



Nadzor in vzdrževanje državnega koordinatnega sistema v štirih razsežnostih

Oskar Sterle*, Klemen Ritlop*, Bojan Stopar*, Sandi Berk^, Klemen Medved^, Polona Pavlovčič Prešeren*

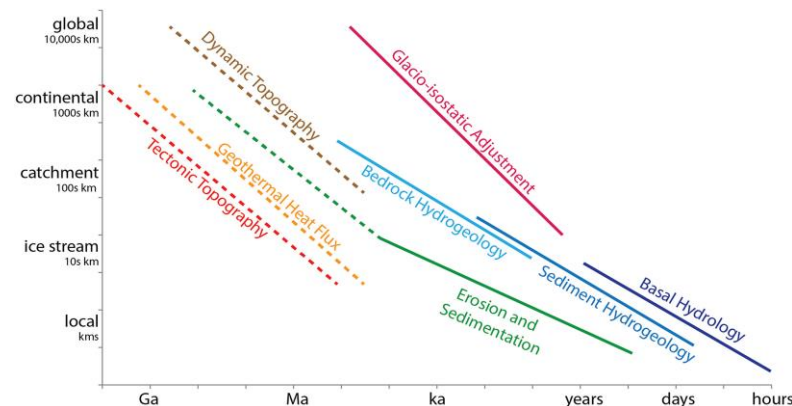
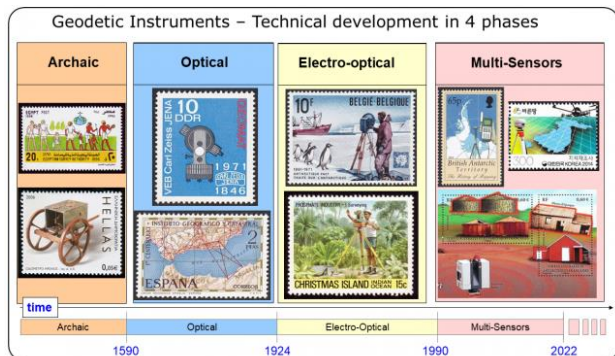
UL FGG* in GURS^

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

Geodezija skozi čas in prostor

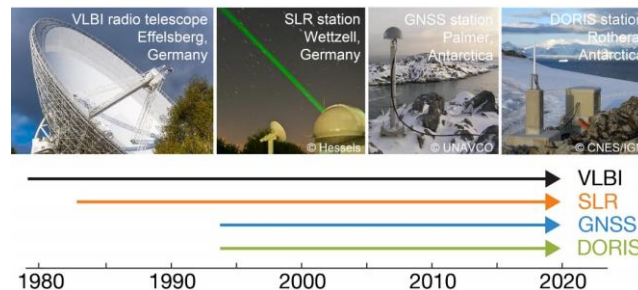


Vir: <https://www.gim-international.com/content/article/the-surveyor-4-0>

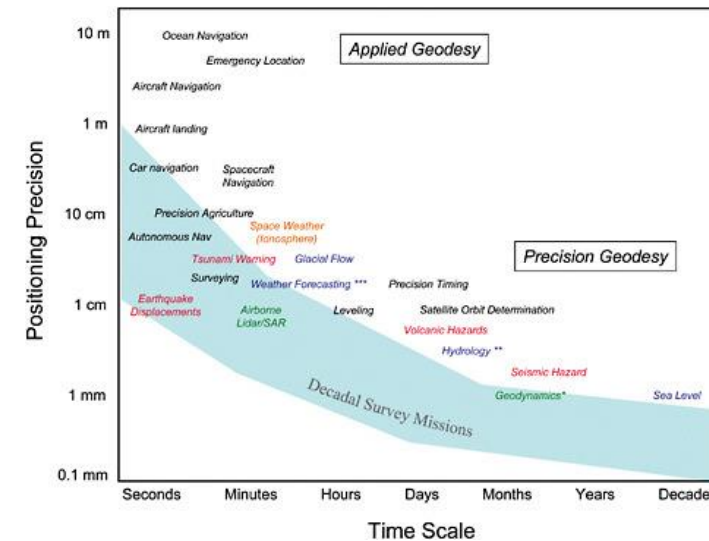


Vir: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019RG000663>

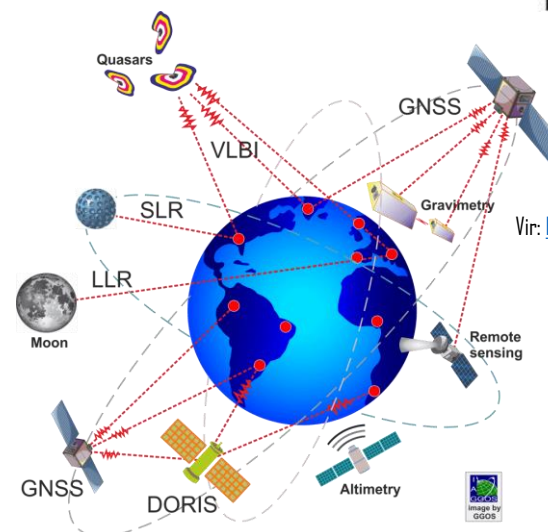
Vir: <https://ggos.org/2023/10/16/importance-reference-frames/>



Vir: <https://nap.nationalacademies.org/read/12954/chapter/5#38>



Ključni instrument razvoja – natančnost geodetskih opazovanj

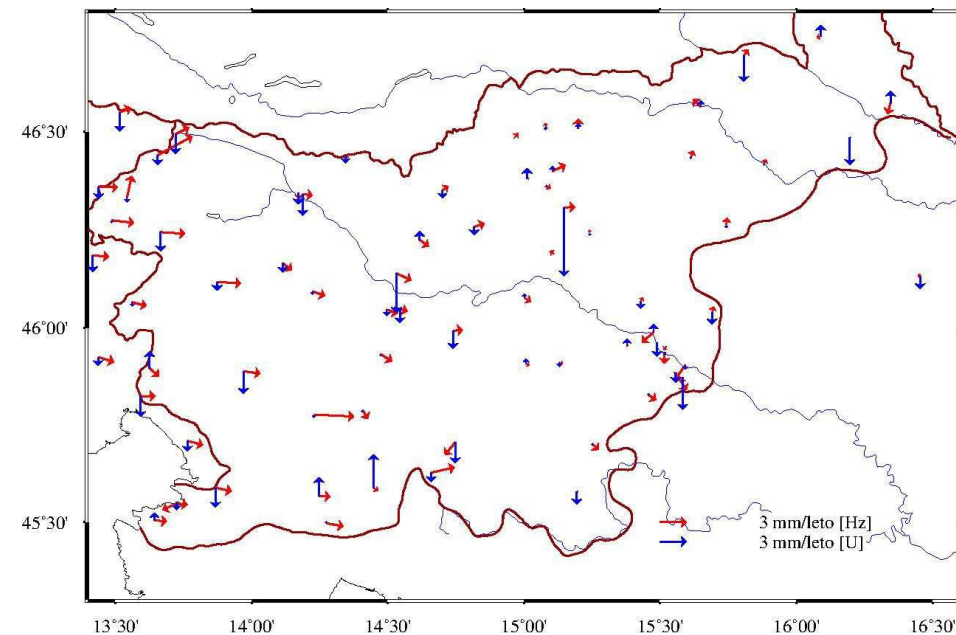
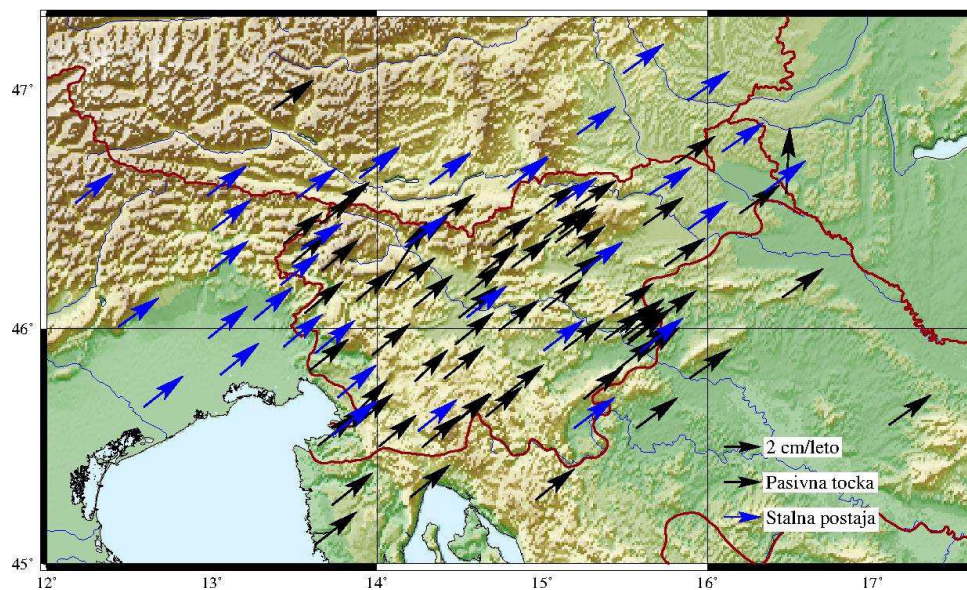
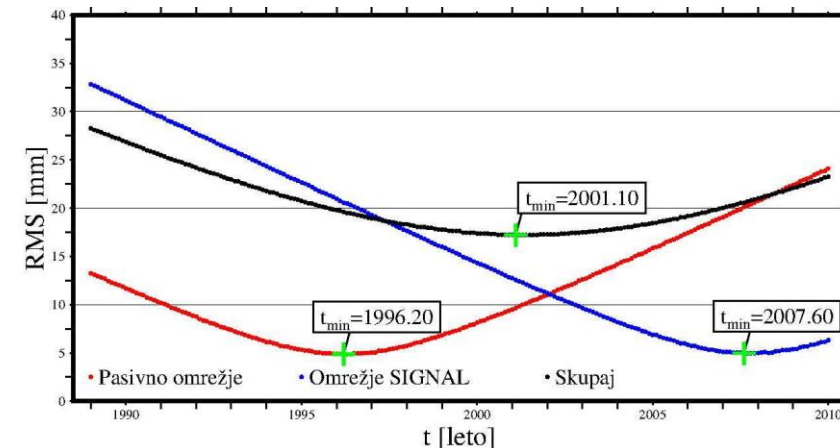
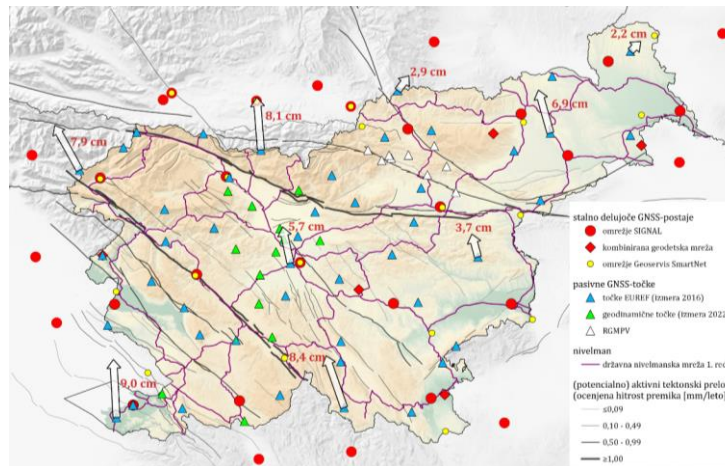


