



52. GEODETSKI DAN

Geodezija → Lokacija → Informacija

8. in 9. oktober 2024

Maribor

DRUŠTVO GEODETOV



SEVEROVZHODNE SLOVENIJE





FGG

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

DRUŠTVO GEODETOV



SEVEROVZHODNE SLOVENIJE



Uporabnost cenovno ugodne merske opreme GNSS v nalogah geodetskega monitoringa

The usefulness of affordable GNSS measuring equipment in geodetic monitoring tasks

Veton Hamza, Klemen Ritlop, Oskar Sterle, Polona Pavlovčič-Prešeren, Bojan Stopar

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (UL FGG)



52. Geodetski dan | 8. in 9. oktober 2024, Maribor

Uvod

- Eno-frekvenčni nizko-cenovni sprejemniki GNSS (*angl. low-cost GNSS receivers*) so na trgu na voljo dve desetletji. V osnovi so se uporabljali za navigacijo, vpogled v opazovanja ni bil mogoč.
- Pred letom **2018** so bili na množičnem trgu na voljo le **eno-frekvenčni nizko-cenovni GNSS sprejemniki**. Posledično ni bilo mogoče doseči visoke natančnosti pozicioniranja pri daljših razdaljah.
- Eno-frekvenčni nizko-cenovni GNSS sprejemniki v načinu RTK ne morejo delovati samostojno, za podporo njihovega dela v RTK je bila potrebna ustrezna programska oprema.
- Proizvajalci nizko-cenovnih GNSS sprejemnikov so: u-blox, SwiftNav, ComNav, Tersus, Septentrio, ArduSimple in drugi.



Dvo-frekvenčni nizko-cenovni GNSS sprejemniki

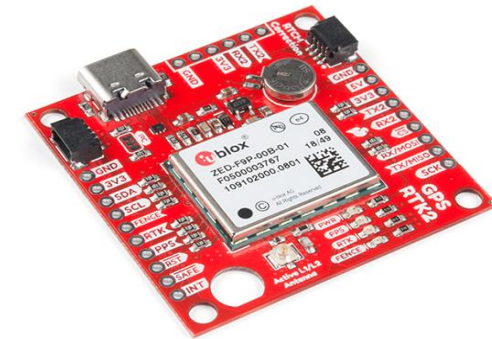
- V začetku leta **2019** je proizvajalec opreme GNSS **u-blox** ponudil trgu GNSS čip (**ZED-F9P**), ki lahko spremlja in beleži signal na dveh frekvencah vseh razpoložljivih globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (GPS, GLONASS, Galileo in BeiDou).
- GNSS čip (ZED-F9P) je bil integriran v različne platforme: simpleRTK2B (Ardusimple), C099-F9P (u-blox), in GPS-RTK2 (SparkFun).



Slika 1. SimpleRTK2B.



Slika 2. C099-F9P.

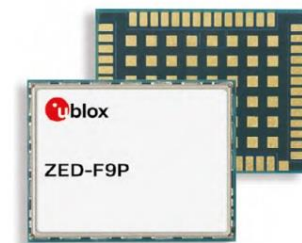


Slika 3. GPS-RTK2.



Dvo-frekvenčni nizko-cenovni GNSS sprejemniki

- Multi-konstelacija (GPS, GLONASS, Galileo, BDS).
- Dvo-frekvenčni sprejem signalov (L1C/A, L2C, L1OF, L2OF, E1-B/C, E5b, B1I, B2I).
- Integriran RTK za delo brez potrebe po nadgradnji.
- RTK horizontalna natančnost pozicioniranja: 1cm + 1 ppm.
- RTK vertikalna natančnost pozicioniranja: 1cm + 1 ppm.
- RTK konvergenčni čas: 10s (multi-konstelacija), 30s (ena konstelacija).
- Protokoli, ki jih podpira: UBX, NMEA 4.11, RTCM 3.3.
- Konfiguracija: U-center (odprto-kodni program).



Slika 4. ZED-F9P GNSS čip.



Nizko-cenovna GNSS oprema



Slika 5. Nizko-cenovna GNSS oprema uporabljena v preizkusnih testi.

