtu razvijen je teodolit pod nazivom Electronic Eye (Slika 4, lijevo) za automatsko viziranje temeljeno na razlici između dvije struje u fotoelektričnoj čeliji. Ova metoda je dalje razvijena krajem 1950-ih kako bi omogućila točnost mjerenja pravca od 1" kao srednje vrijednosti od šest setova pravaca [21]. Testiranje je dalo vrlo dobre rezultate, pa je tvrtka Askania proizvela modificirani teodolit temeljen na Electronic Eyeu – Askania Tracking System (Slika 4, desno).



Slika 4. *Electronic Eye* iz Instituta za primijenjenu geodeziju u Frankfurtu (lijevo) i *Askania Tracking System* (desno) [21,22].

Dok je Electronic Eye mogao mjeriti samo statičke ciljeve, Askania Tracking System je već imao sposobnost registriranja orbite pokretnih objekata (zrakoplova ili rakete) tijekom Drugog svjetskog rata. Askania Tracking System koristio se kao sustav za praćenje od kraja 1950-ih do 1973. godine [23]. Kasnije se vrsta teodolita prikazana lijevo na slici počela proizvoditi u Švicarskoj pod imenom Contraves EOTS (elektro-optički sustav praćenja), a potom je proizvedena i u Kini [22]. Instrument nazvan kineteodolit koristio se za bilježenje važnih podataka tijekom testiranja raketa i zrakoplova, kao i drugih eksperimentalnih oružanih sustava. Balističke kamere koje su se koristile u satelitskoj geodeziji često su imale integrirane CCD slikovne senzore za snimanje videozapisa, a mogu se također strukturalno smatrati videoteodolitima [22].

S ciljem dokumentiranja slijetanja zrakoplova korištenjem instrumenta 1972. godine u Parizu je razvijen prijenosni Minilir sustav [22]. Sustav je razvijen kao dio unutarnjeg istraživačkog projekta SAT (Société Anonyme de Télécommunications), te nije bio samo geodetski napredak već i vojni alat za au-

tomatsko praćenje infracrvenog zračenja poput zrakoplova i ispuha projektila. Viziranje je temeljeno na detekciji svjetala zrakoplova pomoću vrlo osjetljivog infracrvenog senzora koji je snimao frekvencijski i fazno modulirani signal. Ovaj instrument koristi se od 1980-ih u kombinaciji s različitim daljinomjerima poput IBEO Fennel elektroničkog daljinomjera (EDM) ili AGA Geodimeter-112 EDM. Ovisno o tome koji EDM je bio primijenjen instrument se nazivao AGA-Minilir (Slika 5, sredina) ili Fennel-Minilir. Ovaj instrument korišten je već 1980. godine u „Dutch delta project“ za obalnu navigaciju transportnih brodova. U kombinaciji s filmskom kamerom sustav je postao poznat kao kineteodolit koji se koristio na lansirnim mjestima Kourou (Guiana Space Centre) i Cape Canaveral. U civilnoj upotrebi Minilir se koristio za kalibraciju sustava za slijetanje pomoću instrumenta [24].

Nakon Minilira, 1983. godine uslijedio je instrument Krupp Atlas-Elektronik poznat kao Polarfix (Slika 5, desno). Princip mjerenja laserom za dinamička mjerenja kratkog dometa i visoke točnosti bio je osnova Polarfixa. Polarfix je imao nekoliko prednosti i poboljšanja u usporedbi s Minilir sustavom. Dok je Minilir za pronalaženje cilja zahtijevao izvor topline, Polarfix je trebao samo pasivnu reflektirajući prizmu za praćenje cilja. Vertikalni krug automatski je kompenziran, a instrument se mogao koristiti pomoću izvora energije od 12 V umjesto od 220 V, a što je omogućilo korištenje baterija. Njegova težina i volumen bili su dva puta manji u usporedbi s Minilir sustavom. Sustav je pružao polarne koordinate za utvrđivanje položaja, uključivao potpuno automatsku funkciju praćenja bez operatera, te osiguravao utvrđivanje udaljenosti/azimuta do točnosti od $10\text{ cm} + 5\text{ cm/km}$ s jedne obalne postaje povezane s brodskom telemetrijom i reflektorima zraka. Radni domet ovisio je o vremenskim uvjetima i drugim faktorima, ali je njegov tipični osnovni domet bio malo manje od 3 km, a koji se mogao proširiti na 5 km ili više. Ovaj instrument prvenstveno je bio dizajniran za praćenje brodova na unutarnjim vodenim putovima [25]. Sedamdesete i osamdesete godine 20. stoljeća obilježila je integracija EDM-a i elektronike općenito u teodolite što je također utjecalo na uvođenje novog naziva za takve instrumente, tj. elektronički teodoliti ili elektronički tahimetri (ET) [26].



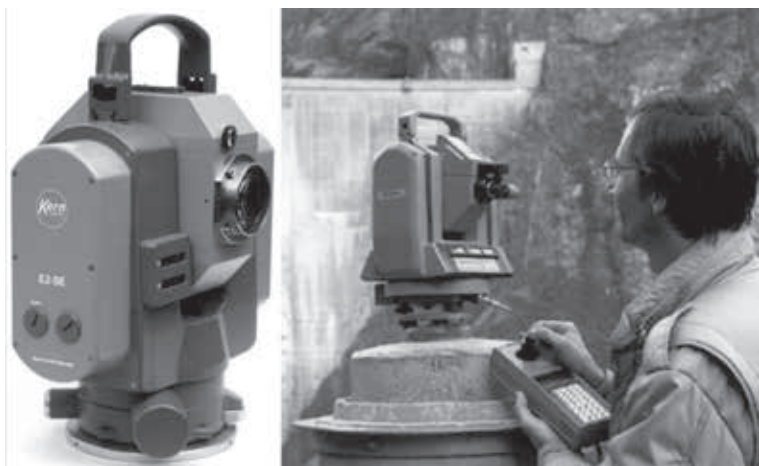
Slika 5. *Contraves EOTS kineteodolit (lijevo) [23], AGA-Minilir kineteodolit (sredina) [24], i Krupp Atlas Polarfix (desno) [22].*

2.3. Razvoj od 1981. do 1990. godine

Razvoj tijekom 1980-ih godina bio je usmjeren na mjerne sustave s teodolitom (TMS). Elektronički teodoliti (ET) u kombinaciji s integriranim kamerama, odnosno CCD slikovnim senzorima, koristili su se za mjerenje prostornim presjekom naprijed pomoću dva ili više instrumenata. Automatsko viziranje fiksnih ciljnih točaka ili projiciranih laserskih točaka ostvarivano je korištenjem tehnika analize slike [8]. Većina tih uređaja koristila se u industrijske svrhe.

Godine 1981. Geodetski institut Sveučilišta u Hannoveru preuzeo je ideju korištenja četverokvadratnih dioda u okviru „Collaborative Research Center 149“ u podprojektu pod nazivom „automatsko određivanje položaja objekta na moru pomoću tahimetra“. Poluvodički senzor položaja smješten u ravninu slike tahimetra koristio se za otkrivanje centra izvora svjetlosti smještenog na praćenom brodu. Pomoću ugrađenih servomotora instrument je mogao pratiti brod uvijek držeći izvor svjetlosti u sredini vidnog polja (FOV). Ovaj razvoj temeljio se na AGA Geodimeter 700 koji je imao beskonačne vijke za fino podešavanje i nazvan je GEOROBOT, a GEOROBOT II razvijen je kasnije na temelju instrumenta Geodimeter 710 [27,28].

Dva instrumenta koja su obilježila ovo razdoblje predstavljena su gotovo istovremeno, tj. Kern E2-SE (Slika 6, lijevo) predstavljen 1985. godine [29] i Wild TM-3000V (Slika 6, desno) predstavljen malo kasnije [30]. Ovi instrumenti razvijeni su projektima tvrtki Kern i Wild i tijekom faze projekta nazvani su Kern SPACE i Wild ATMS. Proizvođači u automobilskoj i zrakoplovnoj industriji koji su koristili sustave mjerenja pomoću teodolita tijekom montaže i kontrole kvalitete svoje povećane zahtjeve temeljili su na mjerenju prostornih presjeka naprijed pomoću dva ili više instrumenata. Kako bi zadovoljili te zahtjeve Kern i Wild integrirali su CCD slikovne senzore i digitalno snimanje fotografije u teodolite sa servo motorima. Ti takozvani videoteodoliti imali su panfokalne durbine što znači da se vidno polje mijenjalo kao funkcija udaljenosti do ciljne točke. Kern E2-SE imao je CCD slikovni senzor s razlučivošću od 576×684 piksela, a fotografija je bilježena u unutarnjoj memoriji instrumenta. Bio je to prvi videoteodolit na svijetu s mogućnošću automatskog viziranja signaliziranog cilja [2]. CCD slikovni senzor koristio se za automatsko fokusiranje i određivanje položaja cilja u odnosu na optičku os durbina. Instrument je imao tri ugrađena servomotora, dva za horizontalnu i vertikalnu os i jedan za fokusiranje odnosno automatsko fokusiranje. Motori su dizajnirani tako da omogućuju postizanje točnosti pozicioniranja do $\pm 0.1''$ pri brzinama do 54° u sekundi [31]. Nakon postizanja automatskog fokusiranja i geometrijskog odnosa između ciljne točke i optičke osi teodolita pomoću algoritama obrade fotografije, instrumenti su automatski usmjeravali teodolit prema ciljnoj točki i mogla su se obaviti mjerenja. Signalizirana ciljna točka realizirana projiciranom laserskom točkom ili fiksnim obilježjem automatski je bila vizirana od strane dva ili više odgovarajućih instrumenata pomoću obrade fotografije, omogućavajući određivanje njezinih 3D prostornih koordinata [22].



Slika 6. Videoteodoliti Kern E2-SE (lijevo) [29] i Wild TM-3000V (desno) [30].

Malo nakon Kerna tvrtka Wild predstavila je svoj model videoteodolita TM-3000V. Motorizirani videoteodolit TM-3000V bio je razvijen iz preciznog teodolita T3000. Osim motora za osi i fokusiranje leća, posebni elementi motoriziranog videoteodolita bili su kamera i procesor integrirani u teodolit. Wild TM-3000V imao je CCD slikovni senzor s razlučivošću od 500×582 piksela. Jednoosna konfiguracija kamere (integrirane u durbin) koristeći optiku teodolita bila je bolja, ali i tehnički složenija od dvoosne implementacije na durbinu koja dovodi do paralakse što je posebno štetno u situacijama gdje daljinomjeri mjere duljine prema bliskim ciljevima. Pri korištenju jednoosne konfiguracije moraju se instalirati kompleksni elementi razdjeljivanja snopa. Videoteodolit Leica TM-3000V je najbolji primjer toga i široko je korišten u akademskim istraživanjima [11]. Fotografija vidnog polja durбина na CCD polju sadrži fotografiju ciljane točke i referentni okvir ugrađen u durbin umjesto nitnog križa. Ovaj okvir definira vizurnu liniju durбина sa središtem sustava leća i koristi se istovremeno za podešavanje durбина i osi kamere. Pomoću CCD kamere može se koristiti širokokutna leća kako bi se prikazala pregledna fotografija prostora veličine $9^\circ \times 12^\circ$. Ove širokokutne leće mogu se zamijeniti optikom za precizni durbin pomoću spojnice za optiku. Međutim, umjesto širokokutnog vidnog polja, dobije se usko ograničeno vidno polje za mjerenje. Prebacivanje između mjerenja i širokokutnog vidnog polja kontrolira se softverom. Prijelaz na mjerenje vidnog polja omogućuje visoko povećanje točnosti budući da se pojedinosti objekata koji su daleko sada prikazuju na cijeloj površini senzora.

Ti instrumenti koristili su se samo za posebne primjene, a ne za standardna geodetska mjerenja, zbog svoje kompleksne morfologije koja je zahtijevala jedinicu prikaza fotografije i kontrolnu jedinicu uz instrument [32]. S lansiranjem laserskih sustava za praćenje tijekom 1990-ih godina videoteodoliti su zamijenjeni unutar nekoliko godina. To je ostao trend do 2005. godine kada je Topcon predstavio prvu komercijalno poznatu IATS GPT-7000i, koja je bila preteča današnje IATS visokih performansi. Međutim tehničke inovacije

potrebne za automatizaciju korištenja video fotografija i koje su uvedene na tržište očuvane su do danas. Na primjer, motorizirani beskonačni fini pogoni za upravljanje instrumentom kao i otkrivanje i praćenje reflektora pomoću integriranih slikovnih senzora koji su danas uobičajeni od druge generacije Wild TM-3000V. Kao i u projektu TOPOMAT instaliran je ciljni osvjetljivač u obliku infracrvenog kolimatora za trajno mjerenje deformacija na reflektorima. Ova dioda integrirana u durbin osvjetljavala je grubo približen reflektor. Reflektirani signal snimljen je na infracrveno osjetljivom CCD polju i korišten za precizno viziranje [30].

Koncept razlike između dviju struja u fotoelektričnoj ćeliji nazvan «Electronic Eye», postao je komercijalno dostupan 1987. godine kada je Geodimeter predstavio model 4000 «One-Man-System» s automatskim viziranjem cilja, te prvim instrumentom koji je zahtijevao samo jednog stručnjaka za rad (Slika 7) [22]. Od tada automatsko viziranje i praćenje cilja postali su standardne funkcije u svim TS, tj. RTS. Integrirane kamere i fotogrametrijske metode postale su pomoćni alati za teodolite. Ovaj sustav koristio je teodolit kao prijemnik aktivne vizirane točke pri čemu je durbin ovog uređaja nazvanog jedinica za udaljenu obradu (remote processing unit – RPU) morao biti usklađen s totalnom stanicom nazvanom jedinica za kontrolu i obradu (control and processing unit – CPU) kako bi olakšao grubu pretragu.



obraditi kako bi se dobile potrebne informacije. Elektroničko čitanje pravaca i duljina bilo je dostupno već dugo vremena, ali obrada podataka dobivenih pomoću ugrađenih kamera bila je još uvijek u početnim fazama. Primjena metoda digitalne obrade fotografija i računalnog vida istraživana je od strane akademske zajednice. Početna istraživanja usmjerena su na pronalaženje umjetnih meta i precizno viziranje pomoću kamera [34].

Viziranje i mjerenje meta koje nisu signalizirane pokazalo se posebnim izazovom [35]. Da bi se to postiglo razvijena su rješenja temeljena na umjetnoj inteligenciji [36]. Do tada je stručnjak/operator bio odgovoran za viziranje i odlučivanje o karakterističnim točkama koje treba izmjeriti. To znanje je implementirano u softverska rješenja uz primjenu umjetne inteligencije i razvijeni su stručni sustavi. Početni razvoj bio je ograničen na manje i jednostavnije procese koji su se pojavljivali u mjerenjima teodolitom [37]. Posebna pažnja posvećena je potrebnom izoštravanju fotografije razvojem algoritama za automatsko fokusiranje [35,37].

Razvijeni procesi i postupci kasnije su implementirani u komercijalna rješenja proizvođača instrumenata. To je oslobodilo opažače od ponavljajućih operacija pri čemu su se sada mogli usredotočiti na složenije zadatke. Automatizacijom mjerenja postignuta je povećana razina točnosti. Računalno potpomognuta mjerenja i obrada podataka pružala je veću točnost od one koju je opažач mogao vizualno postići. Razvijeni sustavi mogli su se primijeniti i na mjerenja u industriji. Više nije bilo potrebno donositi objekt na mjesto mjerenja, jer se sustav mogao transportirati. Vanjska kontrola razvijenih sustava omogućila je mjerenje objekata na opasnim mjestima. Budući se moglo vizirati ciljne točke koje nisu signalizirane postalo je moguće mjerenje teško dostupnih objekata.

Na samom početku ovog razdoblja 1991. godine razvijen je automatski mjerni sustav TOPOMAT u Zürichu. U suradnji s tvrtkom Wild nadograđen je s CCD slikovnim senzorom za detekciju cilja [22]. Njegove glavne značajke bile su da je mogao raditi neovisno, automatski ili kontrolerom. Također su bile dostupne druge funkcije kontrolerom kao aktivacije, deaktivacije i promjene metode mjerenja [38]. GEOROBOT i TOPOMAT potaknuli su razvoj komercijalnih sustava praćenja u totalnim stanicama.

Prijelaz iz 1980-ih u 1990-e godine obilježen je i razvojem ATR funkcije koja je omogućila daljnji razvoj IATS instrumenata. Godine 1991. Topcon je predstavio svoju prvu motoriziranu totalnu stanicu sa automatskim praćenjem AP-S1. Godine 1993. Topcon je izdao njenog nasljednika model AP-L1, a 1996. godine pojavio se novi model AP-L1A, tzv. «one-person surveying system» [39]. Ova RTS razlikovala se od prije predstavljениh instrumenata i razvoja u finom viziranju sličnom strukturi televizijske slike, radilo se optičkim elementima za odbijanje linija (AO uređaj) i moglo je stoga procijeniti fotografiju reflektora osvijetljenu instrumentom [40]. Ovaj sustav radio je u suradnji s radio-komunikacijom, ručnim prikupljanjem podataka i programskom podrškom TDS Survey Pro. Proizveden je jedinstveni mjereni sustav koji je omogućio da sve terenske zadatke obavi jedan stručnjak koji radi sam.

Tvrtka Wild odnosno Leica od početka 1990-ih godina predstavila je svoj prvi motorizirani samovizirajući mjerni sustav s funkcijom automatskog prepoznavanja cilja koji je radio bez jedinice za vanjsku procjenu 1996. godine odnosno

model TCA1800. Ovaj sustav također je radio s CCD slikovnim senzorom i procjenjivao osvijetljenu fotografiju reflektora pomoću najprikladnijeg algoritma. S ovim instrumentom razvijen je novi tip kompaktnog reflektora koji reflektira na sve strane tj. 360° .

2.5. Razvoj od 2001. godine do danas

Predvodnik današnjih naprednih komercijalnih IATS sustava bio je Topconov model GPT-7000i iz 2005. godine (Slika 8). Topcon je integrirao kameru u teodolit stvarajući novu generaciju videoteodolita, nazvanu IATS. Instrument je bio opremljen s dvije različite VGA kamere. Jedna kamera bila je širokokutna s vidnim poljem od $28^\circ \times 22^\circ$ i fiksnim fokusom, te smještena na durbinu, omogućujući sinkronizaciju rotacije i prikaz radnog područja. Druga kamera bila je koaksijalna i snimala je detalje terena uvećanjem durbina teodolita, pa je zbog toga imala promjenjivo žarište. Imala je vidno polje koje se podudaralo s vidnim poljem durbina ($1^\circ 30' \times 1^\circ 30'$) [41]. Godine 2007. Topcon je predstavio GPT-9000Ai, nasljednika prvog modela serije. Najveći tehnološki razvoj u usporedbi s GPT-7000i očitovao se mogućnostima automatskog fokusiranja na signalne točke i daljinskog vođenja kontrolerom što je eliminiralo potrebu za opažачem, te ga tako čineći takozvanom „one-man station». Bila je to također i prva komercijalna robotizirana totalna stanica koja je omogućavala snimanje fotografija i imala mogućnost skeniranja kao jedinstvene funkcije IATS sustavom. Instrument je mogao skenirati do 20 točaka u sekundi [42]. Ove vrste IATS proizvedene su od strane Topcona u tri generacije i poznate su kao Imaging Stations, a najnoviji model naziva se IS3. Obje kamere imale su slikovni senzor s razlučivošću od 1280×1024 piksela, a također su mogle snimati videozapise pri brzini od 10 slika u sekundi (fps) koji se mogu prenositi na kontrolni ekran totalne stanice ili na ekran kontrolera.

Trimble je 2007. godine predstavio svoj prvi model IATS VX Spatial Station (Slika 8). To je u osnovi bio model S6 s dodanom funkcionalnošću 3D skeniranja i digitalnog snimanja. VX je davao fotografije koje su precizno georeferencirane. Instrument je bio opremljen kamerom u boji od 3 MPx, s fiksnim fokusom i vidnim poljem od $16.5^\circ \times 12.3^\circ$. Kamera je bila smještena na durbinu. Kasnije je ta kamera implementirana u sve modele totalnih stanica koje je Trimble izdao uključujući današnju Trimble S9 seriju. Značajke naknadne fotogrametrijske analize kalibriranih fotografija, snimanje videa od 5 slika u sekundi, mozaik panoramske fotografije i preklapanje s izmjerenim podacima poznate su kao «Trimble Vision». VX Spatial Station bila je robotizirana totalna stanica s MagDrive servo tehnologijom uključujući integrirani servo/kutni senzor elektromagnetskog izravnog pogona u kombinaciji s dodanim digitalnim snimanjem i rudimentarnim mogućnostima skeniranja. Funkcija skeniranja mogla je skenirati 20 točaka u sekundi s mogućnošću bojenja skeniranih scena na temelju snimljenih fotografija [43].

Godine 2009. Pentax je predstavio robotiziranu totalnu stanicu s integriranim kamerama u svojim instrumentima poznatu kao model Visio serije R-400VDN. Kamera je bila smještena na durbinu, a zaslon za prikaz fotografija i videozapisa s kamere također je bio postavljen na durbin iznad okulara (Slika 8).

Vidno polje bilo je $8.8^\circ \times 8.8^\circ$, a moglo je snimati videozapise brzinom od 10 sličica u sekundi [44].

Leica je predstavila svoj IATS instrument 2010. godine pod nazivom Viva. Predstavljena su dva modela s kamerama za pregled koje su postavljene na durbin: Leica TS11 i Leica TS15 (Slika 8). Model TS15 za razliku od TS11 bio je motoriziran pomoću servofokus pogona s dodatnim sensorima za automatsko i daljinsko upravljanje. Kamera za pregled imala je optičku os različitu od optičke osi durbina što je rezultiralo paralaksom. Zbog toga se središte optičke osi durbina nije podudaralo sa središtem slikovnog senzora. Relativni položaj tih dviju osi određen je kalibracijom u vrijeme proizvodnje. Učinak paralakse također se mogao ispraviti mjerenjem udaljenosti do cilja. Integrirane kamere u oba modela imale su slikovni senzor CMOS od 5 MPx s fiksnim fokusom i vidnim poljem od $15.5^\circ \times 11.7^\circ$ i s mogućnošću snimanja videozapisa brzinom od 20 sličica u sekundi [45,46].



Slika 8. Prva komercijalna IATS od Topcon (GPT-7000i) [41], od Trimblea (VX Spatial Station) [43], od Pentaxa (Visio model R-400VDN) [44] i od Leice Viva (TS11/TS15) [45].

Također treba spomenuti da je na početku ovog komercijalnog razdoblja kada su IATS sustavi došli na geodetsku scenu prvi IATS instrument zapravo predstavila Sokkia (SET3110MV) na INTERGEO-u 2002. Instrument je imao dvije integrirane kamere, preglednu kameru na durbinu i drugu kameru integriranu u durbin. Zanimljiv aspekt ovog instrumenta bio je taj što nije imao okular, umjesto toga stručnjak je mjerio pomoću daljinskog upravljača na kojem se prikazivao videozapis uživo dobiven od integriranih kamera.

Godine 2013. Leica je predstavila novu seriju nazvanu Nova s dva modela, TS50 i MS50. Instrumenti uz preglednu kameru imali su integriranu kameru u durbinu s vidnim poljem od $1.3^\circ \times 1.0^\circ$, $8\times$ digitalnim zumom pregledne kamere i $30\times$ optičkim zumom kamere durbina, kao i $8\times$ digitalnim zumom. Na taj način fotografije s kamere durbina bile su povećane $30\times$. Leica MS50 također je imala funkciju skeniranja s mogućnošću skeniranja 1000 točaka u sekundi. Leica TS50 nije imala funkciju skeniranja. Oba modela koristila su

istu motorizaciju pomoću servofokus pogona. Na temelju funkcije skeniranja s mogućnostima snimanja videozapisa i fotografija razvijen je kombinirani pristup analizi fotografija i skeniranju [47,48]. Godine 2015. Trimble je predstavio svoj najnapredniji model IATS-a model S9, koji koristi istu kameru i slikovni senzor kao i Trimble VX Spatial Station predstavljen 2007. godine. Međutim, S9 dolazi u barem 10 različitih mogućih konfiguracija. Model S9 je zamijenio VX i S8 za preciznu primjenu i primjenu na velikim udaljenostima, a pružao je veću točnost mjerenja kutova i duljina od VX Spatial Station [49]. Prethodnica današnjeg najnaprednijeg IATS-a i IASTS-a tvrtke Topcon nažalost napustila je svoj izvorni dizajn s dvije integrirane kamere u instrumentu, a 2014. godine ponudila je model IATS DS-200i s jednom preglednom ultrazvučnom kamerom na durbinu sa senzorom fotografije od 5 MPx, koja je uglavnom bila integrirana za pružanje slikovne dokumentacije i prijenos uživo na daljinski upravljač [50]. U Tablici 1 uspoređeni su Leica TS60, Trimble S9 i Topcon DS-200i prema njihovim glavnim specifikacijama i karakteristikama. Ovi instrumenti nemaju funkciju skeniranja, jer se klasificiraju kao totalne stanice, a ne kao MultiStation, iako je S9 kombinirani model s funkcijom skeniranja.

Tablica 1. Glavne specifikacije trenutno dostupnih IATS-a [49–51].

tehnički podaci	Leica TS60	Trimble S9	Topcon DS-200i
kamera/senzor	2X/CMOS	1X/CMOS	1X/CMOS
rezolucija	5MPx	3MPx	5MPx
fps	20Hz	5Hz	video uživo ¹
FOV pregled/durbin	15.5° × 11.7°/1.3° × 1.0°	16.5° × 12.3°/X	
za pregled/durbin	8×/30×	8×/X	ultraširoko ¹ /X ¹
točnost duljina (prizma)	0.6 mm + 1 ppm	0.8 mm + 1 ppm	1.5 mm + 2 ppm
točnost duljina (bez prizme)	2 mm + 2 ppm	2 mm + 2 ppm	2 mm + 2 ppm
točnost Hz i V	0.5"	0.5"	1"
funkcija skeniranja	X	·	X
godina izdanja	2015	2015	2014

¹ tehnički podaci nisu dostupni; X – nije ugrađen; · – prema izboru.

Danas Leica nudi modele TS60 i MS60 iz serije Nova predstavljene prvi put 2015. godine s poboljšanim funkcijama automatskog prepoznavanja cilja (ATR plus), samostalnim viziranjem reflektora pomoću funkcije PowerSearch, funkcijom dinamičkog promatranja, motoriziranim pogonima temeljenim na Piezo tehnologiji, poboljšanom funkcijom skeniranja s 3D laserskim skeniranjem od 30000 točaka u sekundi, snimanjem pomoću umjetne inteligencije pod nazivom „prvi pametni MultiStation“ [51].

Trimble je predstavio novu generaciju IATS instrumenata 2016. godine, tj. model SX10. To je prva komercijalna totalna stanica odnosno IATS bez okulara. Tri kamere od 5 MPx (pregledna, primarna i opća) integrirane su u durbin

nudeći maksimalno vidno polje od $360^\circ \times 300^\circ$ sa zumom od 84 $\times$. Opća kamera omogućuje vidno polje od $57.5^\circ \times 43.0^\circ$. Stručnjak upravlja instrumentom daljinskim upravljačem pomoću videozapisa uživo brzinom od 15 sličica u sekundi. SX10 kombinira podatke visoke gustoće 3D skeniranja, poboljšano snimanje pod nazivom Trimble Vision i podatke visoke točnosti totalne stanice. Koristi MagDrive servo tehnologiju i može mjeriti gusto 3D skenirane podatke do 26600 točaka u sekundi s visokom preciznosti na punom rasponu mjerenja do 600 m [52]. Postojala je određena konfuzija, čak i među Trimbleovim stručnjacima za razvoj, o tome treba li ga smatrati novim skenerom ili novom totalnom stanicom. Međutim još uvijek se klasificira kao totalna stanica zbog svojih karakteristika u vezi s durbinom, mjerenjima kutova i duljina, te mogućnošću eksplicitnog mjerenja jedne točke. Budući da kombinira snimanje sa skeniranjem na razini koja nije primitivna možemo ju nazvati prvom „imageassisted scanning total station“ (IASTS). Početkom ove godine Trimble je predstavio njenog nasljednika SX12. Tehnički podaci trenutačno ponuđeni opisuju sljedeće nadogradnje: slikovni senzori od 8.1 MPx, 107 $\times$ zumiranje glavne kamere i novi laserski pokazivač dok su preostale značajke u vezi s mjerenjima kutova i udaljenosti i funkcijom skeniranja na istoj razini kao i SX10 [53].

Topcon je predstavio svoj IASTS GTL-1000 2019. godine, a to je prva robotizirana totalna stanica i laserski skener na svijetu s ugrađenom kamerom koja se uglavnom koristi za bojenje skeniranih scena. Kamera ima slikovni senzor od 5 MPx koji se također koristi za prijenos uživo. 3D laserski skener instaliran je umjesto drške robotizirane totalne stanice što je rezultiralo rješenjem koje je istovremeno geodetska mjerna stanica i geodetski 3D laserski skener. Instrument koristi izravan pogon ultrazvučnim motorom. Glavna prednost ovog IASTS-a u usporedbi s drugim komercijalno dostupnim IASTS-ima je brzina skeniranja koja je na razini današnjih terestričkih laserskih skenera i specificirana je kao 100000 točaka u sekundi. To je prvi takav instrument na svijetu [54].

U Tablici 2 uspoređeni su Leica MS60, Trimble SX12 i Topcon GTL-1000 s njihovim glavnim specifikacijama i karakteristikama. Svi instrumenti imaju funkciju skeniranja i klasificiraju se kao multi-stanice, tzv. IASTS. Ova tri instrumenta trenutno predstavljaju najnaprednije geodetske instrumente na svijetu.

Tablica 2. Glavne specifikacije trenutno dostupnih IASTS-a [51,53,54].

tehnički podaci	Leica MS60	Trimble SX 12	Topcon GTL-1000
			
kamera/senzor	2X/CMOS	3X/CMOS	1X/CMOS
rezolucija	5MPx	8.1MPx	5MPx
fps	20Hz	15Hz	video uživo ¹
FOV pregled/durbin	15.5° × 11.7°/1.3° × 1.0° ² ukupno 360° × 300°		270° × 360°/X ¹
za pregled/durbin	8×/30×	107× ³	ultraširoko ¹ /X ¹
točnost duljina (prizma)	1 mm + 1.5 ppm	1 mm + 1.5 ppm	1 mm + 2 ppm
točnost duljina (bez prizme)	2 mm + 2 ppm	2 mm + 1.5 ppm	2 mm + 2 ppm
točnost Hz i V	0.5"	1"	1"
funkcija skeniranja	30000 Hz	26600 Hz	100000 Hz
godina izdanja	2020	2021	2019

¹ tehnički podaci nisu dostupni; ² vidno polje od sve tri kamere; ³ zum glavne kamere; X – nije ugrađen.

Svi trenutno dostupni komercijalni IATS i IASTS instrumenti koriste snimljene fotografije i videozapise za dodatne attribute mjerenih točaka, tj. uglavnom za dokumentaciju i bojenje skeniranih scena. Standardne metode mjerenja na terenu uvelike su razvijene i poboljšane tehnološkim napretkom totalne stanice. Ručno fokusiranje zamijenjeno je automatskim fokusiranjem, osim toga pomoću daljinskog upravljanja stručnjak može odabrati točku interesa definiranu pikselom s videozapisa/fotografije uživo na zaslonu čime usmjerava instrument prema signaliziranoj ili točki koja nije signalizirana. Za usmjeravanje instrumenta prema točki interesa i praćenje reflektora na terenu instrumenti koriste motorizaciju koja se trenutno ostvaruje pomoću piezo, magnetskih ili ultrazvučnih pogona ovisno o proizvođaču. Snimljene fotografije mogu se automatski preuzimati za svaku točku ili za set točaka u svrhu dokumentacije. Na taj način moguće je vizualizirati te točke. Štoviše, možemo naknadno fotogrametrijski obraditi prikupljene georeferencirane fotografije i npr. koristiti ih za strukturalni monitoring i geomonitoring, nivelirati i spojiti podatke laserskog skeniranja i fotografije za praćenje deformacija. Međutim, komercijalni IATS i IASTS instrumenti još uvijek ne koriste puni potencijal i funkcije ovih instrumenata [8]. U sljedećem poglavlju predstavljen je potencijal primjene najnaprednijih IATS.

3. Pristupi mjerenju i obradi

Ovisno o razvijenom hardveru i softveru, integriranim senzorima i različitim funkcijama implementacijom različitih algoritama u totalnim stanicama možemo razlikovati vrste totalnih stanica sukladno Tablici 3.

Tablica 3. *Različite vrste totalnih stanica prema integriranim senzorima i funkcijama.*

	TS	RTS	IATS	IASTS
EDM	√	√	√	√
EDM bez reflektora	•	•	√	√
registracija podataka	√	√	√	√
motorizacija	X	√	√	√
slikovni senzor	X	√/•	√	√
automatsko viziranje	X	√/•	√	√
praćenje cilja	X	√/•	√	√
formiranje fotografije	X	X	√	√
skeniranje	X	X	X/•	√

√ – ugrađen; X – nije ugrađen; • – prema izboru.

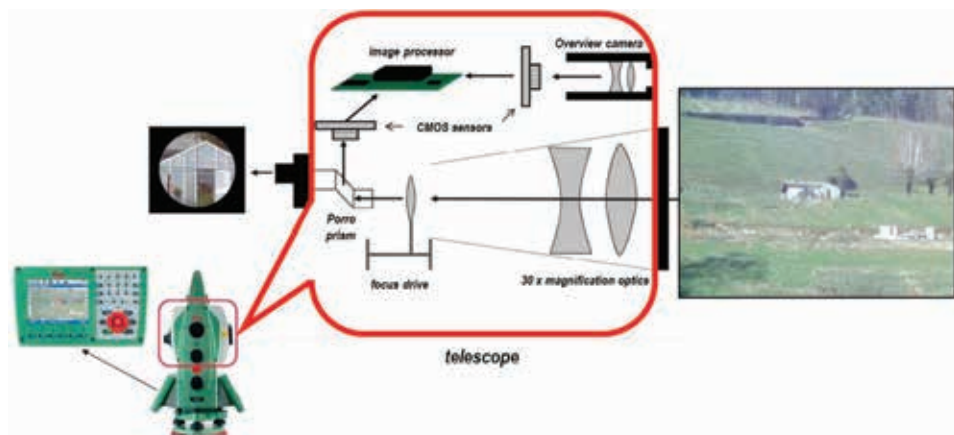
Najsuvremeniji IATS i IASTS instrumenti predstavljaju novu vrstu robotiziranih totalnih stanica, objedinjujući geodetsku preciznost totalne stanice s prikazom područja fotografijama, kao i laserskim skeniranjem. IATS korisnicima nude sustav snimanja fotografija s integriranim kamerama koje koriste slikovni senzor i polarni 3D sustav za mjerenje točaka. IASTS su opremljene funkcijom skeniranja sa manjim brzinama skeniranja u usporedbi s klasičnim terestričkim laserskim skenerima. Najveća prednost korištenja takvog (multi-senzorskog) instrumenta je zajednički koordinatni sustav svih ugrađenih senzora pod uvjetom da je pružena odgovarajuća a priori kalibracija [55].

