ZBORNIK RADOVA 5. CROPOS KONFERENCIJE

IZDAVAČI:

REPUBLIKA HRVATSKA
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA
Gruška 20, HR-10000 Zagreb
Tel./Fax.: (+385 1) 6165-404 / 6165-484

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET
Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb
Tel/Fax: (+385 1) 4639 222 / 4828 081

HRVATSKO GEODETSKO DRUŠTVO
Berislavićeva 6, HR-10000 Zagreb
Tel.: (+385 1) 4639-371

HRVATSKA KOMORA OVLAŠTENIH
INŽENJERA GEODEZIJE
Ul. grada Vukovara 271/II, HR-10000 Zagreb
Tel./Fax.: (385 1) 5508 402 / 5508 408

UREDNICI:
Dr. sc. Marijan Marjanović
Doc. dr. sc. Marko Pavasović

TEHNIČKI UREDNICI:
Dr. sc. Ivan Landek
Željka Molak Župan, univ. spec. geod. i geoinf., dipl. ing.

0RGANIZACIJSKI ODBOR:
Dr. sc. Marijan Marjanović, predsjednik
Dr. sc. Ivan Landek
Izv. prof. dr. sc. Mladen Zrinjski
Doc. dr. sc. Danijel Šugar
Doc. dr. sc. Rinaldo Paar
Doc. dr. sc. Marko Pavasović
Vladimir Krupa, dipl. ing. geod.
Ivan Remeta, dipl. ing. geod.

ZNANSTVENO-STRUČNI ODBOR:
Doc. dr. sc. Marko Pavasović, predsjednik
Dr. sc. Marijan Marjanović
Dr. sc. Ivan Landek
Izv. prof. dr. sc. Mladen Zrinjski
Doc. dr. sc. Danijel Šugar
Doc. dr. sc. Rinaldo Paar

SURADNICI:
Mr. sc. Margareta Premužić
Martina Ciprijan, dipl. ing. geod.
Martina Babić, dipl. ing. geod.
Ivana Šimat, dipl. ing. geod.
Doc. dr. sc. Loris Redovniković
Zvonimir Nevistić, mag. ing. geod. et geoinf.
Marin Govorčin, mag. ing. geod. et geoinf.
Marin Ivančić, mag. iur.

SPONZORI:
ZLATNI SPONZOR: Geomatika-Smolčak d.o.o.
SREBRNI SPONZOR: Megatrend poslovna rješenja d.o.o.
BRONČANI SPONZOR: Tehnomehanik d.o.o., GiB PRO d.o.o., GeoMIR Desktop, Arc Geo d.o.o., GEOWILD d.o.o.

TISAK:
PRINTERA GRUPA d.o.o.

NAKLADA:
500 primjeraka

Napomena: Svi radovi su recenzirani bez naknadne lekture teksta.
Zbornik radova će biti objavljen u digitalnom obliku na mrežnoj stranici CROPOS-a www.cropos.hr.

ISSN 1847-4098

SADRŽAJ

UVODNA RIJEČ 5
Marijan Marjanović, Marko Pavasović

POZVANA PREDAVANJA 7

GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAVI – BUDUĆNOST I IZAZOVI 9
Željko Bačić

IMPACT OF MULTI-GNSS ANALYSIS ON PRECISE GEODETIC APPLICATIONS WITH EXAMPLES FROM SWITZERLAND AND EUREF 11
Elmar Brockmann, Daniel Ineichen, Simon Lutz, Stefan Schaer

ZBORNIK RADOVA 5. CROPOS KONFERENCIJE 13

CROPOS – DESET GODINA RADA SUSTAVA 15
Marijan Marjanović, Martina Ciprijan

UNAPRJEĐENJE HRVATSKOGA POZICIJSKOG SUSTAVA (CROPOS) POVEZIVANJEM S EUROPSKIM GLOBALNIM SATELITSKIM SUSTAVOM GALILEO 27
Martina Ciprijan, Marijan Marjanović