- Na strehi stavbe UL FGG smo izvedli večje število testov z namenom ugotovitve najmanjših premikov, ki jih lahko zaznamo z nizko-cenovnimi GNSS sprejemniki in antenami.
- Preizkusi so bili ključni za izbiro aplikacij s katerimi se nizko-cenovni GNSS sprejemniki lahko uporabljajo.



Preizkusni testi - UL FGG



Slika 6. Geodetska mreža-UL FGG.



Slika 7. Vsiljeni premiki točne velikosti.

- Bazni vektor-G, geodetski in nizko-cenovni GNSS instrumenti.
- Bazni vektor-L, nizko-cenovni GNSS instrumenti.
- 30 min serije, mobilni sprejemnik/rover je bil med zaporednima serijama premaknjen za 5 mm.
- Izvedenih 270 horizontalnih premikov (5-50 mm).





Preizkusni testi - UL FG

	Bazni vektor G	Bazni vektor L
Nezaznano	98%	77%
Zaznano	2%	23%

Preglednica 1. Zaznavanje vertikalnih premikov (1D).

	Bazni vektor G		Bazni vektor L	
Velikost	10 mm	15 mm	10 mm	15 mm
Zaznano	100%	100%	100%	100%

Preglednica 2. Zaznavanje horizontalnih premikov (2D).

	Bazni vektor G		Bazni vektor L	
Velikost	10 mm	15 mm	10 mm	15 mm
Zaznano	100%	100%	97%	100%

Preglednica 3. Zaznavanje prostorskih premikov (3D).



Preizkusni testi - UL FGG



Slika 8. Geodetska mreža (UL FGG).



Slika 9. Vsiljeni premiki.



Preizkusni testi - UL FGG

Antena	Survey Calibrated	Survey	Tallysman
3 mm	60 %	20 %	20 %
6 mm	100 %	75 %	75 %
9 mm	100 %	100 %	100 %
12 mm	100 %	100 %	100 %

Preglednica 4. Zaznavanje vertikalnih premikov (1D).

Antena	Survey Calibrated	Survey	Tallysman
2 mm	17 %	33 %	50 %
4 mm	100 %	60 %	100 %
6 mm	100 %	100 %	100 %
8 mm	100 %	100 %	100 %

Preglednica 5. Zaznavanje horizontalnih premikov (2D).

Antena	Survey Calibrated	Survey	Tallysman
2 mm	17 %	17 %	17 %
4 mm	100 %	60 %	100 %
6 mm	100 %	100 %	100 %
8 mm	100 %	100 %	100 %

Preglednica 6. Zaznavanje prostorskih premikov (3D) .



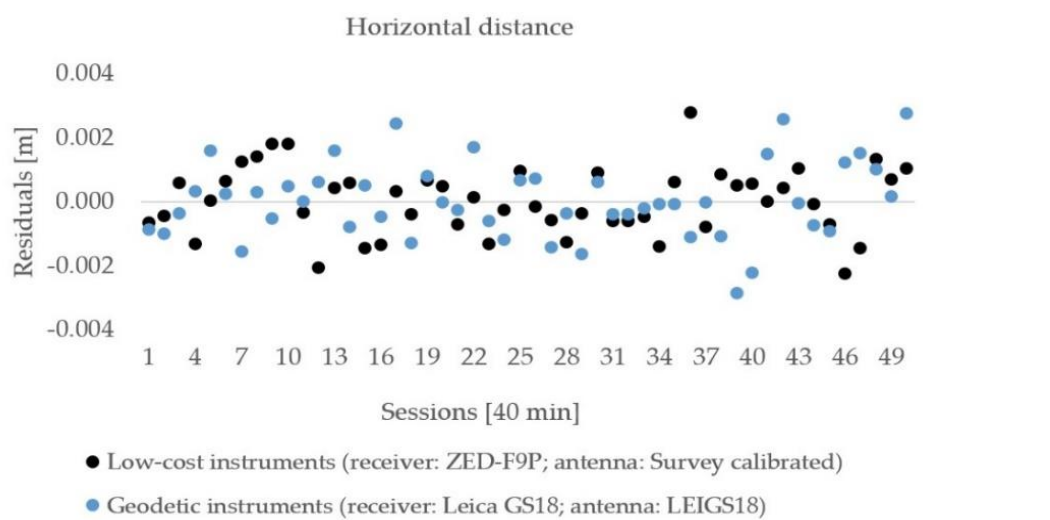
Preizkusni testi - UL FGG



Slika 10. GNSS sprejemniki (antene) pri testu kratkih vektorjev.