Vir: <https://ggos.org/space-techniques/>

Slovenija

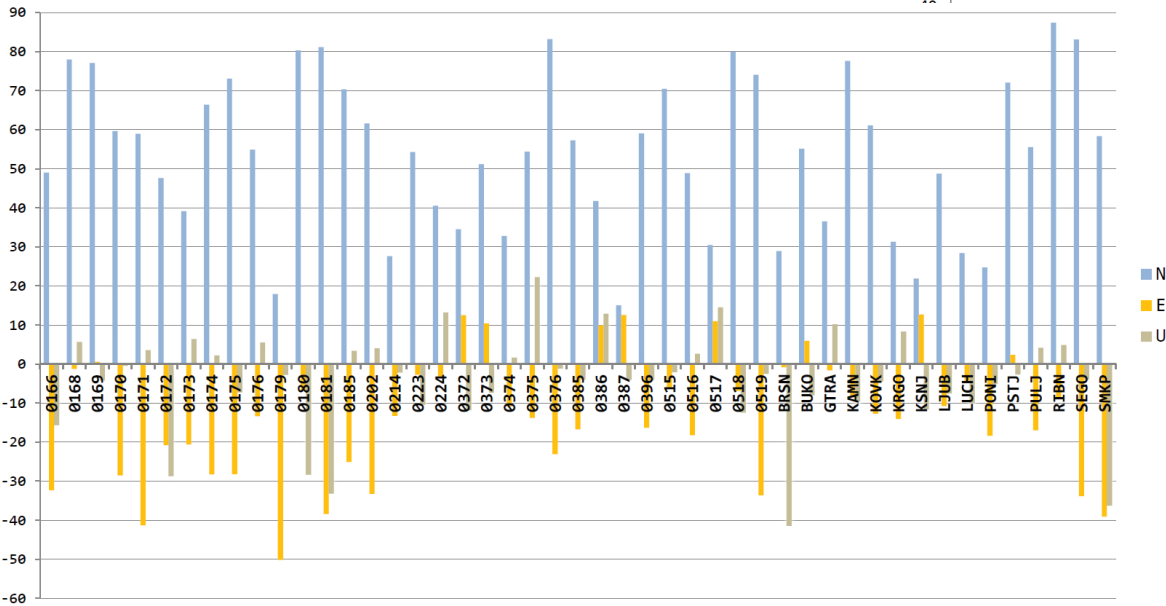
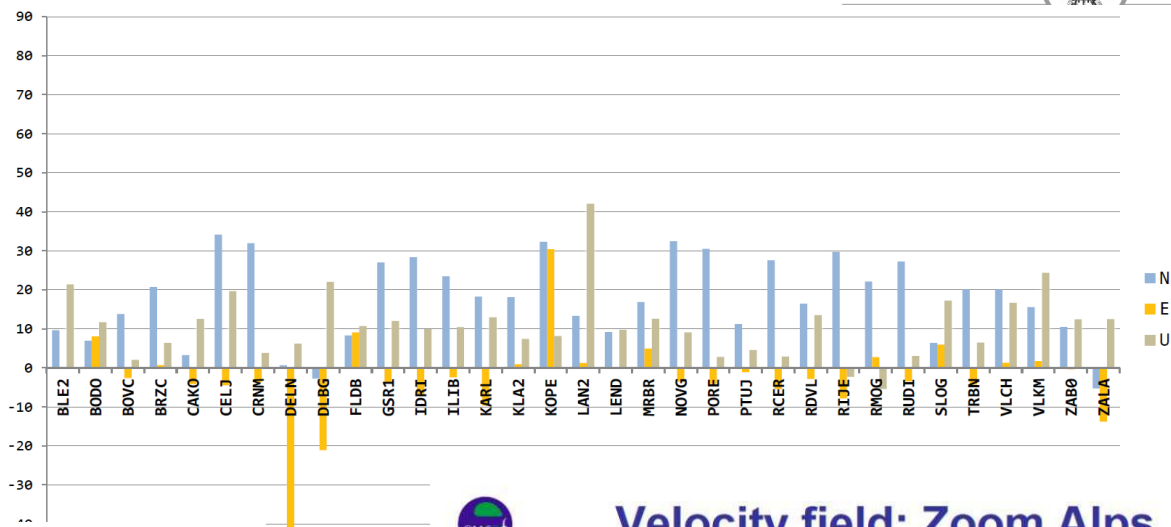
- Geodetske točke se premikajo:

- ~3cm leto v ITRF
- Do 4 mm/leto v ETRF
- Do nekaj mm/leto relativno

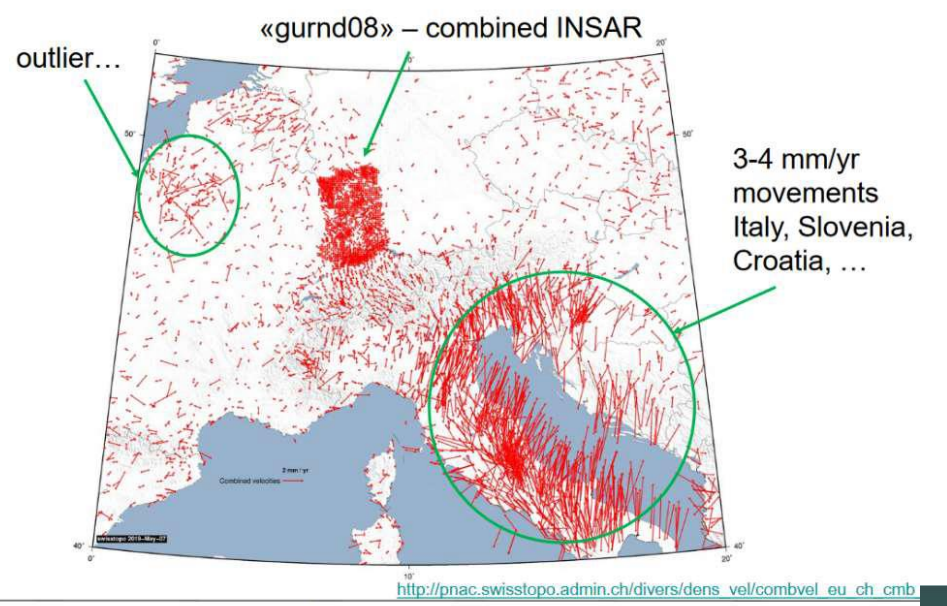


Slovenija

- Rezultati izmere EUREF GNSS izmera 2016
 - Do 9 cm razlike v **n**
 - Do -5 cm v **e** in
 - Pod 3 cm pri **h**



Velocity field: Zoom Alps



http://pnac.swisstopo.admin.ch/divers/dens_vel/combvel_eu_ch_cmb

Towards a European Dense Velocities Field as a basis for Maintaining the European Reference Frame
swisstopo

Prostorski referenčni sistem

- Predstavlja stabilno, točno in zanesljivo osnovo za izvajanje in povezovanje vseh vrst podatkov, modelov in tehnologij za določitev položaja v prostoru skozi daljše časovno obdobje
- Kakovost in kompleksnost sistema morata biti na višjem nivoju, kot pridobljena geodetska opazovanja
- Je zbirka:
 - Referenčnih sestavov, geodetskih datumov in referenčnih ploskev
 - Infrastrukture (mreže in omrežja: omrežje SIGNAL, kombinirana geodetska mreža 0. reda, mreža pasivnih GNSS točk, nivelmanska mreža, gravimetrična mreža ...)
 - Modelov geofizikalnih procesov, ki vplivajo na izvedbo in rezultate meritev
 - Standardov, ki omogočajo enotno pridobivanje in uporabo prostorskih podatkov