Ovi multi-senzorski sustavi mogu snimati fotografije za dokumentaciju i fotogrametrijska mjerenja, a čak mogu spojiti više tih snimljenih fotografija u panoramski mozaik fotografije rotacijom kamere, odnosno rotacijom durbina. S odgovarajućom kalibracijom, te fotografije su točno georeferencirane i orijentirane, tako da se mogu odmah koristiti za mjerenja pravaca bez potrebe za kontrolnim točkama ili daljnjim postupcima fotogrametrijske orijentacije [15].

3.1. Osnovni principi IATS-a

Kombinacija kamere s slikovnim senzorima i teodolita opisana je davno od strane [29,56]. U ovom odjeljku objašnjavamo osnovne radne principe najsuvremenije IATS Leica MS50 koji su također primjenjivi na MS60 i na IATS s dvije kamere (pregled i durbin) drugih proizvođača. Pregledne i kamere durbina nude mogućnost snimanja fotografija visoke razlučivosti ili panoramskih

mozaika fotografija koje se mogu izravno povezati i referencirati na mjerni 3D sustav točaka. Ove fotografije se mogu koristiti za terensku dokumentaciju i, što je najvažnije, za a posteriori fotogrametrijsku obradu. Fotogrametrijska rezolucija od 1 px durbinske kamere odgovara 5 cc što rezultira razlučivosti od 2 mm na 200 m [57]. Stručnjak koristi preglednu kameru za grubo usmjerenje prema signaliziranom cilju ili cilju koji nije signaliziran. Pregledna kamera daje pregled područja izmjere, a alternativno je moguće promatrati i video uživo na zaslonu instrumenta. Koristeći durbinsku kameru koja je smještena na optičkoj osi stručnjaku je na raspolaganju uvećanje durbina od 30× za vrlo precizno viziranje cilja (Slika 9).



Slika 9. Shematski presjek durbina Leica MS50 s integriranim slikovnim sensorima, procesorom i motorizacijom za automatsko fokusiranje; shema modificirana za ovu studiju prema [57].

Ostvariva točnost mjerenja kutova pomoću ove kamere je 1". Korištenjem integriranog slikovnog senzora moguće su funkcije pojedinačnog automatskog fokusiranja i kontinuiranog automatskog fokusiranja. Integracija slikovnog senzora obavljena je na način da je fokusirana fotografija istodobno vidljiva na zaslonu instrumenta i na optičkom putu instrumenta okularom. Porro prizma reflektira ulaznu svjetlost durbinskom optikom na senzor fotografije CMOS i izravno na okular za vizualno viziranje ako je potrebno. Proizvođač modula za fokusiranje garantira točnost mjerenja kutova od 1». Proces prilagodbe i kalibracije su ključni faktori za postizanje najviše kvalitete funkcionalnosti snimanja.

Prije dostupnosti IATS-a postojale su robotizirane totalne stanice koje su s implementiranim funkcijama automatskog praćenja reflektora u najužem smislu također IATS, jer se koriste za otkrivanje i viziranje ciljeva pomoću slikovnog senzora ili segmentiranih fotodioda. Međutim, ovi slikovni senzori nisu se mogli koristiti za dokumentaciju fotografija i fotogrametrijska mjerenja jer stručnjak nije imao pristup fotografijama i jer su slikovni senzori ili fotodiode detektirali samo svjetlo u spektru mjerenja signala. Danas je razlika

očigledna u načinu na koji stručnjak dobiva informacije iz integrirane kamere, tj. iz jedne fotografije (u jednom trenutku) ili iz videozapisa (niza fotografija). Također možemo razlikovati statičke ili kinematičke procese. S modernim digitalnim slikovnim senzorima oba zadatka mjerenja su moguća i nema potrebe za razlikovanjem instrumenata [8].

3.2. IATS sustav i kalibracija kamere

Upotreba odgovarajuće kalibrirane kamere od presudne je važnosti za praćenje pomaka. To omogućuje da se dvodimenzionalna koordinata fotografije prikaže u kutnim jedinicama, tj. kutu polja u prostoru objekta, koji se zatim može izraziti u linearnim jedinicama. Sve unutarnje i vanjske parametre treba znati za svaku snimljenu fotografiju što znači da su fotografije izravno georeferencirane. One se mogu koristiti za praćenje pomaka bez potrebe za kontrolnim točkama objekta ili dodatnim fotogrametrijskim procesima orijentacije. Metode fotogrametrijskog mjerenja fotografija, kako bi se detektirale signalizirani ciljevi i ciljevi koji nisu signalizirani, mogu se kombinirati s funkcijama totalne stanice za određivanje preciznih mjerenja kuta i udaljenosti [8].

U ovom odjeljku objašnjena je kalibracija kamere smještene u durbinu IATS-a, tj. u optičkom putu durбина. Fokus je na toj kameri, a ne na preglednoj kameri. Bolje je koristiti durbinsku kameru u svrhu praćenja pomaka, jer su potrebni vrlo točni podaci za određivanje dinamičkih pomaka s velikom brzinom i malim amplitudama. Vrlo točni podaci mogu se dobiti pomoću durbinske kamere, jer koristi durbinsku optiku i uvećanje. Međutim, također je potrebno provesti kalibraciju kamere, što uključuje određivanje unutarnjih parametara kamere. Presjek optičke osi s ravninom slikovnog senzora, tj. koordinate glavne točke fotografije, žarišna duljina u horizontalnom i vertikalnom smjeru, te proizvoljan broj koeficijenata za kompenzaciju radijalnih i tangencijalnih distorzija leća su unutarnji parametri koji se moraju odrediti tijekom kalibracije kamere [59].

Udaljenost između središta kamere i glavne točke je žarišna duljina kamere bez leća, a koje su integrirane u današnje IATS-ove. Dvije žarišne duljine (horizontalna i vertikalna) moraju biti određene, jer pikseli na slikovnom senzoru nisu kvadratni za neke kamere [60]. Nepravilna proizvodnja leća i pogreške u sastavljanju kamere rezultiraju radijalnim i tangencijalnim distorzijama leće linearnog modela za projiciranje točaka na ravninu fotografije u stvarnom svijetu [60].

Budući da praćenje podrazumijeva mjerenja između dviju ili više različitih serija ili epoha mjerenja točaka, konstantne koordinate glavne točke fotografije su ništavne i zbog toga ih nije potrebno unaprijed znati. Efekti distorzije pokazuju prostornu pravilnost tako da su susjedni pikseli slično pogođeni. Dakle, efekti distorzije su svedeni na neznatan nivo prilikom računanja razlika između objekata smještenih u sličnim regijama na slikovnom senzoru. Frekvencije uključene u vremenski niz, koje se mogu izračunati Fourierovom analizom ne ovise o fizičkoj jedinici vremenskog niza. To je zbog linearnog svojstva Fourierove transformacije (Jednadžba (1)) gdje se konstantni faktor c

može primijeniti prije ili nakon transformacije [59].

$$F\{c f(t)\} = cF\{f(t)\}. \quad (1)$$

Frekvencije vibracija građevinskih konstrukcija mogu se izračunati iz neobrađenih slikovnih koordinata, tj. iz slikovnih koordinata izmjerenih točaka. Stoga nije potrebna kalibracija kamere za tu svrhu. Kako bi se prikazali pomaci dobivene iz dviju epoha mjerenja u linearnim jedinicama (npr. m, dm, cm ili mm) potrebno je znati kutnu rezoluciju kamere. Pomaci na slici određuju se u pikselima i mogu se računati kao kutne veličine, a koje se zatim mogu prikazati u linearnim jedinicama kada se zna izmjerena udaljenost od instrumenta do promatranog objekta. Kutna rezolucija izražava veličinu jednog piksela senzora fotografije kao kutnu jedinicu. Prikazuje kut između dvaju objekata koji su prikazani na dva susjedna piksela. Za model kamere bez leća kutna rezolucija α povezana je s žarišnom duljinom f jednadžbom (2).

$$\tan(\alpha) = 1/f. \quad (2)$$

Da bi se pomaci precizno i točno odredili kutna rezolucija kamere također mora biti precizno i točno određena, budući da se pomaci objekta na slici izraženi u pikselima moraju pomnožiti s vrijednošću kutne rezolucije kako bi se prikazali u kutnim jedinicama, tj. u linearnim jedinicama. Pomaci objekta mogu biti i do nekoliko piksela, stoga mala nesigurnost u vrijednosti kutne rezolucije može dovesti do velike pogreške u izračunatom kutu [59].

Proizvođači podržavaju akademske istraživačke projekte koji obuhvaćaju različite metode kalibracije integriranih kamera. Na primjer, Walser je opisao kameru s afinim modelom čipa i razvio kombinirani pristup za uzimanje u obzir pogreške kalibracije kamere i instrumenta [11]. Vogel, s druge strane, proširio je jednadžbe kolinearnosti koristeći dodatne parametre kamere kako bi opisao odnos piksela i kuta u IATS [61]. Knobloch je izrazio centralnu projekciju s manje parametara kao afinu transformaciju bez pogrešaka teodolita pri upotrebi različitih položaja objektiva za fokusiranje [13]. Navedene metode uspoređivane su od strane Wasmeiera [14]. Sve metode temelje se na setu virtualnih kontrolnih točaka za prikupljanje podataka tijekom kalibracijskog postupka. U stvarnosti taj set se sastoji od samo jedne “stvarne” točke koja se mjeri više puta rotiranjem durbina s kamerom [8].

Kada se osigura odgovarajuća kalibracija, dobivene fotografije i videozapisi iz IATS-a su precizno georeferencirani u bilo kojem trenutku. Oni su posebno prikladni za strukturalni monitoring i geomonitoring, tj. za objekte i područja Zemljine površine koja su vrlo teško pristupačna. Također je moguće koristiti dodatnu vizualnu tehnologiju za niveliranje, čitanjem i analizom digitalno kodiranih uzoraka nivelmanske letve [62]. Glavna prednost IATS-a je činjenica da se metode i pristupi fotogrametrije mogu koristiti u kombinaciji s preciznim mjerenjima udaljenosti i kuta totalnom stanicom. Uz koordinate stajališta i orijentaciju instrumenta, svaka snimljena fotografija direktno je georeferencirana i može se koristiti za mjerenje pravaca bez potrebe za kontrolnim točkama

objekta ili dodatnim fotogrametrijskim postupcima orijentacije.

Univerzalni opis odnosa između homogenih 3D koordinata (Jednadžba (3)) i njihovih slikovnih projekcija (Jednadžba (4)) dan je od strane Wagnera [55].

Unutarnji parametar kamere K i vanjski parametri (matrica rotacije R i translacijski vektor T) time su kombinirani u jednu kompaktnu 3×4 projekcijsku matricu P (Jednadžba (5)).

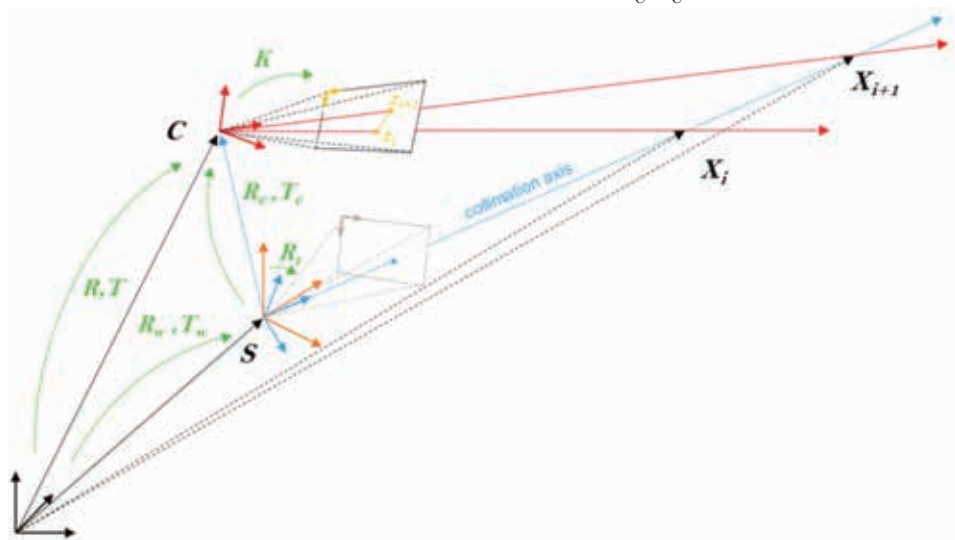
$$\tilde{X} = [X, Y, Z, 1]^T. \quad (3)$$

$$\tilde{x} = [x, y, 1]^T. \quad (4)$$

$$\tilde{x} = P\tilde{X} = K[R|T]\tilde{X}. \quad (5)$$

Unutarnji parametri R i T prikazani na Slici 10 sastoje se od tri različite euklidske transformacije [63]:

1. Transformacija iz svjetskog ili koordinatnog sustava objekta u koordinatni sustav teodolita (R_w, T_w);
2. Transformacija (čista rotacija) u koordinatni sustav durbina (R_T);
3. Transformacija u koordinatni sustav kamere (R_C, T_C).



Slika 10. Transformacije potrebne za pretvaranje slikovnih koordinata u kutove mjerene teodolitom i obratno [8].

3.3. Postupci mjerenja IATS-om i obrada podataka

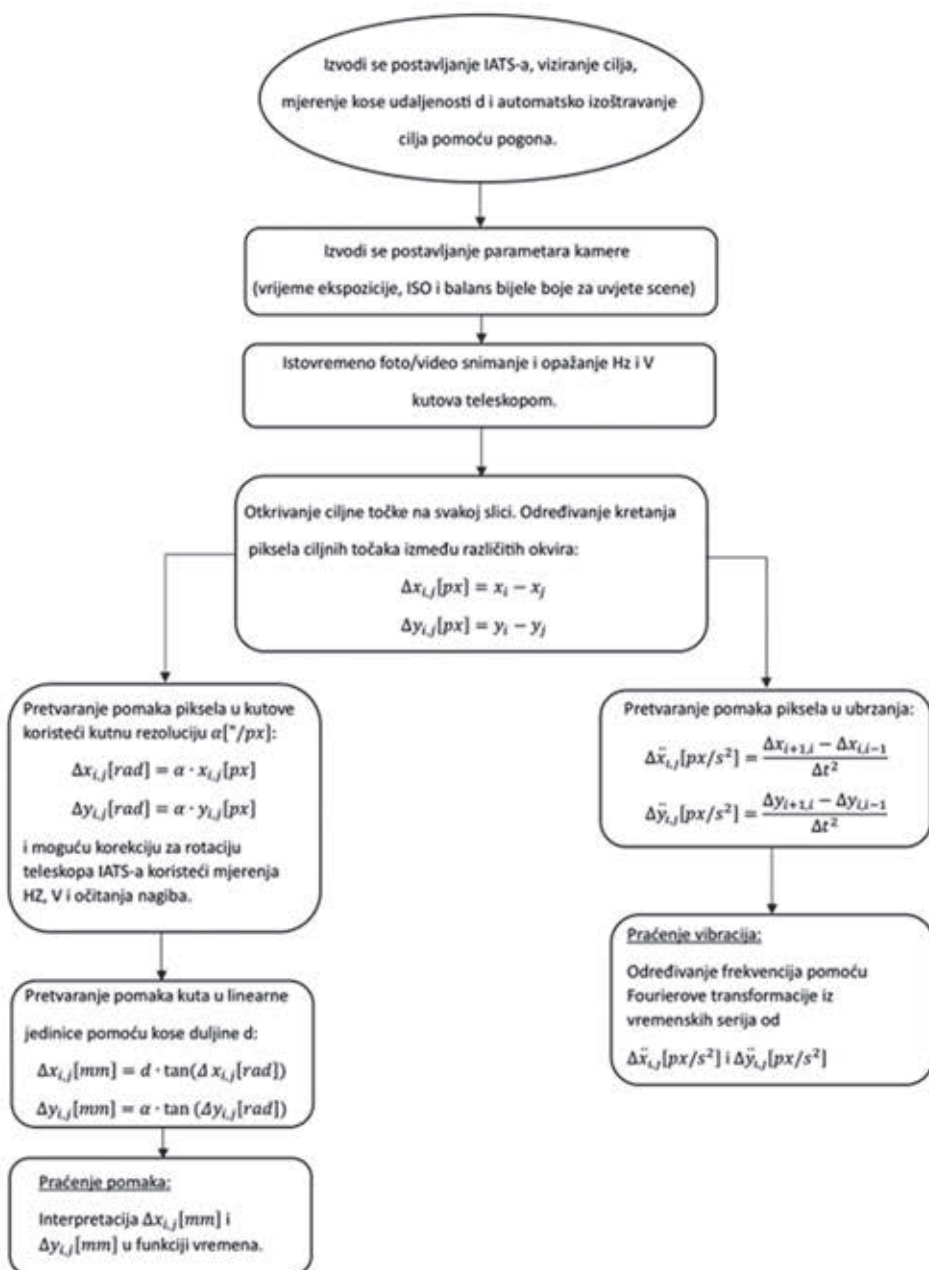
Mjerne procedure u eksperimentalnim ili uvjetima na terenu i radni tijek obrade podataka za provedbu praćenja pomaka i vibracija (tj. praćenje stanja kon-

strukcije) prikazani su na Slici 11. Radni tijek može biti potpuno automatski ili poluautomatski. Cijeli proces može se automatizirati pomoću Leica GeoCOM sučelja. Korisnička interakcija je potrebna samo na početku kako bi se inicijalno viziralo na ciljeve koji će biti praćeni i postavile postavke kamere [64].

Istovremeno se može pratiti nekoliko ciljnih točaka na različitim područjima građevinskih konstrukcija ili površini Zemlje pod uvjetom da su vidljive u vidnom polju kamere. IATS može snimiti video ili fotografiju ovisno o svrsi praćenja. Ako se obavlja strukturalno praćenje s ciljem utvrđivanja prirodnih frekvencija i dinamičkih pomaka struktura (npr. tijekom ispitivanja opterećenja ili svakodnevnog prometa), tada se snimaju videozapisi. Ako se obavlja geomonitoring površine Zemlje (npr. klizišta), tada se fotografije snimaju periodički. Stručnjak mora postaviti IATS, vizirati na cilj i postaviti parametre kamere. Za dugoročno praćenje gdje se ciljevi promatraju periodički stručnjak mora u prvoj epohi mjerenja vizirati na cilj, a u naknadnim epohama mjerenja registrirane položaje ciljeva iz prve epohe koristi se za automatsko viziranje.

Pomaci između ciljeva prikazani njihovim pikselima na fotografijama mogu se izračunati relativno prema prvom okviru/epohi ili između uzastopnih okvira/epoha. Ovo drugo nije prikladno za praćenje stanja konstrukcije snimanjem videozapisa, jer pomaci piksela u odnosu na prvi okvir moraju se izračunati zbrajanjem uzastopnih pomaka između svakog okvira što rezultira širenjem slučajnih pogrešaka u uzastopnim pomacima. Za praćenje vibracija, tj. određivanje prirodnih frekvencija strukture nije potrebna konverzija pomaka iz piksela u linearne jedinice. Kako bi se eliminirali trendovi u vremenskim serijama prije računanja frekvencija Fourierovom transformacijom iz pomaka piksela izračunavaju se ubrzanja. Upotreba uzastopnih pomaka piksela poželjna je kako bi se smanjio šum u dobivenom (ostvarenom) frekvencijskom spektru [59].

Moguće rotacije durbina IATS-a koje rezultiraju rotacijama kamere također se moraju uzeti u obzir prilikom visoko točnog praćenja pomaka. Ove male rotacije kamere mogu se dogoditi nenamjerno ili zbog nagiba cijele stanice. Oba učinka mjeri IATS, tj. očitavanja kuta i nagiba. Korekcija se postiže oduzimanjem rotacija kamere od kuta do cilja mjerenog na slici.



Slika 11. Radni tijek mjerenja IATS-a i obrade podataka za monitoring pomaka i vibracija (praćenje stanja konstrukcije) modificirano za ovu studiju iz [64].

Korištenjem predloženih mjerenja temeljenih na fotografijama moguće je detektirati pomicanje objekta koji stoji okomito na vizuru IATS-a. Za mjerenje pomaka duž vizurne osi može se koristiti IATS EDM. Ako su dostupni podaci IATS skenera alternativno se mogu koristiti, odnosno spajati laserski snimci i podaci kamere u RGB + D fotografije. Ovaj pristup kombinira prednosti oba načina. Udaljenost gustih laserskih skenova mijenja se kao funkcija vizure i može se lako detektirati. Suprotno tome, podaci s kamere najosjetljiviji su na pomake okomite na vizuru (tj. smjer promatranja durbina u koji je integrirana kamera). Na ovaj način pomaci se mogu odrediti izdvajanjem zajedničkih slikovnih karakteristika (RGB kanal) i praćenjem tijekom niza mjernih epoha. U kombinaciji s dubinskim kanalom (D) određene slikovne karakteristike (iz RGB + D) predstavljaju 3D koordinate koje se mogu koristiti za izračun 3D vektora pomaka [55].

Kod primjene monitoringa opisanih u ovom radu potrebno je samo kalibrirati kutnu rezoluciju kamere, a to se može postići brzim i jednostavnim pristupom bez dodatne mjerne opreme koristeći sposobnost totalne stanice da automatski rotira svoj durbin na precizno poznate položaje [59].

4. Primjena najsuvremenijih videoteodolita – IATS u monitoringu

Monitoring umjetnih ili prirodnih struktura, odnosno građevinskih konstrukcija ili dijelova zemljine površine, uključuje periodička ili kontinuirana promatranja radi procjene općeg trenutnog stanja objekta u pogledu uporabljivosti i stabilnosti, kao i određivanje potrebe za obnovom, rekonstrukcijom ili rušenjem struktura. Proces uključuje različite vrste mjerenja korištenjem različitih senzora. Mjerenja i rezultati moraju biti precizni i pouzdani, odnosno točni, te testiran njihov značaj [8]. Rezultati mjerenja predstavljaju važan parametar za procjenu stanja i sigurnosti struktura što je posebno važno za strukture koje se koriste izvan njihova dizajniranog vijeka trajanja. Bilo kakva oštećenja ili značajne deformacije utječu na sigurnost konstrukcija npr. mostova, brana, tornjeva ili nebodera što može rezultirati njihovim zatvaranjem ili čak urušavanjem. Pored izmjere i iskolčenja na gradilištu, monitoring umjetnih ili prirodnih struktura jedan je od ključnih zadataka u inženjerskoj geodeziji. Geodetski monitoring je jedan aspekt općenitih sustava monitoringa. Postoje dvije podvrste geodetskog monitoringa [8]:

- Strukturalni monitoring odnosi se na mjerenje i vrednovanje građevinskih konstrukcija poput mostova, tunela, brana, željeznica, tornjeva ili nebodera tj. općenito umjetno stvorenih objekata.
- Geomonitoring s druge strane koristi se kao pojam za određivanje promjena, kretanja ili deformacija prirodnih struktura, poput klizišta i padina.

Glavni cilj geodetskog monitoringa jest odrediti statistički značajne geometrijske promjene u veličini, obliku i položaju između dvije ili više mjernih epoha. Na temelju podataka iz praćenja moguće je poduzeti radnje na konstrukciji kako bi se spriječile materijalne i nematerijalne štete. Praćenje temeljeno na vibracijama, odnosno strukturalni monitoring postao je uobičajen. Sastoji se od određivanja dinamičkih pomaka i prirodnih frekvencija objekata iz različitih vremenskih epoha mjerenja. Svaka promjena u odnosu na dizajnirane frekven-

cije može biti znak oštećenja strukture i uzrok za uzbunu. Dinamički pomaci i prirodne frekvencije objekata mogu se odrediti pomoću robotizirane totalne stanice i GNSS instrumenata, iako njihova uporaba u tim projektima ima određena ograničenja. Ograničenje prvih modela RTS instrumenata bila je njihova frekvencija mjerenja instrumenta od 1 Hz, što je bilo manje od fundamentalne frekvencije mosta kako je prikazano u [65]. Mogućnosti novih modela RTS instrumenata s frekvencijama mjerenja od 5–7 Hz prikazane su u [66–70], gdje su RTS instrumenti korišteni za mjerenje simuliranih dinamičkih pomaka kako bi se analizirala točnost dinamičkih mjerenja pomoću RTS, te za određivanje dinamičkih pomaka i prirodnih frekvencija mostova u eksploataciji. Točnost RTS instrumenta s frekvencijama mjerenja od 20 Hz za snimanje promjenjivih 3D koordinata pokretnog cilja testirana je u [71], te za mjerenje dinamičkih pomaka i prirodnih frekvencija željezničkih mostova u [72], gdje je RTS odredio dinamičke pomake mosta u vertikalnom i lateralnom smjeru, kao i prvih pet prirodnih frekvencija mosta. Kako bi se prevladala ograničenja frekvencija mjerenja RTS-om, nova metoda prikazana je u [6], gdje su autori pokazali kako povećati frekvencije mjerenja RTS instrumentom s 7–10 Hz na 20 Hz. Nova metoda također je demonstrirana u terenskom eksperimentu na 74 metara dugom pješačkom mostu za mjerenje vertikalnih vibracija mosta.

Za razliku od RTS, GNSS instrumenti nemaju ograničenja u vezi s frekvencijama mjerenja, budući da noviji GNSS instrumenti imaju frekvenciju mjerenja do 100 Hz. GNSS instrumenti široko se koriste za praćenje dinamičkih pomaka velikih i fleksibilnih konstrukcija kao što su mostovi dugih raspona, tornjevi i visoke zgrade koje karakteriziraju veliki pomaci (10 cm ili više) i niže prirodne frekvencije (manje od 1 Hz). Rezultati GNSS praćenja dinamičkih pomaka velikih konstrukcija prikazani su u [66, 73–76], gdje su dinamički pomaci odnosno prirodne frekvencije konstrukcija uspješno određivane iz GNSS podataka. Određivanje dinamičkih pomaka krućih konstrukcija koje su karakterizirane manjim vrijednostima dinamičkih pomaka ograničeno je zbog ostvarive točnosti mjerenja koja je na razini centimetara. Trenutno su mnoga istraživanja usredotočena na primjenu GNSS instrumenata za praćenje dinamičkih pomaka krućih konstrukcija s dinamičkim pomacima u rasponu milimetara i višim frekvencijama oscilacija [67], kao i na poboljšanje točnosti mjerenja GNSS-a zbog ograničenja efemerida, multipatha i atmosferskih pogrešaka, te šuma u mjerenjima prijavnika [77].

Najčešće korišteni geodetski instrumenti za strukturalni monitoring i geomonitoring su niveliri, robotizirane totalne stanice i GNSS uređaji. Geodetski monitoring građevinskih konstrukcija obično se provodi pomoću GNSS-a u kombinaciji s RTS-om. GNSS pruža veliku pokrivenost, dok RTS nudi visoko precizna mjerenja. Implementacija geodetskih mjernih senzora, tj. instrumenata u složenim sustavima praćenja konstrukcija omogućava tzv. preventivno održavanje građevinskih struktura i prijelaz s reaktivnog održavanja, kada je šteta već nastala i moguće prouzročila ljudske žrtve, na preventivno održavanje. U posljednjih nekoliko godina postoji opći trend razvoja automatiziranog i autonomnog praćenja. Osim ekonomske isplativosti koja je uvijek bila “problem”, još jedan razlog za razvoj automatiziranog i autonomnog mjerenja je povećana potražnja za neprekidnim sustavima praćenja 24/7/365. Gusto izgrađene zgrade i složeni i zahtjevni građevinski projekti zahtijevaju

kontinuiranu kontrolu unaprijed definiranih granica pomaka. To uključuje i konstrukcije na opasnim mjestima koje nisu kontrolirane u prošlosti. Također, današnji gradovi se šire, a zbog nedostatka zemljišta grade se visoke zgrade, npr. Burj Khalifa i slični neboderi diljem svijeta.

Precizna 3D mjerenja točaka automatski se provode pomoću robotizirane totalne stanice i reflektora ili pomoću GNSS-a. Međutim, reflektore i GNSS nije uvijek moguće koristiti u svakoj situaciji, jer se ne mogu postaviti na svaku točku ili objekt interesa. Nadalje, u slučaju GNSS-a, potrebno je osigurati napajanje na ponekad opasnim i nedostupnim mjestima. Ovi problemi znače da moramo koristiti IATS sa slikovnim senzorima kako bismo prikupili prostorne, spektralne i radiometrijske informacije o ciljnoj točki interesa i njezinom okolišu, pri čemu se uz korištenje metoda analize fotografija, RTS i GNSS metode mogu zamijeniti za određivanje preciznih 3D mjerenja signaliziranih točaka i točaka koje nisu signalizirane [11].

S obzirom na starenje prometne infrastrukture gdje veliki broj mostova širom svijeta treba obnovu, ta činjenica predstavlja ogromnu priliku za geodetske senzore praćenja (RTS, GNSS), posebno IATS. Nažalost, gotovo svaka tri mjeseca svjedočimo urušavanju mostova diljem svijeta. Svaka vrsta oštećenja ili značajne deformacije utječu na sigurnost mostova, što može rezultirati njihovim zatvaranjem ili čak urušavanjem, čime se raspada prometni sustav [78]. U idućem odjeljku dajemo nekoliko primjera primjene IATS-a u svrhu strukturalnog monitoringa i geomonitoringa.

4.1. Primjene u strukturalnom monitoringu i geomonitoringu

Jednu od prvih primjena IATS-a za strukturalni monitoring provela je Katedra za Geodeziju (TU Munich) za mjerenje dinamičkih pomaka i prirodnih frekvencija mosta Fatih Sultan Mehmet iznad Bosporskog vodnog puta u Istanbulu u Turskoj. Koristeći vlastiti IATS prototip koji se sastojao od Leica TPS1201 robotizirane mjerne stanice s okularom zamijenjenim CMOS kamerom u boji od 5 MPx, uspjeli su odrediti vertikalna pomicanja do 50 cm i prvih šest prirodnih frekvencija mosta od 0.106 Hz, 0.132 Hz, 0.176 Hz, 0.209 Hz, 0.272 Hz i 0.333 Hz tijekom dnevnog prometa. Utvrđene frekvencije podudarale su se s poznatim frekvencijama iz prethodnih ispitivanja [7].

Istraživanje provedeno na Institutu za inženjersku geodeziju i mjerne sustave na Tehničkom sveučilištu u Grazu obuhvatilo je različite eksperimentalne studije i terenska mjerenja pomoću IATS Leica MS50 i MS60. Cilj im je bio odrediti prirodne frekvencije pješačkih mostova Augarten i Pongratz-Moore-Steg preko rijeke Mur u Grazu u Austriji. Za referentna mjerenja koristili su tri akcelerometra orijentirana u vertikalnom smjeru, poprijeko i uzduž mosta. Na mostu Augarten, koristeći Leica MS50 i instrumente povoljno postavljene duž uzdužne osi mosta [79] uspjeli su odrediti vertikalna pomicanja do 0.5 mm i frekvenciju mosta od 1.81 Hz pomoću IATS-a (1.81 Hz pomoću akcelerometra), što se poklopilo s prirodnom frekvencijom mosta od 1.8 Hz [80]. Na mostu Pongratz-Moore-Steg koristeći Leica MS60 i instrumente nepovoljno postavljene uzduž poprečne osi mosta [79] uspjeli su odrediti frekvenciju mosta od 2.5 Hz pomoću

IATS-a (2.5 Hz pomoću akcelerometra) što se poklapalo s frekvencijom koraka trkača preko mosta. Pomicanja uzduž osi mosta (uzdužna i poprečna) bila su premala da bi se razlučila pomoću IATS-a postavljenog u nepovoljan položaj i uglavnom su ovisila o točnosti mjerenja udaljenosti bez reflektora sa IATS [79].

Koncept geomonitoringa korištenjem dva IATS instrumenta za visokorezolucijsko dugometražno stereo snimanje georizničnih područja istraživano je u EU-FP7 projektu DEMONTES, a činjenice, ciljevi, rezultati i potpuni izvještaj mogu se pronaći u [81]. U radu [82] predstavljena je korištena metodologija i usporedba glavnih značajki s drugim terestričkim geodetskim metodama geomonitoringa. Teoretski ostvariva točnost mjernog sustava izvedena je i verificirana upotrebom terenskih podataka o udaljenim padinama glinokopa i simuliranim deformacijama. Deformacije su simulirane korištenjem pokreta umjetne stijene, strukturirane i teksturirane ploče dimenzija $1\text{ m} \times 1\text{ m}$, koja je bila pričvršćena za dvije užadi i pomicana i rotirana pod različitim kutovima tijekom različitih epoha. Pokazano je da stereo koncept IATS-a može postići veću preciznost u određivanju 3D pomicanja, odnosno deformacija, u usporedbi s drugim sustavima s usporedivim senzorima. Upotrebom kamere durbina i uvećanja durbina, fotografije se mogu primjenjivati za duge domete. Gusti oblaci točaka s visokom točnošću pojedinačne točke uključujući informacije o njihovoj preciznosti su kreirani. 3D vektore pomaka moglo se izvesti automatski, te odrediti njihov značaj. Ovi rezultati mogu se koristiti za izravno određivanje krutih pokreta tijela objekata i površinskih mrlja. U usporedbi s mjerenjima terestričkog laserskog skenera (TLS) moguće je koristiti IATS pristup za velike udaljenosti s manjim otiscima, a nije potrebno postavljati referentne točke unutar područja interesa. Veliko uvećanje kamere durbina i mogućnost snimanja snopova fotografija dodatno dovode do veće gustoće točaka u usporedbi s jednostavnim fotogrametrijskim pristupima. Autori zaključuju da je ekstrapolirajući ostvarivu točnost na veće udaljenosti (koristeći fiksni omjer osnovne udaljenosti od 1:3 i druge ulazne parametre eksperimenta) bilo moguće ostvariti sljedeće Helmertove pogreške položaja: za 1 km, 0.035 m; za 2 km, 0.069 m; za 3 km, 0.103 m [82].

4.2. Studija slučaja

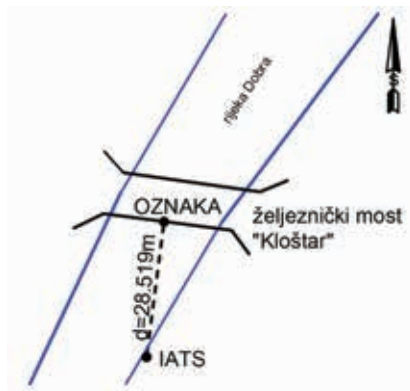
U ovom odjeljku predstavljen je vlastiti eksperiment kako bi se doprinijelo prethodno predstavljenim teorijskim temeljima, zajedno sa zaključcima o potencijalnim koristima i mogućnostima upotrebe IATS-a za strukturalni monitoring. Zbog nedostatka najsuvremenijeg IATS-a, kako je prikazano u odjeljku 2.5, razvijen je vlastiti IATS prototip koji se sastoji od Leica TPS1201 RTS i GoPro kamere montirane na okular durbina (Slika 12, lijevo). Projektiran je adapter izrađen pomoću 3D pisača za postavljanje GoPro kamere na Leica TPS1201. To je omogućilo direktno pričvršćivanje kamere na okular durbina Leica TPS1201. Prije provođenja mjerenja provedeno je ispitivanje stabilnosti durbina instrumenta u laboratoriju koristeći postavljenu kameru u vertikalnom smjeru. Ispitivanje je pokazalo da nema pomaka durbina. IATS prototip pružio je mogućnost upravljanja kamerom GoPro aplikacijom pametnim telefonom, dok se instrumentom moglo upravljati pomoću prijenosnog računala.