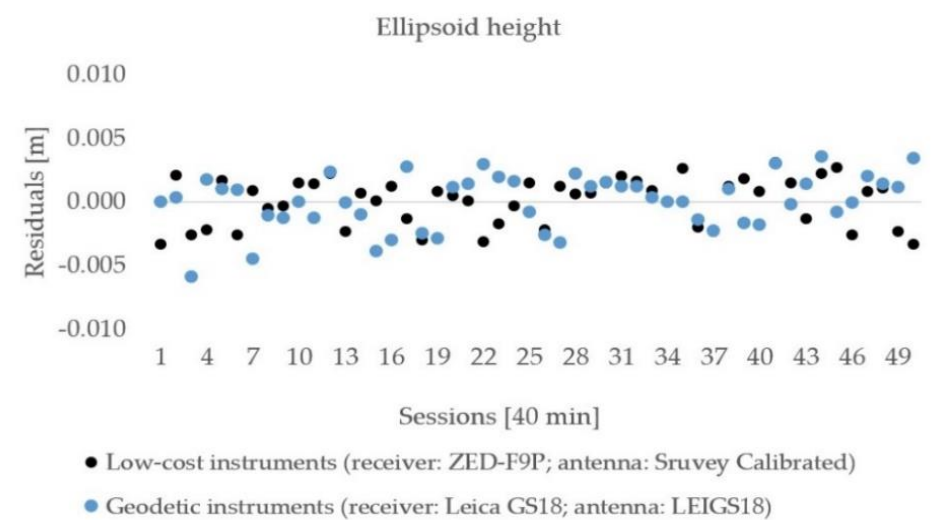
Preizkusni testi - UL FGG



Slika 11. Popravki horizontalnih razdalj, določenih z geodetskimi in nizko-cenovni instrumenti GNSS.

Statistika	Min (mm)	Max (mm)	RMSE (mm)	Točnost (mm)
Nizko-cenovni	-2.3	2.8	1.0	-1.2
Geodetski	-2.9	2.7	1.2	0.3

Preglednica 7. Statistike horizontalnih razdalj za nizko-cenovne in geodetske instrumente GNSS.



Slika 12. Popravki elipsoidne višine, določenih z geodetskimi in nizko-cenovni instrumenti GNSS.

Statistika	Min (mm)	Max (mm)	RMSE (mm)	Točnost (mm)
Nizko-cenovni	-3.3	3.1	1.8	0.8
Geodetski	-5.9	3.5	2.1	0.7

Preglednica 8. Statistike elipsoidne višine za nizko-cenovne in geodetske instrumente GNSS.



Preizkusni testi - UL FGG



Slika 13. Geodetska mreža.

Parametri	$\hat{\sigma}_G$ (mm)	$\hat{\sigma}_L$ (mm)	$F_{critical}$	F
	0.4	1.8	2.69	17.28

Preglednica 9. A posteriori varianca za nizko-cenovne in geodetske sprejemnike-Leica GS18.

Točka	Δe (mm)	Δn (mm)	Δh (mm)
FGG1	-0.7	2.3	2.9
FGG2	-1.9	1.4	0.1
FGG1A	-0.0	2.3	0.6

Preglednica 10. Razlike v koordinatah (nizko-cenovni in geodetski sprejemniki-Leica GS18).