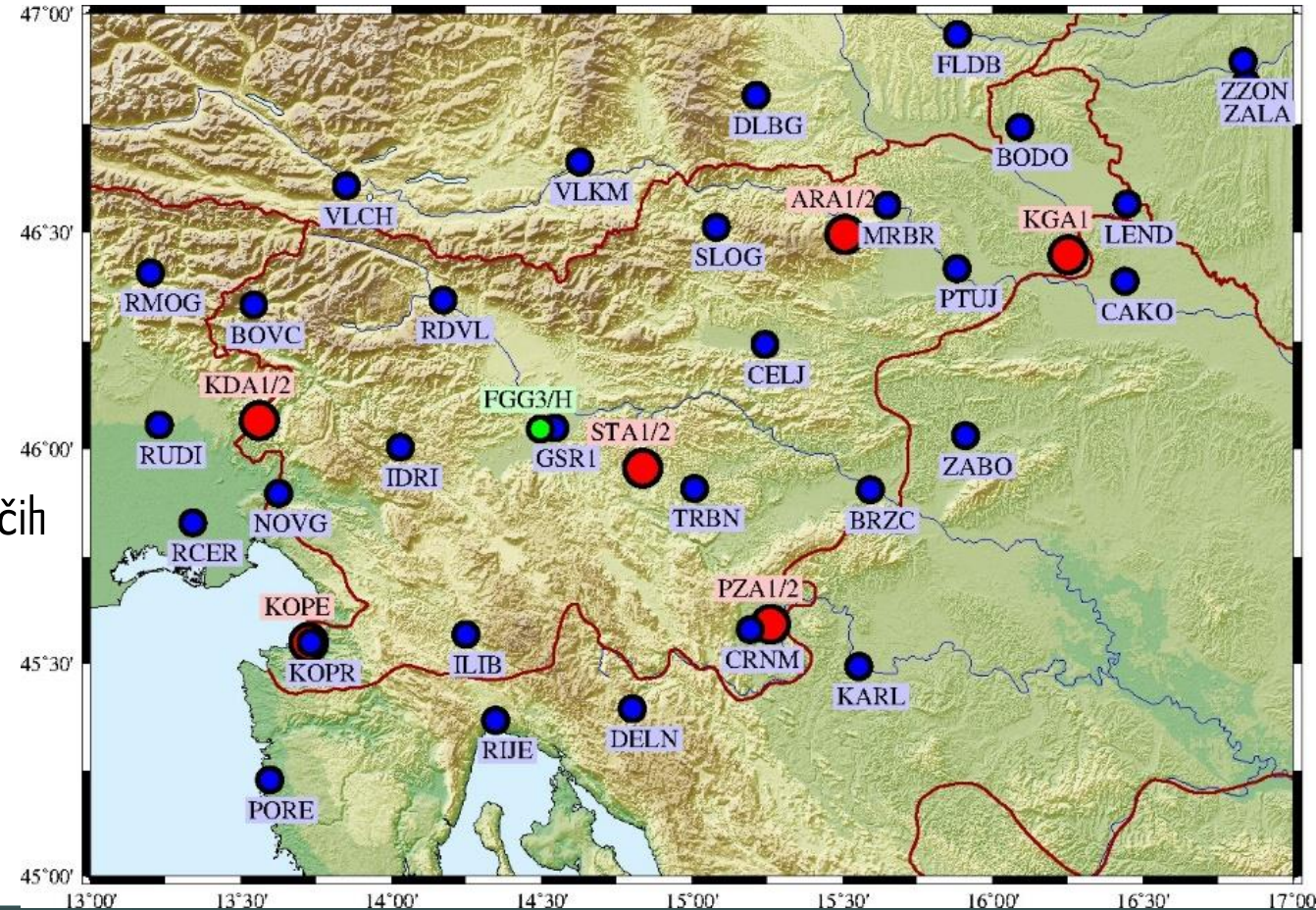
Pristop k časovno odvisnim koordinatnim sistemom

- Začetek v letu 2016:
 - Izmera EUREF GNSS 2016
 - Izgradnja Kombinirane geodetske mreže 0. reda
 - **Odločitev o začetku obdelave opazovanj vseh (državnih) stalno delujočih postaj GNSS na območju Slovenije**
- Ključno: pridobitev časovnih vrst koordinat postaj GNSS (in pasivnih točk GNSS)
 - Možnost analize kakovosti postaj/točk – kakovost državnega koordinatnega sistema
 - Dostop do časovnih sprememb koordinat – pridobitev 4. razsežnosti
- Uporaba dveh programskih paketov:
 - Bernese GNSS Software, Version 5.2 (GPS+GLONASS)
 - gPPP+gDPos (GPS+GLONASS(+Galileo))
 - Uporaba vseh aktualnih referenčnih sistemov, produktov IGS, modelov, algoritmov... - najvišja možna kakovost



Omrežje SIGNAL in Kombinirana geodetska mreža 0. reda

- Omrežje SIGNAL:
 - 16 na območju SLO
 - 15 izven območja SLO:
 - Hrvaška: 6
 - Madžarska: 2
 - Avstrija: 4
 - Italija: 2
- 5 točk Kombinirane geodetske mreže 0. reda – 10 stalno delujočih postaj GNSS
 - Dve novi v gradnji
- Novo: KOPR (nadomešča nestabilno postajo KOPE v omrežju SIGNAL), ZZON
- Ni več del omrežja: ZALA



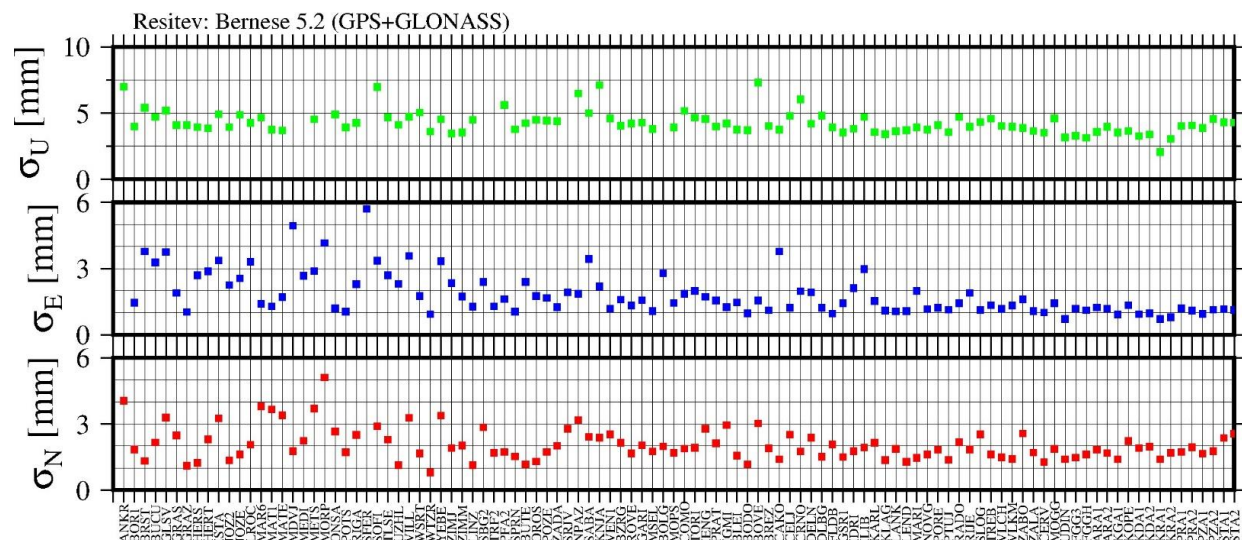


Postaje omrežja EPN/IGS

- Zagotovitev geodetskega datuma
- 38 postaj IGS (rdeči krogci)
- 25 postaj EPN (modri krogci)
- Zakaj toliko postaj:
 - Kontrola kakovosti obdelave
 - Boljša povezava z ITRF
- Slaba stran: dolgotrajne obdelave (veliko postaj)



Rezultati

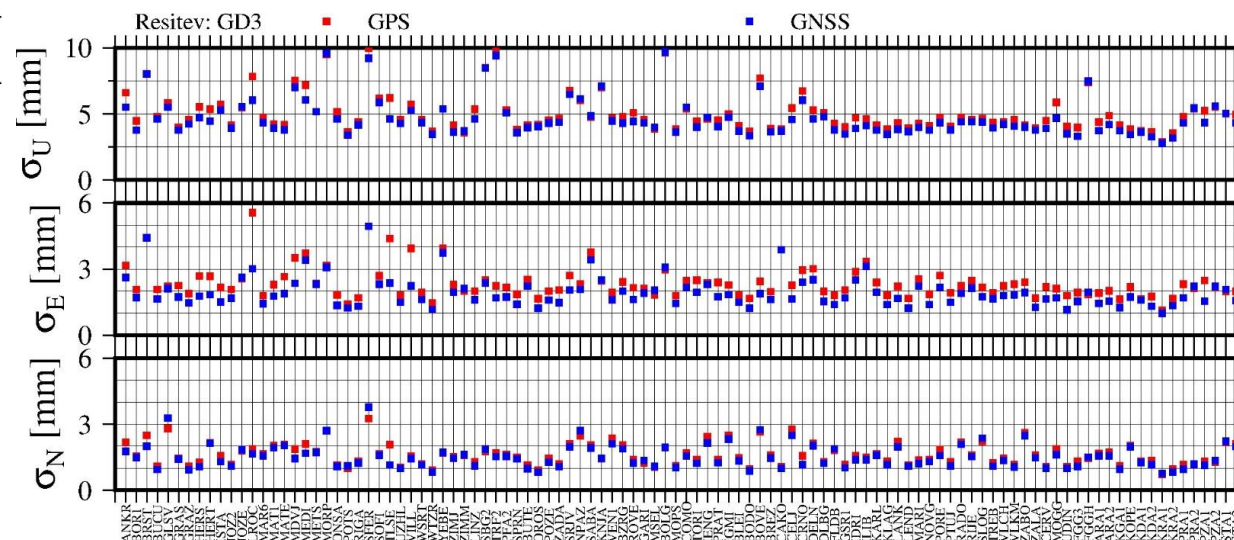


Ponovljivost koordinat Bernese:

2.1 mm n, 1.9 mm e, 4.9 mm h

Ponovljivost koordinat gPPP:

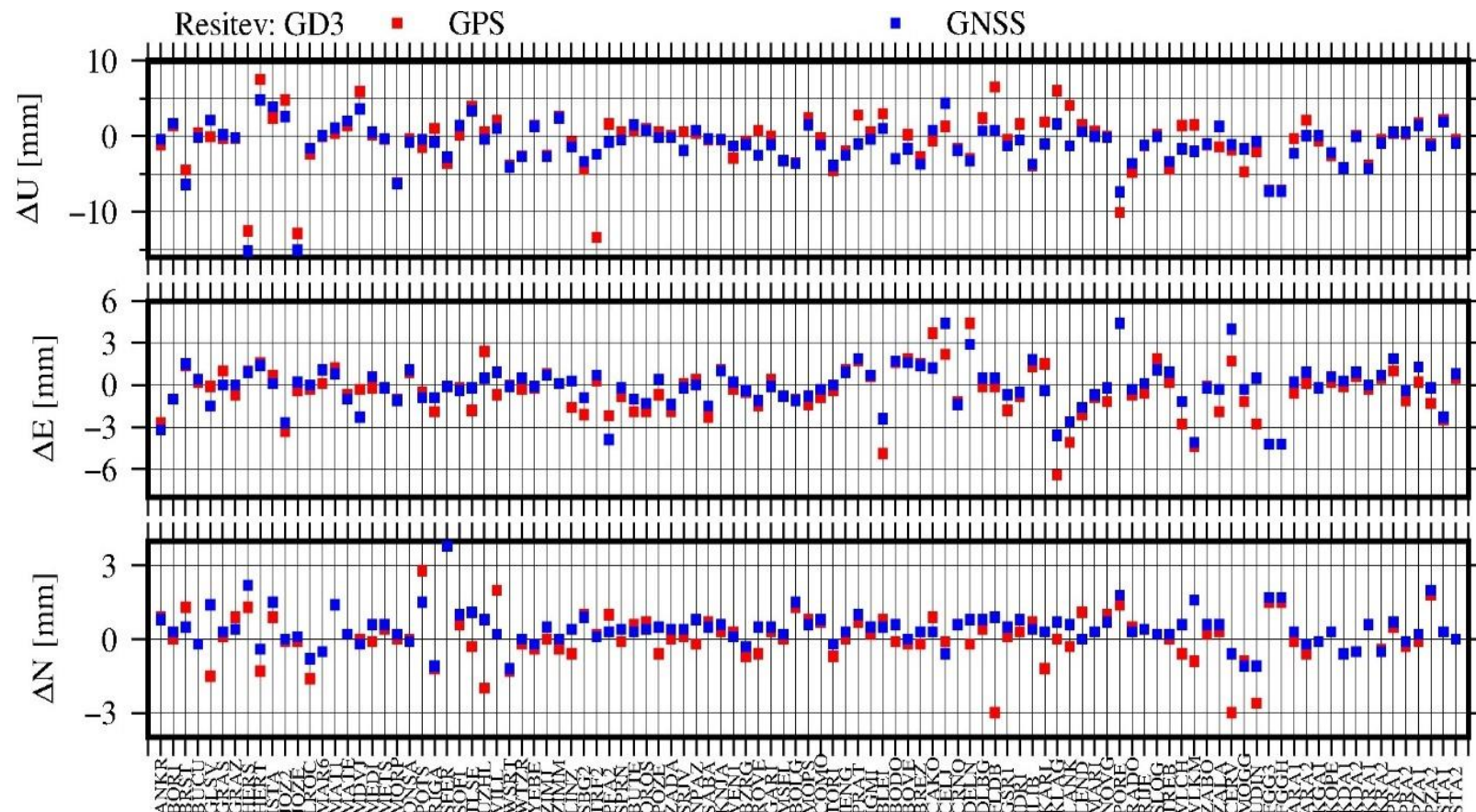
1.5 mm n, 2.0 mm e, 4.7 mm h



Rezultati

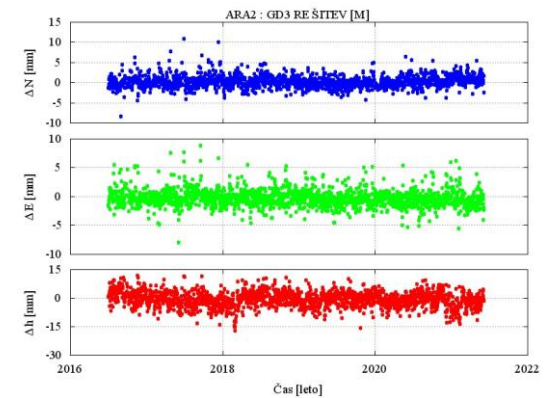
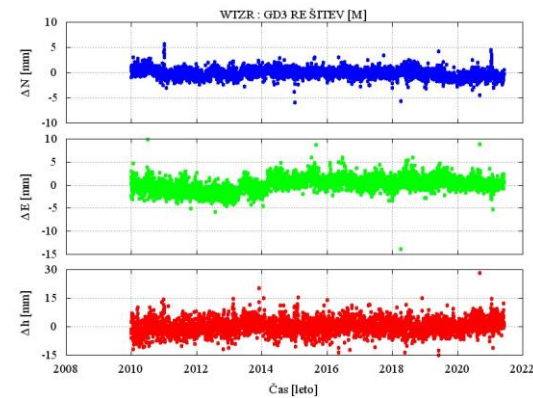
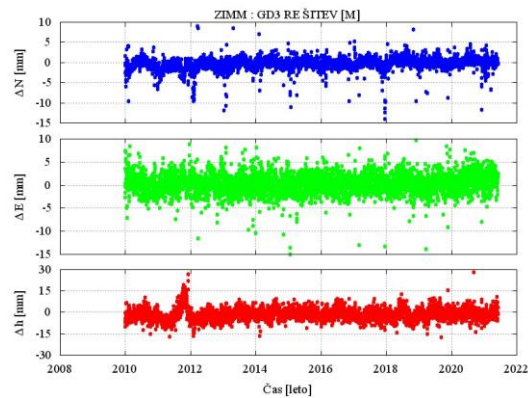
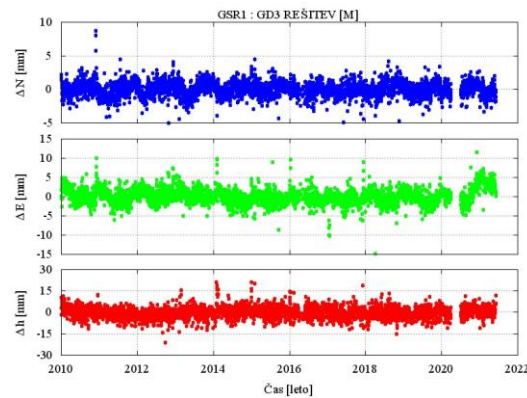
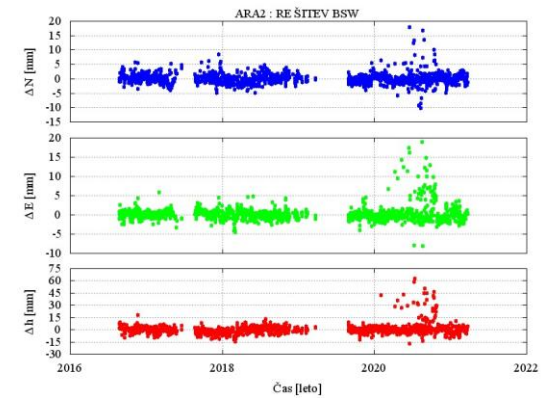
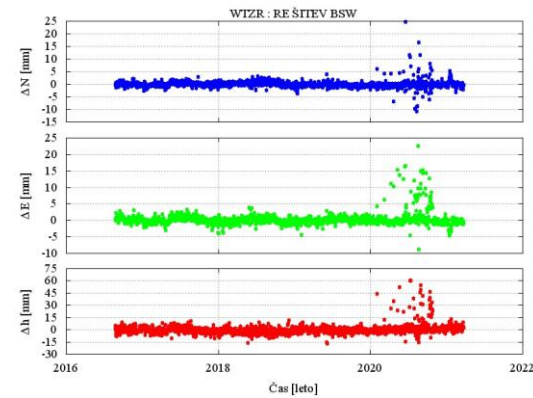
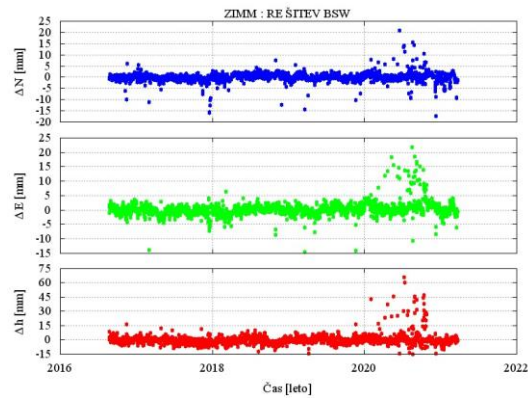
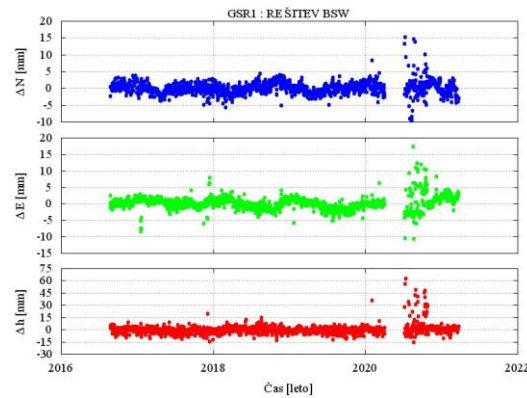
Primerjava med obema rešitvama (Bernese in gPPP):

0.8 mm n, 1.6 mm e, 3.2 mm h



Rezultati

Stabilne časovne vrste (Bernese zgoraj, gPPP spodaj)



GSRI

ZIMM

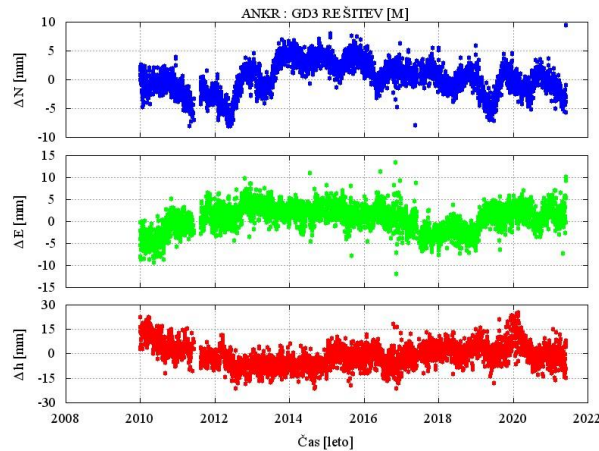
WTZR

ARA1

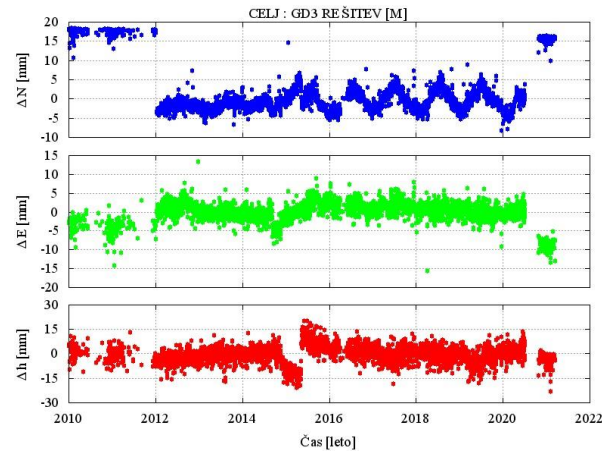
52. Geodetski dan | 8. in 9. oktober 2024, Maribor