Na taj način nije se moralo dodirivati instrument ili kameru čime se osigurala njihova stabilnost duž horizontalne i vertikalne osi. Prije provedbe terenskih ispitivanja proveden je eksperiment u laboratoriju gdje je testirana sposobnost IATS prototipa da odredi unaprijed definirane amplitude pri različitim frekvencijama pomoću univerzalnog višenamjenskog uređaja namijenjenog statičkom i dinamičkom ispitivanju mehaničkih svojstava građevinskih materijala i konstrukcija. Ispitivanje je uključivalo simulirane amplitude od ± 0.2 , ± 0.5 , ± 1.0 , ± 2.0 i ± 5.0 mm na frekvencijama od 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 i 5.0 Hz. Određene su sve amplitude i frekvencije, kako je djelomično prikazano u [83].

Provedena ispitivanja na terenu izvedena su na željezničkom mostu Kloštar nakon njegove rekonstrukcije u svrhu ispitivanja opterećenja (Slika 12, sredina). Budući da most nije imao karakteristične točke, tj. ciljeve koji nisu signalizirani, a pogodni su za obradu fotografija i identifikaciju ciljeva između kadrova, korištene su unaprijed definirane foto-oznake (Slika 12, desno) za otkrivanje ciljeva između kadrova. Foto-oznake bile su četiri različita kruga s unaprijed definiranim promjerima (5 mm, 10 mm, 15 mm i 20 mm), kao i unaprijed definiranim horizontalnim razmakom između centara kruga od 40 mm i vertikalnim razmakom od 20 mm, kako je prikazano na Slici 12 (desno). IATS prototip bio je postavljen na udaljenosti 28.519 m po okomici na uzdužnu os mosta u sredini raspona mosta (Slika 13).



Slika 12. IATS prototip (lijevo), željeznički most Kloštar preko rijeke Dobre (sredina) i foto-oznaka (desno).

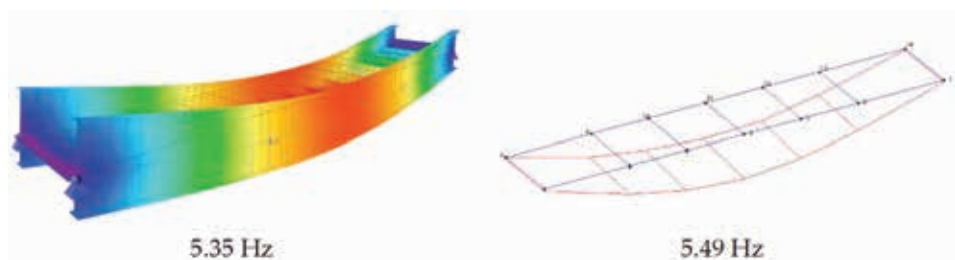


Slika 13. Postavljanje IATS prototipa na terenu u odnosu na most.

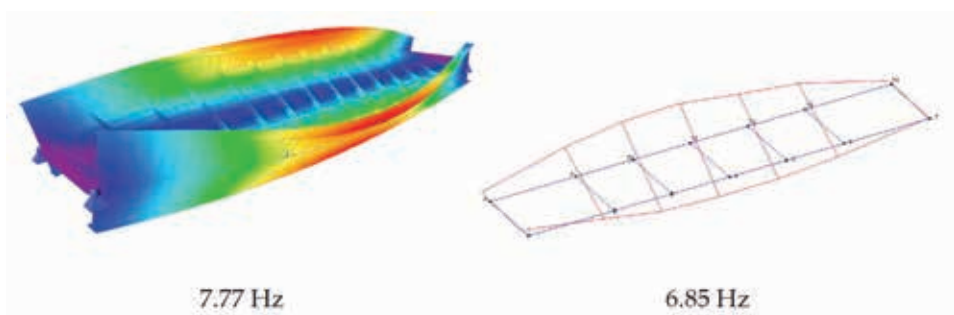
Na taj način postigli smo optimalan položaj IATS prototipa u odnosu na most za određivanje vertikalnih pomaka mosta, budući da je uzdužna os mosta bila paralelna sa slikovnim senzorom. Koristeći durbin instrumenta s $30\times$ uvećanjem, kamera je snimila film sa sljedećim postavkama: usko vidno polje, 1920×1080 px, na 60 sličica u sekundi. Pomoću ovog postava postigli smo najmanji krug s promjerom od 5 mm i 15 piksela, odnosno jedan piksel odgovarao je 0.333 mm za ovu studiju slučaja na terenu. Korišteni su i akcelometri za mjerenje frekvencijskog odziva mosta. Vlakovi su prolazili mostom različitim brzinama. U ovom radu prikazujemo rezultate iz dva testa odnosno kada su vlakovi prolazili brzinom od 40 km/h i 60 km/h.

Za obradu snimljenog filma s kamere razvijen je algoritam u MATLAB-u. Algoritam je izvršavao nekoliko koraka. Prvo je format filma pretvoren u kadrove pri čemu je svaka fotografija predstavljala jednu mjernu epohu. Zatim je fotografija pretvorena u ortogonalnu projekciju prema poznatom azimutu i zenitnom kutu IATS prototipa prema uzdužnoj osi mosta, odnosno prema položaju foto-oznake. Radi smanjenja vremena računanja definiran je prostor oko foto-oznake. Potom je izvršena konverzija s RGB fotografije u binarnu crno-bijelu fotografiju, olakšavajući otkrivanje granica krugova i centara krugova. Prema piksel koordinatama centara krugova izračunat je zajednički centar sva četiri kruga. Razlike između zajedničkih centara svake fotografije za svaki test u odnosu na prvu referentnu fotografiju prije prolaska vlaka mogle su se zatim izračunati. Prema tome moglo se izračunati dinamička vertikalna pomicanja u pikselima. Kao funkcija poznate udaljenosti između centara krugova izračunat je faktor mjerila i koristio se za pretvaranje piksel pomicanja u milimetarska pomicanja. Na kraju korištenjem brze Fourierove transformacije vremenska domena pretvorena je u frekvencijsku domenu, a određene su prirodne frekvencije mosta.

Slika 14 (lijevo) prikazuje izračunati prvi modalni oblik mosta na frekvenciji od 5.35 Hz, a Slika 15 (lijevo) prikazuje drugi modalni oblik na frekvenciji od 7.77 Hz pomoću metode konačnih elemenata (MKE). Na Slici 14 i 15 (desno) prikazani su prvi i drugi modalni oblik i frekvencije dobivene iz mjerenja ambijentalnih vibracija pomoću akcelometara. Razlike između MKE i mjerenja ambijentalnih vibracija događale su se redovito jer je MKE model napravljen pomoću projektantskih parametara koji su se mogli razlikovati od izgrađenog mosta.

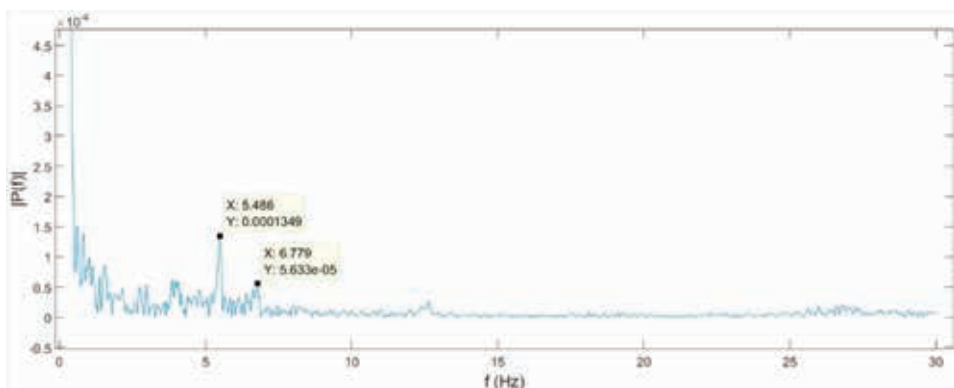


Slika 14. Prvi modalni oblik i frekvencija izračunati pomoću MKE (lijevo) i određeni akcelometrima (desno).

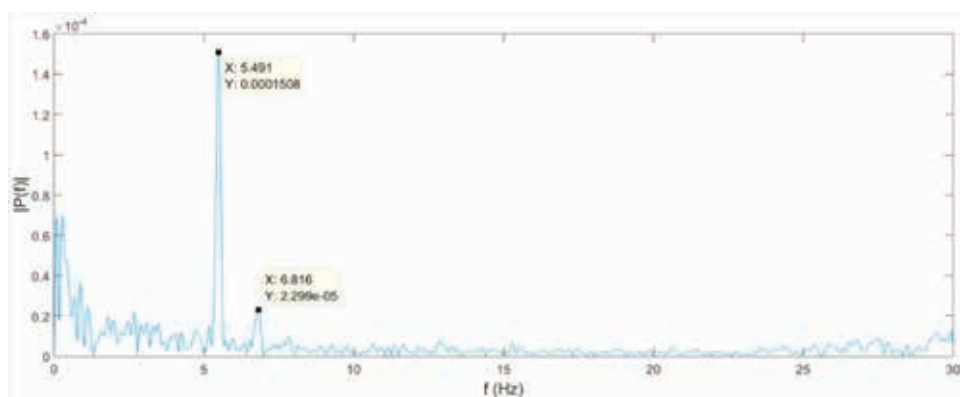


Slika 15. Drugi modalni oblik i frekvencija izračunati pomoću MKE (lijevo) i određeni akcelerometrima (desno).

Cilj ispitivanja bio je odrediti prirodne frekvencije mosta tijekom praćenja vibracija pomoću IATS prototipa. Kako bi se ocijenila točnost našeg IATS prototipa koristili smo mjerenja ambijentalnih vibracija akcelerometrom kao referentna. Prva prirodna frekvencija određena mjerenjima IATS prototipa podudarala se s prvom prirodnom frekvencijom mosta izmjerenom akcelerometrima, dok se druga prirodna frekvencija određena IATS-om malo razlikovala od one određene akcelerometrima za oba testa (Slike 16 i 17). Pri brzini od 40 km/h, prva frekvencija, $F1 = 5.49$ Hz, dobivena akcelerometrom, jednako je dobivena i IATS prototipom, $F1 = 5.49$ Hz. Pri brzini od 40 km/h, druga frekvencija, $F2 = 6.85$ Hz, dobivena akcelerometrom, dobivena je IATS prototipom kao $F2 = 6.78$ Hz. Pri brzini od 60 km/h, prva frekvencija, $F1 = 5.49$ Hz, dobivena akcelerometrom, jednako je dobivena i IATS prototipom, $F1 = 5.49$ Hz. Pri brzini od 60 km/h, druga frekvencija, $F2 = 6.85$ Hz, dobivena akcelerometrom, dobivena je IATS prototipom kao $F2 = 6.82$ Hz. Provedeno istraživanje pokazalo je da se IATS može koristiti za određivanje dominantnih vertikalnih prirodnih frekvencija potvrđujući prethodna istraživanja provedena od strane [7,79,80]. U budućem radu predstaviti će se sva provedena ispitivanja tijekom ovog ispitivanja opterećenja.



Slika 16. Amplitudski spektar vertikalne komponente i otkrivene prve i druge frekvencije pomoću IATS prototipa (poticanje prolazom vlaka brzinom od 40 km/h).



Slika 17. Amplitudski spektar vertikalne komponente i otkrivene prve i druge frekvencije pomoću IATS prototipa (poticanje prolazom vlaka brzinom od 60 km/h).

5. Rasprava

Provedeno istraživanje o tehničkom razvoju fototeodolita i video teodolita pokazalo je da je njihov razvoj bio spor i uglavnom ovisan o razvoju daljinomjera, slikovnih senzora, motorizacije i njihove integracije u teodolite. Na početku je teodolit podržavao fotoapararat u svrhu određivanja elemenata vanjske orijentacije. Ti tzv. foto-teodoliti koristili su se u mnogim kartografskim projektima jer je geodetsko snimanje bilo brže i jednostavnije, a istovremeno su nudili mogućnost snimanja većih područja s zadovoljavajućom točnošću.

Razvojem EDM-a i principa razlike u dvije struje u fotoelektričnim ćelijama, statički ciljevi mogli su se prepoznati i mjeriti s visokom točnošću. Razvijeni slikovni senzori zatim su integrirani u teodolite, mijenjajući njihovu svrhu iz kartiranja u praćenje objekata. Zahtjevi automobilske i zrakoplovne industrije u vezi s montažom i kontrolom kvalitete 1980-ih godina prisilili su tvrtke da izgrade elektroničke tahimetre s integriranim slikovnim sensorima u teodolitima sa servomotorima. Najveći doprinos ove linije razvoja bio je taj što su slikovni senzori korišteni za automatsko fokusiranje i određivanje položaja cilja u odnosu na optičku os durbina. Iako je tehnološki razvoj komercijalnih instrumenata usporio 1990-ih godina akademska zajednica održavala je napore u istraživanju i razvoju primjena digitalnih metoda obrade fotografija i računalnog vida, što se održava do danas. Početna istraživanja usmjerena su na otkrivanje umjetnih ciljeva i precizno viziranje pomoću kamera za viziranje i mjerenje ciljeva koji nisu signalizirani. Razvijene su opcije temeljene na umjetnoj inteligenciji. Implementacijom stručnog znanja o opažanju točaka u softverska rješenja i primjenom umjetne inteligencije razvijeni su ekspertni sustavi. Razvijeni algoritmi kasnije su implementirani u komercijalne instrumente. Automatizacijom mjerenja razina postignute točnosti je povećana.

Godina 2005. označila je uvođenje IATS-a kakvog danas poznajemo. Tehnološki razvoji vezani uz različite senzore, odnosno hardver i softver, omogućili su njihovu integraciju u instrumente. Nakon njihovog spajanja IATS se češće koriste

u zadacima strukturalnog monitoringa i geomonitoringa. Trenutno korišteni senzori za praćenje struktura i određivanje vibracija i dinamičkih pomaka struktura su akcelerometri, GNSS i RTS. Ti senzori imaju neke nedostatke, jer im je potrebno osigurati pristup nadziranoj strukturi i osigurati izvor napajanja. Korištenjem akcelerometra moguće je samo procijeniti vibracije struktura [64]. Nadalje, preciznost dinamičkih mjerenja GNSS instrumentom (u kinematičkom načinu mjerenja) na razini je centimetara s visokom frekvencijom uzorkovanja mjerenja (do 100 Hz); nasuprot tome, RTS može mjeriti pomicanje na razini milimetara, ali s nižom frekvencijom uzorkovanja mjerenja (5–20 Hz). Očito je da ove dvije tehnike mjerenja ne pružaju optimalno rješenje za strukturalni monitoring. Prema provedenim istraživačkim studijama prikazanim u odjeljku 4 jasno je da je IATS prevladao glavne nedostatke RTS i GNSS instrumenata u projektima strukturalnog monitoringa i geomonitoringa. Pristup nadziranoj strukturi nije potreban pri korištenju IATS-a, što omogućuje fleksibilniju definiciju točaka mjerenja. Osim toga postignuta točnost i preciznost također su na višoj razini u usporedbi s RTS-om i GNSS-om.

Kratki prikaz studija slučaja u članku pokazuje da se navedeni nedostaci akcelerometara, GNSS uređaja i robotizirane totalne stanice mogu prevladati korištenjem IATS-a (IATS prototip korišten je u našoj studiji slučaja). Razvijeni IATS prototip istaknuo je svoje glavne prednosti i potencijal u svrhu strukturalnog monitoringa u usporedbi s drugim sensorima. Preciznost i točnost mjerenih pomaka su na visokoj razini jer su mjerenja temeljena na fotografijama dobivenim GoPro kamerom sa 30× optičkim povećanjem TS Leica TPS1201. Korištenjem snimaka pri brzinama od 30 sličica u sekundi ili 60 sličica u sekundi bilo je moguće odrediti visoke prirodne frekvencije struktura. Prototip ne treba biti postavljen na strukturu, stoga pristup nadziranoj strukturi nije potreban. Osim prirodnih frekvencija možemo odrediti statičke i dinamičke pomake u vertikalnim i horizontalnim ravninama (uzdužno i poprečno ovisno o položaju prototipa u odnosu na strukturu). Potrebno je daljnje istraživanje u tom smjeru jer smo izveli samo studije za određivanje vertikalnih pomaka i prirodnih frekvencija, dok su studije o pomacima duž uzdužne ili poprečne osi planirane. Kako je prikazano u odjeljku 4, IATS najnovije generacije može obaviti sve ove zadatke. Međutim cijena prikazanog IATS prototipa puno je niža od cijene komercijalnog IATS-a što je također važan parametar za razmatranje.

Korištenjem predloženih mjerenja temeljenih na fotografijama moguće je detektirati pokrete objekta okomito na vizuru IATS-a. Za mjerenje pokreta duž vizurne osi može se koristiti IATS EDM. Ako je dostupno alternativno se mogu koristiti podaci IATS skenera, tj. spoj laserskih skenova i podataka kamere u RGB + D fotografije. Ovaj pristup kombinira prednosti ova dva načina. To je također moguće s najnovijim generacijama IATS-a, tj. IASTS-a, kako je objašnjeno u odjeljku 3.3. Trenutačno postoji nekoliko studija na tu temu. Međutim potrebno je daljnje istraživanje, jer su mogućnosti i prednosti koje ovaj pristup pruža za inženjerske zadatke u geomonitoringu opsežne posebno u opasnim i teško dostupnim područjima što zahtijeva temeljito testiranje i analizu.

Integracijom kamera u totalne stanice, tzv. IATS, ove različite klase senzora spojene su u jedan univerzalni instrument [5]. Ova integracija nudi širok raspon rješenja za različite geodetske zadatke koji se mogu riješiti mnogo brže, lakše i preciznije u usporedbi s klasičnim geodetskim metodama i instrumenti-

ma. Osim toga, nudi mogućnosti rješavanja nekih problema i obavljanja nekih zadataka koji su bili nemogući u prošlosti pomoću klasičnih TS, RTS i GNSS.

Literatura

1. Bannister, A.; Raymond, S.; Baker, R. *Surveying*, 6th ed.; Longman Scientific & Technical: London, UK, 1992; ISBN 0-470-21845-2.
2. Benčić, D.; Solarić, N. *Mjerni Instrumenti i Sustavi u Geodeziji i Geoinformatici*; Školska Knjiga: Zagreb, Croatia, 2008.
3. Ogundare, J.O. *Precise Surveying*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2016; ISBN 978-1-119-10251-9.
4. Lemmens, M. Total Stations: The Surveyor's Workhorse. *GIM Int.* 2016, 30, 20–25.
5. Wunderlich, T.; Wasmeier, P.; Wagner, A. Auf dem Weg zum geodätischen Universalinstrument—Wie nahe am Ziel sind IATS und MS50? In *Proceedings of the Terrestrisches Laserscanning 2014 (TLS 2014)*, Fulda, Germany, 11–12 December 2014; pp. 177–192.
6. Lienhart, W.; Ehrhart, M.; Grick, M. High frequent total station measurements for the monitoring of bridge vibrations. *J. Appl. Geod.* 2017, 11, 1–8. [CrossRef]
7. Wagner, A.; Wasmeier, P.; Reith, C.; Wunderlich, T. Bridge Monitoring by Means of Video-Tacheometer—A Case Study. *AVN Allg. Vermess. Nachr.* 2013, 120, 283–292.
8. Wagner, A. *New Geodetic Monitoring Approaches Using Image Assisted Total Stations*. Ph.D. Thesis, Technische Universität München, München, Germany, 2017.
9. Koppe, C. *Die Photogrammetrie Oder Bildmesskunst*; Verlag der Deutschen Photographen-Zeitung: Weimar, Germany, 1889.
10. Ott, M. *Photogrammetrischer Theodolit für Hochgebirgsaufnahmen: Nach Angabe von Professor Dr. S. Finsterwalder in München neu konstruiert*. *Z. Instrum.* 1895, 15, 370–373.
11. Walser, B.H. *Development and Calibration of an Image Assisted Total Station*. Ph.D. Thesis, ETH Zürich, Zürich, Switzerland, 2004.
12. Alexander, R.; Lehmann, M.; Kahmen, H.; Paar, G.; Miljanovic, M.; Ali, H.; Egly, U.; Eiter, T. A 3D optical deformation measurement system supported by knowledge-based and learning techniques. *J. Appl. Geod.* 2009, 3, 1–13. [CrossRef]
13. Knobloch, S. *Entwicklung, Kalibrierung und Erprobung eines Kameraunterstützten Hängetachymeters*. Ph.D. Thesis, Technische Universität Dresden, Dresden, Germany, 2009.
14. Wasmeier, P. *Grundlagen der Deformationsbestimmung mit Messdaten Bildgebender Tachymeter*. Ph.D. Thesis, Technische Universität München, München, Germany, 2009.

15. Reiterer, A.; Wagner, A. System Considerations of an Image Assisted Total Station—Evaluation and Assessment. *AVN Allg. Vermess.-Nachr.* 2012, 119, 83–94.
16. Huep, W. Scannen mit der trimble VX spatial station. *Z. Vermess.* 2010, 135, 330–336.
17. Gruner, H. Photogrammetry: 1776–1976. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 1977, 43, 569–574.
18. Frankich, K. Close Range Photogrammetric Systems and Their Applications in Ophthalmology. Ph.D. Thesis, The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, 1973.
19. Finsterwalder, R.; Hofmann, W. *Photogrammetrie*, 3rd ed.; Walter de Gruyter & Co.: Berlin, Germany, 1968.
20. Leica Geosystems 200 Years of Surveying History. Available online: <https://leica-geosystems.com/about-us/summary/history> (accessed on 25 March 2021).
21. Gigas, E.; Ebeling, K. Elektrisches Auge. In DGK; Institut für Angewandte Geodäsie: Frankfurt, Germany, 1957; Volume B.
22. Wagner, A.; Wasmeier, P.; Wunderlich, T.; Ingensand, H. Vom selbstzielenden Theodolit zur Image Assisted Total Station From the Self-aiming Theodolite to Image Assisted Total Stations. *AVN Allg. Vermess. Nachr.* 2014, 121, 171–180.
23. C & D Professional Services Contraves EOTS Cinetheodolite. Available online: http://www.cdproservices.com/product_0903g.html (accessed on 25 March 2021).
24. Hilster, N. de 1980 SAT AGA-Minilir. Available online: http://www.dehilster.info/geodetic_instruments/1980_sat-sagem_AGAMinilir.php#note1 (accessed on 25 March 2021).
25. Wentzell, H.F. Polarfix: A new concept in high accuracy position fixing. *World Dredg. Mar. Constr.* 1983, 19, 9.
26. Ingensand, H. 2000 Jahre Theodolit: Von Heron bis Heinrich Wild. *Vermess. Photogramm. Kult.* 1992, 90, 128–140.
27. Kahmen, H.; Suhre, H. Ein lernfähigstachymetrisches Vermessungssystem zur Überwachung kinematischer Vorgänge ohne Beobachter. *Z. Geodäsie Geoinf. Landmanag.* 1983, 108, 345–351.
28. Kahmen, H.; Steudel, J. Das automatisch zielende Messsystem GEOROBOT II. In *Proceedings of the Xth Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung*, München, Germany, 12–17 September 1988.
29. Gottwald, R. Kern E2-SE—Ein neues Instrument nicht nur für die Industrievermessung? *AVN Allg. Vermess. Nachr.* 1987, 147–153.
30. Katowski, O. Deformationsmessung an Bauwerken mit dem automatischen Theodolitmesssystem ATMS. In *Optical 3-D Measurement Techniques*; Wichmann: Karlsruhe, Germany, 1989; pp. 393–403.
31. Kennie, T.J.M.; Petrie, G. (Eds.) *Engineering Surveying Technology*; Taylor & Francis Group: London, UK; New York, NY, USA, 1990; Volume

- 27, ISBN 0751401935.
32. Lienhart, W. Integrated Digital Imaging and Its Impact on Survey Workflows; Visualisation Technical; PositionIT: Muldersdrift, South Africa, 2011; pp. 51–55.
33. Kahmen, H.; Roić, M. A new generation of measurement robots for object reconstruction without targeting. In Proceedings of the Optical 3d Measurements III, Vienna, Austria, 2–4 October 1995; pp. 251–262.
34. Fabiankowitsch, J. Automatische Richtungsmessung mit Digitalen Differenzbildern; TU Vienna: Vienna, Austria, 1990.
35. Mischke, A. Entwicklung Eines Videotheodolit-Meßsystems zur Automatischen Richtungsmessung von Nicht Signalisierten Objektpunkten; TU Vienna: Vienna, Austria, 2000; Volume 54.
36. Reiterer, A.; Vicovac, T.; Egly, U.; Mai, E.; Moafipoor, S.; Grejner-Brzezinska, D.A.; Toth, C.K. Application of artificial intelligence in Geodesy—A review of theoretical foundations and practical examples. *J. Appl. Geod.* 2010, 4, 201–217. [CrossRef]
37. Roić, M. Erfassung von Nicht Signalisierten 3D-Strukturen mit Videotheodoliten. Ph.D. Thesis, Technische Universität Wien, Vienna, Austria, 1994.
38. Matthias, H. Der Roboter-Theodolit Topomat: Technik, Anwendungen und Auswirkungen auf den Beruf. *Vermess. Photogramm. Kult.* 1991, 8, 427–431. [CrossRef]
39. Topcon Topcon Museum|Total Station. Available online: <https://www.topcon.co.jp/en/positioning/museum/ts/> (accessed on 15 March 2021).
40. Ingensand, H.; Boeckem, B. Automatic Location and Pointing Techniques in Local Positioning Systems. In Proceedings of the 4th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Zürich, Switzerland, 29 September–2 October 1997; pp. 329–338.
41. Topcon GPT-7000i Specifications. Available online: <http://www.topcon.si/zares4/dokumenti/gpt-7000i.pdf> (accessed on 25 March 2021).
42. Topcon GPT-9000Ai Specifications. Available online: [https://totalstations.co/wp-content/uploads/2017/07/Topcon-GPT-9001 A-Edited-1.pdf](https://totalstations.co/wp-content/uploads/2017/07/Topcon-GPT-9001-A-Edited-1.pdf) (accessed on 11 March 2021).
43. Trimble Trimble VX Spatial Station. Available online: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-348124/022543-261F_TrimbleVX_DS_0110_lr.pdf (accessed on 25 March 2021).
44. Pentax R-400VDN Series. Available online: <https://pdf.archiexpo.com/pdf/pentax-precision/r-400vdn-series/151417-284341.html> (accessed on 25 March 2021).
45. Leica Geosystems, A. Leica Viva TS11 Datasheet. Available online: <https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/brochures/tender-flexline-plus/leica-viva-ts11-ds-lr.ashx?la=en&hash=8467ACC4E2E31C6DFF7C1497091D3692> (accessed on 25 March 2021).
46. Leica Geosystems, A. Leica Viva TS15 Datasheet. Available online: <http://>

- kumonos.info/downloads/datasheet_ts15.pdf (accessed on 25 March 2021).
47. Wagner, A.; Wiedemann, W.; Wasmeier, P.; Wunderlich, T. Improved concepts of using natural targets for geo-monitoring. In Proceedings of the 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM), Vienna, Austria, 30 March–1 April 2016.
 48. Wagner, A.; Wiedemann, W.; Wunderlich, T. Fusion of Laser Scan and Image Data for Deformation Monitoring—Concept and Perspective. In Proceedings of the INGEO—7th International Conference on Engineering Surveying, Lisbon, Portugal, 18–20 October 2017; pp. 157–164.
 49. Whitt, M. Trimble S Series Total Station Comparison—Positioning Solutions. Available online: <https://positioningsolutions.com/blogs/product-info/total-station-comparison> (accessed on 25 March 2021).
 50. Topcon DS-200i Series Imaging Robotic Total Station. Available online: https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/ds-200i_series_broch_7010_2160_rev_c_sm.pdf (accessed on 25 March 2021).
 51. Maar, H.; Zogg, H.-M. Leica Nova MS60 White Paper. Available online: <http://leica-geosystems.com/products/total-stations/multistation/leica-nova-ms60> (accessed on 25 March 2021).
 52. Trimble Trimble SX10|Scanning Total Station. Available online: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimblesx10> (accessed on 25 March 2021).
 53. Trimble Trimble SX12|Scanning Total Station. Available online: <https://geospatial.trimble.com/SX12> (accessed on 25 March 2021).
 54. Topcon Topcon GTL-1000 Laser Scanner Total Station. Available online: https://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/pdf/GTL-1000_E.pdf (accessed on 25 March 2021).
 55. Wagner, A. A new approach for geo-monitoring using modern total stations and RGB + D images. Meas. J. Int. Meas. Confed. 2016, 82, 64–74. [CrossRef]
 56. Huep, W. Konzeption und Einsatzmöglichkeiten eines automatisierten Theodolitsystems. In Proceedings of the Xth Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, München, Germany, 12–17 September 1988.
 57. Grimm, D.E.; Zogg, H.-M. Leica Nova MS50 White Paper. Available online: https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiVlMOpxKDvAhVmyoUKHeveD-IQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fw3.leica-geosystems.com%2Fdownloads%2F%2Fz%2Ftps%2Fnova_ms50%2Fwhite-tech-paper%2Fleica_nova_ms50_tpa_en.pdf& (accessed on 25 March 2021).
 58. Grimm, D.; Kleemaier, G.; Zogg, H.-M. ATRplus White Paper. Available online: https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/white-papers/atrplus_wp.ashx?la=en&hash=91E09F6A1CF79DE10D9B742391F7B35F (accessed on 25 March 2021).
 59. Ehrhart, M.; Lienhart, W. Development and evaluation of a long range image-based monitoring system for civil engineering structures. In Proceedings of the SPIE 9437, Structural Health Monitoring and Inspection of Advanced Materials, Aerospace, and Civil Infrastructure 2015, Aerospace, San Diego,

- CA, USA, 9–12 March 2015.
60. Hartley, R.; Zisserman, A. *Multiple View Geometry in Computer Vision*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2004; ISBN 9780521540513.
 61. Vogel, M. *Vom Pixel zur Richtung Die Räumlichen Beziehungen Zwischen Abbildungsstrahlen und Tachymeter-Richtungen*. Ph.D. Thesis, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Germany, 2006.
 62. Wagner, A.; Wiedemann, W.; Wunderlich, T. Using IATS to Read and Analyze Digital Leveling Staffs. In *Proceedings of the International Symposium on Engineering Geodesy—SIG 2016*, Varaždin, Croatia, 20–22 May 2016; pp. 515–526.
 63. Wagner, A.; Wiedemann, W.; Wasmeier, P.; Wunderlich, T. Monitoring Concepts using Image Assisted Total Stations. In *Proceedings of the International Symposium on Engineering Geodesy—SIG 2016*, Varaždin, Croatia, 20–22 May 2016; pp. 137–148.
 64. Ehrhart, M.; Lienhart, W. Monitoring of Civil Engineering Structures using a State-of-the-art Image Assisted Total Station. *J. Appl. Geod.* 2015, 9. [CrossRef]
 65. Cosser, E.; Roberts, G.W.; Meng, X.; Dodson, A. Measuring the dynamic deformation of bridges using a total station. In *Proceedings of the 11th FIG Symposium on Deformation Measurements*, Santorini, Greece, 25–28 May 2003; pp. 605–612.
 66. Lekidis, V.; Tsakiri, M.; Makra, K.; Karakostas, C.; Klimis, N.; Sous, I. Evaluation of dynamic response and local soil effects of the Evripos cable-stayed bridge using multi-sensor monitoring systems. *Eng. Geol.* 2005, 79, 43–59. [CrossRef]
 67. Psimoulis, P.; Moschas, F.; Stiros, S. Measuring the Displacements of a rigid footbridge using geodetic instruments and an accelerometer. In *Proceedings of the 1st Joint International Symposium on Deformation Monitoring*, Hong Kong, China, 2–4 November 2011.
 68. Gikas, V.; Daskalakis, S. Comparative testing and analysis of RTS vs. In GPS for structural monitoring using calibration measurements upon sinusoidal excitation. In *Proceedings of the 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis*, Lisbon, Portugal, 12–15 May 2008.
 69. Palazzo, D.R.; Friedmann, R.M.P.; Nadal, C.A.; Filho, M.L.S.; Veiga, L.A.K.; Faggion, P.L. Dynamic monitoring of structures using a robotic total station. In *Proceedings of the 23th International FIG Congress*, Munich, Germany, 8–13 October 2006.
 70. Gikas, V.; Daskalakis, S. Full scale validation of tracking total stations using a long stroke electrodynamic shaker. In *Proceedings of the 23th International FIG Congress*, Munich, Germany, 8–13 October 2006.
 71. Stempfhuber, W. Verification of the Trimble Universal Total Station (UTS) Performance for Kinematic Applications. In *Proceedings of the Conference on Optical 3-D Measurement Techniques*, Vienna, Austria, 1–3 July 2009.
 72. Marendić, A.; Paar, R.; Damjanović, D. Measurement of bridge dynamic displacements and natural frequencies by RTS. *Gradev. J. Croat. Assoc.*

- Civ. Eng. 2017, 69, 281–294. [CrossRef]
73. Roberts, G.W.; Meng, X.; Dodson, A.H. Integrating a Global Positioning System and Accelerometers to Monitor the Deflection of Bridges. *J. Surv. Eng.* 2004, 130, 65–72. [CrossRef]
74. Yu, J.; Meng, X.; Shao, X.; Yan, B.; Yang, L. Identification of dynamic displacements and modal frequencies of a medium-span suspension bridge using multimode GNSS processing. *Eng. Struct.* 2014, 81, 432–443. [CrossRef]
75. Meng, X.; Nguyen, D.; Xie, Y.; Owen, J.; Psimoulis, P.; Ince, S.; Chen, Q.; Ye, J.; Bhatia, P. Design and Implementation of a New System for Large Bridge Monitoring—GeoSHM. *Sensors* 2018, 18, 775. [CrossRef]
76. Kaloop, M.; Elbeltagi, E.; Hu, J.; Elrefai, A. Recent Advances of Structures Monitoring and Evaluation Using GPS-Time Series Monitoring Systems: A Review. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2017, 6, 382. [CrossRef]
77. Yu, J.; Meng, X.; Yan, B.; Xu, B.; Fan, Q.; Xie, Y. Global Navigation Satellite System-based positioning technology for structural health monitoring: A review. *Struct. Control Heal. Monit.* 2020, 27. [CrossRef]
78. Paar, R. Geospatial Data Bases of Objects in the Highway Management System of the Republic of Croatia. Ph.D. Thesis, University of Zagreb, Zagreb, Croatia, 2010.
79. Ehrhart, M.; Lienhart, W.; Kalenjuk, S. Monitoring of Bridge vibrations with image-assisted total stations. In Proceedings of the 4th Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of civil Structures (SMAR), Zurich, Switzerland, 13–15 September 2017.
80. Ehrhart, M.; Lienhart, W. Image-based dynamic deformation monitoring of civil engineering structures from long ranges. In Proceedings of the SPIE 9405, Image Processing: Machine Vision Applications VIII, San Francisco, CA, USA, 10–11 February 2015.
81. Paar, G. Deformation Monitoring by High Resolution Terrestrial Long Range Sensing. 2014. Available online: <https://cordis.europa.eu/project/id/285839> (accessed on 25 March 2021).
82. Wagner, A.; Huber, B.; Wiedemann, W.; Paar, G. Long-Range Geo-Monitoring Using Image Assisted Total Stations. *J. Appl. Geod.* 2014, 8. [CrossRef]
83. Paar, R.; Marendić, A.; Wagner, A.; Wiedemann, W.; Wunderlich, T.; Roić, M.; Damjanović, D. Using IATS and digital levelling staffs for the determination of dynamic displacements and natural oscillation frequencies of civil engineering structures. In Proceedings of the INGEO 2017—7th International Conference on Engineering Surveying, Lisbon, Portugal, 18–20 October 2017.