LGMS (ang. Low-Cost GNSS Monitoring System)

LGMS	
GNSS plošča	SimpleRTK2B
GNSS antena	Survey calibrated
Konstalacije	GPS, GLONASS, Galileo
Opazovanja	Fazna
Kalibracija	Yes (NGS)
Konfiguracija	U-center
Cena	500 EUR
Delovna temperatura	-40 to +85 °C
Surova opozavanja	UBX
Natančnost	Hz, Hv < 1cm, 1 km bazni vektor
Poraba električne energije	150 mA@5V
Sončna celica	25W
Baterija	30-50Ah, 12V

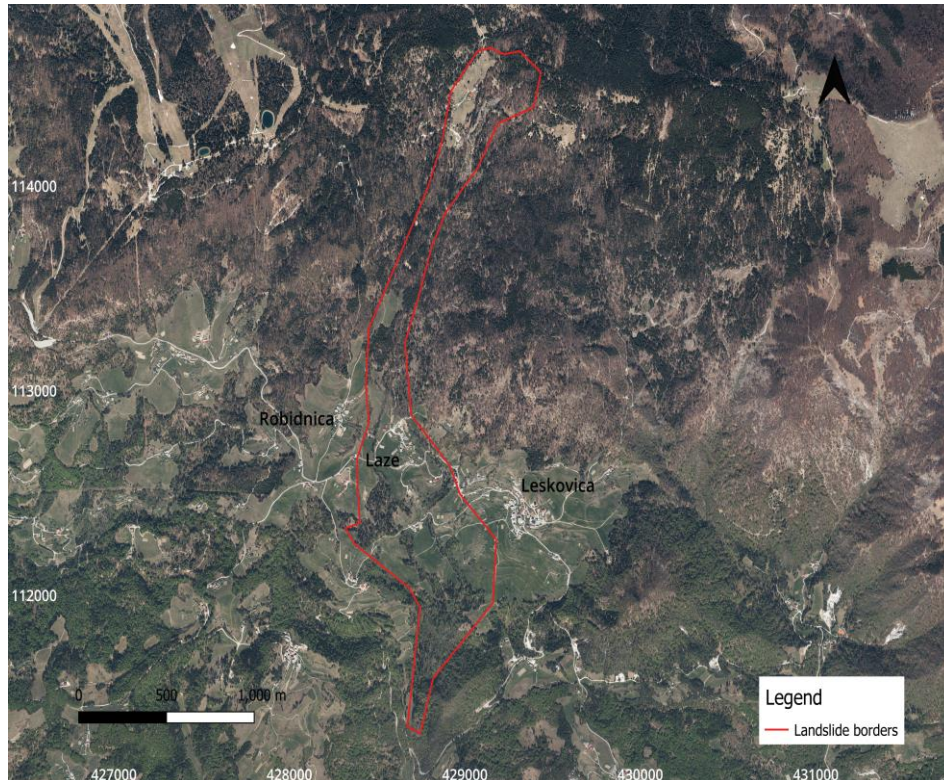
Preglednica 11. Specifikacije za LGMS.



Slika 14. LGMS na plazu Laze.