Rezultati

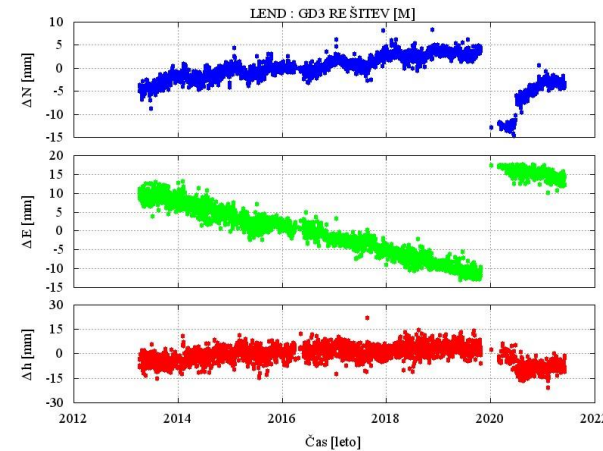
Nestabilne časovne vrste (gPPP)



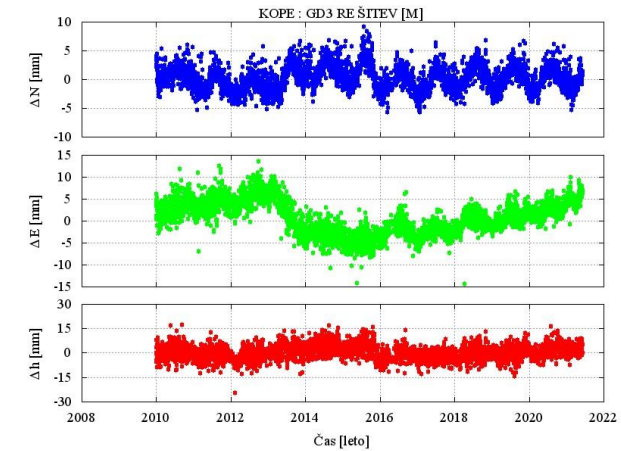
ANKR
potresno območje – nelinearne
časovne vrste



CELJ
zamenjava opreme GNSS –
nezveznost časovnih vrst



LEND
premik postaje GNSS leta 2020 –
preskok v koordinatah



KOPE:
Perioda v časovni vrsti
Postopen premik točke 2013-2015



Obdelava opazovanj GNSS na dnevni osnovi – V2

- Kar se tiče vseh sprememb imen, formatov, vsebin – upoštevano
- Kar se tiče obdelave dnevnih datotek RINEX
 - Posodobitev obdelave v skladu z EPN (tudi prehod na ITRF2020)
 - GPS+GLONASS+Galileo
 - Obdelava sledi paradigmi analiznih centrov EPN – upošteva njihove rezultate in analize (nov nabor referenčnih postaj)
- Kar se tiče časovnih vrst in vektorjev hitrosti
 - Upoštevanje vseh nezveznosti in sprememb hitrosti v časovnih vrstah
 - Modeliranje periodičnih signalov v časovnih vrstah



Postaje omrežja EPN/IGS - novo

- Storitve v okviru EPN – „Reference Station Selection“ (<https://www.epncb.oma.be/productsservices/ReferenceFrame/>)
 - Razvrstitev v razrede: C0-C7 (C0 najbolj stabilne)
 - Razvrstitev glede na analizo:
 - Analiza časovnih vrst koordinat
 - Zanesljivost ocenjenega vektorja hitrosti
 - Variabilnost ocenjenega vektorja hitrosti skozi čas
 - Vsaka postaja ima podane intervale zveznosti časovnih vrst ali trenutke nezveznosti – lahko torej več položajev in vektorjev hitrosti za postajo



Postaje omrežja EPN/IGS - novo

- Izbira novih referenčnih postaj
 - Čim manj in čim bolj stabilne
- Na koncu 15 lokacij, 18 stalnih postaj GNSS
 - 9 tudi v naboru referenčnih v preteklosti (modro) – zagotovitev enoličnosti geodetskega datuma tudi za nazaj
 - 9 na novo (rdeče)
 - Vse imajo status CO ali CI (razen GOPE)
- Kako zgostiti mrežo? Vključitev rešitev EPN





Obravnava sprememb koordinat točk skozi čas

- Za vsako točko se določi:
 - Interval zveznosti in linearnosti v časovnih vrstah
 - Za vsak interval en položaj in vektor hitrosti
 - Vezne enačbe med položaji in/ali hitrostmi različnih intervalov in „različnih“ postaj/točk
- Kaj je „vzrok“ za spremembo v časovnih vrstah
 - Sprememba opreme GNSS postaje
 - Premik postaje (LEND)
 - Lokalni vpliv (KOPE)
- Periodični signali:
 - Za enkrat letna perioda
- Iterativen proces – analiza časovnih vrst

75 ILIB	1	2005-12-19 12:00:00	2013-10-16 13:30:00
	2	2013-10-16 14:40:00	2019-12-18 10:17:00
	3	2019-12-18 11:44:00	2020-06-18 12:59:59
	4	2020-06-18 13:00:00	2098-12-31 23:59:59
76 LEND	1	2013-01-10 12:00:00	2015-10-15 14:00:00
	2	2015-10-16 16:15:00	2019-12-31 23:59:59
	3	2020-01-01 00:00:00	2020-06-24 13:24:59
	4	2020-06-24 13:25:00	2098-12-31 23:59:59
77 MARI	1	2002-11-04 12:00:00	2007-09-13 12:59:59
	2	2007-09-13 13:00:00	2007-10-03 12:00:00
	3	2007-11-29 12:00:00	2008-10-07 10:59:59
	4	2008-10-07 11:00:00	2015-01-08 15:00:00
	5	2015-01-08 15:30:00	2015-01-26 09:00:00
	6	2015-01-26 09:05:00	2098-12-31 23:59:59
78 MRBR	1	2002-11-04 12:00:00	2007-09-13 12:59:59
	2	2007-09-13 13:00:00	2007-10-03 12:00:00
	3	2007-11-29 12:00:00	2008-10-07 10:59:59
	4	2008-10-07 11:00:00	2015-01-08 15:00:00
	5	2015-01-08 15:30:00	2015-01-26 09:00:00
	6	2015-01-26 09:05:00	2020-07-06 08:59:59

#	ID	MARKER NAME	X [m]	Y [m]	Z [m]	VX[m/yr]	VY[m/yr]	VZ[m/yr]	YYYY-MM-DD	HH:MM:SS
#***	*****	*****	*****	*****	*****	***.***	***.***	***.***	****-**-**	**:**:**
1	BACA	1	3917524.87525	1988524.18083	4608585.65540	-0.01887	0.01575	0.00914	2010-01-01	00:00:00
2	BACA	2	3917524.88136	1988524.18277	4608585.65756	-0.01887	0.01575	0.00914	2010-01-01	00:00:00
3	BACA	3	3917524.88136	1988524.18277	4608585.65756	-0.01887	0.01575	0.00914	2010-01-01	00:00:00
4	BAIA	1	3945839.69035	1720428.34615	4691082.75553	-0.01825	0.01637	0.00920	2010-01-01	00:00:00
5	BAIA	2	3945839.69357	1720428.34970	4691082.76811	-0.01825	0.01637	0.00920	2010-01-01	00:00:00
6	BAIA	3	3945839.69357	1720428.34970	4691082.76811	-0.01825	0.01637	0.00920	2010-01-01	00:00:00
7	GENO	1	4507892.24923	707621.57201	4441603.56877	-0.01454	0.01878	0.01102	2010-01-01	00:00:00
8	GENO	2	4507892.24454	707621.57280	4441603.56517	-0.01454	0.01878	0.01102	2010-01-01	00:00:00
9	GENO	3	4507892.24454	707621.57280	4441603.56517	-0.01454	0.01878	0.01102	2010-01-01	00:00:00
10	GOP6	1	3979319.23859	1050312.22310	4857064.61324	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00
11	GOP6	2	3979319.24507	1050312.22308	4857064.62078	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00
12	GOP6	3	3979319.24507	1050312.22308	4857064.62078	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00
13	GOPE	1	3979316.03596	1050312.55528	4857067.13816	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00
14	GOPE	2	3979316.03314	1050312.56150	4857067.13241	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00
15	GOPE	3	3979316.03939	1050312.55815	4857067.14175	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00
16	GOPE	4	3979316.05236	1050312.56517	4857067.15118	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00
17	GOPE	5	3979316.04754	1050312.55979	4857067.15539	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00
18	GOPE	6	3979316.04944	1050312.55828	4857067.15709	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00
19	GOPE	7	3979316.04944	1050312.55828	4857067.15709	-0.01637	0.01676	0.00981	2010-01-01	00:00:00