UDK 528.4:528.5

Izvorni znanstveni članak / Original scientific paper

Određivanje horizontalnih pomaka stupova kalibracijske baze metodom deformacijske analize

Karlo STIPETIĆ, Mladen ZRINJSKI, Đuro BARKOVIĆ, Ivka KLJAJIĆ, Antonio TUPEK, Krunoslav ŠPOLJAR – Zagreb¹

SAŽETAK. Pri gradnji kompleksnih građevinskih objekata, poput dugih tunela, mostova, brana i visokih zgrada, zahtjevi za kvalitetom geodetskih radova sve su viši. Kvalitetni geodetski radovi uvjetovani su kvalitetnom geodetskom osnovom s koje se mjerenja obavljaju te primjenom preciznog geodetskog instrumentarija. Kvalitetna geodetska osnova zahtijeva visoku razinu stabilnosti. Stabilnost geodetske osnove moguće je ispitati i odrediti geodetskom izmjerom i analizom u svrhu određivanja pomaka stupova geodetske osnove. Cilj ovog istraživanja je odrediti horizontalne pomake stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Definirana je konfiguracija geodetske mreže posebne namjene te su određeni pomaci geodetskih stupova kalibracijske baze u 2D lokalnom lijevo orijentiranom Kartezijevu koordinatnom sustavu s ocjenom točnosti. Izmjera je obavljena u tri epohe (rujan 2023., veljača 2024. te travanj 2024.) metodom terestričke geodetske izmjere, a sve u svrhu analize stabilnosti kalibracijske baze. Pri određivanju pomaka geodetskih stupova te traženja grubih pogrešaka u mjerenjima, upotrijebljena je poopćena Baarda statistička metoda data snooping. Obradom i analizom rezultata geodetskih mjerenja određen je statistički značajan pomak jednog stupa kalibracijske baze, što može ukazivati na potencijalnu nestabilnost kalibracijske baze. Rad sadrži potpuni prikaz procesa planiranja, pripreme, obavljanja, obrade te analize geodetskih mjerenja u svrhu određivanja horizontalnih pomaka stupova metodom deformacijske analize.

Ključne riječi: kalibracijska baza, geodetska mreža, geodetska izmjera, deformacijska analiza, pomak.

¹ Karlo Stipetić, univ. mag. ing. geod. et geoinf., Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: karlo.stipetic@geof.unizg.hr

prof. dr. sc. Mladen Zrinjski, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: mladen.zrinjski@geof.unizg.hr

prof. dr. sc. Đuro Barković, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: djuro.barkovic@geof.unizg.hr

izv. prof. dr. sc. Ivka Kljajić, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: ivka.kljajic@geof.unizg.hr

dr. sc. tech. Antonio Tupek, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: antonio.tupek@geof.unizg.hr

Krunoslav Špoljar, mag. ing. geod. et geoinf., Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: krunoslav.spoljar@geof.unizg.hr

1. Uvod

Temeljni koncept određivanja promjena položaja, oblika i dimenzija prirodnih oblika topografske površine temelji se na metodologiji prostornog (3D, 2D + 1D), ravninskog (2D) i visinskog (1D) pozicioniranja konačnog skupa diskretnih točaka koje primjereno detaljno reprezentiraju topografsku površinu Zemlje. Djelovanje geodinamičkih sila dovodi do promjena u građi Zemlje koje se reflektiraju na topografsku površinu Zemlje, a time i na građevinske objekte izgrađene na njoj (Rožić i Razumović 2024). Određivanje pomaka i deformacija tijekom i nakon izgradnje građevinskih objekata jedan je od najzahtjevnijih geodetskih zadataka, a obuhvaća kontrolu stabilnosti konstrukcije tijekom i nakon izgradnje te kontrolu usklađenosti s građevinskim projektom. Određivanje pomaka i deformacija omogućuje pravovremeno upozorenje i pravovremenu reakciju u slučaju neočekivanog ponašanja konstrukcije (Zrinjski i dr. 2021).

Cilj ovog istraživanja je obaviti mjerenja te obraditi i analizirati podatke mjerenja, a sve u svrhu određivanja pomaka stupova, odnosno procjene stabilnosti geodetske osnove. U sklopu ovog istraživanja, mjerenja su obavljena na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta. Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu služi za obavljanje preciznih geodetskih mjerenja i umjeravanje različitih geodetskih instrumenata. Općenito, kalibracijska baza se sastoji od dva ili više trajno stabilizirana geodetska stupa s ugrađenim vijkom za prisilno centriranje, a služi i za definiranje mjerila velikih duljina (Solarić i dr. 1992). Kalibracijska baza nalazi se na sjevernom nasipu oteretnog kanala Sava – Odra u Donjoj Lomnici te je u svojoj naravi približno linearan objekt. Zemljani nasip na kojem je kalibracijska baza izgrađena podložan je slijeganju, što posljedično pridonosi tome da su i geodetski stupovi kalibracijske baze podložni pomacima. Da bi se utvrdilo postoje li značajni pomaci stupova kalibracijske baze, potrebno je obaviti geodetsku izmjeru.

Formirana je geodetska mreža posebne namjene te je pripremljen potreban instrumentarij za obavljanje terestričkih mjerenja. Mjerenja horizontalnih pravaca obavljena su dosljednom primjenom girusne metode. Zenitni kutovi mjereni su u dva položaja instrumenta, a duljine su mjerene u dva ponavljanja sa svakog stajališta, obostrano. Uz mjerenja potrebnih geodetskih veličina za računanje koordinata mjereni su i atmosferski parametri (temperatura zraka, atmosferski tlak i relativna vlažnost zraka) u svrhu obavljanja korekcija mjerenih kosih duljina. Izjednačenje mjerenja i određivanje pomaka stupova obavljeno je primjenom softvera *Java Applied Geodesy 3D* (JAG3D), koji upotrebljava poopćenu Baarda metodu *data snooping* pri lokalizaciji grubo pogrešnih opažanja.

U nastavku rada detaljno je opisana metodologija istraživanja, prikazani su rezultati izjednačenja epoha mjerenja i određivanja pomaka točaka, analizirani su pomaci točaka geodetske osnove te je dan zaključak na temelju cjelokupnog istraživanja.

2. Metodologija istraživanja

Djelovanje geodinamičkih sila dovodi do promjena u građi Zemlje, koje se reflektiraju na topografsku površinu i javljaju u formi promjena njezina položaja, oblika i dimenzija (Rožić i Razumović 2024). Kao što je prethodno navedeno, geodetska mjerenja obavljena su na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta koja se nalazi na zemljanom nasipu oteretnog kanala Sava – Odra. Zemljani nasipi podložni su slijeganju pa je i geodetska osnova uspostavljena na kalibracijskoj bazi podložna pomacima. Cilj ovog istraživanja odrediti je pomake stupova geodetske osnove. U tu svrhu potrebno je isplanirati, obaviti, obraditi te analizirati geodetska mjerenja.

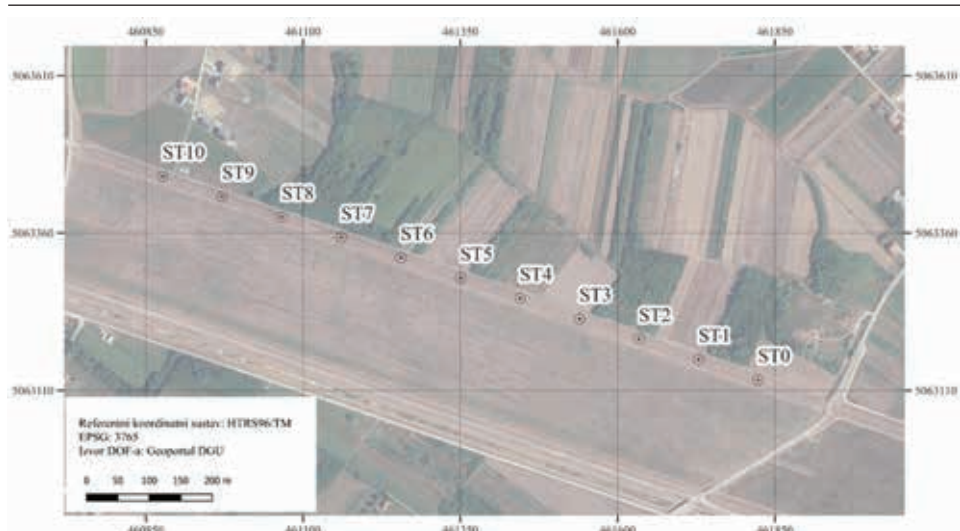
2.1. Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu izgrađena je za potrebe umjeravanja elektrooptičkih daljinomjera, ispitivanja točnosti novih tipova daljinomjera i postizanja jednoga zajedničkog mjerila pri mjerenju duljina do 6000 m na području Republike Hrvatske (Solaric i dr. 1992, Zrinjski 2010). Pri projektiranju kalibracijske baze posebna je pozornost posvećena analizi rasporeda stupova, tako da međusobni razmaci stupova na kalibracijskoj bazi omogućuju ispitivanje gotovo svih pogrešaka elektrooptičkih daljinomjera. Na slici 1 prikazan je položaj stupova kalibracijske baze u odnosu na početni stup kalibracijske baze. Sa slike 1 vidljivo je da na kalibracijskoj bazi postoji ukupno 23 stupa. Pri izgradnji kalibracijske baze, stabilizirana su još 3 geodetska stupa na većim udaljenostima – do 3000 m od početnog stupa, da bi se elektrooptički daljinomjeri mogli umjeravati na veće udaljenosti. Također, na udaljenosti od 6000 m od početnog geodetskog stupa, još jedna točka stabilizirana je prizemnim betonskim stupićem.



Slika 1. Prikaz međusobne udaljenosti geodetskih stupova (Zrinjski i dr. 2022).

Na slici 2 prikazani su isti stupovi kao i na slici 1 dolje, ali s digitalnim ortofotom u podlozi. Za potrebe ovog istraživanja, a prema nazivima sa slike 2, upotrijebljeni su stupovi ST0, ST2, ST4, ST6, ST8 i ST10. Geodetski stupovi s neparnim oznakama (ST1, ST3, ST5, ST7, ST9) nisu upotrijebljeni za obavljanje terenske izmjere.



Slika 2. Položaj stupova kalibracijske baze.

Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu jedinstvena je u svijetu svojom duljinom, ali i iz razloga što nije natkrivena ni okružena vegetacijom, odnosno horizont iznad geodetskih stupova je čist, čime je omogućeno izvođenje GNSS mjerenja. Shodno tome, 2010. godine obavljena su precizna GNSS mjerenja te su određene elipsoidne koordinate stupova ST0, ST1, ST2, ST3, ST4, ST5, ST7, ST10 i na trigonometrijskoj točki Brusnik. Time su prvi put određene koordinate stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta u Hrvatskom terestričkom referentnom sustavu za epohu 1995,55 (HTRS96) te u projekcijskom koordinatnom sustavu poprečne Mercatorove (Gauss–Krügerove) projekcije (engl. *Transverse Mercator Projection* – TM), skraćeno HTRS96/TM primjenom Hrvatskog pozicijskog sustava (engl. *Croatian Positioning System* – CROPOS). Određivanjem koordinata stupova kalibracijske baze u Europskom terestričkom referentnom sustavu za epohu 1989 (engl. *European Terrestrial Reference System 1989* – ETRS89) osigurano je povezivanje kalibracijske baze Geodetskog fakulteta s ostalim kalibracijskim bazama u Europi i svijetu, kada su one umjerene GNSS-om (Zrinjski i dr. 2011).

2.2. Teorijska osnova određivanja pomaka točaka

U okviru ovog istraživanja za izjednačenje geodetskih mjerenja korišten je softver *Java Applied Geodesy* (JAG3D). JAG3D je besplatan računalni softver otvorenog koda koji se primjenjuje za obradu i analizu geodetskih mjerenja. Omogućuje obradu mjerenja prikupljenih raznim geodetskim metodama, kao što su mjerenja geodetskim mjernim stanicama, nivelmanska mjerenja, GNSS mjerenja i dr. (URL 1). Također, omogućuje određivanje pomaka točaka te provedbu deformacijske analize. Metoda određivanja pomaka točaka na kojoj

se softver temelji, može se kategorizirati kao poopćena Baarda metoda *data snooping*. Za razliku od zasebnog izjednačenja mreža obje epohe, JAG3D kombinira dvije epohe na razini opažanja u ukupnom izjednačenju mreže. Testiranje hipoteza odgovara eksplicitnom postupku Karlsruhe pristupa određivanja pomaka točaka (Lösler i dr. 2017, URL 4). U nastavku je dan potpuni teorijski pregled upotrijebljene metodologije određivanja pomaka geodetskih stupova primjenom softvera JAG3D.

Određivanje pomaka točaka uključuje izjednačenje svake epohe zasebno i otkrivanje grubih pogrešaka mjerenja, otkrivanje i određivanje pomaka referentnih točaka te otkrivanje i određivanje pomaka točaka objekta. U okviru ovog istraživanja, određeni su samo pomaci referentnih točaka jer kontrolne točke nisu postojale.

2.2.1. Izjednačenje svake epohe zasebno i otkrivanje grubih pogrešaka mjerenja

U cilju otkrivanja grubih pogrešaka u mjerenjima, svaka epoha zasebno se izjednačava kao slobodna mreža, odnosno uz definiciju optimalnog datuma (Rožić 1992). Pri izjednačenju geodetske mreže primjenu nalazi Gauss-Markovljev model (Feil 1989). Funkcijski i stohastički modeli dani su izrazima (prema Lösler i dr. 2017):

$$\mathbf{l} + \mathbf{v} = \mathbf{Ax}, \quad (1)$$

$$\mathbf{C}_{\parallel} = \sigma_0^2 \mathbf{Q}_{\parallel}, \quad (2)$$

gdje su:

$\mathbf{A}$ – matrica koeficijenata jednadžbi popravaka,

$\mathbf{x}$ – vektor prikraćenih nepoznanica,

$\mathbf{v}$ – vektor popravaka mjerenja,

$\mathbf{l}$ – vektor prikraćenih mjerenja,

$\mathbf{Q}_{\parallel}$ – matrica kofaktora mjerenja,

σ_0^2 – *a priori* faktor varijance,

$\mathbf{C}_{\parallel}$ – matrica varijanci-kovarijanci mjerenja.

Sustav normalnih jednadžbi kojim se može odrediti neki datum glasi (prema Lösler i dr. 2017):

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{A} & \mathbf{G} \\ \mathbf{G}^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{l} \\ g \end{bmatrix}, \quad (3)$$

gdje su:

$\mathbf{G}$ – matrica svojstvenih vektora,

$\mathbf{k}$ – vektor Lagrangeovih korelata.

Matrica $\mathbf{A}$ je singularna jer ne sadrži nikakve podatke o datumu geodetske mreže (prema Lehmann i Lösler 2017). Defekt datuma uklanja se pomoću dodatne jednadžbe uvjeta $\mathbf{G}^T \mathbf{x} = g$, pri čemu je matrica $\mathbf{G}$ odgovorna za definiranje datuma. Taj sustav jednadžbi proširen je korelacijskim vektorom $\mathbf{k}$, regularan je i daje procjenu nepoznatog faktora varijance (prema Lösler i dr. 2017):

$$\sigma^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{v}}{n - u + g} = \frac{\Omega}{r}, \quad (4)$$

pri čemu su:

n – broj mjerenja,

u – broj nepoznanica,

g – defekt datuma,

σ^2 – *a posteriori* procijenjeni faktor varijance.

Rezultirajuća geodetska mreža temelji se isključivo na mjerenjima koja su uzeta u obzir pri izjednačenju. Iz toga se razloga slobodno izjednačenje može primijeniti za detekciju grubih pogrešaka mjerenja. Opći model iz kojeg proizlazi detektiranje grubih mjerenja glasi (prema Lösler i dr. 2017):

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{A} & \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{A} & \mathbf{B}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{B} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \boldsymbol{\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{l} \\ \mathbf{B}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{l} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

gdje su:

$\boldsymbol{\delta}$ – vektor procijenjenih grubih pogrešaka,

$\mathbf{B}$ – pridružena dizajn-matrica.

Ukoliko nema grubih pogrešaka mjerenja, ta dodatna integracija vektora $\boldsymbol{\delta}$ u model nema značajni utjecaj na krajnji rezultat izjednačenja i očekivana vrijednost tih dodatnih parametara je tada $E\{\boldsymbol{\delta}\} = \mathbf{0}$. Testiranjem hipoteze

utvrđuje se jesu li određeni parametri statistički značajni, tj. jesu li oni doista grube pogreške.

Vektor procijenjenih parametara grubih pogrešaka δ i pripadna matrica kofaktora $\mathbf{Q}_{\delta\delta}$ dani su izrazom (prema Lösler i dr. 2017):

$$\delta = -\mathbf{Q}_{\delta\delta} \mathbf{B}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{v}, \quad (6)$$

$$\mathbf{Q}_{\delta\delta} = (\mathbf{B}^T \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{Q}_{\text{vv}} \mathbf{Q}_{\parallel}^{-1} \mathbf{B})^{-1}, \quad (7)$$

gdje je:

$\mathbf{Q}_{\text{vv}} = \mathbf{Q}_{\parallel} - \mathbf{A} \mathbf{Q}_{\text{xx}} \mathbf{A}^T$ – matrica kofaktora popravaka mjerenja.

Slijedi formiranje dviju test-statistika Fisherove razdiobe, T_{prio} i T_{post} koje se međusobno razlikuju samo po odabiru faktora varijance, uz odabir nivoa signifikantnosti (prema Lösler i dr. 2017):

$$T_{\text{prio}} = \frac{\delta \mathbf{Q}_{\delta\delta}^{-1} \delta}{m \sigma_0^2} \text{ za } F_{m,\infty} \mid H_0, \quad (8)$$

$$T_{\text{post}} = \frac{\delta \mathbf{Q}_{\delta\delta}^{-1} \delta}{m \sigma'^2} \text{ za } F_{m,r-m} \mid H_0, \quad (9)$$

gdje su:

r – broj prekobrojnih mjerenja,

m – dimenzija geodetske mreže,

$\sigma'^2 = \frac{\Omega - \delta^T \mathbf{Q}_{\delta\delta}^{-1} \delta}{r - m}$ – *a posteriori* procijenjeni faktor varijance proširenog modela,

$F_{m,\infty}$ – granična vrijednost F testa za test-statistiku T_{prio} ,

$F_{m,r-m}$ – granična vrijednost F testa za test-statistiku T_{post} .

Ispitivanje postojanja grubih pogrešaka u mjerenjima obavlja se testiranjem pomoću izraza (8) i (9).

Ako test-statistika uz određenu razinu signifikantnosti prati Fisherovu centralnu razdiobu F_{f_1, f_2} sa stupnjevima slobode f_1 i f_2 , tj. poprima manju vrijednost od granične vrijednosti Fisherove razdiobe, tada parametri vektora δ nisu statistički značajni. To znači da nema grubih pogrešaka mjerenja. U suprotnome se prihvaća alternativna hipoteza. Svako mjerenje ispituje se zasebno. Zato se zasebno provodi n pojedinačnih proširenja modela. U svakom pojedinom proširenju modela dobije se jedan parametar vektora δ . Ukoliko se za pojedino opažanje nulta hipoteza odbacuje, to mjerenje potrebno je izostaviti iz skupa mjerenja i ponoviti korake u izrazima od (6) do (9), iterativno sve dok se nulta hipoteza više ne odbacuje. Opisani postupak naziva se *data snooping* (Lösler i dr. 2017).

2.2.2. Otkrivanje i određivanje pomaka referentnih točaka

Da bi se uopće mogli odrediti pomaci točaka kalibracijske baze, potrebno je provjeriti stabilnost točaka koje definiraju referentni koordinatni sustav. Ovdje se primjenjuje princip zajedničkog izjednačenja obiju epoha, u čijem se linearnom funkcijskom modelu treba napraviti podjela na referentne točke i na točke objekta sukladno sljedećem izrazu (prema Lösler i dr. 2017):

$$\begin{bmatrix} \mathbf{l}_1 \\ \mathbf{l}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{R,1} & \mathbf{A}_{O,1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{A}_{R,2} & \mathbf{0} & \mathbf{A}_{O,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_R \\ \mathbf{x}_{O,1} \\ \mathbf{x}_{O,2} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

gdje su:

$\mathbf{l}_1$ – vektor prikraćenih mjerenja prve epohe,

$\mathbf{l}_2$ – vektor prikraćenih mjerenja druge epohe,

$\mathbf{x}_R$ – subvektor uvjetno stabilnih referentnih točaka,

$\mathbf{x}_{O,1}, \mathbf{x}_{O,2}$ – subvektori točaka objekta u prvoj, odnosno drugoj epohi.

Elementi jednadžbi popravaka referentnih točaka smješteni su u submatrice $\mathbf{A}_{R,1}$ i $\mathbf{A}_{R,2}$, dok su u submatricama $\mathbf{A}_{O,1}$ i $\mathbf{A}_{O,2}$ elementi točaka objekta kojeg se prati. Stohastički dio modela formira se tako da u matricu varijanci-kovarijanci $\mathbf{C}_{\parallel}$ upišu vrijednosti dobivene iz pojedinačnih izjednačenja epoha. Tako dobivena matrica je dijagonalna pošto se stohastičke ovisnosti

između epoha zanemaruju zbog duljeg vremenskog razdoblja između njih (Lösler i dr. 2017):

$$\mathbf{C}_{\Pi} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{l_1 l_1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{C}_{l_2 l_2} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Da bi se dokazala nepromjenjivost točaka između epoha, ponovno se testiraju nulta i alternativna hipoteza. Statističke hipoteze sada glase (Lösler i dr. 2017):

$$H_0 : E(\boldsymbol{\delta}_j) = \mathbf{0} \quad \text{ i } \quad H_a : E(\boldsymbol{\delta}_j) \neq \mathbf{0}, \quad (12)$$

gdje je $\boldsymbol{\delta}_j$ pomak ispitivane referentne točke.

Ako je došlo do statistički značajnog pomaka neke referentne točke, to će u ovom zajedničkom modelu prve i druge epohe biti detektirano kao gruba pogreška. Potrebno je provesti onoliko proširenja modela koliko ima referentnih točaka, na način da se referentna točka za koju se pretpostavlja da se pomaknula, u drugoj epohi izražava kao funkcija koordinata prve epohe i promjene $\boldsymbol{\delta}_j$. Gauss-Markovljev prošireni model sada poprima oblik (Lösler i dr. 2017):

$$\begin{bmatrix} \mathbf{l}_1 \\ \mathbf{l}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{R,1} & \mathbf{A}_{O,1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{A}_{R,2} & \mathbf{0} & \mathbf{A}_{O,2} & \mathbf{B}_{j,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_R \\ \mathbf{x}_{O,1} \\ \mathbf{x}_{O,2} \\ \boldsymbol{\delta}_j \end{bmatrix}. \quad (13)$$

U ovom koraku ispituju se sva mjerenja u kojima sudjeluje j -ta točka, tako da su sada u vektoru $\mathbf{B}_{j,2}$ jedinice pridružene svim mjerenjima u drugoj epohi u kojima ispitivana točka sudjeluje. Također, vektor nepoznanica sada osim prikraćenih vrijednosti nepoznanica točaka, daje i vrijednost pomaka pojedine točke $\boldsymbol{\delta}_j$. Nulta hipoteza testira se pomoću već navedenih izraza (8) i (9). Ukoliko se ta nulta hipoteza za jednu ili više točaka odbaci, točka s najvećom test statistikom treba se premjestiti iz grupe referentnih točaka u grupu točaka objekta. Taj postupak provodi se iterativno sve dok se ne eliminiraju sve nestabilne referentne točke, odnosno sve dok nulta hipoteza ne bude prihvaćena.

2.2.3. Otkrivanje i određivanje pomaka točaka objekta

Nakon što se statistički dokaže stabilnost referentnih točaka, mogu se određivati eventualni pomaci točaka objekta. Nulta i alternativna hipoteza sada glase (Lösler i dr. 2017):

$$H_0 : E(d_k) = 0 \quad \text{ i } \quad H_a : E(d_k) \neq 0, \quad (14)$$

gdje je d_k pomak pojedine točke objekta, a računa se pomoću izraza (prema Lösler i dr. 2017):

$$d_k = \mathbf{F}_k \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{O,1} \\ \mathbf{x}_{O,2} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

gdje je:

$\mathbf{F}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & -\mathbf{I}_{k,1} & \mathbf{0} & \mathbf{L} & \mathbf{0} & \mathbf{I}_{k,2} & \mathbf{0} \end{bmatrix}$ – matrica koeficijenata koja se sastoji od nul-matrice, a na mjestima koja odgovaraju k -toj točki objekta u prvoj i drugoj epohi nalaze se jedinične matrice.

Odgovarajuća matrica kofaktora pomaka računa se prema izrazu (prema Lösler i dr. 2017):

$$\mathbf{Q}_{d_k d_k} = \mathbf{F}_k \mathbf{Q}_{xx} \mathbf{F}_k^T \quad (16)$$

Statistička značajnost izračunatih pomaka točke k testira se pomoću test-statistika $T_{prio,k}$ i $T_{post,k}$ (prema Lösler i dr. 2017):

$$T_{prio,k} = \frac{\mathbf{d}_k^T \mathbf{Q}_{d_k d_k}^{-1} \mathbf{d}_k}{m \sigma_0^2} \text{ za } F_{m,\infty} \mid H_0, \quad (17)$$

$$T_{post,k} = \frac{\mathbf{d}_k^T \mathbf{Q}_{d_k d_k}^{-1} \mathbf{d}_k}{m \sigma^2} \text{ za } F_{m,r} \mid H_0. \quad (18)$$

gdje su:

$F_{m,\infty}$ – granična vrijednost F testa za test-statistiku $T_{prio,k}$,

$F_{m,r}$ – granična vrijednost F testa za test-statistiku $T_{post,k}$.

Ukoliko je test-statistika manja ili jednaka graničnoj vrijednosti Fisherove razdiobe za određenu razinu signifikantnosti i stupnjeve slobode, zaključuje se da nije došlo do značajnog pomaka ispitivane točke. Ukoliko se dokaže suprotno, može se zaključiti da se dogodio značajan pomak te je potrebno provesti daljnju interdisciplinarnu analizu pomaka objekta.

2.3. Slijed obrade podataka

Nakon obavljenih geodetskih mjerenja, pristupa se obradi podataka mjerenja. Geodetska izmjera obavljena je mjerenjem horizontalnih pravaca u dva položaja instrumenta te su duljine mjerene u dva ponavljanja obostrano, stoga je obrada podataka mjerenja obuhvatila računanje sredina horizontalnih pravaca iz više ponavljanja, sredina zenitnih kutova, redukciju kosih duljina, izračun horizontalnih duljina te određivanje približnih nepoznanica u lijevo orijentiranom lokalnom 2D Kartezijevu koordinatnom sustavu.

2.3.1. Obrada duljina mjerenih elektrooptičkim daljinomjerom

Za duljine mjerene elektrooptičkim daljinomjerom potrebno je uzeti u obzir sljedeće korekcije i redukcije (Zrinjski 2010):

- atmosferske korekcije,
- redukciju na duljinu luka na srednjoj visini baze,
- redukciju duljine u horizontalnom smjeru na luk na srednjoj visini koji prolazi iznad ili ispod prve i zadnje točke baze.

U svrhu obrade mjerenja obavljenih na kalibracijskoj bazi, jedina značajna korekcija ili redukcija jest prva brzinska korekcija, stoga je samo ona i primijenjena na rezultate mjerenja. Druga brzinska korekcija je obavljena i nije značajnog iznosa za sve mjerene duljine na kalibracijskoj bazi. Redukcije duljina na elipsoid nisu obavljene jer je sva daljnja obrada mjerenja obavljena u ravninskom 2D lokalnom lijevo orijentiranom koordinatnom sustavu. Atmosferske korekcije odnose se na eliminaciju ili smanjenje utjecaja temperature, tlaka i vlažnosti zraka na rezultate mjerenja duljina. Izrazi obavljenih atmosferskih korekcija u ovome radu prikazani su u nastavku.

Prva brzinska korekcija, prema uputama proizvođača geodetske mjerne stanice Leica TC2003, računa se prema sljedećem izrazu (Zrinjski 2010):

$$\Delta D_1 = \left\{ 283,04 - \left[\frac{0,29195 \cdot p}{(1 + \alpha \cdot t)} - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1 + \alpha \cdot t)} \cdot 10^{\chi} \right] \right\} \cdot 10^{-6}, \quad (19)$$

gdje su:

ΔD_1 – prva brzinska korekcija duljine [ppm],

p – tlak zraka [hPa],

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

t – temperatura zraka [°C],

h – relativna vlažnost zraka [%],

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

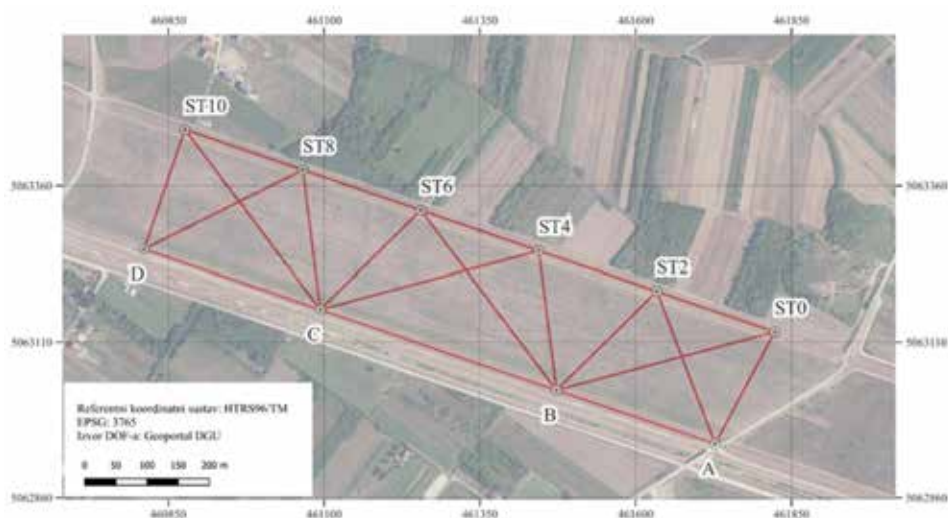
Duljina D_1 korigirana za prvu brzinsku korekciju, izračunata je prema izrazu:

$$D_1 = D + \Delta D_1 \cdot D. \quad (20)$$

2.4. Planiranje i konfiguracija geodetske mreže

Prema Kapoviću (2010) na oblik geodetske mreže i vrsta geodetskih mjerenja pri njenoj uspostavi utječe na raspodjelu položajne točnosti unutar geodetske mreže. Iz tog razloga, oblik geodetske mreže i vrstu geodetskih mjerenja potrebno je pažljivo isplanirati i analizirati. Idealan slučaj je kada se mreža uspije isplanirati na način da mjerenja zatvaraju idealne geometrijske figure – npr. pravilan geodetski četverokut. Na oblik geodetske mreže utječe ponajviše konfiguracija terena na kojem se mjerenja obavljaju te gotovo nikad neće biti moguće ostvariti idealne geometrijske figure.

Osnovni 2D oblici geodetskih mreža su: geodetski četverokut, dvostruki geodetski četverokut, lanac geodetskih četverokuta, lanac trokuta, mreža trokuta, centralni sustav, dvostruki centralni sustav, lanac centralnih sustava te kombinacija navedenih (Kapović i dr. 2006). Za oblik geodetske mreže, u svrhu ovog istraživanja, upotrijebljena je kombinacija geodetskih trokuta i geodetskih četverokuta, zbog velikih mogućnosti kontrola i otkrivanja grubih i sustavnih pogrešaka (slika 3).



Slika 3. Konfiguracija geodetske mreže na kalibracijskoj bazi uspostavljene u okviru ovog istraživanja.

Dio točaka geodetske mreže na kalibracijskoj bazi stabilizirani su betonskim stupovima (slika 4, lijevo). Pri geodetskoj izmjeri korišten je pribor za prisilno centriranje jer betonski stupovi na kalibracijskoj bazi imaju ugrađene centralne vijke, na koje je moguće postaviti podnožne ploče za instrument ili prizmu (slika 4, desno).



Slika 4. Stabilizacija (lijevo) i signalizacija (desno) na stupovima kalibracijske baze.

Kalibracijska baza približno je linearan objekt, stoga bez uvođenja dodatnih točaka nije moguće formiranje geodetske mreže. Upravo zbog toga na južnom nasipu kanala Sava – Odra privremeno su stabilizirane dvije točke bolnom te su trajno stabilizirane dvije točke prizemnim betonskim stupićem. Opis takvog načina stabilizacije geodetskih točaka dan je u Barković i Zrinjski (2020). Navedeni pristup stabilizaciji je prihvatljiv u ovom istraživanju jer pomaci na tim točkama nisu bili od interesa, već su samo posredno određeni.

Stabilizacijom dodatnih geodetskih točaka, geodetska mreža poprima oblik prikazan na slici 3. Iz takvog oblika geodetske mreže moguće je odrediti pomake geodetskih točaka, ali i obavljati brojne druge analize. Geodetske točke stabilizirane prizemnim betonskim stupovima signalizirane su uz pomoć stativa, kako bi bilo moguće postaviti prizmu ili geodetsku mjernu stanicu na geodetsku točku.

3. Priprema, obavljanje i analiza geodetskih mjerenja

Geodetska mjerenja obavljena su u 3 neovisne epohe: nulta epoha u rujnu 2023., prva epoha u veljači 2024. i druga epoha u travnju 2024., metodom terestričke geodetske izmjere. Prije mjerenja obavljena je *a priori* analiza mjerenja, a nakon mjerenja *a posteriori* analiza.

3.1. Instrumentarij korišten za obavljanje geodetske izmjere

Geodetska izmjera formirane geodetske mreže obavljena je primjenom geodetske mjerne stanice Leica TC2003 (slika 5, URL 2).



Slika 5. Precizna geodetska mjerna stanica i uređaj za mjerenje atmosferskih parametara.

Tehničke karakteristike geodetske mjerne stanice Leica TC2003, tvrtke Leica Geosystems, dane su u tablici 1. Tehničke karakteristike dane su i na mrežnoj adresi URL 2, no u tablici 1 prikazane su detaljnije tehničke specifikacije za konkretnu geodetsku mjernu stanicu koja je korištena pri terenskim mjerenjima u sklopu ovog istraživanja.

Tablica 1. *Tehničke karakteristike geodetske mjerene stanice Leica TC2003 (serijski broj: 439183) (prema Zrinjski 2010).*

Tehnička karakteristika	Vrijednost
Standardno odstupanje mjerenja horizontalnih pravaca i zenitnih kutova	0,5"
Standardno odstupanje mjerenja duljina (do 300 m)	0,3 mm + 1 ppm
Standardno odstupanje mjerenja duljina (veća od 300 m)	1 mm + 1 ppm

Za vrijeme preciznih mjerenja vrlo je važno što točnije izmjeriti atmosferske parametre: temperaturu, tlak i relativnu vlažnost zraka. Pogreška u mjerenju temperature od 1 °C uzrokuje pogrešku u mjerenoj duljini od 1 mm na 1000 m (Solarić i dr. 2012). Mjerenje atmosferskih parametara obavljalo se uređajem za određivanje atmosferskih parametara Lufft XA1000 (URL 3). Pri mjerenju atmosferskih parametara je korištena i precizna temperaturna i higrometerska sonda Lufft 8130.TFF.