Plaz Laze - prva študija primera

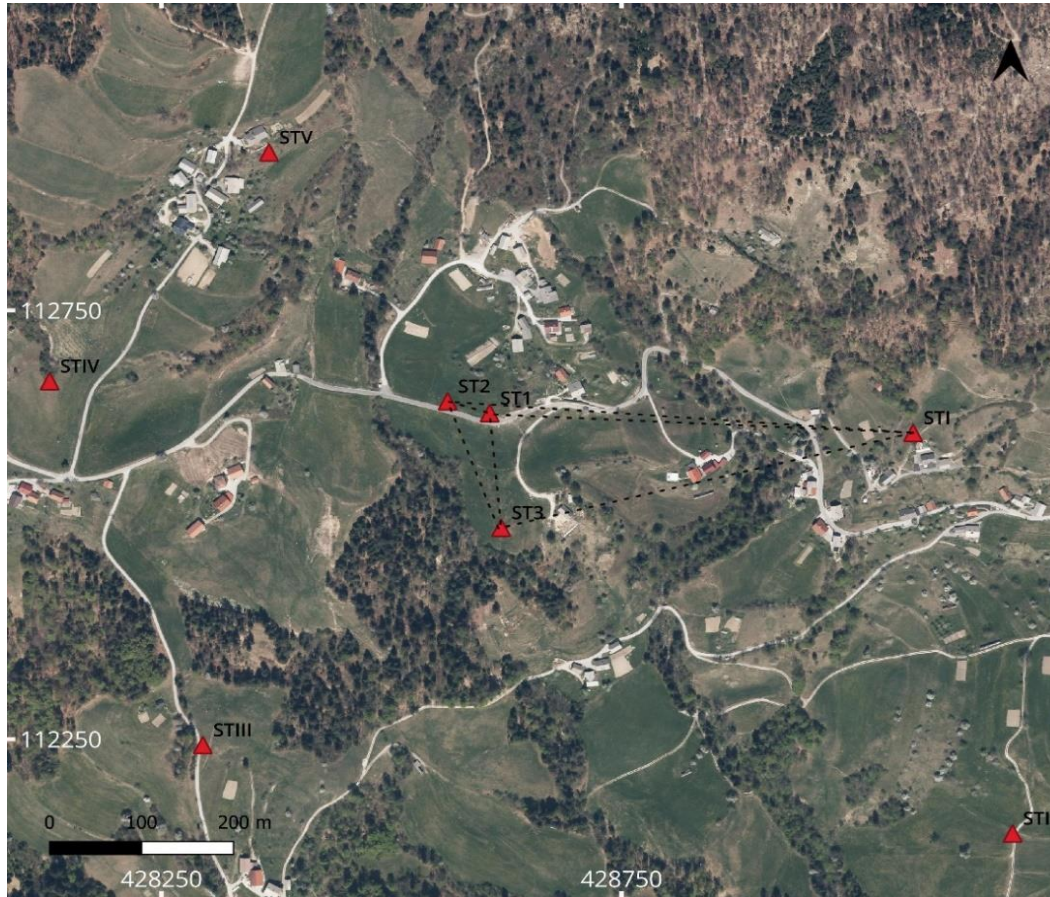


Slika 15. Lokacija in oblika plazu Laze.

- Nahaja se 50 km severozahodno od Ljubljane.
- Zavzema površino 105,5 ha, v obliki črke S z naklonom 10°.
- Geodetski monitoring od 2016.



Plaz Laze - prva študija primera



Slika 16. Geodetska mreža na območju plazu Laze.

- STI – stabilne točke.
- ST1, ST2, ST3 - nestabilne točke.
- Bazni vektorji do 500 m.