PROJEKT EDUKACIJE SLUŽBENIKA DRŽAVNE GEODETSKE UPRAVE O PRIMJENI NOVIH METODA POZICIONIRANJA I NOVIH SERVISA CROPOS-A 33
Margareta Premužić, Marijan Marjanović

ISPITIVANJE NAVIGACIJSKE TOČNOSTI BESPOSADNIH LETJELICA 43
Denis Blaženka, Željko Bačić, Danijel Šugar

MOGUĆNOSTI POZICIONIRANJA PRIMJENOM SUSTAVA GALILEO I NOVIH METODA MREŽNOG RJEŠENJA 55
Margareta Premužić, Danijel Šugar, Željko Bačić

OBNOVA REFERENTNE MREŽE REPUBLIKE HRVATSKE 2006-2018 71

OBNOVA REFERENTNE MREŽE REPUBLIKE HRVATSKE 2006-2018 73
Margareta Premužić, Marijan Marjanović

UVODNA RIJEČ

Održavanje CROPOS konferencija započelo je 2009. godine, samo šest mjeseci nakon puštanja CROPOS-a u službenu upotrebu dana 9. prosinca 2008. godine s ciljem okupljanja geodetskih stručnjaka iz zemlje i inozemstva kako bi razmijenili iskustva vezana uz rad i korištenje GNSS tehnologije, posebno GNSS permanentnih mreža te informiranja korisnika o radu CROPOS-a, njegovom statusu i razvoju. Ovogodišnja konferencija je peta jubilarna po redu kojom se ujedno obilježava deset godina uspješnog rada CROPOS-a koji je u tom razdoblju potpuno integriran u geodetsko-katastarski sustav Republike Hrvatske i postao nezaobilazan alat za obavljanje svakodnevnih geodetskih zadaća. U cilju osiguravanja bolje pokrivenosti graničnog područja Republike Hrvatske uz 33 hrvatske GNSS stanice u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara uključeno je 18 GNSS stanica temeljem potpisanih sporazuma o razmjeni podataka pograničnih referentnih stanica sa susjednim zemljama Republikom Slovenijom, Mađarskom, Republikom Crnom Gorom te Bosnom i Hercegovinom. Od puštanja CROPOS-a u službenu upotrebu, Državna geodetska uprava kontinuirano ulaže u računalnu i programsku opremu te edukaciju službenika, a rezultat stalnog praćenja rada i vođenja brige o sustavu je osiguralo visoku dostupnost koja je veća od 99,9%.

5. CROPOS konferenciju zajedno organiziraju Državna geodetska uprava, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatsko geodetsko društvo i Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije s ciljem unaprjeđenja i proširenja primjene CROPOS-a te informiranjem sudionika o aktivnostima održavanja i planovima za nadogradnju sustava.

Dr. sc. Marijan Marjanović
predsjednik Organizacijskog odbora

Doc. dr. sc. Marko Pavasović
predsjednik Znanstveno-stručnog odbora

POZVANA PREDAVANJA

GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAVI – BUDUĆNOST I IZAZOVI

Prof. dr. sc. Željko Bačić

Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Katedra za satelitsku geodeziju, Kačićeva 26, Zagreb, Republika Hrvatska, zbacic@geof.hr

Sažetak: Po prvi puta, u skoro pola stoljeća globalne satelitske navigacije i pozicioniranja, svi globalni i regionalni sustavi satelitske navigacije (GNSS) imaju jasnu viziju svog razvoja i ostvarive rokove uspostave pune funkcionalnosti, odnosno modernizacije. GPS će konačno ove godine lansirati prvi satelit nove generacije (GPS III), kao što je u tijeku modernizacija GLONASS-a lansiranjem GLONASS-K satelita. Istovremeno Europska unija i Kina intenzivno rade na postizanju pune operativne sposobnosti svojih Galileo i Beidou sustava do 2020. godine, dok su Indija (GAGAN i IRNSS) i Japan (MSAS i QZSS) postigle punu konstelaciju. Ovaj razvoj garantira uskoro povećanje točnosti (pogotovo navigacijske) koju će sustavi osigurati, ali prije svega povećanje dostupnosti i integriteta tih sustava. Novi signali i servisi koje će potpuno funkcionalni GNS sustavi pružati omogućiti će razvoj novih aplikacija i daljnje proširenje primjene GNSS-a na zadovoljstvo korisnika. Dovršetak razvoja novih GNSS sustava nameće potrebu za modernizacijom GNSS prijamnika, kao i permanentnih GNSS mreža što se trenutno događa diljem svijeta.