3.2. Obavljanje terenskih mjerenja

U svrhu ovog istraživanja, horizontalni pravci i zenitni kutovi mjereni su u dva položaja instrumenta te su duljine mjerene u dva ponavljanja, obostrano. Pri geodetskoj izmjeri upotrijebljene su precizne (Leica GPH1P) i obične (Leica GPR121) prizme. Na stupovima kalibracijske baze postavljene su precizne prizme dok su se na točkama stabiliziranim bolcnom ili prizemnim betonskim stupom postavljene obične prizme zbog činjenice da je cilj istraživanja odrediti pomake na geodetskim stupovima kalibracijske baze, dok su ostale stabilizirane točke služile samo kao pomoć pri uspostavi geodetske mreže. Ovime je osigurano da su mjerenja prema stupovima kalibracijske baze uvijek obavljena najvišom mogućom točnošću.

Terenski uvjeti tijekom mjerenja u nultoj epohi nisu bili idealni, prvenstveno zbog visoke temperature zraka. Prilikom obavljanja mjerenja prve i druge epohe, terenski uvjeti su bili povoljniji te primjereniji za obavljanje preciznih geodetskih mjerenja.

Nulta epoha obavljena je u rujnu 2023. pri temperaturi zraka od oko 32 °C uz velik utjecaj titranja zraka. Prva epoha mjerenja obavljena je u veljači

2024. pri temperaturi zraka od oko 16 °C i izrazito povoljnim atmosferskim uvjetima. Druga epoha obavljena je u travnju 2024. pri temperaturi zraka od oko 25 °C, pri dobrim atmosferskim uvjetima.

3.3. *A priori* ocjena točnosti mjerenja

Prije obavljanja preciznih geodetskih mjerenja, potrebno je provesti *a priori* analizu mjerenja. *A priori* analiza mjerenja obuhvaća određivanje varijanci, odnosno standardnih odstupanja pojedinih vrsta mjerenja, ovisno o raznim faktorima. Jedini faktor koji je nemoguće neposredno matematički modelirati jest atmosferski utjecaj u trenutku mjerenja.

A priori varijancu mjerenja horizontalnih pravaca određuje se prema idućem izrazu (Novaković 2006):

$$\sigma_{\beta}^2 = \frac{\sigma_v^2 + \sigma_{o\check{c}}^2}{n} + 2\sigma_{hor.}^2 \cdot ctg^2 z + (\rho'')^2 \frac{4\sigma_c^2}{s^2} \left(1 - \frac{\cos \beta}{2}\right) + 2\left(\frac{s}{2R}\right) \sigma_{k_h}^2, \quad (21)$$

gdje su:

σ_v – standardno odstupanje viziranja,

$\sigma_{o\check{c}}$ – standardno odstupanje očitavanja,

σ_c – standardno odstupanje centriranja instrumenta i vizurne marke,

$\sigma_{hor.}$ – standardno odstupanje horizontiranja instrumenta,

σ_{k_h} – standardno odstupanje određivanja koeficijenta bočne refrakcije,

S – duljina vizurne linije,

z – zenitni kut vizurne linije,

k_h – koeficijent bočne refrakcije,

R – srednji radijus Zemlje.

Iz tehničkih specifikacija instrumentarija preuzete su vrijednosti za standardno odstupanje viziranja σ_v , standardno odstupanje očitavanja $\sigma_{o\check{c}}$, te standardno odstupanje horizontiranja $\sigma_{hor.}$. Prema tome, standardno odstupanje viziranja σ_v iznosi 2", standardno odstupanje očitavanja $\sigma_{o\check{c}}$ iznosi 0,5" te standardno odstupanje horizontiranja $\sigma_{hor.}$ 10". Standardno

odstupanje centriranja σ_c iskustveno je procijenjena da iznosi 0 mm na stupovima kalibracijske baze te 0,5 mm na stativima, jer je korišten pribor za prisilno centriranje.

A priori vrijednost varijance mjerenja zenitnih kutova određuje se izrazom (Novaković 2006):

$$\sigma_z^2 = \frac{\sigma_v^2 + \sigma_{o\check{c}.}^2 + \sigma_i^2}{2n} + \left(\frac{s}{2R} \right) \sigma_{k_v}^2, \quad (22)$$

gdje su:

σ_v – standardno odstupanje viziranja,

$\sigma_{o\check{c}.}$ – standardno odstupanje očitavanja,

σ_i – pogreška indeksa vertikalnog kruga (ili kompenzatora),

σ_{k_v} – standardno odstupanje određivanja koeficijenta vertikalne refrakcije,

s – duljina vizurne linije,

R – srednji radijus zakrivljenosti Zemlje.

Iz tehničkih specifikacija instrumentarija preuzete su vrijednosti standardnog odstupanja viziranja σ_v te pogreška kompenzatora. Kao vrijednost standardnog odstupanja viziranja, iz tehničkih specifikacija instrumentarija, preuzeta je vrijednost 2", a za vrijednost pogreške kompenzatora 0,5". Standardno odstupanje očitavanja $\sigma_{o\check{c}.}$ određeno je iz prosjeka pogrešaka indeksa vertikalnog kruga iz mjerenja te iznosi 5". Prema dostupnoj literaturi, standardno odstupanje određivanja koeficijenta vertikalne refrakcije σ_{k_v} iznosi 0, jer su duljine obostrano mjerene. Iz tog razloga cijeli drugi član izraza (22) može se zanemariti.

A priori vrijednost standardnog odstupanja mjerenja duljina elektrooptičkim daljinomjerom određuje se izrazom (Novaković 2006):

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_m^2 + a^2 + (s \cdot b \cdot ppm)^2}, \quad (23)$$

pri čemu su:

σ_i – standardno odstupanje centriranja instrumenta,

σ_m – standardno odstupanje centriranja vizurne marke,

s – mjerena duljina

a – konstantni dio preciznosti mjerenja duljine (utjecaj pogreške nule, periodičke i fazne pogreške),

b – varijabilni dio (pogreška mjerila) preciznosti mjerenja duljine (utjecaj indeksa atmosferske refrakcije i kalibracije modulacijske frekvencije).

Standardno odstupanje centriranja instrumenta σ_i te standardno odstupanje centriranja vizurne marke σ_m procijenjeno je, te kao što je prethodno navedeno iznose 0 mm za geodetsku mjernu stanicu ili prizmu postavljenu na stupove kalibracijske baze te 0,5 mm za geodetsku mjernu stanicu ili prizmu postavljenu na stativ. Korišten je pribor za prisilno centriranje, stoga se procjena prethodno navedenih vrijednosti smatra zadovoljavajućom.

Iz izraza (21), (22) i (23) određene su vrijednosti *a priori* vrijednosti standardnih odstupanja mjerenja, prikazanih u tablici 2.

Tablica 2. *A priori* vrijednosti standardnih odstupanja mjerenja.

Vrsta mjerenja	<i>A priori</i> vrijednost standardnog odstupanja
Horizontalni pravci	1,5"
Zenitni kutovi	2,7"
Kose duljine	1,1 mm

Iz tablice 2 jasno je vidljivo da vrijednost standardnog odstupanja mjerenja izračunate pri *a priori* analizi mreže razlikuju od vrijednosti standardnih odstupanja mjerenja u specifikacijama instrumentarija (tablica 1), što se može i očekivati jer su standardna odstupanja mjerenja iz specifikacija instrumentarija određene u kontroliranim laboratorijskim uvjetima.

3.4. *A posteriori* ocjena točnosti mjerenja

Nakon obavljenih mjerenja u svrhu određivanja pomaka, potrebno je odrediti *a posteriori* vrijednosti standardnih odstupanja mjerenja prije izjednačenja. *A posteriori* vrijednost standardnog odstupanja mjerenja horizontalnih pravaca izračunata izravno iz mjerenja računa se prema Ferreovoj formuli (Novaković 2006):

$$s_k = \sqrt{\frac{f^T f}{3N}}, \quad (24)$$

gdje vrijedi:

f – kutna nesuglasica u trokutu,

N – ukupan broj trokuta.

Moguće je izračunati i *a posteriori* vrijednosti varijanci mjerenja zenitnih kutova i kosih duljina (Novaković 2006):

$$s_l^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(l_i - \bar{l})^2}{n-1}, \quad (25)$$

gdje su:

l_i – vrijednost pojedinog mjerenja,

$\bar{l}$ – najbolja procjena vrijednosti mjerene veličine (aritmetička sredina),

n – ukupan broj mjerenja,

s_l^2 – procijenjena varijanca iz niza ponovljenih mjerenja iste veličine.

Prema izrazima (24) i (25), a na temelju podataka mjerenja, dobivena su standardna odstupanja obavljenih mjerenja prije izjednačenja te su prikazana u tablici 3. Izraz (25) moguće je koristiti i za zenitne kutove i kose duljine.

Tablica 3. *A posteriori* vrijednosti standardnih odstupanja mjerenja prije izjednačenja.

Vrsta mjerenja	Epoha mjerenja		
	E0	E1	E2
Horizontalni pravci	2,0"	1,6"	3,2"
Zenitni kutovi	7,9"	6,4"	8,4"
Kose duljine	0,8 mm	0,3 mm	0,5 mm

Iz tablice 3 vidljivo je da su horizontalni pravci mjereni s većim standardnim odstupanjem od onih određenih *a priori* analizom (tablica 2). Vidljivo je i da su u prvoj epohi horizontalni pravci mjereni s najvišom točnosti od 1,6".

Prema tablici 3 zaključuje se da su zenitni kutovi mjereni s oko četiri puta nižom razinom točnosti u usporedbi s horizontalnim pravcima, osim u drugoj epohi, gdje su zenitni kutovi mjereni s oko 3 puta manjom točnošću. Razlog tome ponajviše leži u atmosferskim uvjetima na terenu. Kao što je prethodno već spomenuto, postojao je veći utjecaj titranja zraka, pogotovo u nultoj epohi mjerenja. Iz tog razloga viziranje na prizmu je otežano.

Duljine su mjerene s visokom razinom točnosti (ispod razine milimetra). Jasno je vidljivo da su mjerenja u prvoj epohi obavljena s višom razinom točnosti u odnosu na ostale epohe mjerenja. *A posteriori* vrijednosti nakon mjerenja se razlikuju od teorijskih *a priori* vrijednosti upotrijebljenog instrumentarija. Postoje brojni razlozi zašto je to tako, no najbitniji su terenski uvjeti. Kod *a posteriori* vrijednosti standardnih odstupanja mjerenja sadržane su sustavne, slučajne te eventualne male grube pogreške. Iz svega navedenog, jasno je da *a posteriori* vrijednost standardnog odstupanja nakon mjerenja daje realniju sliku stvarnih vrijednosti standardnog odstupanja mjerenja od onih danih u specifikacijama instrumentarija. Upravo iz tog razloga pri izjednačenju mjerenja kao *a priori* vrijednosti standardnog odstupanja mjerenja upotrijebljene su upravo *a posteriori* vrijednosti izračunate iz mjerenja.

4. Definicija lokalnog 2D koordinatnog sustava

Za potrebe određivanja približnih vrijednosti nepoznanica te za svu daljnju obradu podataka, primijenjen je lijevo orijentirani 2D lokalni Kartezijev koordinatni sustav. Os y definirana je pravcem koji određuju točke ST2 – ST0, a os x okomita je na os y . Ishodište lokalnog koordinatnog sustava definirano je geodetskom točkom ST0, s koordinatama $(y, x) = (10000, 1000)$. Približne nepoznanice izračunate su iz mjerenja te su prikazane u tablici 4.

Tablica 4. *Približne nepoznanice koordinata točaka geodetske mreže.*

Točka	y	x
	[m]	[m]
ST0	10000,000	1000,000
ST2	9799,996	1000,000
ST4	9599,987	999,907
ST6	9400,028	999,866
ST8	9200,010	999,785
ST10	9000,003	999,795
A/E/I	9967,828	798,765
B/F/J	9699,007	797,897
C/G/K	9298,518	797,680
D/H/L	8999,964	797,496

Izjednačenja svake epohe zasebno obavljena su uz definiciju optimalnog datuma mreže, u svrhu određivanja malih grubih pogrešaka te ocjene kvalitete geodetske mreže u cjelini. U svrhu ovog istraživanja određeni su 2D pomaci stupova, a sve prema algoritmu prikazanom u poglavlju 2.

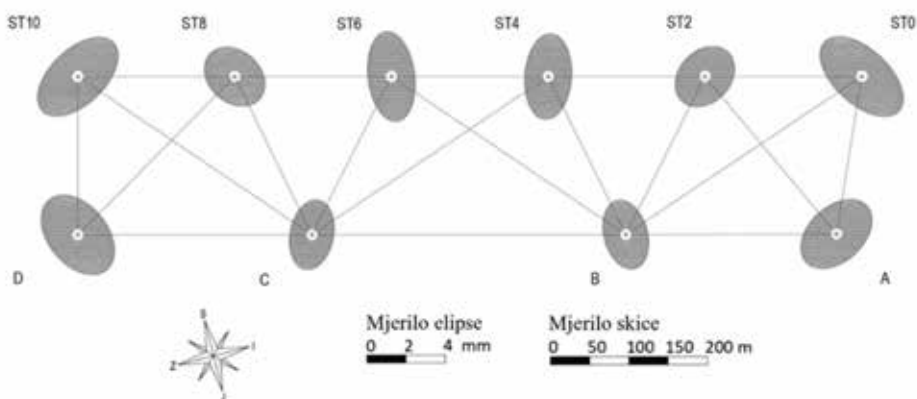
5. Rezultati pojedinih izjednačenja epoha mjerenja

Svaka epoha izjednačena je zasebno s ciljem ocjene kvalitete mreže u cjelini te određivanja postoje li eventualna grubo pogrešna mjerenja u pojedinoj epohi. Izjednačenje nulte epohe mjerenja, rezultira s vrijednostima prikazanim u tablici 5. Iz navedenih rezultata zaključuje se da su izjednačenjem koordinate točaka dobile standardno odstupanje ispod razine milimetra, čime su zadovoljena očekivanja zadana već pri planiranju mjerenja.

Tablica 5. *Izjednačene koordinate točaka i pripadna standardna odstupanja nulte epohe mjerenja.*

Točka	y	x	s_y	s_x
	[m]	[m]	[mm]	[mm]
ST0	9999,999	1000,004	0,4	0,4
ST2	9799,994	1000,002	0,3	0,3
ST4	9599,985	999,910	0,2	0,4
ST6	9400,027	999,869	0,2	0,5
ST8	9200,008	999,785	0,3	0,3
ST10	9000,001	999,792	0,4	0,4
A	9967,817	798,752	0,4	0,4
B	9699,001	797,897	0,2	0,3
C	9298,512	797,687	0,2	0,4
D	8999,997	797,493	0,4	0,4

Distribucija položajne točnosti na pojedinim točkama grafički je prikazana na slici 6 elipsama položajne točnosti, koje pokrivaju područje od 95% pouzdanosti. Mreža je homogena, odnosno elipse pouzdanosti su približno istih veličina poluosi na svim točaka. Mreža nije izotropna, odnosno njene elipse ne prelaze u kružnice. Navedeno je rezultat vrsta obavljenih mjerenja te oblika geodetske mreže.

Slika 6. *Elipse položajne točnosti izjednačenih koordinata točaka nulte epohe mjerenja.*

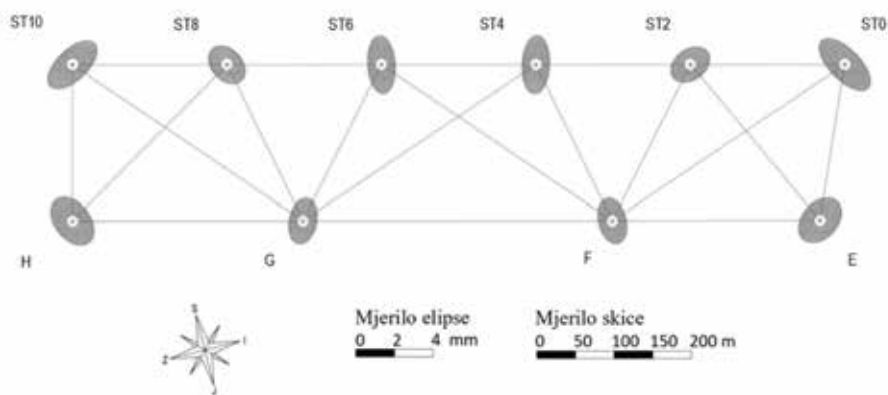
Izjednačene koordinate nepoznanica prve epohe mjerenja prikazane su u tablici 6. Mreža je, kao i kod nulte epohe, izjednačena uz primjenu

optimalnog datuma mreže. Iz standardnih odstupanja vidljivo je da su mjerenja zadovoljila kriterije visoko preciznih mjerenja.

Tablica 6. *Izjednačene koordinate točaka i pripadna standardna odstupanja prve epohe mjerenja.*

Točka	y	x	s_y	s_x
	[m]	[m]	[mm]	[mm]
ST0	10000,000	1000,000	0,3	0,3
ST2	9799,996	1000,000	0,2	0,2
ST4	9599,987	999,905	0,2	0,3
ST6	9400,029	999,863	0,1	0,3
ST8	9200,011	999,783	0,2	0,2
ST10	9000,004	999,796	0,3	0,3
E	9967,827	798,764	0,2	0,2
F	9699,007	797,900	0,1	0,2
G	9298,517	797,681	0,1	0,2
H	8999,963	797,497	0,2	0,3

Na slici 7 grafički su prikazani rezultati izjednačenja prve epohe mjerenja, elipsama položajne točnosti koje pokrivaju područje od 95% pouzdanosti. Geodetska mreža, kao i kod nulte epohe je homogena, ali ne i izotropna.



Slika 7. *Elipse položajne točnosti izjednačenih koordinata točaka prve epohe mjerenja.*

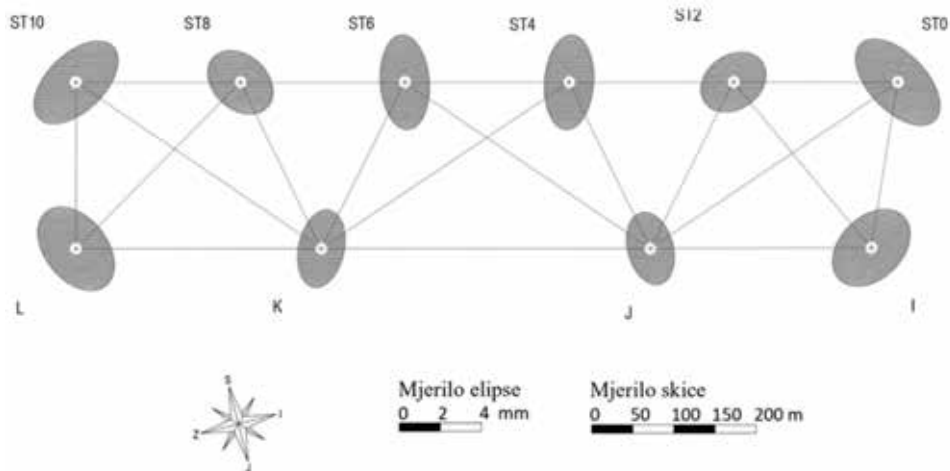
Izjednačene koordinate nepoznanica te pripadne ocjene točnosti za drugu epohu mjerenja prikazane su u tablici 7. Vidljivo je da su standardna odstupanja izjednačenih koordinata nepoznanica u visokoj razini podudarna s rezultatima nulte epohe mjerenja.

Prilikom izjednačenja mjerenja, izostavljen je horizontalni pravac mjeren s točke K prema L, zbog prisustva grube pogreške, koja je detektirana izjednačenjem uz primjenu optimalnog datuma mreže. Pravac je moguće izbaciti jer postoje dodatna prekobrojna mjerenja.

Tablica 7. *Izjednačene koordinate točaka i pripadna standardna odstupanja druge epohe mjerenja.*

Točka	y	x	s_y	s_x
	[m]	[m]	[mm]	[mm]
ST0	10000,002	1000,004	0,4	0,4
ST2	9799,998	1000,002	0,3	0,3
ST4	9599,987	999,905	0,2	0,4
ST6	9400,028	999,862	0,2	0,4
ST8	9200,009	999,780	0,3	0,3
ST10	9000,002	999,791	0,4	0,4
I	9967,808	798,762	0,3	0,3
J	9699,013	797,898	0,2	0,3
K	9298,513	797,682	0,2	0,3
L	8999,982	797,504	0,3	0,4

Grafički prikaz rezultata izjednačenja druge epohe mjerenja prikazan je na slici 8, primjenom elipsa položajne točnosti koje pokrivaju područje od 95% pouzdanosti. Vidljivo je da je mreža homogena, no ne i izotropna. Kao i kod prethodne dvije epohe, navedeno je uvjetovano oblikom geodetske mreže te vrstom obavljenih mjerenja.



Slika 8. *Elipse položajne točnosti izjednačenih koordinata točaka druge epohe mjerenja.*

6. Analiza određivanja pomaka stupova

Određivanje pomaka stupova obavljeno je primjenom softvera JAG3D. Iz tablica 8 i 9 te slike 9, vidljivo je da su određeni samo pomaci za stupove ST2, ST4, ST6 i ST8. Stupovi ST0 i ST10 upotrijebljeni su za definiciju datuma, odnosno njihove koordinate su fiksirane. Na ovaj način ostvaren je konvencionalni datum s prisilom. Datum je definiran upravo kako je opisano, jer je kalibracijska baza približno linearan objekt te se na ovaj način mogu odrediti odstupanja kalibracijske baze od idealnog pravca. Određivanjem pomaka stupova na kalibracijskoj bazi u odnosu na pravac ST0 – ST10 neposredno određujemo i odstupanje kalibracijske baze od idealnog pravca. Geodetske točke A, B, C i D su u svakoj epohi nazvane drugim imenom da bi se naglasila činjenica kako to nisu identične točke u svakoj epohi, već da su to točke na približno istom položaju između epoha. Upotrijebljene su za definiranje povoljnije geometrije geodetske mreže. Njihovi pomaci nisu određeni.

Pomaci geodetskih točaka određeni su metodologijom prikazanom u poglavlju 2. Rezultati određivanja pomaka točaka između epoha 0 i 1 prikazani su u tablici 8. Vidljivo je da stup ST6 nije zadovoljio statističke testove, odnosno možemo ga smatrati nestabilnom točkom geodetske mreže. Ovo je jedini statistički značajan pomak unutar geodetske mreže određen između nulte i prve epohe.

Oznaka T_{prio} i T_{post} u tablicama 8 i 9 označavaju dvije test-statistike Fisherove razdiobe, koje se razlikuju po odabiru faktora varijance. Oznaka q predstavlja graničnu vrijednost Fisherove razdiobe na temelju koje se određuje prihvaća li se nulta ili alternativna hipoteza.

Tablica 8. Rezultati određivanja pomaka stupova između nulte i prve epohe.

Točka	Epoha 0 – Epoha 1		Statistički parametar			
	δy	δx	T_{prio}	T_{post}	q	$T \leq q \mid H_0$
	[mm]	[mm]				
ST2	0,8	–0,1	1,54	1,80	16,07	Ispunjeno
ST4	1,3	–3,7	9,89	11,58	16,07	Ispunjeno
ST6	0,4	–6,0	19,57	22,91	16,07	Nije ispunjeno
ST8	0,8	–3,1	10,26	12,02	16,07	Ispunjeno

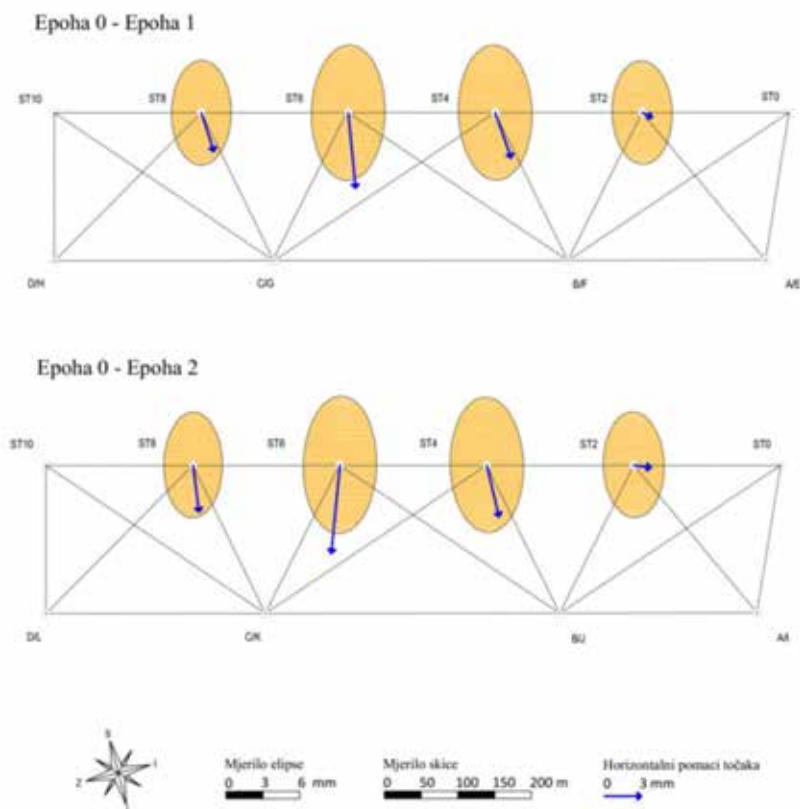
Rezultati određivanja pomaka stupova između nulte i druge epohe prikazani su u tablici 9. Stup ST6 ponovno nije zadovoljila statističke testove, odnosno može se smatrati nestabilnim. Ostali geodetski stupovi zadovoljili su

statističke testove te se mogu smatrati statistički stabilnim stupovima, odnosno određeni pomaci za ostale stupove nisu statistički značajni. U tablici 9 δy i δx označavaju pomake stupova po koordinatnim osima.

Tablica 9. Rezultati određivanja pomaka stupova između nulte i druge epohe.

Točka	Epoha 0 – Epoha 2		Statistički parametar			
	δy	δx	T_{prio}	T_{post}	q	$T \leq q H_0$
	[mm]	[mm]				
ST2	1,4	–0,2	5,20	5,74	16,00	Ispunjeno
ST4	1,0	–4,2	10,79	11,91	16,00	Ispunjeno
ST6	–0,7	–7,2	27,79	30,70	16,00	Nije ispunjeno
ST8	0,5	–3,8	13,27	14,65	16,00	Ispunjeno

Na slici 9 grafički su prikazani rezultati određivanja pomaka, korištenjem elipsi položajne točnosti koje pokrivaju 95% pouzdanosti. Jasno je vidljivo da je pomak stupa ST6 jedini statistički relevantan.



Slika 9. Rezultati određivanja pomaka stupova između epoha E0 i E1 te E0 i E2.

Preciznim geodetskim mjerenjima, obradom i analizom rezultata, izjednačenjem te određivanjem pomaka točaka, određeni su iznosi 2D pomaka. Stup ST6 detektiran je kao nestabilna točka između nulte i prve te također između nulte i druge epohe. Za navedeni stup određen je pomak 0,4 mm po osi y , odnosno –6,0 mm po osi x između nulte i prve epohe. Ukupni linearni pomak geodetske točke ST6 iznosi 6,0 mm. Ovo je statistički gledano značajan pomak u geodetskoj mreži te se za geodetski stup ST6 može zaključiti da njegov položaj nije stabilan između nulte i prve epohe mjerenja. Primjenom statističkog testiranja te uz upotrebu različitih geodetskih i matematičkih metoda između nulte i druge epohe, ponovno se dolazi do zaključka da je stup ST6 nestabilan. Određen je pomak –0,7 mm po osi y , odnosno –7,2 mm po osi x , odnosno ukupan linearni pomak iznosa 7,2 mm.

7. Zaključak

Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu namijenjena je ispitivanju i umjeravanju geodetskih mjernih instrumenata te obavljanju različitih preciznih geodetskih mjerenja. Cilj ovog rada jest odrediti stabilnost stupova na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Precizna geodetska mjerenja detaljno su planirana te obavljena u rujnu 2023., veljači 2024. i travnju 2024. godine.

Geodetska mreža uspostavljena u svrhu izrade ovog rada ima svoje prednosti i nedostatke. Prednost mreže jest da se nalazi na idealnom terenu za obavljanje geodetskih mjerenja, bez mnoštva negativnih vanjskih utjecaja. Pri viziranju ne postoje smetnje vegetacije, prometa i slično. Također, oteretni kanal većinu vremena nije ispunjen vodom, stoga ne postoji refrakcija uzrokovana varijabilnom temperaturom zraka prilikom viziranja preko kanala. Nasip na kojem se nalazi kalibracijska baza lako je dostupan te se do svakog stupa može prići automobilom, što uvelike olakšava geodetsku izmjeru. Pokraj južnog nasipa cijelom dužinom prolazi makadamski put u dobrom stanju, što također olakšava geodetsku izmjeru, odnosno omogućuje nesmetano postavljanje instrumenta i stabilizaciju točaka na južnom nasipu kanala.

Osnovni nedostatak konkretne geodetske mreže jest upotreba stativa na južnom nasipu kanala Sava – Odra. Upravo iz tog razloga, prilikom definiranja datuma kod određivanja pomaka, moguće je samo kao fiksne točke koristiti ST0 i ST10. Također, zbog konfiguracije terena i položaja stupova kalibracijske baze, postoje dva trokuta spojena u geodetsku mrežu, koje je bolje izbjegavati. Iako nije krivo koristiti trokute spojene u druge geometrijske figure, s inženjerske strane ih se nastoji izbjegavati jer pružaju manje značajne kontrole od geodetskih četverokuta i ostalih složenijih geometrijskih figura.

Primjenom statističkog testiranja te uz upotrebu različitih geodetskih i matematičkih metoda zaključuje se da su stupovi ST2, ST4 i ST8 stabilni između nulte, prve i druge epohe mjerenja. Za stup ST6 zaključeno je da je statistički nestabilan između nulte i prve epohe mjerenja. Također stup ST6 nije statistički stabilan niti između nulte i druge epohe mjerenja. Značajan pomak u pravilu se ocjenjuje i kvalificira kao deformacija topografske površine

ili izgrađenog objekta. Budući da je detektiran statistički značajan pomak jednog stupa kalibracijske baze, potrebno je pratiti stupove kalibracijske baze u dužem vremenskom razdoblju te na temelju tih opažanja donijeti zaključke o stabilnosti stupova kalibracijske baze. Također, preporučljivo je obaviti interdisciplinarnu analizu pomaka stupa te interdisciplinarnu analizu deformacije kalibracijske baze kao linearnog objekta, odnosno jasno odrediti što je uzrok otkrivenih pomaka.

Literatura

- Barković, Đ., Zrinjski, M. (2020): Terenska mjerenja, sveučilišni priručnik, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Feil, L. (1989): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – prvi dio, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Kapović, Z. (2010): Geodezija u niskogradnji, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Kapović, Z., Marendić, A., Paar, R. (2006): Deformation Analysis of the Holcim Ltd. Cement Factory Objects, Proceedings, XXIII International FIG Congress, Munich, Germany, International Federation of Surveyors, 1–15.
- Lehmann, R., Lösler, M. (2017): Congruence analysis of geodetic networks – hypothesis tests versus model selection by information criteria, *Journal of Applied Geodesy*, 11, 4, 271–283.
- Lösler, M., Eschelbach, C., Haas, R. (2017): Kongruenzanalyse auf der Basis originärer Beobachtungen, *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 142, 1, 41–52.
- Novaković, G. (2006): Geodetske mreže posebnih namjena, skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Rožić, N. (1992): Izjednačenje geodetskih mreža s dodatnim fiktivnim mjeranjima, *Geodetski list*, 46 (69), 1, 49–60.
- Rožić, N., Razumović, I. (2024): Geodezija i geokinetika, sveučilišni priručnik, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Solarić, N., Solarić, M., Benčić, D. (1992): Projekt i izgradnja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, *Geodetski list*, 46 (69), 1, 7–25.
- Solarić, N., Barković, Đ., Zrinjski, M. (2012): Automatizacija mjerenja atmosferskih parametara pri preciznom mjerenju duljina, *Geodetski list*, 66 (89), 3, 165–186.
- Zrinjski, M. (2010): Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Zrinjski, M., Barković, Đ., Kapustić, M. (2011): Determination of Pillar Coordinates at the Calibration Baseline of the Faculty of Geodesy in Zagreb by Applying GPS, *Conference Proceedings, Volume II, 11th International*

Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2011, Sofia, 239–246.

Zrinjski, M., Tupek, A., Barković, Đ., Cesarec, M. (2021): Stability Analysis of a Levelling Network as a Prelude to a Residential Building Construction, Conference Proceedings, 8th International Conference Contemporary Achievements in Civil Engineering, University of Novi Sad – Faculty of Civil Engineering, Subotica, 79–89.

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

Mrežne adrese

URL 1: Java Applied Geodesy (JAG3D),

<https://software.applied-geodesy.org/en/>, (10. 11. 2024.).

URL 2: Leica Geosystems, Leica Total Stations, Leica TC2003,

https://www.geotech.sk/downloads/Totalne-stanice/TPS2000_brochure_en.pdf, (10. 11. 2024.).

URL 3: Lufft, Products, Lufft 8130.TFF,

<https://www.lufft.com/products/discontinued-products-315/temperature-humidity-sensor-for-reference-measurements-1881/productAction/outputAsPdf/>, (10. 11. 2024.).

URL 4: JAG3D forum,

<https://software.applied-geodesy.org/forum/?id=14821>, (10. 11. 2024.).

Determination of Horizontal Displacements of Calibration Baseline Pillars Using a Deformation Analysis Method

ABSTRACT. When constructing complex engineering structures such as long tunnels, bridges, dams, and high-rise buildings, the quality requirements for geodetic work are increasingly demanding. High-quality geodetic work depends on a reliable geodetic reference network from which measurements are conducted and on the application of precise geodetic instruments. A quality geodetic reference network is characterized by a high level of stability. The stability of the geodetic reference network can be examined and determined through geodetic surveys and analyses to assess the displacement of pillars within the reference network. The aim of this research is to determine the horizontal displacements of the pillars in the calibration base of the Faculty of Geodesy at the University of Zagreb. A special-purpose geodetic network configuration was defined, and the displacements of the calibration base pillars were determined in a 2D local left-oriented Cartesian coordinate system, with corresponding accuracy assessments. Measurements were carried out in three epochs (September 2023, February 2024, and April 2024) using the terrestrial geodetic survey method, all for the purpose of analyzing the stability of the calibration baseline. To determine the displacements of pillars and detect gross measurement errors, the generalized Baarda statistical data snooping method was applied. The processing and analysis of geodetic measurement results identified a statistically significant displacement of one of the calibration base pillars, which may indicate potential instability of the calibration baseline. This paper provides a comprehensive overview of the planning, preparation, execution, processing, and analysis of geodetic measurements for determining the horizontal displacements of pillars using the deformation analysis method.

Keywords: calibration baseline, geodetic network, geodetic survey, deformation analysis, displacement.

Primljeno / Received: 2024-11-20

Prihvaćeno / Accepted: 2024-12-21

UDK 528.9:528.2

Prethodno priopćenje / Preliminary Communication

Novi izvod formule za duljinu luka loksodrome na rotacijskom elipsoidu

Miljenko LAPAINE – Zagreb¹

SAŽETAK. Ako neku udaljenost preuzimamo s karte ne uzimajući u obzir distorziju, općenito nećemo dobiti ispravnu vrijednost. Ispravnu vrijednost dobit ćemo ako distorziju uzmemo u obzir, odnosno primijenimo izraz za udaljenost koji ne sadrži distorziju. U članku je prikazan problem određivanja udaljenosti između dviju točaka na rotacijskom elipsoidu, mjerenih uzduž loksodrome. Najprije je izvedena formula za tu udaljenost na uobičajeni način. Zatim je ta ista formula izvedena uz pomoć teorije kartografskih projekcija. Time su se željela postići dva cilja. Prvi, da pri računanju udaljenosti između dvaju mjesta prikazanih na karti treba uzeti u obzir distorziju koja je karti imanentna zbog primijenjene kartografske projekcije. Drugi je cilj bio pokazati kako se s pomoću teorije kartografskih projekcija može izvesti formula koja ne ovisi o primijenjenoj kartografskoj projekciji.