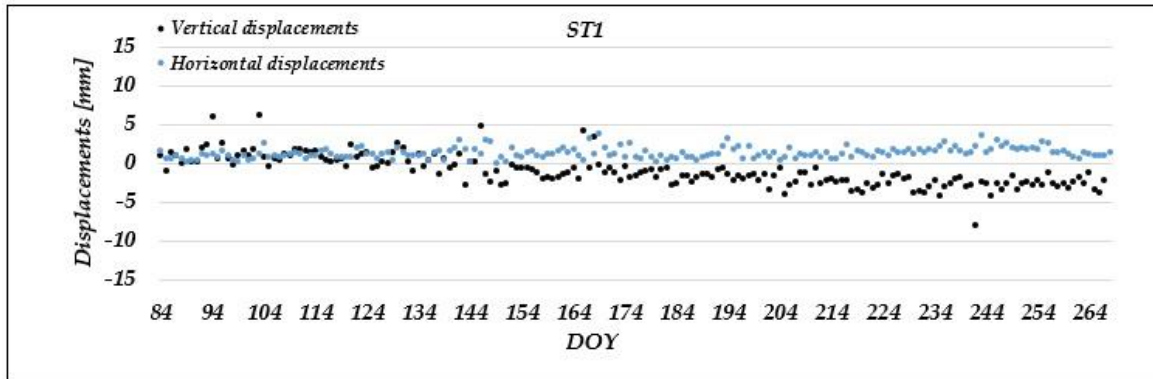
Plaz Laze - prva študija primera



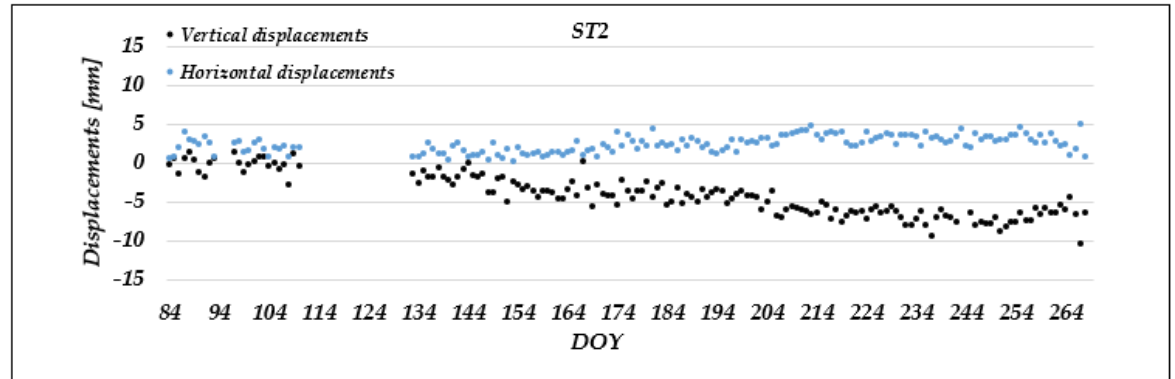
Slika 17. LGMS, nameščen na območju plazu Laze.



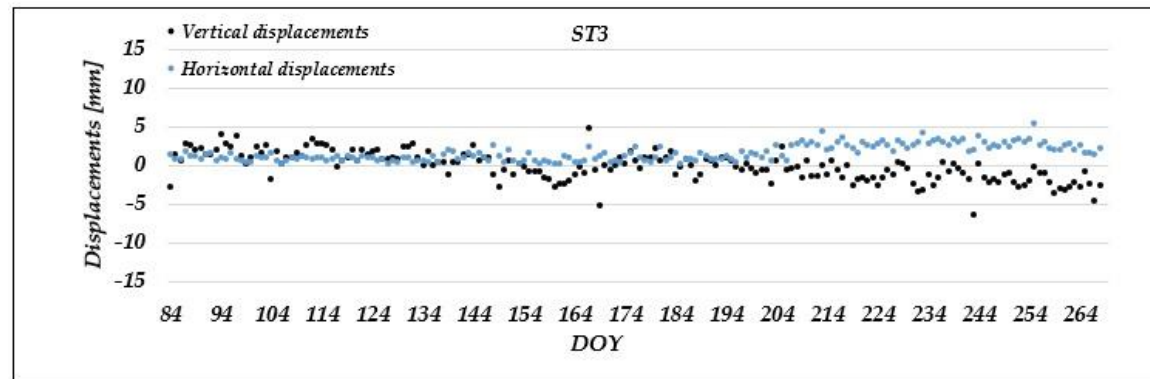
Plaz Laze - prva študija primera



Slika 18. Horizontalni in vertikalni premiki za točko ST1.



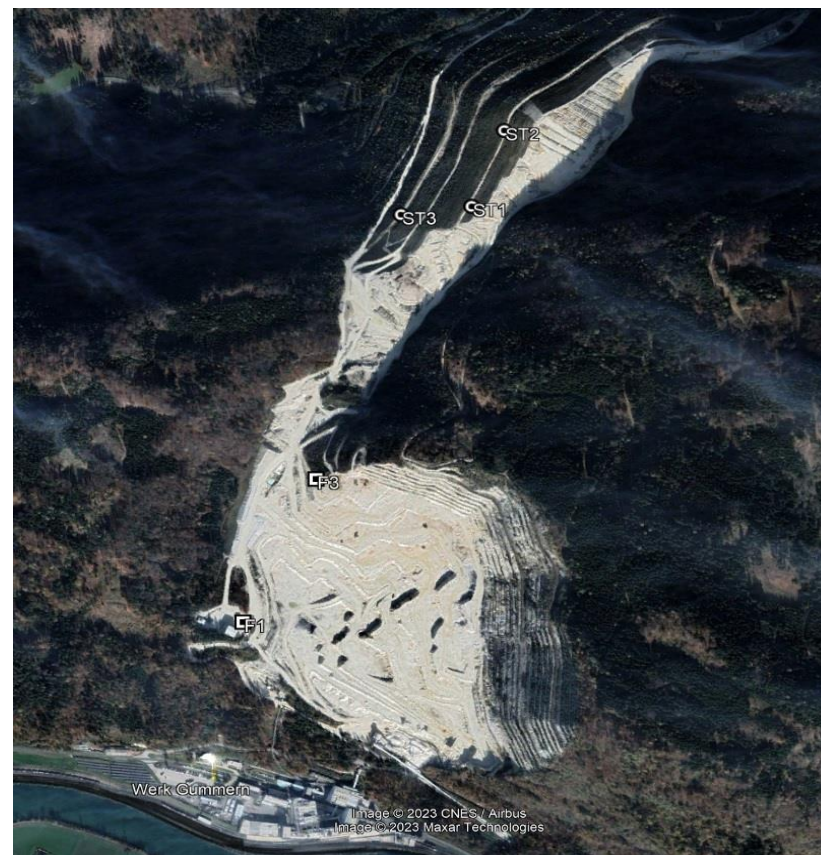
Slika 19. Horizontalni in vertikalni premiki za točko ST2.