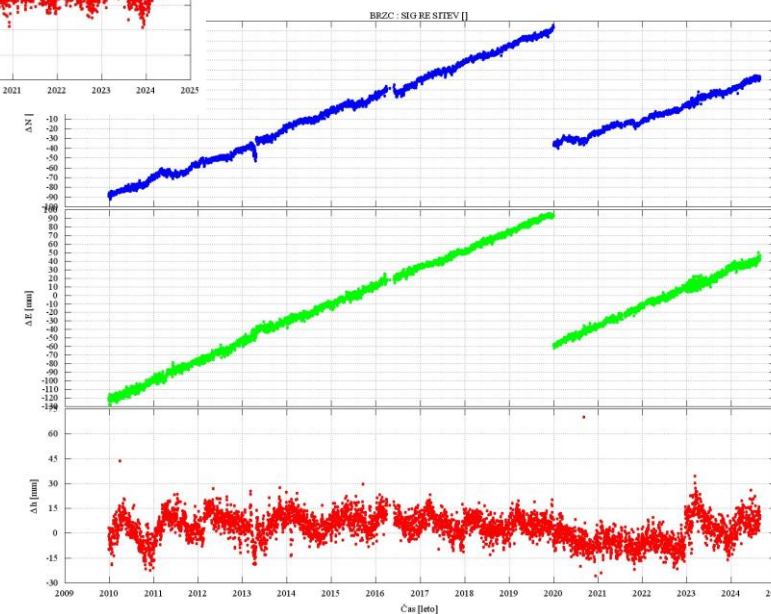
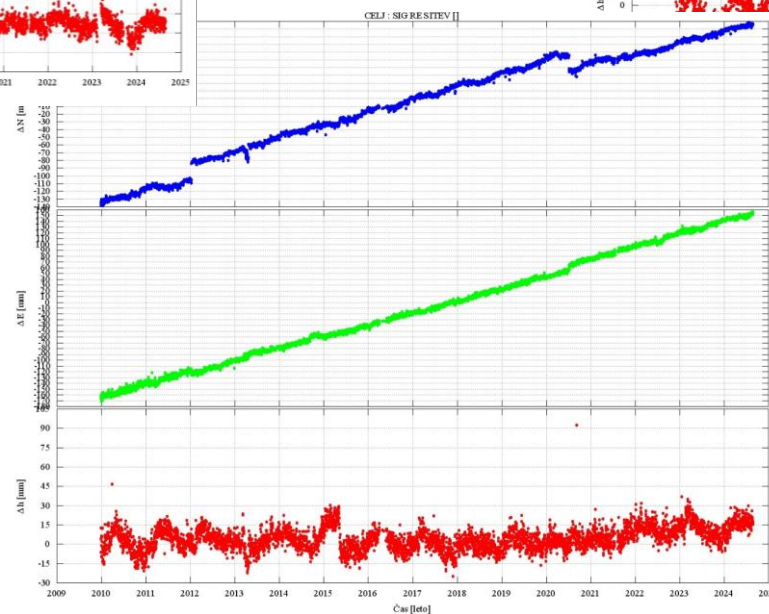
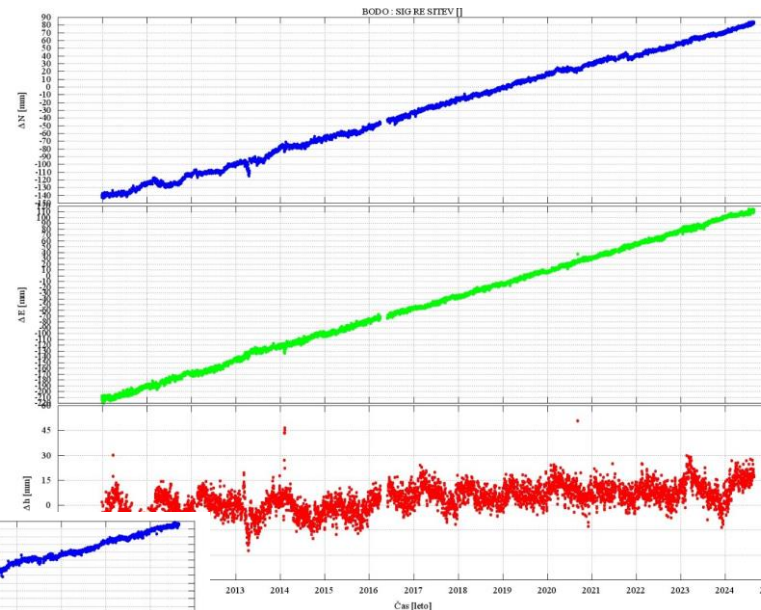
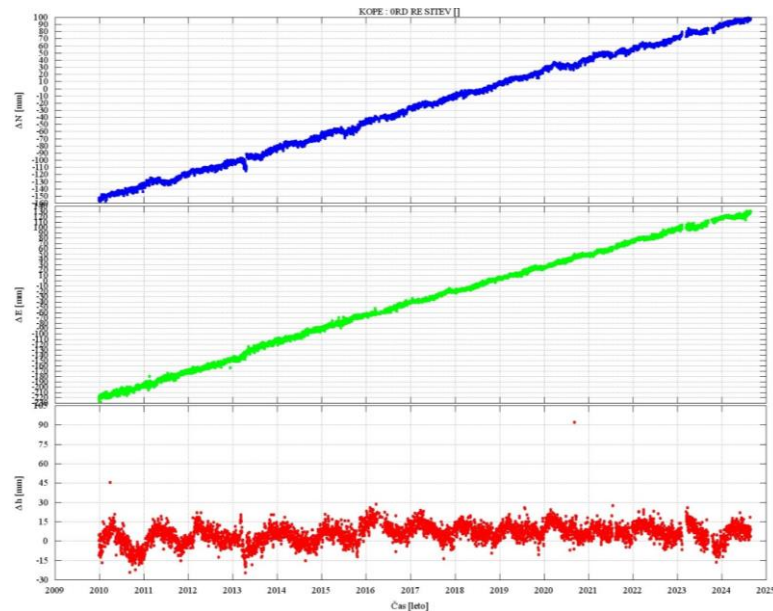


Neprečiščene časovne vrste

DRUŠTVO GEODETOV

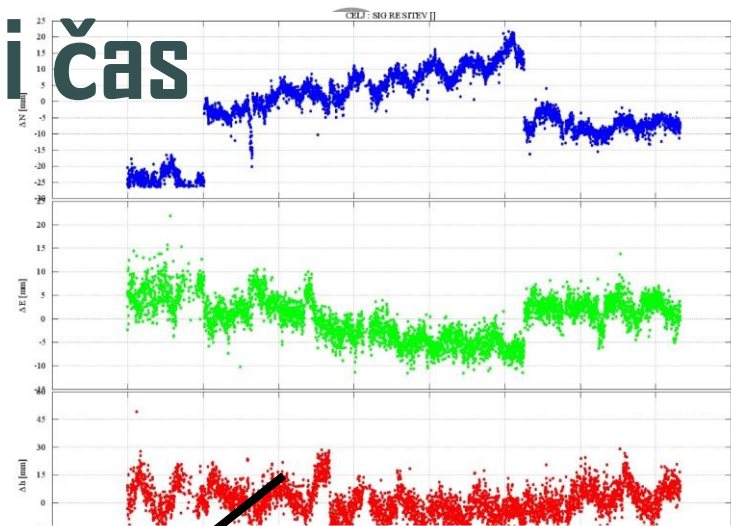
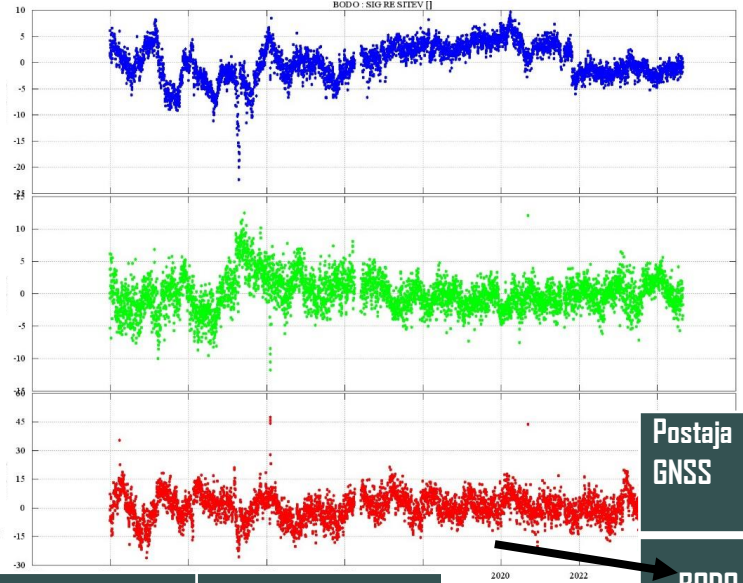
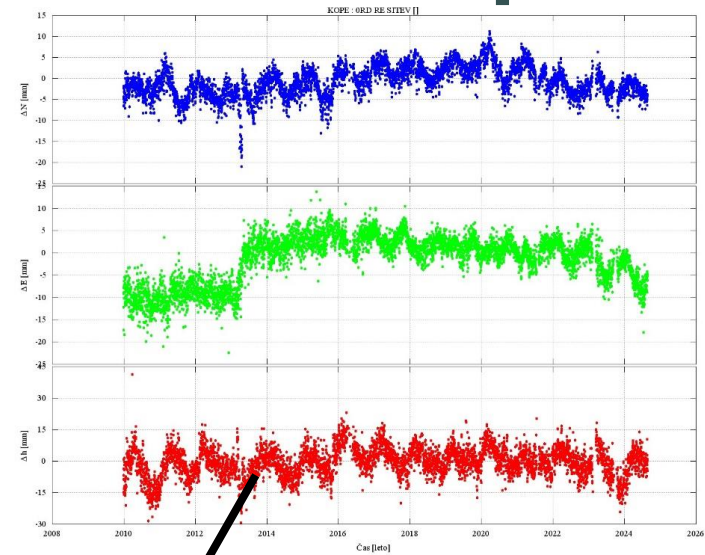


SEVEROVZHODNE SLOVENIJE



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

Obravnava sprememb koordinat točk skozi čas



Postaja GNSS	Časovni interval		Vektor hitrosti	Periodični vpliv
	Od	Do		
ARAI	-	-	1	Da [1 leto]
ARAZ	-	-	1	Da [1 leto]
KGA1	-	-	1	Da [1 leto]
KOPE	-	1. 2. 2013	1	Da [1 leto]
	1. 2. 2013	10. 4. 2014	2	
	10. 4. 2014	6. 11. 2015	3	
	6. 11. 2015	-	1	
KDA1	-	-	1	Da [1 leto]
KDA2	-	-	1	Da [1 leto]
PZA1	-	1. 1. 2021	1	Da [1 leto]
	1. 1. 2021	-		
PZA2	-	26. 6. 2020	1	Da [1 leto]
	26. 6. 2020	1. 1. 2021		
	1. 1. 2021	-		
STAI	-	15. 4. 2016	1	Da [1 leto]
	15. 4. 2016	-		