Ključne riječi: kartografske projekcije, elipsoid, loksodroma, duljina luka.

1. Uvod

Karta je rezultat preslikavanja podataka obično sa Zemljine površine, nebeskog tijela ili zamišljenog svijeta u ravninski prikaz na komadu papira ili na digitalnom zaslonu kao što je monitor računala. Karte se obično izrađuju transformacijom podataka najprije na sfernu ili elipsoidnu plohu, a zatim u ravninu. Preslikavanje zakrivljene površine u ravninu poznato je kao kartografska projekcija i može imati različite oblike (Lapaine 2019).

Budući da nijedna kartografska projekcija ne čuva ispravno mjerilo u cijelosti, važno je odrediti u kojoj mjeri ono varira na karti. Na karti svijeta distorzija (deformacija) je očigledna oku upoznatom s kartama. Obično se može primijetiti u kojoj su mjeri kopnene mase neprikladne veličine ili promijenjenog oblika

¹ prof. emer. dr. sc. Miljenko Lapaine, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: miljenko.lapaine@geof.unizg.hr

te u kojoj se mjeri meridijani i paralele ne sijeku pod pravim kutom ili nisu ravnomjerno raspoređeni uz neki meridijan ili paralelu. Na kartama zemalja ili čak kontinenata distorzija možda nije vidljiva oku, ali postaje vidljiva nakon pažljivog mjerenja i analize (Snyder 1987).

Sve kartografske projekcije uvode distorziju površina, kutova i/ili udaljenosti. Neke vrste distorzija mogu se kontrolirati da bi se sačuvale specifične karakteristike, ali kartografske projekcije tada moraju iskriviti druge karakteristike prikazanog objekta. Glavni problem u kartografiji je što nije moguće preslikati sfernu ili elipsoidnu površinu u ravninu bez distorzija, ili točnije rečeno s distorzijom jednakom nuli.. Euler je prvi dokazao još 1772. da se sfera ne može preslikati u ravninu s distorzijom jednakom nuli (Euler 1777, Biernacki 1949, 1965, Lapaine 2014).

Sljedeći izrazi definiraju u geodeziji i kartografiji rotacijski elipsoid sa središtem u ishodištu koordinatnog sustava, velikom poluosi a i numeričkim ekscentricitetom e :

$$x = x(\varphi, \lambda) = N \cos \varphi \cos \lambda, y = y(\varphi, \lambda) = N \cos \varphi \sin \lambda, z = z(\varphi, \lambda) = N(1 - e^2) \sin \varphi$$

$$(\varphi, \lambda) \in \Omega = \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \times [-\pi, \pi], (x, y, z) \in \mathbb{R}^3 \quad (1)$$

Uobičajene oznake su

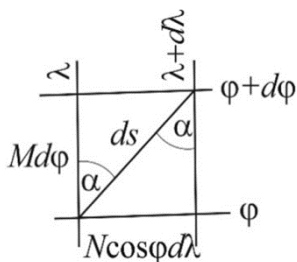
$$M = M(\varphi) = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^3}} \quad (2)$$

za polumjer zakrivljenosti meridijana i

$$N = N(\varphi) = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (3)$$

za polumjer zakrivljenosti presjeka po prvom vertikalu.

Infinitezimalni četverokut na elipsoidu prikazan je na slici 1. Diferencijal duljine luka neke krivulje je ds , diferencijal duljine luka meridijana je $Md\varphi$, a diferencijal duljine luka paralele je $N \cos \varphi d\lambda$.



Slika 1. Infinitesimalni četverokut na elipsoidu.

Za bilo koju krivulju na elipsoidu možemo napisati (vidi sliku 1):

$$\tan \alpha = \frac{N \cos \varphi d\lambda}{M d\varphi} \quad (4)$$

i odatle

$$d\lambda = \tan \alpha \frac{M d\varphi}{N \cos \varphi}. \quad (5)$$

Pretpostavimo li da je $\alpha = \text{const.}$, tj. da je riječ o loksodromi, integriranjem izraza (5) dobit ćemo jednadžbu loksodrome u obliku

$$\lambda = k \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} + \beta, \quad (6)$$

gdje su $k = \tan \alpha$ i β konstante. Npr. ako loksodroma prolazi točkama s koordinatama (φ_1, λ_1) i (φ_2, λ_2) onda je

$$k = \tan \alpha = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2}{2} \right) - \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_1}{2} \right)}, \quad \beta = \frac{\lambda_2 \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_1}{2} \right) - \lambda_1 \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2}{2} \right)}{\ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2}{2} \right) - \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_1}{2} \right)}. \quad (7)$$

Nadalje, sa slike 1 možemo pročitati da je

$$\cos \alpha = \frac{M d\varphi}{ds} \quad (8)$$

i odatle

$$ds = \frac{M d\varphi}{\cos \alpha}. \quad (9)$$

Uz pretpostavku da je $\alpha = \text{const.}$, integriranjem izraza (9) dobit ćemo izraz za duljinu luka loksodrome na elipsoidu u obliku (Borisov 2011):

$$s = \frac{1}{\cos \alpha} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi. \quad (10)$$

Za razliku od izvoda jednadžbe loksodrome na sferi, integral s desna strane u (10) je eliptički integral koji se pojavljuje pri računanju duljine luka meridijana na rotacijskom elipsoidu, i kojega nije moguće neposredno integrirati već se primjenjuju razvoji u redove ili neke druge matematičke metode (Viličić i Lapaine 2024).

2. Loksodroma u Mercatorovoj projekciji elipsoida

Jednadžbe uspravne Mercatorove projekcije elipsoida glase

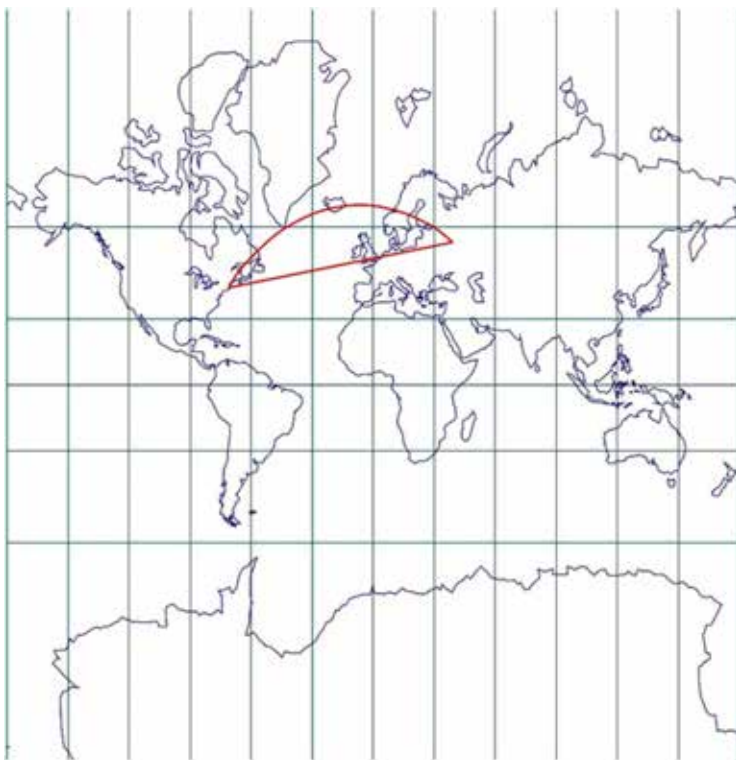
$$x = a\lambda, y = a \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}}. \quad (11)$$

Uvrstimo li u (11) izraz za λ iz (4) dobit ćemo

$$x = a \left[k \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} + \beta \right], y = a \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}}. \quad (12)$$

odakle se lako dobije

$$x = ky + a\beta. \quad (13)$$



Slika 2. Karta svijeta u uspravnoj Mercatorovoj projekciji. Ravna crta koja spaja New York i Moskvu je slika loksodrome, a krivulja koja spaja ta dva mjesta slika je geodetske linije. Geodetska linija daje najkraću udaljenost između dvaju mjesta na elipsoidu, pa se slika 2 može interpretirati kao iluzija, a zapravo je riječ o distorziji zbog kartografske projekcije.

Budući da su k, a, β konstante, to (13) predstavlja linearnu vezu između x i y , pa je grafički prikaz relacije (13) pravac u ravnini projekcije. Drugim riječima, slika loksodrome na karti izrađenoj u uspravnoj Mercatorovoj projekciji je pravac (slika 2). Ako taj pravac prolazi kroz dvije točke s koordinatama (x_1, y_1) i (x_2, y_2) , onda je udaljenost d između tih dviju točaka u ravnini projekcije jednaka

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} . \quad (14)$$

Lako je uočiti da se duljina slike loksodrome na karti (14) razlikuje od duljine loksodrome na elipsoidu (10). Ako nam nije poznata formula (10), postavlja se pitanje kako do nje doći na temelju teorije kartografskih

projekcija? Osim toga vrlo je važno za svaku kartografsku projekciju, pa tako i za uspravnu Mercatorovu elipsoida, poznavati mogućnost otklanjanja distorzija iz podataka preuzetih s karte.

3. Novi izvod formule za računanje duljine loksodrome na elipsoidu

Najprije uočimo da svaka kartografska projekcija uvodi izvjesne distorzije. Kao mjera distorzije duljina služi lokalni faktor mjerila duljina (linearno mjerilo) c koji za elipsoid definiramo ovako (Snyder 1987, Frančula 2004):

$$c^2 = \frac{ds'^2}{ds^2} = \frac{Ed\varphi^2 + 2Fd\varphi d\lambda + Gd\lambda^2}{M^2 d\varphi^2 + N^2 \cos^2 \varphi d\lambda^2}. \quad (15)$$

E , F i G su koeficijenti definirani na ovaj način:

$$E = \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)^2, F = \frac{\partial x}{\partial \varphi} \frac{\partial x}{\partial \lambda} + \frac{\partial y}{\partial \varphi} \frac{\partial y}{\partial \lambda}, G = \left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)^2, \quad (16)$$

gdje su

$$x = x(\varphi, \lambda), y = y(\varphi, \lambda), \quad (17)$$

jednadžbe kartografske projekcije, odnosno u našem slučaju formule s pomoću kojih se elipsoid preslikava u ravninu, a x i y su koordinate točke u pravokutnom (matematičkom, desno orijentiranom) koordinatnom sustavu u ravnini. Pretpostavit ćemo da je sa (17) definirano regularno preslikavanje, osim u nekim projekcijama na rubovima intervala, tj. za $\varphi \in \left\{-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right\}$ i $\lambda \in \{-\pi, \pi\}$.

Ako su jednadžbe uspravne Mercatorove projekcije (11), onda imamo

$$\frac{\partial x}{\partial \lambda} = a, \quad \frac{\partial x}{\partial \varphi} = 0, \quad \frac{\partial y}{\partial \lambda} = 0, \quad \frac{\partial y}{\partial \varphi} = \frac{aM}{N \cos \varphi}, \quad (18)$$

pa je

$$E = \frac{a^2 M^2}{N^2 \cos^2 \varphi}, \quad F = 0, \quad G = a^2 \quad (19)$$

odnosno

$$c^2 = \frac{ds'^2}{ds^2} = \frac{\frac{a^2 M^2}{N^2 \cos^2 \varphi} d\varphi^2 + a^2 d\lambda^2}{M^2 d\varphi^2 + N^2 \cos^2 \varphi d\lambda^2} = \frac{a^2}{N^2 \cos^2 \varphi}, \quad (20)$$

i odatle

$$c = \frac{ds'}{ds} = \frac{a}{N \cos \varphi} . \quad (21)$$

U ravnini projekcije je

$$ds' = \sqrt{dx^2 + dy^2} . \quad (22)$$

Za sliku loksodrome prema (13) imamo

$$dx = k dy = ka \frac{M d\varphi}{N \cos \varphi} , \quad (23)$$

pa je

$$ds' = \sqrt{1 + k^2} dy = \sqrt{1 + k^2} a \frac{M d\varphi}{N \cos \varphi} . \quad (24)$$

Uzevši u obzir (20) možemo napisati

$$ds = \frac{ds'}{c} = \sqrt{1 + k^2} M d\varphi \quad (25)$$

i odatle nakon integriranja

$$s = \sqrt{1 + k^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi . \quad (26)$$

Ako slika loksodrome prolazi točkama (x_1, y_1) i (x_2, y_2) onda one zadovoljavaju jednadžbu (13) pa mora vrijediti

$$x_1 = ky_1 + R\beta \quad \text{i} \quad x_2 = ky_2 + R\beta \quad (27)$$

Uz to, točke s koordinatama (x_1, y_1) i (x_2, y_2) nastale su preslikavanjem s elipsoida prema jednadžbama Mercatorove projekcije (11) pa mora biti

$$x_1 = a\lambda_1, \quad y_1 = a \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_1}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi_1}{1 + e \sin \varphi_1} \right)^{\frac{e}{2}} ,$$

$$x_2 = a\lambda_2, y_2 = a \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2}{2} \right) \left(\frac{1-e \sin \varphi_2}{1+e \sin \varphi_2} \right)^{\frac{e}{2}}. \quad (28)$$

Na temelju (27) i (28) možemo napisati

$$k = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2}{2} \right) \left(\frac{1-e \sin \varphi_2}{1+e \sin \varphi_2} \right)^{\frac{e}{2}} - \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_1}{2} \right) \left(\frac{1-e \sin \varphi_1}{1+e \sin \varphi_1} \right)^{\frac{e}{2}}} \frac{e}{e} = \tan \alpha. \quad (29)$$

Budući da je

$$1 + k^2 = 1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad (30)$$

možemo formulu za računanje duljine loksodrome na elipsoidu (26) napisati i u obliku (10).

Na taj smo način uz pomoć teorije kartografskih projekcija došli do formule za računanje duljine loksodrome između dviju točaka na elipsoidu. Kao što se lijepo vidi, formula (10) ne ovisi o primijenjenoj kartografskoj projekciji.

4. Zaključak

Svaka kartografska projekcija nosi sa sobom i izvjesne distorzije. Da bismo s karte mogli pročitati poruku koja je u njoj zapisana, moramo poznavati njezine distorzije. Npr. često nam treba udaljenost između dvaju mjesta. Ako tu udaljenost mjerimo s karte ne uzimajući u obzir distorziju, nećemo dobiti ispravnu vrijednost. Ispravnu vrijednost dobit ćemo ako uzmemo u obzir distorzije, odnosno primijenimo izraze koji ne sadrže distorzije.

U ovom članku prikazan je problem određivanja udaljenosti između dviju točaka na elipsoidu, mjerenih uzduž loksodrome. Najprije je izvedena formula za tu udaljenost na uobičajeni način. Zatim je ta ista formula izvedena uz pomoć teorije kartografskih projekcija.

Time su postignuta dva cilja. Prvi, manje-više poznat, da pri računanju udaljenosti između dvaju mjesta prikazanih na karti treba uzeti u obzir distorziju koja je karti imanentna zbog primijenjene kartografske projekcije. Drugi cilj je da se pokaže kako se s pomoću teorije kartografskih projekcija može izvesti formula za duljinu luka loksodrome na elipsoidu koja ne ovisi o primijenjenoj kartografskoj projekciji.

ZAHVALA. Autor zahvaljuje anonimnim recenzentima na uloženom vremenu, trudu i primjedbama kojima su ukazali na pogreške i nedostatke u prvoj verziji članka.

Literatura

- Biernacki, F. (1949, 1965): Teoria odwzorowań powierzchni dla geodetów i kartografów: Warsaw, Główny Urząd Pomiarów Kraju, Prace Geodezyjnego Instytutu Naukowo-Badawczego, no. 4. Poljski. Prevedeno na engelski kao Theory of Representation of Surfaces for Surveyors and Cartographers: U.S. Dept. of Commerce, 1965.
- Borisov, M., Božić, B., Drobnjak, S. (2011): Matematički modeli loksodrome i njihova primena, Tehnika – Naše građevinarstvo, 65, 4, 551–556.
- Euler, L. (1777): De repraesentatione superficiei sphaericae super plano, Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae. Prevedeno na njemački u: Drei Abhandlungen uber Kartenprojection, Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, no. 93, 3–37, Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1898. Prevedeno na poljski u: Biernacki (1949). Prevedeno na ruski: Ob izobrazhenii poverhnosti shara na ploskosti, Trudy Peterburgskoy akademii nauk za 1777 g., Tom 1, 107–132, u: L. Ejler: Izbrannye kartograficheskie stat'i, Tri stat'i po matematicheskoy kartografii, Izdatel'stvo geodezicheskoy literatury, 1959, Moscow. Prevedeno na engleski u: Biernacki (1965). Prevedeno na hrvatski u: Lapaine (2014).
- Frančula, N. (2004): Kartografske projekcije, skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Lapaine, M. (2014): Kartografske projekcije i njihove deformacije, Peti hrvatski kongres o katastru, Zagreb, 8–9. 5. 2014., Zbornik radova, ISBN 978-953-97081-9-9, 15–32.
- Lapaine, M. (2019): Map Projection Article on Wikipedia, u: Advances in Cartography and GIScience of the International Cartographic Association, 1, 2019. 29th International Cartographic Conference (ICC 2019), 15–20 July 2019, Tokyo, Japan, 1–8. doi: 10.5194/ica-adv-1-10-2019.
- Snyder, J. P. (1987): Map Projections: A Working Manual, USGS Professional Paper 1395, Washington, D.C.
- Viličić, M., Lapaine, M. (2024): Loksodroma i izometrijska širina / Loxodrome and Isometric Latitude, Kartografija i geoinformacije, Vol. 23, Br. 41, 4–21, doi: 10.32909/kg.23.41.1.

New Derivation of the Formula for the Length of a Loxodrome Arc on a Rotational Ellipsoid

ABSTRACT. If we take a distance from a map without taking into account the distortion, we will not get the correct value. We will get the correct value if we take the distortion into account, that is, if we apply an expression for distance that does not contain distortion. The article presents the problem of determining the distance between two points on a rotational ellipsoid, measured along a loxodrome or a rhumb line. First, a formula for this distance was derived in the usual way. Then, this same formula was derived using the theory of map projections. This was intended to achieve two goals. The first was that when calculating the distance between two places shown on a map, the distortion that is immanent to the map due to the applied map projection should be taken into account. The second goal was to show how, using the theory of map projections, a formula for the length of a loxodrome arc on an ellipsoid can be derived that does not depend on the applied map projection.

Keywords: map projections, ellipsoid, loxodrome, rhumb line, arc length.

Primljeno / Received: 2024-12-12

Prihvaćeno / Accepted: 2024-12-27

NOVI GEODETSKO-GEOINFORMATIČKI NAZIVI 4

Nakon triju objavljenih priloga s definicijama novih geodetsko-geoinformatičkih naziva pripremili smo za čitatelje Geodetskog lista i četvrti. 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 *distribuirano strojno učenje* uvršteno je u rječnik kao *učenje*, *distribuirano strojno*. 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 *također*. 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.

ADRT

Vidi: prijevoz na zahtjev, autonomni

AIoT

Vidi: inteligencija stvari, umjetna

DML

Vidi: učenje, distribuirano strojno

DRT

Vidi: prijevoz na zahtjev

IIoT

Vidi: internet stvari, industrijski

inteligencija, rubna

pružanje pouzdanih inteligentnih usluga u stvarnom vremenu na rubu mreže

Napomena: Umjesto prijenosa ogromne količine podataka u centralizirani oblak za inteligentnu obradu, pružanje ove usluge na rubu mreže može bitno smanjiti latenciju, poboljšati kvalitetu usluge i korištenje resursa.

Vidi: latencija

En. intelligence, edge

Fr. intelligence artificielle de pointe

inteligencija stvari, umjetna

kombinacija tehnologija umjetne inteligencije s infrastrukturom interneta stvari za postizanje učinkovitijih operacija, poboljšanje interakcija između čovjeka i stroja i poboljšanje upravljanja podacima

Napomena: Ne postoji inteligencija stvari. Umjetna inteligencija odnosi se na razumijevanje i donošenje odluka na temelju podataka, dok se internet stvari odnosi na povezivanje uređaja i automatizaciju procesa.

Vidi: inteligencija, umjetna (Frančula i dr. 2020); internet stvari (Frančula i Lapane 2022)

En. intelligence of things, artificial; AIoT

Fr. intelligence artificielle des objets

Nj. Intelligenz der Dinge, künstliche

inteligencija, suradnička

svojstvo distribuiranih sustava s više agenata u kojima svaki agent, čovjek ili stroj, samostalno pridonosi mreži za rješavanje problema

Napomena: Suradnička inteligencija je naziv koji se koristi u nekoliko disciplina. U poslovanju opisuje heterogene mreže ljudi koji međusobno djeluju kako bi proizveli inteligentne rezultate.

En. intelligence, collaborative

inteligencija, suradnička rubna

suradnička umjetna inteligencija nastala zajedničkim radom više rubnih uređaja na obradi podataka i lokalnom izvršavanju zadataka distribuiranog strojnog učenja

Vidi: uređaj, rubni; učenje, distribuirano strojno; računalstvo, rubno (Frančula i Lapaine 2023)

En. intelligence, collaborative edge

internet podvodnih stvari

internet stvari za otkrivanje i prikupljanje ambijentalnih podataka zajedno s komunikacijskim komponentama sposobnim za širenje signala pod vodom i prijenos podataka na kopnene stanice za daljnju obradu

En. Internet of underwater things; IoUT

Fr. internet des objets sous-marins

Nj. Internet der Unterwasserdinge

internet stvari, industrijski

internet stvari s primjenom u industriji, uključujući proizvodnju i upravljanje energijom

Vidi: internet stvari (Frančula i Lapane 2022)

En. internet of things, industrial; IIoT

internet vozila

podskup interneta stvari, sastoji se od mobilnih vozila opremljenih senzorima, procesorima i softverom, koji im omogućuju komunikaciju putem interneta ili drugih mreža

Vidi: internet stvari (Frančula i Lapane 2022)

En. Internet of Vehicles

Fr. Internet des véhicules

IoUT

Vidi: internet podvodnih stvari

latencija

kašnjenje između trenutka kada korisnik poduzme akciju na mreži ili mrežnoj aplikaciji i trenutka kada ona stigne na svoje odredište

En. latency

Fr. latence

Nj. Latenz

prijevoz na zahtjev

fleksibilan način javnog prijevoza koji se prilagođava potrebama svojih korisničkih skupina

Napomena: U prošlosti se uglavnom koristio zbog svojih društvenih koristi, povećavajući mogućnosti za ljude s ograničenom pokretljivošću ili one koji su društveno marginalizirani.

En. transport, demand-responsive; DRT

prijevoz na zahtjev, autonomni

prijevoz na zahtjev koji se koristi autonomnim vozilima

Napomena: Vjerojatno će u budućnosti značajno ublažiti prometne gužve, posebno u obliku autonomnih autobusa.

Vidi: prijevoz na zahtjev; vozilo, autonomno (Frančula i Lapaine 2022)

En. transport, autonomous demand responsive; ADRT

učenje, distribuirano strojno

podjela radnog opterećenja modela strojnog učenja na više strojeva kako bi se moglo rukovati velikim količinama podataka i prevladati ograničenja pokretanja modela na jednom stroju

Vidi: učenje, strojno (Frančula i dr. 2020)

En. learning, distributed machine; DML

Fr. apprentissage automatique distribué

Nj. Lernen, verteiltes maschinelles

uređaj, rubni

računalni uređaj u blizini ruba mreže, obično u blizini izvora podataka ili potrošača

Napomena: Njegova sposobnost lokalne obrade podataka značajno smanjuje kašnjenje i vrijeme odgovora, nadmašujući mogućnosti tradicionalnih podatkovnih centara ili oblaka

Vidi: računalstvo, rubno (Frančula i Lapaine 2023)

En. device, edge

Nj. Edge-Gerät

Literatura

Almutairi, A., Carpent, X., Furnell, S. (2024): Recommendation-Based Trust Evaluation Model for the Internet of Underwater Things, *Future Internet*, 16, 9, 346, <https://www.mdpi.com/1999-5903/16/9/346>, (2. 10. 2024.).

Du, Y., Wang, Z., Leung, C., Leung, V. C. M. (2024): Towards Collaborative Edge Intelligence: Blockchain-Based Data Valuation and Scheduling for Improved Quality of Service, *Future Internet*, 16, 8, 267, <https://www.mdpi.com/1999-5903/16/8/267>, (2. 10. 2024.).

FORTINET (2024): What is Latency and How to Reduce Latency? <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/latency>, (3. 10. 2024.).

Frančula, N., Lapaine, M. (2022): New cartographic Terms / Novi kartografski nazivi, *Kartografija i geoinformacije*, 21, 37, 74–81, <https://hrcak.srce.hr/clanak/446502>, (25. 9. 2024.).

- Frančula, N., Lapaine, M. (2023): New cartographic terms 3 / Novi kartografski nazivi 3, *Kartografija i geoinformacije*, 22, 40, 118–123, <https://hrcak.srce.hr/clanak/453020>, (2. 10. 2024.).
- Frančula, N., Lapaine, M., Jazbec, I.-P. (2020): *Kartografski rječnik*, Hrvatsko kartografsko društvo, Naklada Dominović, <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/knjiga/19366>, (2. 10. 2024.).
- Golbabaie, F., Paz, A., Yigitcanlar, T., Bunker, J. (2024): Navigating autonomous demand responsive transport: stakeholder perspectives on deployment and adoption challenges, *International Journal of Digital Earth*, 27, 1, 2297848, <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2297848>, (5. 10. 2024.).
- HPE Glossary (2024): What is an edge device? https://www.hpe.com/emea_africa/en/what-is/edge-device.html, (2. 10. 2024.).
- Interreg Europe (2018): Demand-responsive transport, https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/inline/2018-06-27_Policy_Brief_Demand_Responsive_Transport.pdf, (6. 10. 2024.).
- Kabashkin, I., Shoshin, L. (2024): Artificial Intelligence of Things as New Paradigm in Aviation Health Monitoring Systems, *Future Internet*, 16, 8, 276, <https://www.mdpi.com/1999-5903/16/8/276>, (2. 10. 2024.).
- ScienceDirect (2024): Edge Intelligence, <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/edge-intelligence>, (3. 10. 2024.).
- Shah, A. A. A., Fernando, X., Kashef, R. (2024): A Survey on Artificial-Intelligence-Based Internet of Vehicles Utilizing Unmanned Aerial Vehicles, *Drones*, 8, 8, 353, <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/8/353>, (25. 9. 2024.).
- UNITE.AI (2023): Edge Computing naspram Cloud Computing: Glavne razlike, <https://www.unite.ai/hr/edge-computing-vs-cloud-computing-major-differences/>, (2. 10. 2024.).
- Wikipedia (2024a): Industrial internet of things, https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_internet_of_things, (2. 10. 2024.).
- Wikipedia (2024b): Artificial internet of things, https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence_of_things, (3. 10. 2024.).

Nedjeljko Frančula i Miljenko Lapaine

KARTOGRAFIJA I INTERNET

Zagreb i online, 29. 6. 2024.

Stručni skup "Kartografija i internet" održan je 29. lipnja 2024. Organizatori su bili Hrvatsko kartografsko društvo i Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Skup bio je organiziran na hibridan način, tj. uz sudjelovanje osobno ili online, a organiziran je u Vijećnici Geodetskog fakulteta u Zagrebu, Savska 144a. Skup je bio namijenjen svima koji žele obnoviti i proširiti svoja znanja iz kartografije, bio je uvršten u program stručnog usavršavanja ovlaštenih inženjera geodezije, gdje je vrednovan s 11 akademskih sati, od toga 2 iz Područja 1 i 9 iz Područja 2. Zlatni i jedini sponzor bila je tvrtka Oikon d.o.o.



Skup je započeo pozdravnim riječima dekana Geodetskog fakulteta prof. dr. sc. Mladena Zrinjskog i predsjednika Hrvatskoga kartografskog društva, prof. emer. Miljenka Lapa-ine, a zatim su slijedila ova predavanja:

9:15-10:00 A. Kuveždić Divjak: Razvoj web-kartografije: Od skeniranih papirnatih do interaktivnih web-karata

10:00-10:45 M. Jurić: Karte u Hrvatskom državnom arhivu

10:45-11:00 Stanka za osvježenje

11:00-11:45 J. Faričić: Stare karte na internetu – dostupnost, mogućnost i pravo korištenja

11:45-12:30 M. Triplat Horvat: Javno dostupne karte na internetu – kako ih upotrebljavati i interpretirati

12:30 13:15 R. Župan: Web-kartografija

13:15-13:45 Stanka za ručak

13:45-14:30 M. Gašparović: Fotogrametrija i daljinska istraživanja u službi kartografije

14:30-15:15 K. Molnar: Digitalna karta neba u svakoj učionici

15:15-16:00 D. Medak: 3D-Hrvatska na dlanu: što sve može LiDAR tehnologija

16:00-16:15 Stanka za osvježenje

16:15-17:00 V. Filipović: Pomorska kartografija

17:00-17:45 B. Preradović: Zrakoplovna kartografija

17:45-18:30 J. Jagetić: Mjerenje i vizualizacija speleoloških objekata

Svrha ispita znanja koji je održan par dana nakon stručnog skupa bila je kontrola usvojenih znanja o kartografiji i internetu. Sudionici su mogli procijeniti vlastito poznavanje problematike, a organizatori su dobili procjenu obavljenoga posla i smjernice za budućnost. Bilo je predviđeno da dva ispitanika s barem 75% točnih odgovora budu nagrađena. Nagrada je bila popust od 50% na kotizaciju za sudjelovanje na sljedećoj konferenciji u organizaciji Hrvatskoga kartografskog društva. Zahvaljujemo na odgovorima koji su stigli do 2. 7. 2024. u ponoć.

Ovo su bili zadatci s ponuđenim odgovorima, a točni odgovori su označeni.

1. Copernicus je program

A) Europske svemirske agencije

B) Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

C) Međunarodnoga kartografskog društva

2. Najefikasniji i najdetaljniji prikaz špilja i jama moguće je dobiti primjenom

A) laserskog daljinomjera

B) LiDAR-a

C) GPS-a

3. Arhiv mapa za Hrvatsku i Slavoniju je fond u

A) Državnom arhivu u Zagrebu

B) Hrvatskom državnom arhivu

C) Muzeju Slavonije u Osijeku

4. AJAX je

A) ime nizozemskog nogometnog kluba

B) kratica za Asynchronous JavaScript and XML

C) kratica za Axiomatized Information and Algorithmic eXchange

5. Gallica je

A) povijesno područje na zapadu Europe između Rajne, Alpa, Sredozemnog mora, Pirineja i Atlantskog oceana

B) la bibliothèque numérique de la Bibliothèque nationale de France et de ses partenaires

C) Galilejevo mjesto rođenja

6. ICAO je kratica za

A) Immigration & Checkpoints Authority

B) International Cartographic Association

C) The International Civil Aviation Organization

7. Jama je:

A) drugi naziv za špilju

B) prirodna velika šupljina u kamenu, stijeni ili brdu, koja se proteže približno horizontalno

C) duboka šupljina u kraškom tlu koja se proteže približno vertikalno

8. Definicija digitalne ortofoto karte nalazi se u Geodetsko-geoinformatičkom rječniku autora N. Francule i M. Lapainea iz 2008. godine

A) Da

B) Ne

C) Možda

9. Stellarium

A) pokazuje sliku neba, baš kao što bismo ga vidjeli prostim okom, dalekozorom ili teleskopom

B) znanstvenofantastična strateška video igra smještena 200 godina u budućnost

C) kamena ili drvena ploča raznovrsnog oblika s ukrasima i natpisima pogrebnog ili spomeničkog karaktera

10. U pomorskoj kartografiji kratica ENC znači:

A) Electronic Navigational Chart

B) Elektronička naplata cestarine

C) Electricity New Connection

11. ChatGPT

A) ponekad daje netočne odgovore koji naizgled izgledaju točnima

B) uvijek daje točan odgovor

C) nikad ne halucinira

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

Poziv na ispit znanja upućen je na 78 e-adresa svima prijavljenima na stručni skup. Pozivu se odazvalo 33 sudionika. Svaki točan odgovor nosio je jedan bod. Prema tome moglo se maksimalno prikupiti 12 bodova jer je četvrti zadatak imao dva točna odgovora.

Najlakši zadatci bili su 9. i 10. na koje su svi ispitanici dali točne odgovore.

Najteži zadatak bio je 8. u kojem se pitalo nalazi li se definicija digitalne ortofoto karte u Geodetsko-geoinformatičkom rječniku autora N. Frančule i M. Lapainea iz 2008. godine. Većina ispitanika odgovorila je Da, što nije točno. U tom rječniku ne postoji definicija digitalne ortofoto karte, ali postoji definicija ortofotokarte. Uočimo da se ne piše odvojeno ortofoto karta, nego zajedno ortofotokarta.

Zanimljivo je da neki od ispitanika još uvijek misle da ChatGPT uvijek daje točne odgovore i da nikad ne halucinira.

Najlošiji bio je jedan ispitanik koji je od 12 bodova prikupio samo 5, tj. imao je 7 netočnih odgovora.

Nitko nije uspio prikupiti svih 12 bodova. Čestitamo ispitanicima koji su prikupili 11 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 abecednim redoslijedom:

Jurica Jagetić, Dejan Pranjic, Karlo Šimek i Tomislav Trlaja.

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

1. Prvo, hvala svima izlagačima. Meni, kao online pratitelju seminara, nije bilo lako slušati dok su izlaganja bila u dvorani jer je ozvučenje bilo nespretno složeno. Snimke izlaganja i izlaganja uživo (npr. prof. Faričića i docentice Divjak) sam bez problema slušala na kompjuteru i bio mi je baš edukativno, iskoristivo za redovnu nastavu geografije u srednjoj školi. I ono što mi je možda još bilo malo previše je duljina trajanja seminara. Zadnji set, teme odlične, ali koncentracija na minimumu.
2. Skup je možda predugo trajao, a volio bih znati više o LIDARu
3. Hvala na trudu. Skup je bio lijepo i detaljno sadržajno organiziran.
4. Sa svime sam zadovoljan.