Slika 20. Horizontalni in vertikalni premiki za točko ST3.



Rudnik OMYA, Avstrija - druga študija primera



Slika 21. Rudniška deponija podjetja OMYA, Gummern, Avstrija.



Rudnik OMYA, Avstrija - druga študija primera



Slika 22. Kovinski stebri na točkah ST1, ST2 in ST3, Gummern, Avstrija.



Rudnik OMYA, Avstrija - druga študija primera



Slika 23. LGMS na točkah F1, ST1, in ST2, Gummern, Avstrija.



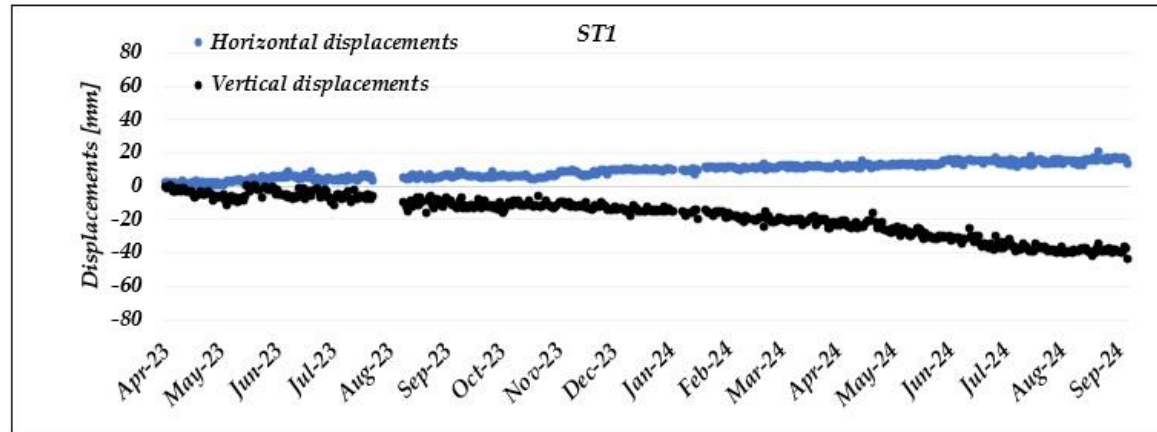
Rudnik OMYA, Avstrija - druga študija primera



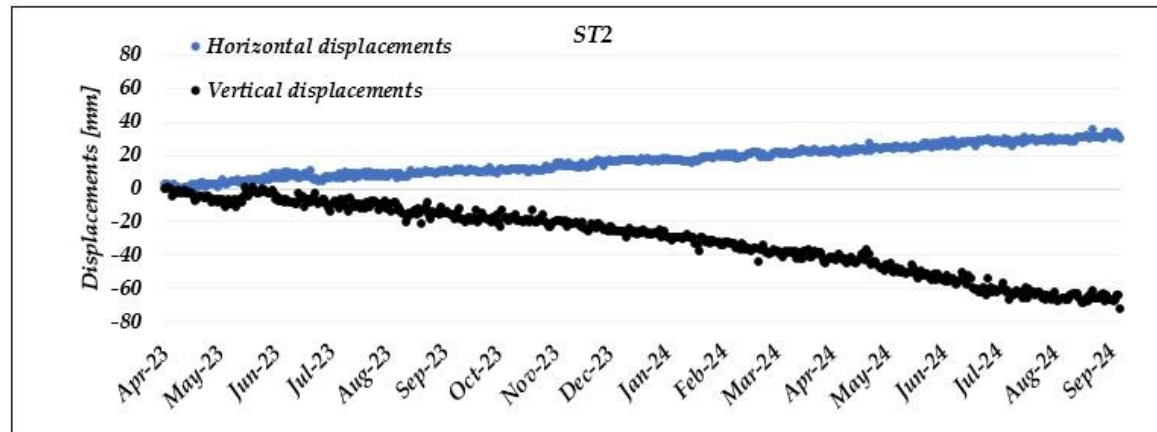
Slika 24. LGMS na točki ST1, Januar 2024, Gummern, Avstrija.