Međutim, istovremeno sa širenje primjene GNSS-a i očekivanjima korisnika da mogu koristiti GNSS bez problema na globalnoj razini, bilo gdje i bilo kada pod bilo kojim uvjetima, javlja se sve više izazova i ugroza koje otežavaju ili onemogućavaju njegovu primjenu. Zanemarimo li ometanje primjene GNSS-a u vojne svrhe, ometanje GNSS signala je danas realnost, izazvana slučajno ili namjerno, s ozbiljnim posljedicama na primjenu u civilnom zrakoplovstvu ili korištenje besposadnih letjelica. Ispitivanja na Geodetskom fakultetu su pokazala da se korištenjem i najjednostavnijih ometača može utjecati na rad GNSS prijamnika na udaljenostima od nekoliko stotina metara. Stoga je razumijevanje funkcioniranja GNSS-a i pogotovo interpretacije rezultata opažanja od posebne važnosti za primjene u geodeziji i svim područjima ljudske aktivnosti koja traže postizanje najviše točnosti s GNSS mjerenjima.

IMPACT OF MULTI-GNSS ANALYSIS ON PRECISE GEODETIC APPLICATIONS WITH EXAMPLES FROM SWITZERLAND AND EUREF

Elmar Brockmann, Daniel Ineichen, Simon Lutz, Stefan Schaer
Federal Office of Topography swisstopo, Seftigenstrasse 264 , 3084 Wabern, Switzerland

Abstract: Today, many GNSS Permanent networks are enhanced from GPS or GPS/Glonass networks to Multi-GNSS networks supporting also the signals of the European Galileo and the Chinese BeiDou satellite system. The additional signals are beneficial to many applications. This paper focus on the impact on precise geodetic applications, such as precise coordinate determination based and daily solutions and also improvements on kinematic precise PPP solutions. Here, results from the complete processing chain are shown – from data collection to analysis.

Swisstopo, the Swiss Mapping agency enhanced its permanent network to Multi-GNSS beginning 2015. A complete MULTI-GNSS data flow based on RINEX3 is established parallel to the RINEX2 data flow mid-2015. Parallel to these developments also the field equipment was replaced after conducting a technical evaluation. All 200 reference stations were measured in 2016 by static Multi-GNSS observations of about 48 hours.

On the analysis side the scientific Bernese Software was updated enabling multi-GNSS capability and making use of the IGS MGEX products (especially the CODE-derived Multi-GNSS orbits). These developments were used to analyse the Multi-GNSS data from the field campaigns as well as to analyse the permanent networks. As first analysis centre in Europe the contribution of daily and weekly solutions to the European Permanent Network (EPN) of EUREF (IAG sub-commission on Reference Frames in Europe) was switched to Multi-GNSS mid-2016. We headline also the progress achieved concerning Multi-GNSS within EUREF.

Intersystem parameters are an important indicator of the compatibility of the coordinates and troposphere parameters between the various satellite systems. Examples will show the order of magnitude these parameters can reach and will demonstrate its impact on the final results.

On the way towards real-time, we show results of kinematic PPP solutions, addressing the possible gain using additional satellite systems.