5. Najzanimljivije i o čemu bih još htio saznati je LiDAR
6. Budućnost kartografije i kartografa
7. Prekidi prilikom izlaganja.
8. Obradene su sve vrste karata iz svih područja. Stim sam zadovoljna. No međutim to je bilo previše informacija u jednom danu. Hvala. Lijep pozdrav!
9. Tehnička izvedba po pitanju zvuka je bila loša, gotovo ništa se nije čulo. Rezolucija videoprijenosa u nekim momentima jako loša.
10. Izabrane teme su bile zanimljive, međutim pojedina predavanja se gotovo uopće nisu čula.
11. Zanimaju me aeronautičke karte, programi koji se koriste za izradu karata, moderne i stare metode izrada i distribucija karata, očuvanje i reprodukcija povijesnih karata u današnje doba.
12. Sve teme vezane za web kartografiju i javno dostupne karte su bile izuzetno zanimljive, te bih voljela više saznati o tome.
13. Čujnost i razgovjetnost govornika iz zagrebačke dvorane je bila vrlo loša; čulo se isprekidano, ponekad potpuno nerazgovjetno. Snimljena predavanja su sva bila odlična – sve je bilo razgovjetno (za razliku od prošle i prethodne godine kada je bilo užasnih, potpuno nerazgovjetnih snimljenih predavanja). Predavači iz Zadra i Beča su također bili razgovjetni (pretpostavljam da je odabir platforme Teams ove godine zaslužan za sve uspješne snimke i njihov prijenos). Kako i sama dio nastave držim vezano uz internetsku kartografiju, uglavnom su mi pojmovi bili poznati (ne i softveri za praktičan rad). Inače statične i dinamičke karte se dijele na view only i interactiv – ja sam prve prevela kao prikazne (ili samo prikazne), a druge interaktivne karte. Zanima me kako lako skinuti sat. snimak sa Sentinela. Na jednoj radionici smo dobili uvod i pokušaj nečega s ChatGPT-om (u Osijeku je bila kolegica iz Turske preko Erasmus-a) – nismo svladali gradivo. To je bilo u trenutku kada je u Osijeku gorjelo odlagalište plastike, pa je ta znanstvenica pokazala snimke otrovnih oblaka, temper. i sl. – kamo su oblaci otišli, koncentracije.
14. Odličan stručni skup.
15. Zadovoljan sam stručnim skupom.

Na temelju navedenih mišljenja i odgovora možemo zaključiti sljedeće:

Skup u cjelini može dobiti zadovoljavajuću ocjenu uz uvažavanje dobronamjernih savjeta za poboljšanja. Sljedeći skup ne bi smio trajati predugo u jednom danu. Ako bi bilo više prezentacija može ih se podijeliti na dva dana. Svakako treba izbjeći tehničke probleme kako bi svi koji skup prate online mogli pratiti prezentacije bez poteškoća, tj. sve dobro vidjeti i čuti.

Program i sažetci svih predavanja dostupni su u formatu pdf na www.kartografija.hr.

Miljenko Lapaine

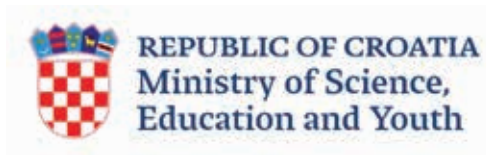
20TH INTERNATIONAL CONFERENCE GEOINFORMATION AND CARTOGRAPHY

Zagreb and online, 5-7. 9. 2024.

U Zagrebu i online održana je 5–7. rujna 2024. godine 20. međunarodna konferencija o geoinformacijama i kartografiji. Organiziranjem te konferencije Hrvatsko kartografsko društvo i Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu željeli su doprinijeti razvoju geoinformatike, kartografije, geodezije, geografije i srodnih područja s posebnim naglaskom na nova dostignuća. Širok izbor tema i renomirani pozvani predavači jamčili su zanimljivost predavanja i suvremen pristup.

Članovi Organizacijskog odbora bili su: Miljenko Lapaine, Marija Brajković, Mia Maras, Dubravka Mlinarić, Marijo Seničić, Krunoslav Špoljar, Marina Viličić, Martina Triplat-Horvat i Robert Župan.

Pokrovitelji su bili Međunarodno kartografsko društvo (International Cartographic Association – ICA) i Ministarstvo znanosti, obrazovanja i mladih (MZOM).



Geomatika d.o.o. bila je zlatni sponzor, a ostali sponzori bili su GeoModeling d.o.o., List-Labs d.o.o. i Zavod za fotogrametriju d.d.



Pozvani predavači bili su:



Prof. Emer. Wolfgang Kainz, professor emeritus kartografije i geografskih informacijskih znanosti s Odjela za geografiju i regionalna istraživanja Sveučilišta u Beču, glavni urednik časopisa ISPRS International Journal of Geo-Information, bivši predsjednik Austrijske kartografske komisije.



Prof. Emer. Evangelos Livieratos s Tehničkog fakulteta Aristotelovog sveučilišta u Solunu (AUTH). Izabran u zvanje redovitog profesora (1979) na Katedri za višu geodeziju i kartografiju Ruralno-geodetskog fakulteta Tehničkog fakulteta AUTH. Autor, organizator i predsjedavajući Povjerenstva za digitalnu kartografsku baštinu ICA-e (2005-2019). Osnivač i urednik međunarodnog web časopisa e-Perimeton.



Prof. Dr. László Zentai je profesor i voditelj Odsjeka za kartografiju i geoinformatiku na Sveučilištu Eötvös Loránd u Budimpešti. Prorektor je sveučilišta. Bio je glavni tajnik i blagajnik ICA-e. Aktivni je orijentacijski sportaš i član Vijeća Međunarodne orijentacijske federacije.

Prva dva dana, 5. i 6. 9. 2024. održava su ova predavanja:

Dino BEČIĆ: Spatial Patterns and Housing Inequalities – An Exploratory Analysis in the City of Zagreb

Wolfgang KAINZ: From GIS and Remote Sensing to Spatial Data Science

Krisztián KERKOVITS: A Low-Distortion Authalic Sphere for Regional Maps

Vinka KOLIĆ BUBIĆ, Valerija FILIPOVIĆ: Hydrographic Institute of the Republic of Croatia – Development and Activities

Miljenko LAPAINE: Hammer Projection

Evangelos LIVIERATOS: The Importance of Cartographic Literacy in GI Science: Maps vs Images

Tome MARELIĆ: Are Portolan Charts and Portolan Mile Geometrically Rooted in Classical Antiquity? Cartometric Analysis of the Carte Pisane, Cortona, Avignon, Lucca Charts, and Al-Shirazi's "Greek Map"

Damir MEDAK, Mario MILER, Luka RUMORA, Dino DOBRINIĆ, Ivan BRKIĆ: The First LiDAR Survey of Croatia – a 3D model for a webGIS

Dubravka MLINARIĆ: Teaching Cartography at Academic Level in Croatia: Preliminary Results

Dušan PETROVIĆ: Archiving Analogue Material of Basic Topographic Plan of Slovenia

Denis RADOŠ, Branimir VUKOSAV, Mislav Stjepan ČAGALJ: Ergonyms Associated with the Name "Dalmatia" in Croatia

Julijan SUTLOVIĆ: A Case Study of Geopolitical Discourse Conflict: Lokrum Island's Geographical Name

Atima THARATIPYAKUL, Haw Yuh LOH, Simon T. PERRAULT, Yong WANG, Michael T. GASTNER: Effectiveness of Large-Language Models in Recognizing Spatially Intensive Statistical Data

László ZENTAI: The European Higher Education Area, the European University Alliances: Chance for Inter- and Multidisciplinary University Programmes, Chance for Cartography and Geoinformatics

Robert ŽUPAN, Stanislav FRANGEŠ: Web Cartography Using AI

Trećeg dana konferencije organiziran je stručni posjet na Medvednicu.

Medvednica je planina u središnjoj Hrvatskoj, sjeverno od Zagreba, koja označava južnu granicu povijesne regije Zagorje. Najviši vrh na nadmorskoj visini od 1035 m je Sljeme. Veći dio područja Medvednice je park prirode. U miocenu i pliocenu planina je bila otok unutar Panonskog mora.

Polazak ture bio je u subotu, 9. rujna 2024. u 10 sati ispred početne stanice žičare.



Na Sljemeni, vrhu Medvednice, vidjeli smo mjesto gdje su nekada bili trigonometar i drvena piramida iznad njega. Prva drvena građevina na Sljemeni podignuta je 1869. godine i služila je kao trigonometar I. reda. Građani su prvi put mogli uživati u pogledu sa Sljemena 1870. godine, kada je šuma na njegovom vrhu potpuno posječena. Iste je godine njemački geodet Nitzl na Sljeme doveo zagrebačke trgovce Lovrenčića i Meška, koje je pogled s planine toliko oduševio da su na njezinu vrhu odlučili sagrađiti čvrstu drvenu piramidu. Iako visoka samo 4 metra, ta je piramida bila prvi objekt u povijesti hrvatskog planinarstva!



Kako je rasla šuma, rasla je i piramida: 1877. godine sagrađena je nova drvena građevina visoka 8 m, a 1889. zamijenjena je željeznim vidikovcem od čak 12 m. Izgradnjom prvog željeznog TV tornja na Sljemenu 1960. godine piramida je postala suvišna pa je preseljena na Japetić u Samoborskoj gori, gdje i danas dočekuje planinare. Godine 1973. projektiran je novi TV toranj. Novi Sljemenski toranj zamišljen je kao raj za posjetitelje željne pogleda u daljinu, s liftom koji bi ih odveo na 81 metar visine do otvorenog vidikovca ili do nešto nižeg kafića s pogledom na sve strane svijeta. Čak je u planu bio i luksuzni restoran s rotirajućom platformom, koji nikada nije izgrađen. Nažalost, toranj je za posjetitelje bio otvoren samo nepune dvije godine, nakon čega su se posjetitelji Sljemena morali zadovoljiti pogledom na Zagorje s vidikovca na vrhu planine. Sljemenski toranj OIV (Odašiljači i veze) danas je jedan od simbola Zagreba, zaštitni znak Medvednice i najviša turistička točka hrvatske metropole koju vrijedi posjetiti i doživjeti. Udaljen je samo 50 m od gornje stanice nove, moderne sljemenske žičare.



Hotel Tomislavov dom je remek djelo hrvatske i svjetske arhitekture tridesetih godina prošlog stoljeća. Izgrađen je 1937. godine prema ideji arhitekta Stjepana Planića kao četverokatna zgrada savršeno uklopljena u prirodni okoliš zahvaljujući tlocrtu u obliku slova Y, prva takve vrste u Hrvatskoj i među prvim u Europi. Tomislavov dom ima ostakljenu blagovaonicu i veliku terasu za sunčanje u zapadnom traktu, primjer skladne upotrebe različitih materijala (kamen i drvo, beton i staklo) karakteristične za zagrebačku školu moderne arhitekture između dva rata. U Tomislavovu domu uživali smo u finom ručku. Povratak u grad žičarom bio je u poslijepodnevnim satima.

Za konferenciju je bilo prijavljeno 79 osoba. Budući da je konferencija bila uključena u program stručnog usavršavanja ovlaštenih inženjera geodezije HKOIG-a, sudionicima konferencije priznato je za sudjelovanje 7 akad. sati iz područja 2.

Detaljan program konferencije i sažetci dostupni su na www.kartografija.hr.

Miljenko Lapaine

STUDENTI GEODETSKOG FAKULTETA DOBITNICI REKTOROVE NAGRADE ZA AKADEMSKU GODINU 2023./2024.

Rektorovu nagradu Sveučilišta u Zagrebu za akademsku godinu 2023./2024. osvojilo je 110 radova u pet kategorija:

- a) Nagrada za individualni znanstveni i umjetnički rad (jedan ili dva autora) – 79 radova
- b) Nagrada za timski znanstveni i umjetnički rad (tri do deset autora) – 12 radova
- d) Nagrada za „veliki“ timski znanstveni i umjetnički rad (više od deset autora) – 5 radova
- e) Nagrada za posebne natjecateljske uspjehe pojedinaca ili timova (na prijedlog člnika sastavnice ili rektora) – 3 rada
- f) Nagrada za društveno koristan rad u akademskoj i široj zajednici (na prijedlog člnika sastavnice ili rektora) – 11 radova.

Unutar navedenih kategorija Rektorove nagrade su podijeljene za devet područja:

- a) Područje biomedicine i zdravstva
- b) Područje biotehničkih znanosti
- c) Područje društvenih znanosti
- d) Područje humanističkih znanosti
- e) Područje prirodnih znanosti
- f) Područje tehničkih znanosti
- g) Umjetničko područje
- h) Interdisciplinarna područja znanosti
- i) Interdisciplinarna područja umjetnosti.

Rektorovu nagradu za akademsku godinu 2023./2024. osvojila su četiri studenta Geodetskog fakulteta: Karlo Stipetić, Antonio Gojak, Josipa Humski i Toni Vučković.

Karlo Stipetić dobitnik je Rektorove nagrade u kategoriji a) Nagrada za individualni znanstveni i umjetnički rad u području tehničkih znanosti za rad: „*Određivanje 3D pomaka stupova i deformacijska analiza kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu*“. Mentor nagrađenog rada je prof. dr. sc. Mladen Zrinjski.

Sažetak rada: „*Deformacijska analiza pruža važna teorijska i primijenjena znanja o topografskoj površini i izgrađenim objektima koji su predmet od interesa. U radu su izloženi rezultati određivanja 3D pomaka geodetskih stupova i deformacijske analize kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Mjerenja u svrhu određivanja pomaka i deformacija obavljena su u rujnu 2023. i veljači 2024., metodom terestričke geodetske izmjere. Definirana je konfiguracija geodetske mreže za posebne namjene, koja se sastoji od deset geodetskih točaka, pri čemu su šest točaka betonski stupovi te četiri dopunske točke od kojih su dvije stabilizirane pomoću bolcni, a dvije pomoću betonskih stupića u razini terena. Pomaci geodetskih stupova kalibracijske baze određeni su u lokalnom koordinatnom sustavu uz pripadna standardna odstupanja. Obrada mjerenja provedena je primjenom softvera Microsoft Excel, a izjednačenje geodetske mreže i deformacijska analiza obavljena su primjenom softvera JAG3D. Primijenjeni postupak i svi rezultati detaljno su objašnjeni te prikazani u numeričkom i grafičkom obliku.*“

Antonio Gojak i Josipa Humski dobitnici su Rektorove nagrade u kategoriji a) Nagrada za individualni znanstveni i umjetnički rad u području tehničkih znanosti za rad: „*Interaktivna kartografska vizualizacija starosne strukture zgrada u Zagrebu*“. Mentor nagrađenog rada je doc. dr. sc. Ana Kuveždić Divjak.

Sažetak rada: „*Urbanizacija se globalno ubrzava, donoseći značajne izazove u planiranju urbanih sredina, posebno u gradovima s velikim brojem starih zgrada. Ovo istraživanje fokusira se na Zagreb, gdje starost zgrada ima ključnu ulogu, ne samo u pitanjima energetske učinkovitosti i očuvanja kulturne baštine, već i u kontekstu visokog rizika od potresa. U Zagrebu, kao i u mnogim drugim gradovima u razvoju, nedostatak integriranih i ažurnih podataka o starosti zgrada predstavlja ozbiljan izazov. Fragmentirani podaci raspoređeni među različitim institucijama otežavaju formiranje sveobuhvatne slike o stanju urbanog prostora, što može usporiti donošenje informiranih odluka o obnovi i revitalizaciji. Ovaj rad razvija strojno čitljiv skup podataka koji integrira geometrijske i atributne informacije o zgradama, prikupljene iz različitih otvorenih izvora i uz suradnju s lokalnim institucijama. Prikupljeni podaci vizualizirani su na interaktivnoj web karti koja omogućuje stručnjacima i općoj javnosti da istraže starosnu strukturu zgrada u Zagrebu kroz različite povijesne periode. Karta je optimizirana za pristupačnost, uključujući prilagodbe za osobe s poremećajem raspoznavanja boja i različite uređaje, uključujući mobilne telefone, te poštuje kartografska načela razvijana desetljećima, uzimajući u obzir perceptivne i kognitivne karakteristike korisnika. Iako je postignut napredak u odnosu na zatečeno stanje, skup podataka koji nastao ovim istraživanjem ne može se smatrati potpunim i konačnim. Identificirani su nedostaci u potpunosti atributnih podataka, što naglašava potrebu za dodatnim izvorima informacija i integracijom podataka iz različitih baza podataka kako bi se postigla veća točnost i cjelovitost. Bez obzira na to, ovo istraživanje doprinosi boljem razumijevanju urbanog razvoja u Zagrebu pružajući vrijedne resurse za stručnjake i javnost. Razvijeni skup podataka i web aplikacija unapređuju transparentnost i učinkovitost urbanističkog planiranja te nude model primjenjiv i na druge gradove.*“

Toni Vučković dobitnik je Rektorove nagrade u kategoriji e) Nagrada za posebne natjecateljske uspjehe pojedinaca ili timova u interdisciplinarnim područjima znanosti za rad: „*Studenti sportaši Sveučilišta u Zagrebu – osvajači zlatnih medalja na svjetskim i europskim sveučilišnim natjecanjima*“.

Svečana dodjela Rektorove nagrade održana je 7. studenoga 2024. godine na Sveučilištu u Zagrebu (u zgradi SEECEL-a). Izložba postera, na kojima su studenti predstavili svoje nagrađene radove, održana je u zgradi SEECEL-a od 7. do 15. studenoga 2024.

Čestitamo uvaženim studentima Geodetskog fakulteta na dobivenoj Rektorovoj nagradi te njihovim mentorima.

Mladen Zrinjski

SVEUČILIŠNI PRVOSTUPNICI (BACCALAUREUSI) INŽENJERI GEODEZIJE I GEOINFORMATIKE

Na sveučilišnom prijediplomskom studiju Geodezija i geoinformatika na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, dana 18. rujna 2024. godine, Završni ispit položilo je 26 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 prijediplomskom studiju Geodezija i geoinformatika Geodetskog fakulteta:

18. rujna 2024.

- | | |
|---------------------|-------------------|
| ▪ Karlo Arambašić | ▪ Ivan Marasović |
| ▪ Lovro Budišin | ▪ Ena Maričić |
| ▪ Katarina Čerina | ▪ Nebojša Miletić |
| ▪ Filip Dautović | ▪ Luka Pavlović |
| ▪ Ena Gardijan | ▪ Nera Peranić |
| ▪ Marta Gospić | ▪ Sven Pleslić |
| ▪ Mislav Jarić | ▪ Patrik Posavac |
| ▪ Dorotea Kalabek | ▪ Lucija Surjan |
| ▪ Karlo Kalafatović | ▪ Mare Valenta |
| ▪ Toni Kordić | ▪ Roko Vekić |
| ▪ Ivana Krulčić | ▪ Paula Vrandečić |
| ▪ Anđela Lonić | ▪ Iva Vučić |
| ▪ Lucija Lovrić | ▪ Antonia Zulim |

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 8. studenoga 2024. godine, na sveučilišnom diplomskom studiju Geodezija i geoinformatika diplomiralo je četvero 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>Maksimilijan Burić</i> "Primjena terestričkog laserskog skeniranja i fotogrametrije za potrebe očuvanja kulturne baštine"	8. 11. 2024., doc. dr. sc. Vanja Miljković
<i>Darko Jeličić</i> "Usporedba simulirane i uspostavljene geodetske mreže za izgradnju nadvožnjaka Hajdina primjenom JAG3D softvera otvorenog koda"	8. 11. 2024., izv. prof. dr. sc. Rinaldo Paar
<i>Mario Perić</i> "Napredna klasifikacija satelitskih snimki za potrebe analize promjena zemljišnog pokrova"	8. 11. 2024., izv. prof. dr. sc. Mateo Gašparović
<i>Marko Vulje</i> "Monitoring kamenoloma Trstenica"	8. 11. 2024., doc. dr. sc. Loris Redovniković

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

Čestitamo novim sveučilišnim magistrima inženjerima geodezije i geoinformatike.

Mladen Zrinjski

	REPUBLIKA HRVATSKA DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA HR-10000 Zagreb, Gruška 20	https://dgu.gov.hr
---	--	---

ODRŽANA KONFERENCIJA SUSTAV KATASTRA INFRASTRUKTURE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Svrha Sustava katastra infrastrukture (SKI) je podrška boljem upravljanju infrastrukturom te održivom razvoju gradova i općina, poruka je prve konferencije o katastru infrastrukture u Republici Hrvatskoj održane 3. listopada 2024. godine u Zagrebu u organizaciji Državne geodetske uprave.



Događanje je okupilo više od 170 sudionika iz cijele Hrvatske uključujući upravitelje i vlasnike infrastrukture, predstavnike tijela državne uprave, jedinica lokalne samouprave te privatnog sektora s ciljem rasprave o ulozi Sustava i mogućnostima primjene podataka.

Konferenciju je otvorio glavni ravnatelj Državne geodetske uprave g. Antonio Šustić te naglasio važnost podataka o postojećoj infrastrukturi kako bi se povećala njena učinkovitost, a posebno u kontekstu doprinosa kvalitetnijem prostornom planiranju, održivom i uravnoteženom razvoju jedinica lokalne i regionalne samouprave te u prevenciji rizika, upravljanju i brzem oporavku od prirodnih katastrofa poput potresa, poplava, šumskih požara i sl.

Sustav katastra infrastrukture i Jedinствена informacijska točka

„Sustav katastra infrastrukture predstavlja jedinstvenu bazu podataka na razini države koja sadrži podatke o infrastrukturi koji se vode u evidencijama vlasnika, odnosno upravitelja infrastrukture i koja je javno dostupna svim građanima“, istaknuo je glavni ravnatelj Šuštić.

U nadležnosti je Državne geodetske uprave osnivanje, vođenje i održavanje katastra infrastrukture, a time i uspostava informacijskog Sustava katastra infrastrukture, čiji je javni dio Jedinствена informacijska točka (JIT). Uspostava JIT-a proizlazi iz Direktive 2014/61/EU Europskog parlamenta i Vijeća prema kojoj je potrebno osigurati pravovremenu dostupnost informacija o postojećoj fizičkoj infrastrukturi te obavijesti o tekućim ili planiranim građevinskim radovima.

Sustav, kao i Jedinствена informacijska točka, uspostavljeni su i primjenjuju se od 2020. godine, nakon što su ostvareni zakonski, tehnički i organizacijski preduvjeti. „U lipnju ove godine, u produkcijski je rad pušten SKI za područje zadnje četiri županije, čime je omogućeno vođenje i održavanje podataka katastra infrastrukture u jedinstvenom sustavu za područje svih hrvatskih županija i Grada Zagreba“, dodao je glavni ravnatelj Šuštić.

Vrste podataka unutar Sustava katastra infrastrukture

U katastru infrastrukture evidentiraju se vodovi i drugi objekti koji pripadaju elektroničko-komunikacijskim, elektroenergetskim, toplovodnim, naftovodnim, plinovodnim, vodovodnim i odvodnim mrežama. SKI sadržava podatke o vrstama, odnosno namjeni, osnovnim tehničkim karakteristikama, trenutačnom korištenju i položaju izgrađene infrastrukture te imenima/nazivu i adresama njihovih vlasnika, odnosno upravitelja.

Trenutno su uneseni podaci o 143.130 km elektroenergetske, 182.000 km elektroničko-komunikacijske, 210 km toplovodne, 16.400 km plinovodne, 620 km naftovodne, 13.280 km odvodne i 36.600 km vodovodne infrastrukture na području Republike Hrvatske. Ukupno je u Sustavu evidentirano oko 15 milijuna objekata kao što su vodovi, priključci, stupovi, trafostanice, hidranti, zdenci i sl.

SKI se sastoji od privatnog dijela kojeg službenici katastarskih ureda koriste za osnivanje, vođenje i održavanje katastra infrastrukture te javnog dijela – spomenute Jedinствене informacijske točke – putem koje se vanjskim korisnicima omogućava pretraživanje prostornih podataka katastra infrastrukture, obavijesti o građevinskim radovima, podnošenje zahtjeva za izdavanje podataka i javnih isprava te predaja digitalnog geodetskog elaborata infrastrukture.

Sustav trenutno koristi 769 ovlaštenih inženjera geodezije i preko 30.000 ostalih korisnika registriranih preko Nacionalnog identifikacijskog i autentifikacijskog sustava, a očekuje se kako će se te brojke u idućem razdoblju i povećati, rečeno je na konferenciji.

Koristi i potencijali primjene podataka Sustava katastra infrastrukture

Sustav katastra infrastrukture ključan je alat za unaprjeđenje upravljanja infrastrukturom u Republici Hrvatskoj koji donosi brojne koristi za građane, poduzeća i javne institucije. Ova jedinstvena baza obuhvaća sve vrste infrastrukture na nacionalnoj razini, čime omogućuje bolju koordinaciju građevinskih radova, smanjenje troškova te dugoročno planiranje projekata.

Javna dostupnost podataka omogućuje građanima i zainteresiranim korisnicima uvid u postojeću infrastrukturu i nadolazeće projekte, dok digitalizacija procesa ubrzava pre-

daju i izdavanje geodetskih dokumenata. Standardizacija podataka olakšava njihovu analizu i širu primjenu. Osim toga, SKI ima važnu ulogu u prevenciji i upravljanju rizicima te bržem oporavku od prirodnih katastrofa, a podaci su korisni za efikasno prostorno planiranje i optimizaciju resursa.

Sve ove funkcionalnosti potvrđuju važnost Sustava u podršci održivom razvoju, sigurnosti i boljem upravljanju infrastrukturom, što u konačnici doprinosi kvaliteti života i sigurnosti građana.

Pogledajte promotivni film o Sustavu katastra infrastrukture koji prikazuje sve planirane aktivnosti i ciljeve koji su u međuvremenu uspješno realizirani. Film je izrađen 2020. godine u sklopu projekta uspostave Sustava katastra infrastrukture sufinanciranog sredstvima Europske unije iz Europskog fonda za regionalni razvoj, u okviru Operativnog programa Konkurentnost i kohezija 2014.-2020.

Održana Generalna skupština Europskog vijeća geodeta – CLGE

Generalna skupština Europskog vijeća geodeta – CLGE održana je od 10. do 12. listopada 2024. godine u norveškom gradu Stavangeru. U okviru Generalne skupštine, zamjenica glavnog ravnatelja Državne geodetske uprave Maja Pupačić, održala je zapaženu prezentaciju „Multi-Annual Cadastral Survey Program in Construction Areas for the 2021-2030 Period“.

U svom se izlaganju osvrnula na povijesni kontekst razvoja katastra u Republici Hrvatskoj, a naglasak je stavila na aktualni „Višegodišnji program katastarskih izmjera građevinskih područja za razdoblje 2021. – 2030.“, kapitalni projekt koji se provodi u Republici Hrvatskoj, a donio ga je Hrvatski sabor. Istaknula je pozitivne gospodarske učinke Programa, prije svega na intenziviranje tržišta nekretnina i povećanje njihove vrijednosti na temelju uređenih katastarskih i zemljišno-knjižnih evidencija. Isto tako, naglasila je i pozitivne učinke na razvoj same geodetske struke.

Također, zamjenica Pupačić je sudjelovala na okruglom stolu održanom u sklopu Generalne skupštine, a čija tema je bila „Norveški katastar s komparativnim pogledom na okruženje“. Europsko vijeće geodeta – CLGE na ovoj je Generalnoj skupštini izabralo novo predsjedništvo koje će u iduće četiri godine predvoditi g. Nicolas Smith iz Francuske. Podsjetimo, u prethodna dva mandata, ovu je važnu funkciju obnašao g. Vladimir Krupa iz Hrvatske. Njegovo je vodstvo obilježeno uključivanjem značajnog broja novih korporativnih i institucionalnih članova te stalnim nastojanjima za standardizacijom stručnih djelatnosti u europskim državama zbog čega su delegati njegov rad ocijenili iznimno uspješnim. Državna geodetska uprava čestita kolegi Vladimiru Krupi na značajnom doprinosu tijekom oba mandata.

U radu Generalne skupštine, u ime Državne geodetske uprave, koja je korporativni član CLGE-a, sudjelovali su zamjenica glavnog ravnatelja Maja Pupačić i dr. sc. Ilija Grgić, korespondent DGU-a prema CLGE-u. Sudjelovanjem na Generalnoj skupštini, Državna geodetska uprava predstavlja geodetske aktivnosti Republike Hrvatske europskoj stručnoj javnosti, jača suradnju s drugim sličnim institucijama u Europi te daje doprinos prepoznatljivosti i važnosti geodetske struke u Europi i svijetu.

O Europskom vijeću geodeta – CLGE

Europsko vijeće geodeta (*The Comité de Liaison des Géomètres Européens* – CLGE) osnovano je 1962. godine, a misija mu je zastupati interese geodetske struke u privatnom i javnom sektoru u Europi kroz promicanje i razmjenu tehničkog, znanstvenog, obrazovnog i organizacijskog znanja među članicama.



Izvor fotografije: CLGE

CLGE zastupa i promovira geodetsku struku u Europi kroz Stalni forum za geodetske izvoditelje u Europi, predanost suradnji i partnerstvu unutar struke u Europi, međunarodnu razmjenu znanja među stručnjacima, pružanje savjetodavnih usluga zemljama članicama, nacionalnim udrugama i Europskoj uniji te kontinuirano unaprjeđenje profesionalnih standarda u zemljama članicama.

DGU na Danima Infrastrukture prostornih podataka FBiH: predstavljen doprinos NIPP-a zelenoj i digitalnoj tranziciji

Konferencija Dani infrastrukture prostornih podataka Federacije Bosne i Hercegovine održana je 17. i 18. listopada 2024. u gradu Neumu (BiH), u organizaciji Federalne uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove, koordinacijskog tijela Infrastrukture prostornih podataka FBiH.

Državnu geodetsku upravu (DGU) na ovoj su konferenciji predstavljali glavni ravnatelj g. Antonio Šustić, tajnica Kabineta glavnog ravnatelja gđa. Sanja Zekušić, voditelj Službe za Nacionalnu infrastrukturu prostornih podataka (NIPP) g. Tomislav Ciceli i viša savjetnica – specijalistica gđa. Tanja Rodin.

Cilj konferencije, koja se održava po peti puta, bio je okupiti ključne dionike iz javnog i privatnog sektora, akademske zajednice te geodetskih uprava i agencija iz Bosne i Hercegovine te regije. Raspravljalo se o sadašnjim izazovima i budućnosti geoprostornih tehnologija te njihovom utjecaju na društvo.

Zapaženo izlaganje pod nazivom „NIPP: Infrastruktura za zelenu i digitalnu tranziciju“ održao je g. Tomislav Ciceli, voditelj Službe za NIPP iz DGU-a, u okviru tematske cjeline „Primjeri dobre prakse korištenja prostornih podataka u svrhu zaštite okoliša“.

Konferencija je okupila oko 100 sudionika iz 58 različitih institucija. Sudionici su izrazili zadovoljstvo kontinuiranom organizacijom promotivnog i edukativnog sadržaja u području Infrastrukture prostornih podataka kao ključnog faktora u jačanju međuinstitucionalne suradnje i razmjene stručnih znanja i informacija.



Među glavnim zaključcima konferencije naglašeni su transparentnost, točnost i pouzdanost prostornih podataka kao temeljni faktori za održivi razvoj i zaštitu okoliša. Precizni i dostupni podaci omogućuju odgovorno prostorno planiranje te dugoročno očuvanje prirodnih resursa. Istaknuta je i važnost aktivnog uključivanja privatnog sektora u razvoj Infrastrukture prostornih podataka, dok akademska zajednica, kroz istraživanje i inovacije, značajno doprinosi napretku tehnologija i obrazovanju novih stručnjaka, što osigurava održivost IPP-a u eri brzih tehnoloških promjena.

DGU predstavio aktivnosti i planove na 17. simpoziju ovlaštenih inženjera geodezije

Od 23. do 26. listopada 2024. godine, Poreč je bio domaćin 17. godišnjeg simpozija ovlaštenih inženjera geodezije pod nazivom „Praktična znanja budućnosti u geodeziji i geoinformatici“. Ovaj događaj, koji organizira Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije (HKOIG) u suradnji s Council of European Geodetic Surveyors (CLGE), okupio je stručnjake iz cijele Hrvatske kako bi razmijenili znanja i iskustva o aktualnim temama, novim tehnologijama i praksama u geodeziji.

U ime Ministarstva prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, sudionicima se obratila državna tajnica Sanja Bošnjak, a u ime Državne geodetske uprave, glavni ravnatelj Antonio Šuštić. Tom se prigodom osvrnuo na utjecaj tehnologije na daljnji razvoj geodetske struke te važnost prostornih podataka u svim područjima ljudske djelatnosti, pa tako i za razvoj gospodarstva države. „Održivo je ono gospodarstvo koje koristi podatke kao osnovu ili bazu za razvoj, rast i inovacije. U ovakvom gospodarstvu, podaci se koriste za donošenje odluka, optimizaciju poslovanja, stvaranje novih proizvoda i usluga te prepoznavanje i iskorištavanje novih poslovnih prilika“, istaknuo je u uvodnom govoru.

Značajan interes sudionika privukla je tematska cjelina posvećena Državnoj geo-

detskoj upravi, u okviru koje su predstavljene trenutne aktivnosti i budući planovi, uključujući Višegodišnji program službene državne kartografije. Ovim će se Programom unaprijediti sustav izrade i ažuriranja službenih državnih karata svih mjerila, a glavni ravnatelj DGU-a Šustić naglasio je *višestruke koristi za građane te javni i privatni sektor u kontekstu prostornog planiranja i upravljanja prostorom, kao i zaštite okoliša te upravljanja krizama.*

Sudionici su imali prilike čuti detalje o multisenzorskom zračnom snimanju Republike Hrvatske koje omogućava preciznije prikupljanje podataka i njihovu bolju analizu, o čemu je govorio dr. sc. Marijan Marjanović, načelnik Sektora za državnu izmjeru DGU-a.

Izlaganje o službenom topografsko-kartografskom informacijskom sustavu STOKIS koji se koristi za prikupljanje, obradu i distribuciju topografskih i kartografskih podataka održao je Igor Vilus, voditelj Službe za topografsku izmjeru i državne karte DGU-a te pokazao zanimljive primjere automatskog generiranja topografskih karata.

Načelnica Sektora za katastar infrastrukture, nadzor i geodetsku inspekciju DGU-a Ariana Bakija Lopac održala je predavanje o *ustopavi i ulozi Sustava katastra infrastrukture u upravljanju prostorom i resursima, planiranju razvoja i održavanju infrastrukture, s posebnim fokusom na koristi i mogućnosti primjene sustava SKI za ovlaštene inženjere geodezije.*

Program Simpozija, među ostalim, obuhvatio je raznovrsna predavanja, panel rasprave i radionice, s ciljem razmjene znanja i iskustava među stručnjacima. Ove godine simpozij je bio usmjeren na nekoliko ključnih tema, uključujući panel rasprave: „Prostorni podaci kao preduvjet brownfield i greenfield investicija» te „Umjetna inteligencija“. Kroz tematske cjeline raspravljalo se o novim pristupima u uređenju zemljišta i mora, primjeni multisenzorskog snimanja za izradu geodetskih podloga, kao i modernizaciji studijskih programa u području geodezije i geoinformatike. Jedna od najvažnijih tema bila je digitalizacija prostora i umjetna inteligencija, s naglaskom na klimatske promjene i njihov utjecaj na prostorno planiranje.



Potpisan Sporazum o izradi DOF5 u 2025. i 2026. godini

Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju i Državna geodetska uprava potpisali su 31. listopada 2024. godine Sporazum o izradi digitalnih ortofotokarata u mjerilu 1:5000 (DOF5) u 2025. i 2026. godini.

Sporazum su potpisali Glavni ravnatelj Državne geodetske uprave Antonio Šustić i v. d. ravnatelja Agencije za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju Saša Bukovac.

Digitalne ortofotokarte u mjerilu 1:5000 koriste se za poslovne potrebe održavanja i nadogradnje Integriranog Administrativnog i Kontrolnog Sustava (IAKS), kao i za uspostavu i održavanje Hrvatskog zemljišnog informacijskog sustava – (CROLIS) Croatian Land Information System, što Agenciji omogućuje pravovremenu provedbu svih ključnih procedura i aktivnosti koje se uvijek oslanjaju na grafičke podatke iz ARKOD-a.

Sve navedeno u značajnoj će mjeri omogućiti brže, bolje i kvalitetnije sistemsko ažuriranje ARKOD-a pa samim time i učinkovitiju provedbu ostalih procesa.