Rudnik OMYA, Avstrija - druga študija primera



Slika 25. Horizontalni in vertikalni premiki za točko ST1.



Slika 26. Horizontalni in vertikalni premiki za točko ST2.





Zaključek

- V primerjavi z geodetskimi GNSS sprejemniki omogočajo nizko-cenovni GNSS sprejemniki nižjo natančnost določitve položaja.
- Natančnost nizko-cenovnih GNSS sprejemnikov je z geodetskimi GNSS sprejemniki primerljiva v statičnem relativnem načinu, ob ugodnih razmerah (odprt horizont) in na kratkih baznih vektorjih.
- Prostorske premike velikosti **5 mm** ali več lahko z nizko-cenovni GNSS sprejemniki zaznamo s statično relativno metodo za opazovanja v trajanju **1h** ali več. Pri PPP metodi v trajanju **8h** zaznamo premike večje od **20 mm**.
- V primeru, da so zahteve glede potrebne točnosti izpolnjene, lahko nizko-cenovne GNSS sprejemnike uvrstimo med primerne možnosti za geodetski monitoring z visoko natančnostjo ob nižjih stroških. Uporabni so za spremljanje premikov ob naravnih nesrečah (npr. zemeljski plazovi) in za spremljanje inženirskih objektov (viadukti, mostovi, rudarska območja, visoki dimniki,...).



Literatura

- Hamza, V.; Stopar, B.; Ambrožič, T.; Turk, G.; Sterle, O. Testing Multi-Frequency Low-Cost GNSS Receivers for Geodetic Monitoring Purposes. *Sensors*. 2020.
- Hamza, V.; Stopar, B.; Sterle, O. Testing the Performance of Multi-Frequency Low-Cost GNSS Receivers and Antennas. *Sensors*. 2021.
- Hamza, V.; Stopar, B.; Ambrožič, T.; Sterle, O. Performance Evaluation of Low-Cost Multi-Frequency GNSS Receivers and Antennas for Displacement Detection. *Appl. Sci.* 2021.
- Hamza, V.; Stopar, B.; Sterle, O.; Pavlovčič-Prešeren, P. Low-Cost Dual-Frequency GNSS Receivers and Antennas for Surveying in Urban Areas. *Sensors*. 2023.
- Hamza, V.; Stopar, B.; Sterle, O.; Pavlovčič-Prešeren, P. A Cost-Effective GNSS Solution for Continuous Monitoring of Landslides. *Remote Sens.* 2023.
- Hamza, Veton. Low-cost GNSS receivers for geodetic monitoring purposes. *Informatica: an international journal of computing and informatics*. 2023.
- Hamza, V.; Stopar, B.; Pavlovčič-Prešeren P.; Sterle, O. Uporabnost cenovno ugodnih instrumentov GNSS v nalogah geodetska monitoringa. Raziskave s področja geodezije in geofizike. 2023.
- Hamza, V.; Cost-effective GNSS receivers for geodetic monitoring : doctoral dissertation = Uporaba cenovno ugodnih sprejemnikov GNSS za geodetski monitoring : doktorska disertacija. 2023.
- Hamza, V.; Stopar, B.; Sterle, O.; Pavlovčič-Prešeren, P. Observations and positioning quality of low-cost GNSS receivers: a review. *GPS solutions*. July 2024.
- U-Blox ZED-F9P. Available online: https://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P_DataSheet_%28UBX-17051259%29.pdf
- Ardusimple. <https://www.ardusimple.com/>





FGG

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

DRUŠTVO GEODETOV



SEVEROVZHODNE SLOVENIJE



HVALA ZA VAŠO POZORNOST!



52. Geodetski dan | 8. in 9. oktober 2024, Maribor