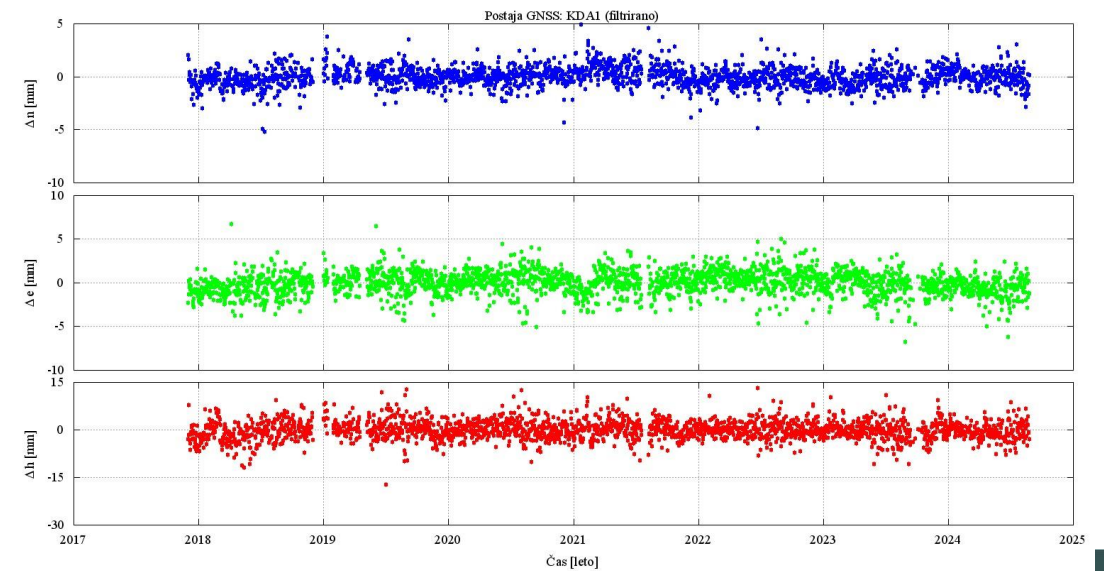
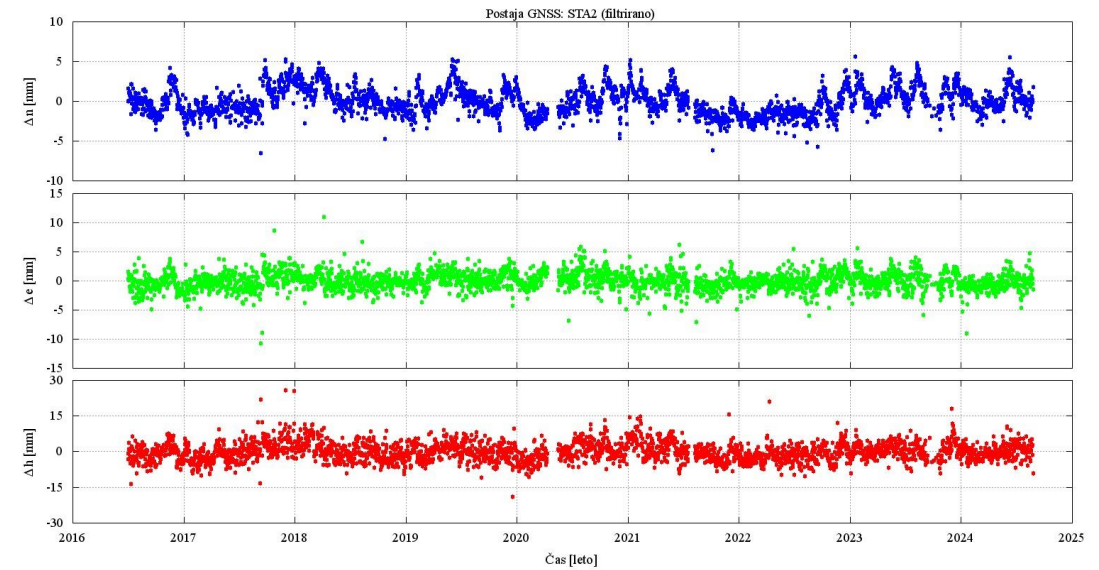
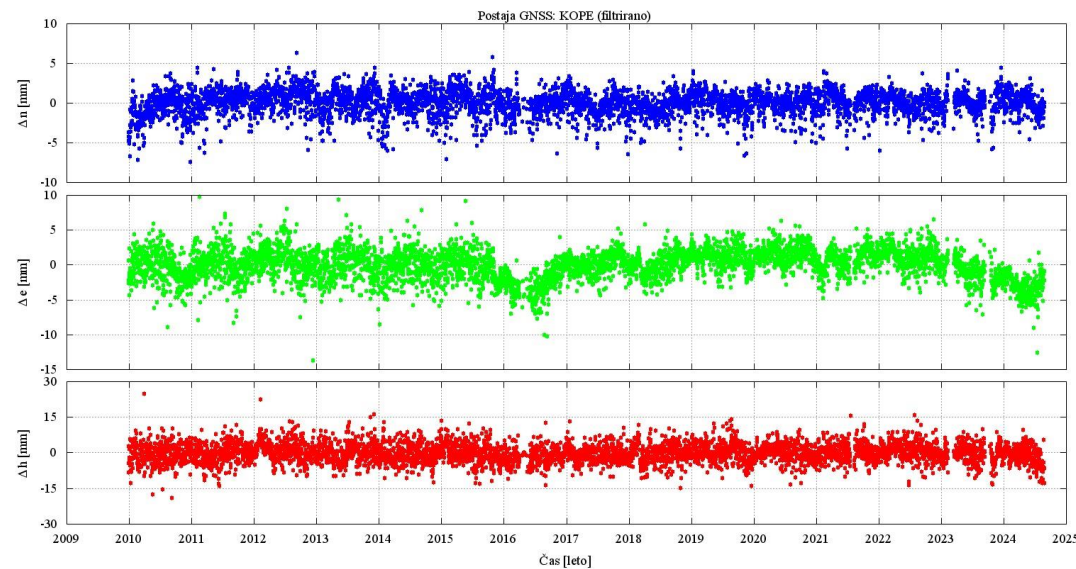
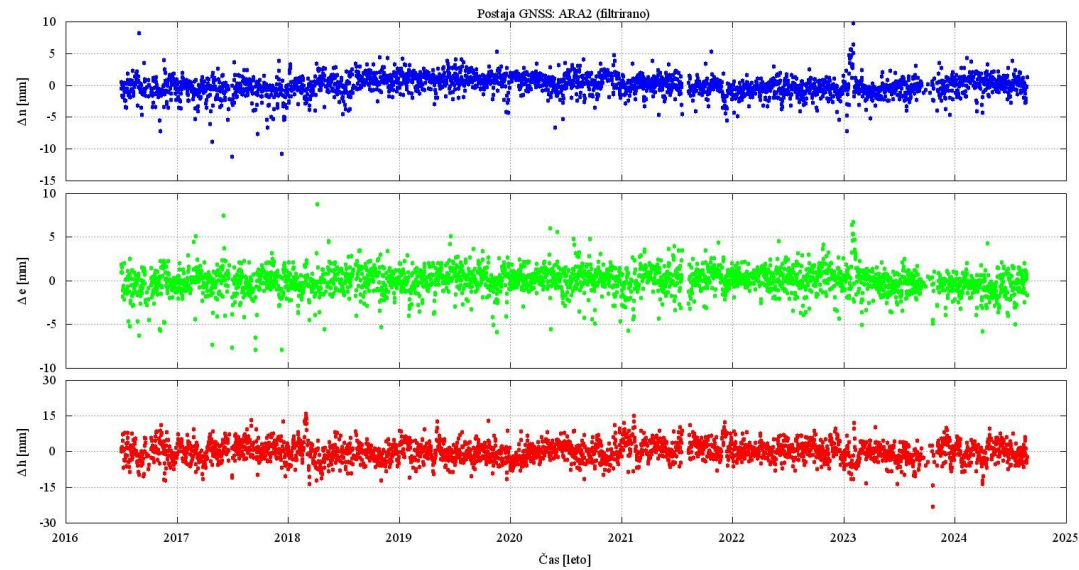
Postaja GNSS	Število intervalov	Število vektorjev hitrosti	Ocenje periodičnega signala	Opomba
BODO	4	1	Da [1 leto]	Dva periodična signala valovne dolžine enega leta (ločnica konec 2014)
BOVC	3	1	Da [1 leto]	
BRZC	2	1	Da [1 leto]	
CELJ	5	1	Da [1 leto]	Dodatna dva intervala iz časovnih vrst ter dva periodična signala (letna valovna dolžina, ločnica konec 2014)
CRNM	3	1	Da [1 leto]	
GSRI	6	1	Da [1 leto]	
IDRI	2	1	Da [1 leto]	
ILIB	4	1	Da [1 leto]	
LEND	4	1	Da [1 leto]	
MRBR	7	1	Da [1 leto]	
NOVG	3	1	Da [1 leto]	
PTUJ	5	1	Da [1 leto]	Dodatna dva intervala iz časovnih vrst
RDVL	2	1	Da [1 leto]	
SLOG	3	1	Da [1 leto]	
TBRN	8	1	Da [1 leto]	

Rezultati – V2 (0.red)

DRUŠTVO GEODETOV



SEVEROVZHODNE SLOVENIJE



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

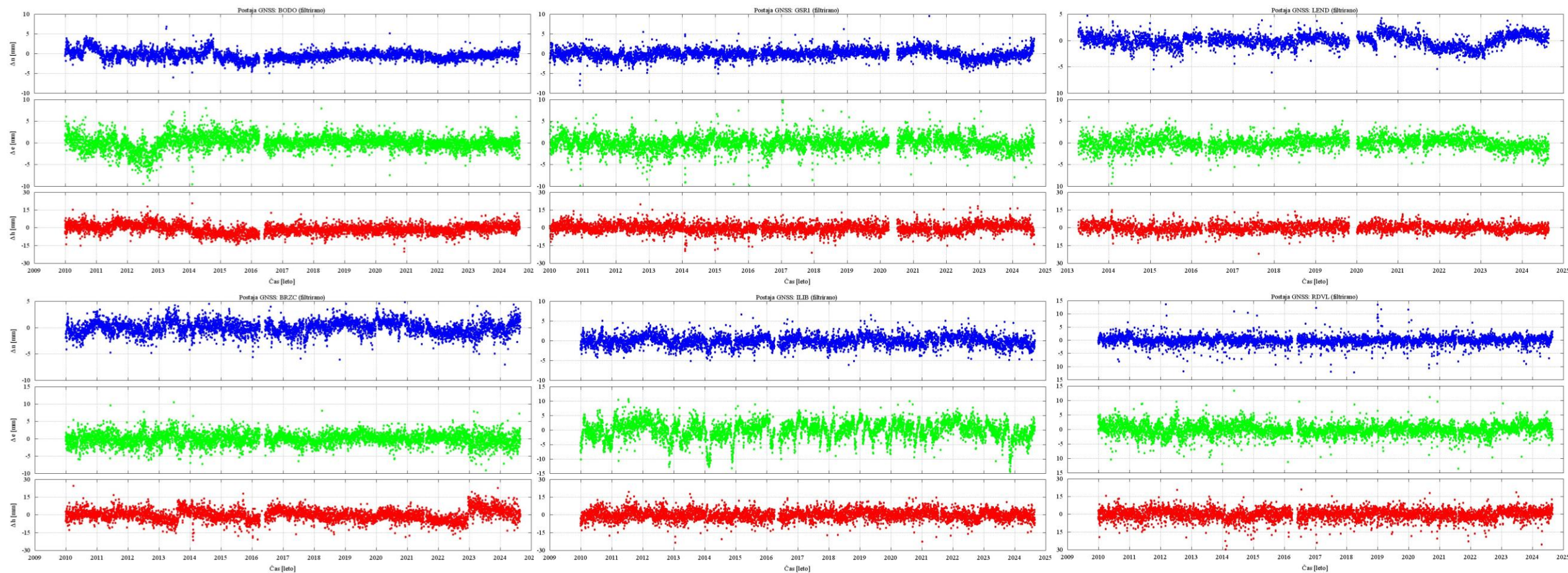


Rezultati – V2 (SIGNAL)