Predstavnici Agencije za geodeziju, kartografiju i katastar Republike Moldove posjetili DGU

Predstavnici Agencije za geodeziju, kartografiju i katastar Republike Moldove (Agency for Geodesy, Cartography and Cadastre of the Republic of Moldova) od 5. do 7. studenoga 2024. godine boravili su u studijskom posjetu Državnoj geodetskoj upravi s ciljem razmjene iskustava te informiranja o Sustavu katastra infrastrukture u Republici Hrvatskoj.



Prvog dana posjeta održan je sastanak u prostorijama Državne geodetske uprave, gdje je delegaciju, u ime Državne geodetske uprave, pozdravila zamjenica glavnog ravnatelja, gđa Maja Pupačić. Tijekom trodnevnog posjeta, održano je nekoliko sastanaka na kojima su ispred DGU-a sudjelovali: tajnica Kabineta glavnog ravnatelja, gđa Sanja Zekušić, načelnica Sektora za katastar infrastrukture, nadzor i geodetsku inspekciju DGU-a, gđa Ariana Bakija Lopac, pročelnik Područnog ureda za katastar Vukovar g. Ivica Ivšić i voditelj Službe za katastar infrastrukture g. Ante Rupiće dok su Agenciju za geodeziju, kartografiju i katastar Republike Moldove predstavljali: zamjenik glavnog direktora g. Ion Crețu, načelnik Odjela za katastar nekretnina g. Lilian Mindov, zamjenica načelnika Odjela za katastar nekretnina gđa Cristina Telpiz-Burlac te predstavnik tvrtke ROITE Administration Section gđa Vladlena Prisăcari i direktor tvrtke Manager S.E. INGEOCAD g. Valeriu Filenco.

Delegaciji moldovske Agencije predstavljena je uloga, struktura i spektar aktivnosti DGU-a u kontekstu upravljanja prostornim podacima u Republici Hrvatskoj. Sudionici su se također imali priliku detaljnije informirati o Sustavu katastra infrastrukture u Republici Hrvatskoj te Jedinствenoj informacijskoj točki kao i načinu na koji Sustav doprinosi boljem upravljanju infrastrukturnim podacima, digitalizaciji procesa i unaprjeđenju prostornog planiranja. Predstavljen je zakonski okvir, ključne funkcionalnosti Sustava, izazovi u njegovoj implementaciji te koristi koje pruža korisnicima i javnim tijelima.

Tijekom trodnevnog posjeta, delegacija moldovske Agencije posjetila je i predstavnike upravitelja infrastrukture u području telekomunikacija i vodoopskrbe kako bi stekli sveobuhvatniji uvid u praktičnu primjenu Sustava katastra infrastrukture. Razmjena iskustava s predstavnicima upravitelja infrastrukture omogućila je kolegama iz Republike Moldove da se upoznaju s načinima prikupljanja, održavanja i ažuriranja infrastrukturnih podataka te izazovima s kojima se susreću ključni dionici u svakodnevnom radu.

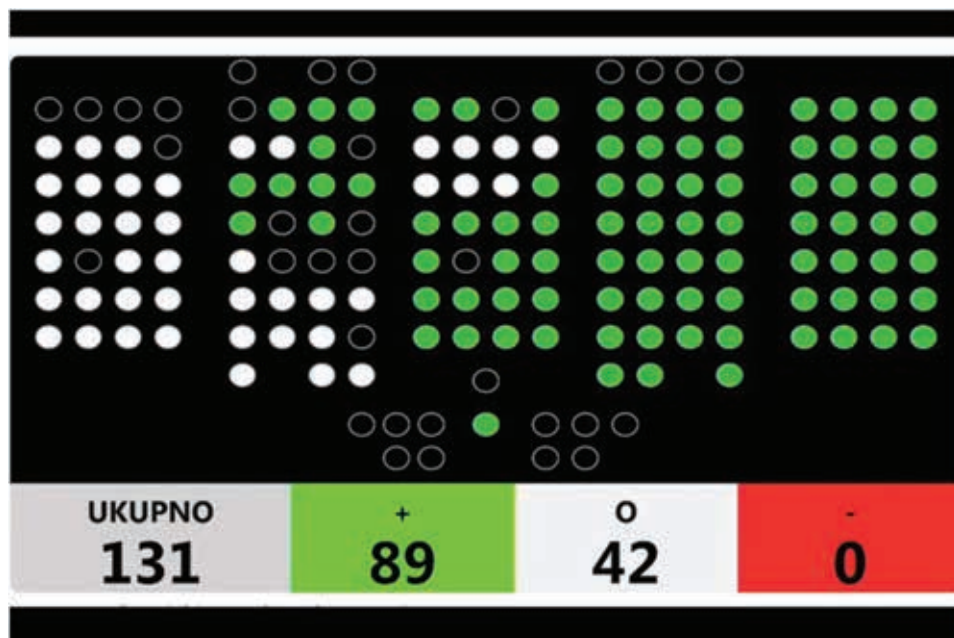
Predstavnici moldovske delegacije izrazili su zadovoljstvo dobivenim informacijama te istaknuli njihovu vrijednost za daljnji razvoj sustava katastra infrastrukture u Moldovi.

Studijski posjet Agencije za geodeziju, kartografiju i katastar Republike Moldove nastavak je suradnje dviju institucija uspostavljene tijekom twinning projekta „Poboljšanje usluga prostornih podataka u Republici Moldaviji prema standardima EU-a“, koji se provodio od 1. rujna 2020. do 31. listopada 2023. godine. Konzorcij koji je vodio DGU, a u kojemu su sudjelovale geodetske uprave Nizozemske i Poljske, Agencija za poduzetništvo Kraljevine Nizozemske, hrvatska Središnja agencija za financiranje i ugovaranje programa i projekata EU i Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, provodio je aktivnosti usmjerene na unapređenje nacionalne infrastrukture prostornih podataka Republike Moldove te izradu prijedloga reorganizacije Agencije i cjelokupnog geodetsko-katastarskog sektora.

Početkom listopada 2023. godine glavni ravnatelji DGU-a Antonio Šustiće i direktor moldovske Agencije g. Ivan Danii potpisali su Memorandum o razumijevanju i suradnji, čime je potvrđena obostrana želja za nastavkom uspješne suradnje i u budućnosti.

Hrvatski sabor usvojio Konačni prijedlog zakona o izmjenama i dopunama Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina

Hrvatski je sabor, većinom glasova (89 za, 42 suzdržanih i 0 protiv), usvojio Konačni prijedlog zakona o izmjenama i dopunama Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina na 4. sjednici održanoj 13. prosinca 2024. godine.



Podsjećamo, Vlada Republike Hrvatske usvojila je Nacrt konačnog prijedloga ovog Zakona na svojoj 44. sjednici održanoj 28. studenoga 2024. godine te ga podnijela Hrvatskom saboru.

Najvažnije zakonske promjene odnose se na odredbe koje propisuju postupak katastarske izmjere, a koja predstavlja temelj za sustavnu obnovu, odnosno osnivanje zemljišnih knjiga kao i uspostavu novog katastarskog operata, te u konačnici, Baze zemljišnih podataka. Uvode se promjene u načinu prikupljanja podataka o katastarskim česticama i osobama koje sudjeluju u postupcima katastarske izmjere. Definiraju se postupci obavješćavanja, pozivanja i sudjelovanja svih osoba koje sudjeluju ili imaju interes sudjelovati u tim postupcima. Nadalje, detaljno se propisuju radnje u izradi, pregledu i potvrđivanju geodetskih elaborata. Ovim Zakonom propisuje se da se katastarski operat otvara istovremeno s otvaranjem zemljišne knjige te se usklađuju postupci s onima propisanim Zakonom o zemljišnim knjigama.

Navedene izmjene utjecat će na osiguravanje suvremenog i učinkovitog sustava zemljišne administracije, a koji doprinosi povećanju pravne sigurnosti u postupanju s nekretninama, potiče i ubrzava procese ulaganja te poboljšava funkcioniranje tržišta nekretnina.

Održane radionice za ovlaštene inženjere geodezije

Državna geodetska uprava, u suradnji s Hrvatskom komorom ovlaštenih inženjera geodezije i Hrvatskom udrugom poslodavaca, organizirala je dvanaest informativno-edukativnih radionica tijekom prosinca 2024. godine. Cilj radionica bio je informirati ovlaštene inženjere geodezije o izmjenama i dopunama Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina te osigurati razumijevanje i pravilnu primjenu novih zakonskih odredbi.



Naime, Hrvatski je sabor usvojio Konačni prijedlog zakona o izmjenama i dopunama Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina 13. prosinca 2024. godine. Najvažnije zakonske promjene odnose se na odredbe koje propisuju postupak katastarske izmjere, a koja je temelj za osnivanje zemljišnih knjiga, kao i uspostavu novog katastarskog operata, u konačnici i Baze zemljišnih podataka. Ove promjene imaju za cilj učinkovitije provođenje mjera za unaprjeđenje zemljišne administracije. Također, Zakonom se detaljnije propisuju radnje u postupku izrade, pregleda i potvrđivanja geodetskih elaborata, čime se dodatno osiguravaju i štite prava i obveze svih stranaka uključenih u proces. Nastavno na radionice na kojima je sudjelovalo oko 300 djelatnika Državne geodetske uprave (pročelnika područnih ureda za katastar i katastarskih službenika), radionice za ovlaštenike održane su 12., 16. i 17. prosinca 2024. godine u četiri grada: Zagrebu, Splitu, Rijeci i Požegi. U svakom gradu održane su po tri radionice, a ukupno je sudjelovalo 440 ovlaštenih inženjera geodezije. Kroz interaktivne rasprave sudionici su imali priliku detaljno se upoznati s novim zakonskim odredbama te iznijeti svoja pitanja i prijedloge.

Objavljen novi broj biltena Vizura

Državna geodetska uprava objavila je novo izdanje informativnog biltena Vizura za razdoblje od listopada do prosinca 2024. godine. U ovom broju donosimo pregled ključnih aktivnosti i događanja iz proteklog razdoblja.



Posebno ističemo mjernu GNSS kampanju CROREF/CRODYN 2024, u koju su bile uključene EUREF i CRODYN točke s ciljem praćenja i kontrole geodetskih točaka koje čine osnovnu GNSS mrežu Republike Hrvatske. Uz to, izdanje donosi pregled održane konferencije o Sustavu katastra infrastrukture, na kojoj se raspravljalo o daljnjem razvoju i potencijalima primjene infrastrukturnih podataka.

U biltenu možete pročitati i članak o suradnji Državne geodetske uprave s Hrvatskom gorskom službom spašavanja, koji donosi informacije o korištenju prostornih podataka za unaprjeđenje zaštite i sigurnosti građana.

Donosimo i intervju na temu reforme državne uprave te retrospektivu povodom 25. obljetnice donošenja Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, koji je postavio temelje suvremenog katastra u Hrvatskoj.

Uz pregled ovih i drugih tema, bilten donosi i vijest o usvajanju Konačnog prijedloga zakona o izmjenama i dopunama Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, što će doprinijeti uspostavi učinkovitijeg sustava zemljišne administracije u Republici Hrvatskoj.

Pozivamo vas da nas čitate i saznate više!



Hrvatska komora
ovlaštenih inženjera
geodezije

IZABRANO NOVO RUKOVODSTVO HRVATSKE KOMORE OVLAŠTENIH INŽENJERA GEODEZIJE

Nakon provedenih izbora za predstavnike u Skupštini Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije, održana je u utorak 10. prosinca 2024. konstituirajuća sjednica Skupštine Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije u mandatu 2024. – 2028. na kojoj su verificirani mandati novoizabranih predstavnika u Skupštini.



Predstavnici u Skupštini i članovi Nadzornog odbora HKOIG u mandatu 2024-2028.



Za predsjednika HKOIG izabran je Vedran Car, mag. ing. geod. et geoinf.

Imenovani su predsjednik i članovi Nadzornog odbora HKOIG: Robert Klojčnik, Branko Manojlović i Jeronim Moharić, članovi Upravnog odbora HKOIG: Adrijan Jadro, Dinko Mikičić, Filip Pavelić i Jelena Rebić Dubravica, te članovi Odbora za upis HKOIG: Adrijan Jadro, Antonio Luketić, Dražen Piskor i Tina Smoljan.

Više o ovoj temi dostupno je na mrežnim stranicama HKOIG <https://www.hkoig.hr/> u poglavlju Izbori HKOIG 2024.

Vedran Car, predsjednik HKOIG

Održan 17. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije

U organizaciji Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije održan je u Poreču od 23. do 26. listopada 2024. godine 17. SIMPOZIJ OVLAŠTENIH INŽENJERA GEODEZIJE pod nazivom „Praktična znanja budućnosti u geodeziji i geoinformatici“.

Simpozij je organiziran u suradnji s Europskim vijećem geodeta – CLGE, a pod pokroviteljstvom Predsjednika Republike Hrvatske, Ministarstva prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i ribarstva, Državne geodetske uprave i Grada Poreča – Parenzo.



Svečano otvorenje 17. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije

Kroz četiri sesije i 18 pojedinačnih predavanja obrađene su teme: Novi pristupi uređenju zemljišta i mora, Edukacija i regulatorne smjernice u praksi, International practice in EU and non-EU countries te Digitalizacija prostora i umjetna inteligencija.

Posebne blokove predavanja održali su Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine te Državna geodetska uprava.

Pozornost sudionika izazvale su zanimljive rasprave na dva okrugla stola s temama: Prostorni podaci kao preduvjet brownfield i greenfield investicija te Umjetna inteligencija (AI).

Deset stručnih radova predstavljeno je putem poster prezentacija a sponzori Simpozija održali su pet vrlo posjećenih prezentacija.

Simpozij je održan po hibridnom modelu, uz prisustvovanje preko 1300 sudionika, uživo u Poreču i putem video streama.

Videosnimke Simpozija te Zbornik radova dostupni su na mrežnim stranicama HKOIG <https://www.hkoig.hr/> u poglavljima Videoteka i Izdanja HKOIG.

Za članove HKOIG produljen pristup portalu Zakon.hr

Od 2021. godine za članove HKOIG omogućen je besplatan pristup sadržajima internetskog portala Zakon.hr – usmjerenog na prikupljanje svih zakona Republike Hrvatske te podzakonskih akata, izradu pročišćenih tekstova, njihovo sortiranje i smisljeno povezivanje s relevantnim izvorima informacija.

Ova usluga produljena je za idućih godinu dana a za korištenje vrijede isti pristupni podaci koje su članovi koristili do sada. Članovi koji pristupne podatke nisu dobili ili ih ne mogu pronaći trebaju se obratiti Tajništvu HKOIG putem kontakt podataka navedenih na mrežnim stranicama HKOIG <https://www.hkoig.hr>.

Korištenjem ove usluge članovi HKOIG imaju pristup:

- Svim važećim zakonima RH (uključujući pročišćene verzije)
- Arhivi svih verzija pojedinog zakona za desetak godina unatrag
- Pročišćenim podzakonskim propisima
- Sudskoj praksi sa svih sudova u RH
- Pročišćenim EU propisima razine zakona (Direktive i Uredbe koje su donijeli EU Parlament i Vijeće)
- Sudskoj praksi suda EU – bavi se pravom koje stvara EU
- Sudskoj praksi Europskog suda u Strasbourg – nadležan za kontrolu presuda hrvatskih sudova i javnopravnih tijela prema Europskoj konvenciji o ljudskim pravima
- Međunarodnim ugovorima – također izvor prava i obveza za pojedince i organizacije.

Donesen Godišnji program stručnog usavršavanja HKOIG za 2025.

Na sjednici održanoj 26. studenoga 2024. godine Upravni odbor Hrvatske komore ovlaštenih inženjera geodezije donio je Godišnji program stručnog usavršavanja HKOIG za razdoblje od 1.1.2025. do 31.12.2025.

Program je dostupan na mrežnim stranicama HKOIG <https://www.hkoig.hr/> u poglavlju Akti Komore/Stručno usavršavanje.

OBJAVLJENO 150. GODIŠTE ČASOPISA *JOURNAL OF SURVEYING ENGINEERING*

Istražujući duljinu izlazenja geodetskih časopisa ustanovio sam da je američki časopis *Journal of Surveying Engineering* najstariji geodetski časopis na svijetu (Frančula 2019). U tom sam tekstu napisao: “Američki časopis *Journal of Surveying Engineering* počeo je izlaziti 1873. pod nazivom *Proceedings of the American Society of Civil Engineers: papers and discussions*. Od 1956. do 1982. izlazio je pod nazivom *Journal of the Surveying and Mapping Division*, od 1983. do 2012. pod nazivom *Journal of Surveying Engineering ASCE* i potom pod današnjim nazivom. Od 1997. izdavač je *American Society of Civil Engineering (ASCE) Geomatics Division*. Po našim je saznanjima to najstariji geodetski časopis jer 2019. izlazi 145. godište” (Frančula 2019).

Prema tome 2024. izlazi 150. godište. Tim povodom objavljen je u broju 4 iz 2024. godine tekst: 150 years of the *Journal of Surveying Engineering* (Leick i dr. 2024). U tom tekstu

glavni urednici časopisa u posljednjih 40 godina opisuju sve važne promjene koje su se događale u struci i kako je časopis na njih reagirao.

S mrežnih stranica časopisa (<https://ascelibrary.org/journal/jsued2>) navodim u prijevodu na hrvatski popis područja koja časopis pokriva: „Časopis *Journal of Surveying Engineering* pokriva širok spektar aktivnosti u području izmjere i kartiranja koje se susreću u suvremenoj geomatičkoj praksi. Uključuje tradicionalne teme kao što su izmjere građevinskih objekata, geodetske i kontrolne izmjere, fotogrametrijsko kartiranje, iskolčavanje, mjerenje deformacija, precizno aliniranje, katastarsku izmjeru, račun izjednačenja, analizu nesigurnosti i hidrografske izmjere. Također uključuje novije razvoje važne za inženjersku zajednicu u području geodetske izmjere: 3D lasersko skeniranje/lidar; fotogrametriju poboljšanu računalnim vidom; napredne tehnologije topografskog i batimetrijskog kartiranja; satelitsko pozicioniranje; daljinsko istraživanje; dizajn prostornih baza podataka; osiguravanje kvalitete; upravljanje informacijama unutar geografskih informacijskih sustava (GIS); informacijsko modeliranje građevina (BIM) i platforme za integrirano upravljanje građevinama; računalne aplikacije koje uključuju modeliranje, strukture podataka, algoritme i obradu informacija; digitalno kartiranje; koordinatne sustave; kartografske prikaze i ulogu geodetskih stručnjaka u geoinformacijskom društvu. S obzirom na širok opseg različitih aspekata geomatike, svi priloženi rukopisi koji se razmatraju za objavu moraju pokazati jasan napredak unutar područja geodetskog inženjerstva i relevantnost za to područje.“

Časopis objavljuje četiri broja godišnje, a u *Web of Science (SCIE)* uvršten je od 1974. godine.

Kada je riječ o najstarijim geodetskim časopisima treba reći da je njemački časopis *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* počeo izlaziti 1872. pod nazivom *Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv)*. Redovito je izlazio do 1944. godine (73. godište), a 74. godište izašlo je 1949. Od 2006. izlazi pod današnjim nazivom (Frančula 2019) i 2024. izlazi 149. godište.

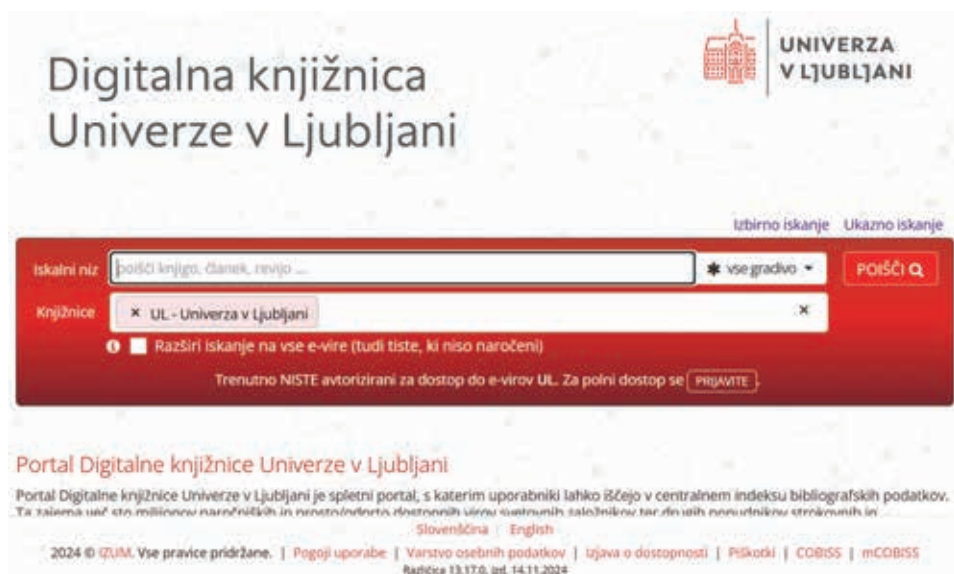
Literatura

- Frančula, N. (2019): Geodetski list među najstarijim geodetskim časopisima na svijetu, *Geodetski list*, 73 (96), 4, 387–393, <https://hrcak.srce.hr/clanak/413128>, (13. 10. 2024.).
- Leick, A., Burkholder, E. F., Burtch, R. C., Soler, T., Olsen, M. J., Baselga, S. (2024): 150 years of the Journal of Surveying Engineering, *Journal of Surveying Engineering*, 150, 4, 120–129, <https://doi.org/10.1061/JSUED2.SUENG-1546>, (14. 10. 2024.).

Nedjeljko Frančula

DIGITALNA KNJIŽNICA SVEUČILIŠTA U LJUBLJANI

Portal Digitalne knjižnice Sveučilišta u Ljubljani (Digitalna knjižnica Univerze v Ljubljani – DiKUL) je mrežni portal kojim se korisnici mogu služiti za pretraživanje središnjeg indeksa bibliografskih podataka. To uključuje stotine milijuna pretplata i besplatnog/otvorenog pristupa izvorima globalnih izdavača i drugih pružatelja stručnih i znanstvenih informacija iz svih znanosti (<https://plus.cobiss.net/cobiss/ul/sl/bib/search?db=ul&ds=true>).



Slika 1. Dio naslovne stranice portala Digitalne knjižnice Univerze v Ljubljani.

Pretraživanje i pregled bibliografskih podataka te cjelovitih tekstova u otvorenom pristupu dostupno je svima, ali pristup cjelovitim tekstovima publikacija koje naručuju knjižnice Sveučilišta u Ljubljani uglavnom je dopušten samo studentima, nastavnom osoblju i znanstvenim radnicima Sveučilišta u Ljubljani.

I pored navedenih ograničenja u pristupu cjelovitim tekstovima, portal DiKUL može biti koristan i znanstvenicima iz Hrvatske. Naime, CroRIS koji je 7. srpnja 2023. zamijenio CROSBİ još uvijek ne omogućuje napredno pretraživanje, a među filterima koje nudi nema filtera prema ključnim riječima. Prema ključnim riječima može se pretraživati cjelokupni sadržaj, ali ne i radove pojedinog znanstvenika. U vlastitom radu, pišući o bilo kojoj temi npr. *aspect (of map projections)*, DiKUL-om se poslužim da vidim što sam do sada o tome napisao. Budući da su svi moji tekstovi u DiKUL-u u otvorenom pristupu, dostupni su mi cjeloviti tekstovi.

Nedjeljko Frančula

2025

SIJEČANJ

The International Conference on Engineering, Technology and Sciences*Cairo, Egypt, 21.-23. 1.*Web: <https://icets25.conferences.ekb.eg/>E-mail: waheed.sabry@gei.edu.eg

VELJAČA

1st International Conference on Drones and Unmanned Systems – DAUS' 2025*Granada, Spain, 19.-21. 2.*Web: <https://daus-conference.com/>E-mail: daus@sensorsportal.com

TRAVANJ

FIG Working Week 2025*Brisbane Australia, 6.-10. 4.*Web: <https://www.fig.net/fig2025/>E-mail: fig@fig.net**6th Joint International Symposium on Deformation Monitoring – JISDM 2025***Karlsruhe, Germany, 7.-9. 4.*Web: <https://jisdm2025.gik.kit.edu/>E-mail: jisdm2025@gik.kit.edu

SVIBANJ

11th International Maritime Science Conference*Split, Croatia, 8.-9. 5.*Web: <https://imsc.pfst.hr/>E-mail: imsc@pfst.hr**XXI. Dani geodeta Hrvatske***Seget Donji (kod Trogira), Hrvatska, 8.-11. 5.*Web: <https://www.hgd1952.hr/>E-mail: hgd1952.hr@gmail.com**17th Baška GNSS Conference 2025***Baška, Croatia, 11.-15. 5.*Web: <https://rin.org.uk/mpage/BaskaGNSSHome>**European Navigation Conference – ENC 2025***Wroclaw, Poland, 13.-16. 5.*Web: <https://www.enc2025.eu/>E-mail: conference@enc2025.eu

LIPANJ

25th International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2025*Albena, Bulgaria, 28. 6. – 7. 7.*Web: <https://www.sgem.org/>E-mail: sgem@sgem.org

SRPANJ

GeoAI – geoinformacije i umjetna inteligencija*Zagreb i online, Hrvatska, 5. 7.*Web: <https://www.kartografija.hr/>E-mail: hkd@kartografija.hr

KOLOVOZ

32nd International Cartographic Conference*Vancouver, Canada, 18.-22. 8.*Web: <https://icaci.org/icc2025/>E-mail: secgeneral@icaci.org**IAGA / IASPEI Joint Scientific Meeting 2025***Lisbon, Portugal, 31. 8. – 5. 9.*Web: <https://iaga-iaspei-lisboa-2025.isel.pt/>E-mail: iaga.iaspei25@isel.pt

RUJAN

IAG Scientific Assembly 2025*Rimini, Italy, 1.-5. 9.*Web: <https://eventi.unibo.it/iag2025>E-mail: fam.eventi@unibo.it**25th Scientific-Professional Colloquium on Geometry and Graphics***Čakovec, Croatia, 7.-11. 9.*Web: <http://www.hdgg.hr/Cakovec/>E-mail: hdgg@hdgg.hr**ION GNSS+ 2025***Baltimore, Maryland, USA, 8.-12. 9.*Web: <https://www.ion.org/gnss/future-meetings.cfm>E-mail: membership@ion.org**21st International Conference Geoinformation and Cartography***Zadar and online, Croatia, 18.-20. 9.*Web: <https://www.kartografija.hr/>E-mail: hkd@kartografija.hr**11th International Conference on Sensors and Electronic Instrumentation Advances – SEIA' 2025***Ponta Delgada, San Miguel (Azores Islands), Portugal, 24.-26. 9.*Web: <https://seia-conference.com/>E-mail: seia@sensorsportal.com

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

STUDENI

XXIV SGEM Vienna Green 2025*Vienna, Austria, 26.-29. 11.*Web: <https://sgemviennagreen.org/>E-mail: science@sgemviennagreen.org

Mladen Zrinjski

Članci:

<i>Cibilić, Nevistić, Poslončec-Petrić, Matošić</i> : 3D modeliranje znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj pomoću bespilotne letjelice (PZČ)	101
<i>Dželalija, Roić, Križanović</i> : Od katastra prema sustavu upravljanja zemljištem (IZČ)	163
<i>Julzarika</i> : Pseudodinamička identifikacija (1817–2022) na Sjevernoj obali Jave (Pantura) primjenom dinamičke topografije (PZČ)	181
<i>Lapaine</i> : 100 godina Gauss-Krügerove projekcije (SČ)	19
<i>Lapaine</i> : 20. obljetnica novih službenih kartografskih projekcija u Hrvatskoj (SČ) .	31
<i>Lapaine</i> : Novi izvod formule za duljinu luka loksodrome na rotacijskom elipsoidu (PP)	335
<i>Mesmarian</i> : Istraživanje obrazaca suhih jezerskih korita u Pokrajini Isfahan primjenom tehnologije daljinskih istraživanja (PZČ)	1
<i>Stipetić, Zrinjski, Barković, Kljajić, Tupek, Špoljar</i> : Određivanje horizontalnih pomaka stupova kalibracijske baze metodom deformacijske analize (IZČ)	305
<i>Tuno, Kljajić, Demirović, Mulahusić, Topoljak</i> : Analiza softverskih rješenja za georektifikaciju rasterskih slika kartografskog prikaza (IZČ)	77

Prilozi:

<i>Barković, Zrinjski</i> : Prof. dr. sc. Zlatko Lasić (1948. – 2024.) (IM)	72
<i>Barković, Zrinjski</i> : professor emeritus dr. sc. Nikola Solarić (15. 9. 1934. – 28. 10. 2024.) (IM)	253
<i>Debeljak, Tupek</i> : WorldSkills Croatia 2024 – Državno natjecanje učenika strukovnih škola (V)	127
<i>Frančula i, Lapaine</i> : Nekoliko kartografskih pitanja ChatGPT-ju (PSTS)	64
<i>Frančula i, Lapaine</i> : Testirali smo ChatGPT u rješavanju dvaju kartografskih zadataka (PSTS).....	67
<i>Frančula, Lapaine</i> : ChatGPT-jevi prijedlozi kartografskih projekcija za općegeografske karte kontinenata (PSTS)	244
<i>Frančula, Lapaine</i> : Novi geodetsko-geoinformatički nazivi (T)	45
<i>Frančula, Lapaine</i> : Novi geodetsko-geoinformatički nazivi 2 (T)	45
<i>Frančula, Lapaine</i> : Novi geodetsko-geoinformatički nazivi 3 (T)	207
<i>Frančula, Lapaine</i> : Novi geodetsko-geoinformatički nazivi 4 (T)	345
<i>Frančula</i> : Digitalna knjižnica Sveučilišta u Ljubljani (PSTS)	376
<i>Frančula</i> : Grabežljivi časopisi (PSTS)	63
<i>Frančula</i> : Mrežne stranice Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža (PSTS)	249
<i>Frančula</i> : Objavljeno 150. godište časopisa <i>Journal of Surveying Engineering</i> (PSTS)	375
<i>Frančula</i> : Primjena metaverzuma u nastavi (PSTS)	156
<i>Frančula</i> : Što nastavnici misle o primjeni ChatGPT-ja u nastavi (PSTS)	250
<i>Gašparović</i> : International Conference of Environmental Remote Sensing and GIS (ICERS) (V)	50

<i>Gašparović</i> : Po prvi put održana međunarodna konferencija International Conference of Environmental Remote Sensing and GIS (ICERS) (V)	211
<i>Jagetić</i> : Hrvatsko kartografsko društvo objavljuje natječaj za dječje likovne radove 2025. (V)	217
<i>Kapović, Lončar, Skračić</i> : Petar Nikolić (1. 2. 1940. – 28. 3. 2024.) (IM)	158
<i>Lapaine</i> : 20 th International Conference Geoinformation and Cartography (V)	353
<i>Lapaine</i> : Kartografija i internet (V)	349
<i>Lončar</i> : Ivica Žubrinčić (28. 5. 1955. – 30. 5. 2024.) (IM)	160
<i>Marjanović Kavanagh</i> : Sjećanje na prijatelja i kolegu prof. dr. sc. Zlatka Lasića (IM)	73
<i>Paar, Roić, Marendić, Miletić</i> : Tehnološki razvoj i primjena fototeodolita i videoteodolita	267
<i>Rožić, Razumović</i> : Geodezija i geokinematika (PSTS)	70
<i>Zovko</i> : Udruga geodeta Koprivničko-križevačke županije u Sloveniji (V)	130
<i>Zrinjski, Barković, Tupek, Špoljar</i> : Festival znanosti 2024 (V)	131
<i>Zrinjski</i> : Antonio Tupek, doktor tehničkih znanosti (V)	51
<i>Zrinjski</i> : Dobitnici nagrade dekana Geodetskog fakulteta za ak. god. 2023./2024. (V)	221
<i>Zrinjski</i> : Dobitnici nagrade Geodetskog fakulteta za ak. god. 2023./2024. (V)	221
<i>Zrinjski</i> : Dodijeljene nagrade zaposlenicima Geodetskog fakulteta za ak. god. 2022./2023. (V)	220
<i>Zrinjski</i> : Dr. sc. Antonio Tupek dobitnik je druge nagrade CLGE Young Surveyors' Contest 2024 (V)	218
<i>Zrinjski</i> : Predstojeći događaji (PD)	75
<i>Zrinjski</i> : Predstojeći događaji (PD)	162
<i>Zrinjski</i> : Predstojeći događaji (PD)	252
<i>Zrinjski</i> : Predstojeći događaji (PD)	378
<i>Zrinjski</i> : Studenti Geodetskog fakulteta dobitnici Rektorove nagrade za akademsku godinu 2023./2024. (V)	357
<i>Zrinjski</i> : Sveučilišni magistri inženjeri geodezije i geoinformatike (V)	54
<i>Zrinjski</i> : Sveučilišni magistri inženjeri geodezije i geoinformatike (V)	133
<i>Zrinjski</i> : Sveučilišni magistri inženjeri geodezije i geoinformatike (V)	223
<i>Zrinjski</i> : Sveučilišni magistri inženjeri geodezije i geoinformatike (V)	360
<i>Zrinjski</i> : Sveučilišni prvostupnici (baccalaureusi) inženjeri geodezije i geoinformatike (V)	222
<i>Zrinjski</i> : Sveučilišni prvostupnici (baccalaureusi) inženjeri geodezije i geoinformatike (V)	359

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, rujn, 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*je 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!



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

GEOSOFT

ZWCAD



GEODETSKI INSTRUMENTI

TOTALNE STANICE
GNSS, 3D, GIS

Geodetski instrumenti i program-
ski paketi talijanskog proizvođača
STONEX S.r.l. za geodetska mjer-
enja, 3D skeniranja, fotogrametri-
jska mjerenja i GIS.

GEO SUSTAVI
GEODETSKI INSTRUMENTI I PRIBOR

www.stonex.hr



www.geosustavi.hr

WingtraOne GEN II

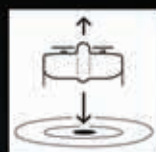


SONY α6100 24MP / 24MP Oblique

SONY RX1R 42MP / SONY RGB 61MP / RedEdge multispektralna



60min leta
Izmjenjive kamere



VTOL

LIDAR senzor
Dometa do 300m



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

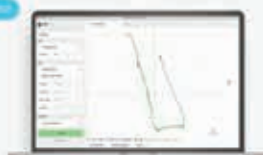
- Tracks GPS/QZSS L1C/A, L2C GLONASS L1OF, L2OF BeiDou B1I, B2I Galileo E1-B/C, E5b
- Fast RTK convergence
- Multi-feed antenna with multipath rejection
- 868/915 MHz LoRa modem for up to 8 km connectivity
- Global 3.5G modem
- 22 hours on 1 charge
- NTRIP and VRS support, works with RTCM3
- Logs RINEX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

Arc Geo d.o.o // Vukovarska 19, 52440 Poreč (Hrvatska) // +385 (0)91 573 5035 // rbravar@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



TRIMBLE: NEXT GEN PRODUCTIVITY

Geospatial.trimble.com/SX12



**PRVI HIBRIDNI LASERSKI
SKENER NA SVIJETU**

FARO ORBIS

**GeoSLAM patentirani
SLAM algoritmi**

**Flash tehnologija – brzi
statični sken za visoku
razinu detalja**



- visoko-precizni, detaljni i kolorizirani oblaci točaka
- jednostavno georeferenciranje pomoću kontrolnih točaka
- prikaz skena u realnom vremenu pomoću Faro Stream aplikacije

GEO CENTAR

www.geocentar.com

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

 **Trimble.**
Authorised Distribution Partner



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


Geomatika
SINCE 1988