ZBORNIK RADOVA 5. CROPOS KONFERENCIJE

CROPOS – DESET GODINA RADA SUSTAVA

Marijan Marjanović[1], Martina Ciprijan[2]
[1]Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, marijan.marjanovic@dgu.hr
[2]Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, martina.ciprijan@dgu.hr

Sažetak: Državna geodetska uprava pustila je 9. prosinca 2008. godine u službenu upotrebu hrvatski pozicijski sustav CROPOS. Tijekom proteklog razdoblja od deset godina, Državna geodetska uprava ulagala je napore u održavanje, razvoj i nadogradnju CROPOS-a kako bi se osigurala pouzdanost njegovog rada, ali i pružanje novih usluga korisnicima. U cilju osiguravanja bolje pokrivenosti graničnog područja Republike Hrvatske te povećanja pouzdanosti rada sustava u slučaju neplaniranog prekida rada pojedine referentne stanice CROPOS sustava temeljem potpisanih sporazuma o razmjeni podataka pograničnih referentnih stanica sa susjednim zemljama Republikom Slovenijom, Mađarskom, Republikom Crnom Gorom te Bosnom i Hercegovinom u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara uključena je ukupno 51 referentna stanica. Rezultat stalnog praćenja rada sustava i vođenja brige o sustavu je osiguralo visoku dostupnost sustava koja je od njegovog uspostavljanja do danas veća od 99,9%. Broj registriranih korisnika sustava stalno raste te je do lipnja 2018. godine registrirano 869 tvrtki s ukupno 1293 korisničkih imena za VPPS uslugu tj. primjenu GNSS RTK metode mjerenja u realnom vremenu.

Ključne riječi: CROPOS, dostupnost sustava, korištenje sustava, razvoj sustava

1. CROPOS - hrvatski pozicijski sustav

CROPOS (engl. *CROatian POSitioning System*) je državna mreža referentnih GNSS stanica koja je postavila nove standarde određivanja položaja u Republici Hrvatskoj i omogućava primjenu modernih metoda mjerenja i tehnologije u svakodnevnom radu geodetskih stručnjaka. Primjena CROPOS-a osigurava određivanje koordinata točaka na cijelom području države s istom točnošću i pomoću jedinstvenih metoda mjerenja te je njegovom uspostavom ispunjen jedan od najvažnijih uvjeta za implementaciju novih geodetskih datuma i kartografskih projekcija Republike Hrvatske.

Uspostava CROPOS-a je financirana u okviru PHARE-2005 programa Europske unije "*Modernization and Capacity Building of Integrated Land Administration System in Croatia and Harmonization in the Pilot Area - komponenta R3: CROPOS System*" u iznosu od 75% sredstava i državnog proračuna Republike Hrvatske u iznosu od 25% sredstava. Ugovor je uključivao isporuku mjerne, komunikacijske, računalne i programske opreme, njihovu instalaciju i testiranje rada sustava te edukaciju službenika Državne geodetske uprave za poslove održavanja i administracije sustava. Svi radovi predviđeni ugo-

vorom su dovršeni 19 dana prije roka, tako da je sustav pušten u službenu uporabu 9. prosinca 2008. godine.

Zahvaljujući visokoj tehnološkoj i tehničkoj kvaliteti svih komponenti sustava, ali i svakodnevnom nadzoru i održavanju sustava, u proteklih deset godina osigurana je visoka pouzdanost rad sustava, tako da je dostupnost bila veća od 99,9%.

2. Status i razvoj CROPOS sustava

Godine 2008. u okviru CROPOS-a postavljeno je 30 referentnih GNSS stanica na međusobnoj udaljenosti od ~70 km tako da ravnomjerno prekrivaju područje države. Naknadno su uspostavljene još tri referentne stanice (Nova Gradiška, Hvar i Dubrovnik) u svrhu progušćenja mreže (Slika 1).