DRUŠTVO GEODETOV



SEVEROVZHODNE SLOVENIJE



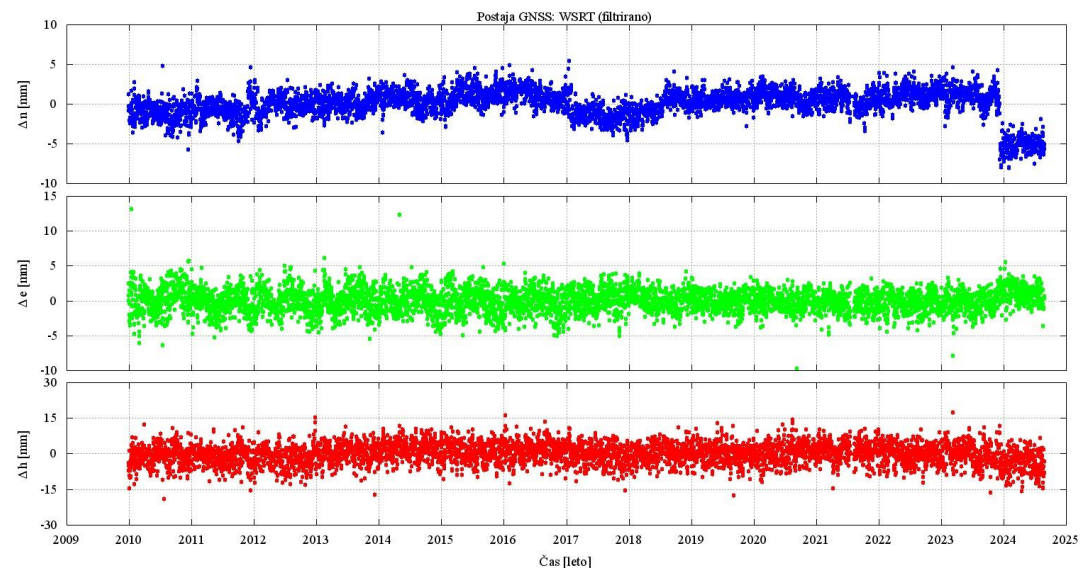
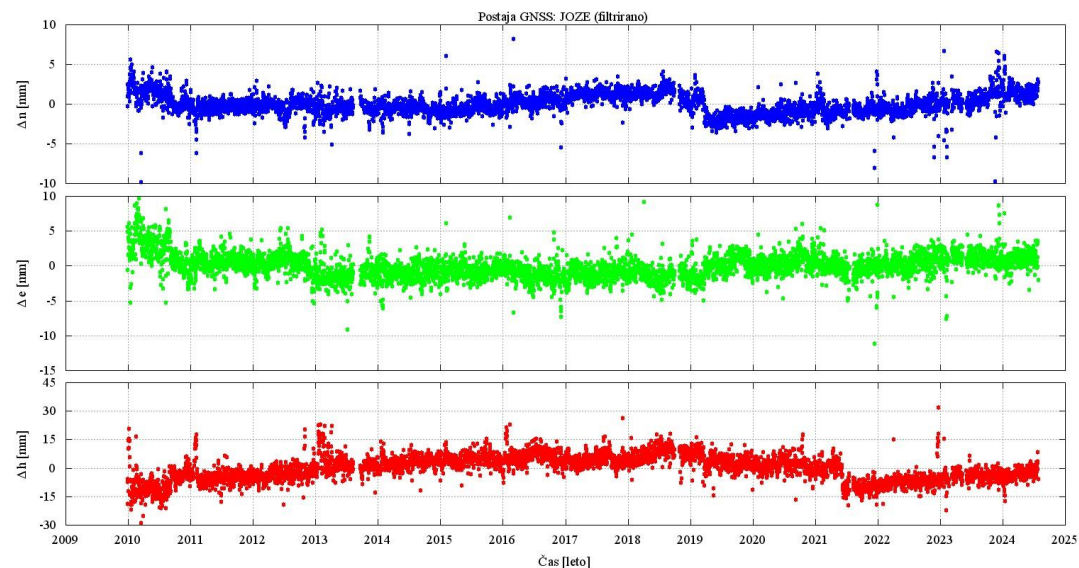
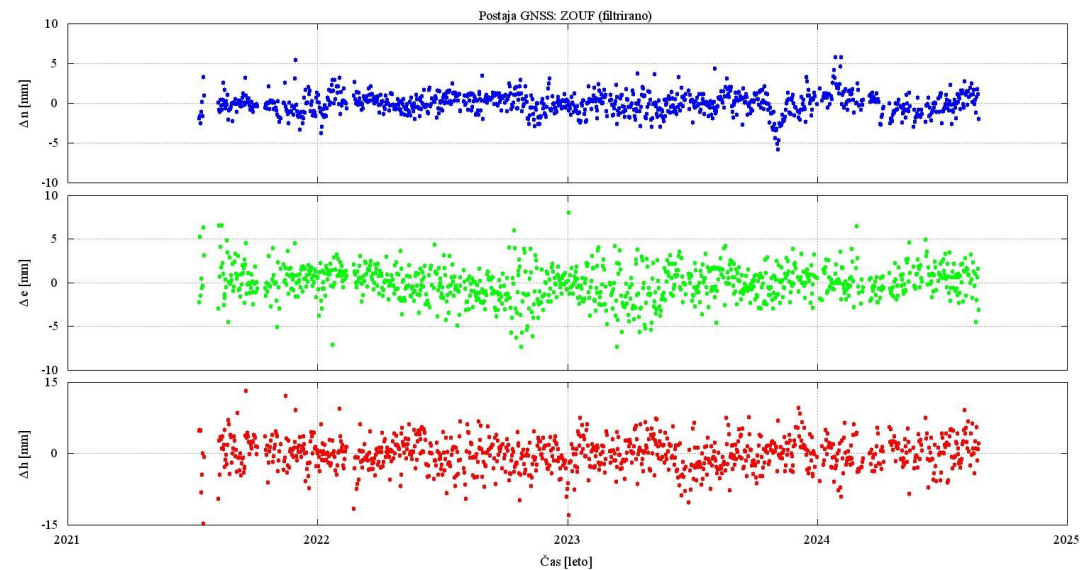
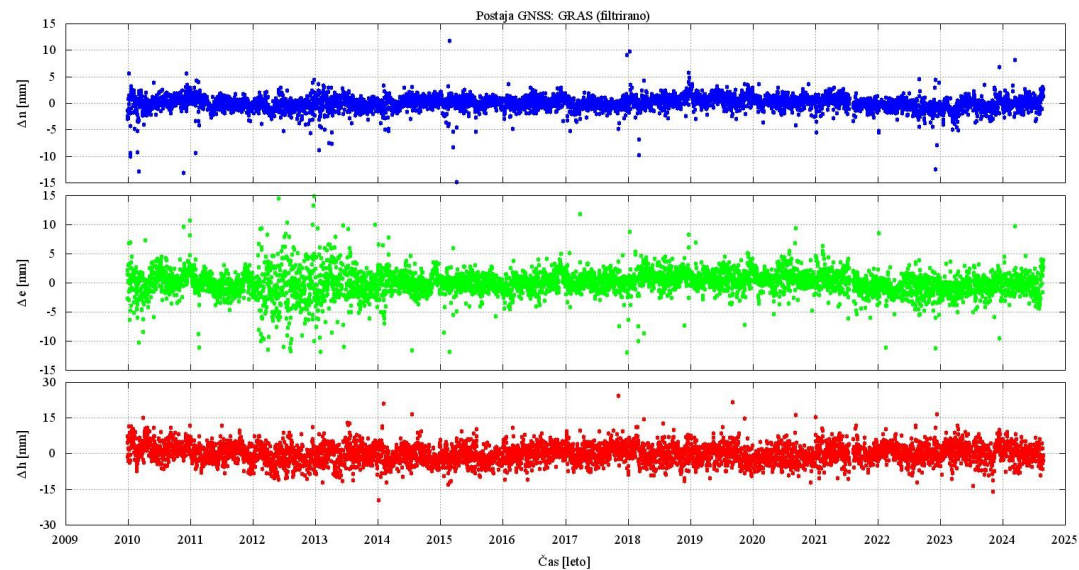
52. Geodetski dan | 8. in 9. oktober 2024, Maribor

Rezultati – V2 (EPN)

DRUŠTVO GEODETOV



SEVEROVZHODNE SLOVENIJE



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

Na koncu...

- 4. razsežnost – spremembe skozi čas
 - Konstanten del – geodinamika/geotektonika
 - Variabilen del – sistematičen (nemodelirani pogreški (atmosfera), podtalnica), nesistematičen (lokalni vplivi (plazenje, potresi...))
- Ključno: dobiti koordinate točke v poljubnem trenutku pod cm točno v ustreznem prostorske referenčnem sistemu (skladnost z geodetskimi opazovanji)
- Geokinematski model – dinamičen, semi-dinamičen?
- Pogoji: kakovostna obdelava dnevnih datotek referenčnih postaj in analiza časovnih vrst

Hvala lepa za pozornost...



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