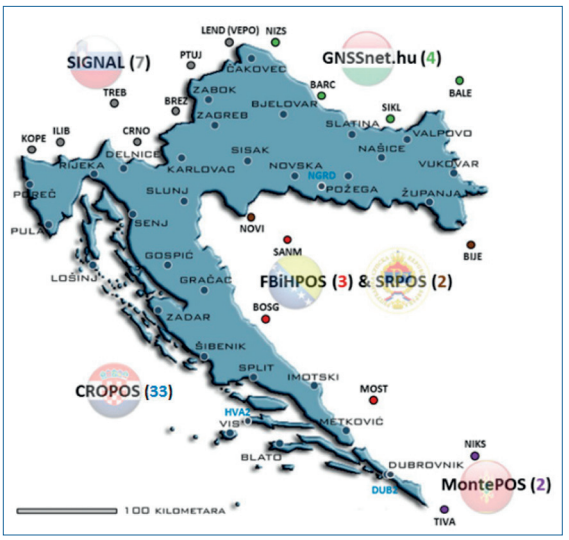
Kako bi se osigurala bolja pokrivenost graničnog područja Republike Hrvatske te povećala pouzdanost rada sustava u slučaju neplaniranog prekida rada pojedine referentne stanice CROPOS-a, temeljem potpisanih sporazuma o razmjeni podataka pograničnih referentnih stanica sa susjednim zemljama Republikom Slovenijom (SIGNAL), Mađarskom (GNSSnet.hu), Republikom Crnom Gorom (MONTEPOS) te Bosnom i Hercegovinom (FBiHPOS i SRPOS) u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara uključeno je dodatnih 18 referentnih stanica (Tablica 1).

Tablica 1: **Umreženo rješenje CROPOS-a i pozicijskih sustava susjednih zemalja**

Broj stanica umreženog rješenja	GNSS mreža
33	CROPOS (33)
37	GNSSnet.hu (4)
44	SIGNAL (7)
46	MONTEPOS (2)
49	FBiHPOS (3)
51	SRPOS (2)

Zbog preseljenja katastarskih ureda, referentne stanice CROPOS-a u Šibeniku i Metkoviću su također premještene na novu lokaciju, a do kraja godine planirano je i premještanje referentne stanice u Splitu.

Od lipnja 2013. godine 5 referentnih GNSS stanica CROPOS-a CAKO (Čakovec), DUB2 (Dubrovnik), PORE (Poreč), POZE (Požega) i ZADA (Zadar) uključeno je u EUREF permanentnu GNSS mrežu – EPN (engl. *EUREF Permanent Network*; Slika 2). U EPN centrima svakodnevno se provjerava kvaliteta pristiglih GNSS mjerenja, dostupnost i konzistentnost podatka. Državna geodetska uprava je 2011. go-



Slika 1: **Referentne stanice CROPOS-a**



Slika 2: **Stanice EPN mreže**

dine predložila 5 CROPOS stanica za uključenje u EPN i nakon razdoblja kontrole i analize podataka mjerenja kroz godinu i pol dana od strane EPN centara za analizu podataka, svih 5 stanica uspješno je uključeno u EPN (URL1).

2.1. Usluge CROPOS sustava

Nakon uspostave CROPOS-a 2008. godine korisnicima su na raspolaganju bile tri usluge koje se međusobno razlikuju po metodi rješenja, točnosti, načinu prijenosa podataka i formatu podataka (Marjanović i Link, 2009):

- DPS – diferencijalni pozicijski servis u realnom vremenu,
- VPPS – visokoprecizni pozicijski servis u realnom vremenu,
- GPPS – geodetski precizni pozicijski servis.

Kako bi se korisnicima omogućilo određivanje koordinata u realnom vremenu tijekom obavljanja terenskih mjerenja u naslijeđenom (HDKS) i službenom položajnom referentnom sustavu (HTRS96) te određivanje ortometrijskih visina u naslijeđenom (HVRS1875) i službenom referentnom visinskom sustavu (HVRS71), razvijen je jedinstveni transformacijski model T7D i novi model geoida HRG2009 (Bašić, 2009) te je CROPOS nadograđen i korisnicima su stavljene na raspolaganje dvije nove opcije unutar VPPS usluge u realnom vremenu:

- VRS_HTRS96 (HTRS96/ETRS89 > HTRS96/TM),
- VRS_HDKS (HTRS96/ETRS89 > HDKS).

U CROPOS je instaliran *Trimble Transformation Generator* (TTG), program koji na temelju pripremljenih podataka i koordinata prijemnika korisnika računa transformacijske parametre. Transformacijski parametri šalju se korisnicima putem RTCM (engl. *Radio Technical Commission for Maritime Services*) 3.1 formata kako su u tom formatu predviđene transformacijske poruke 1021 i 1023.

Za rad TTG programa pripremljeni su sljedeći podaci:

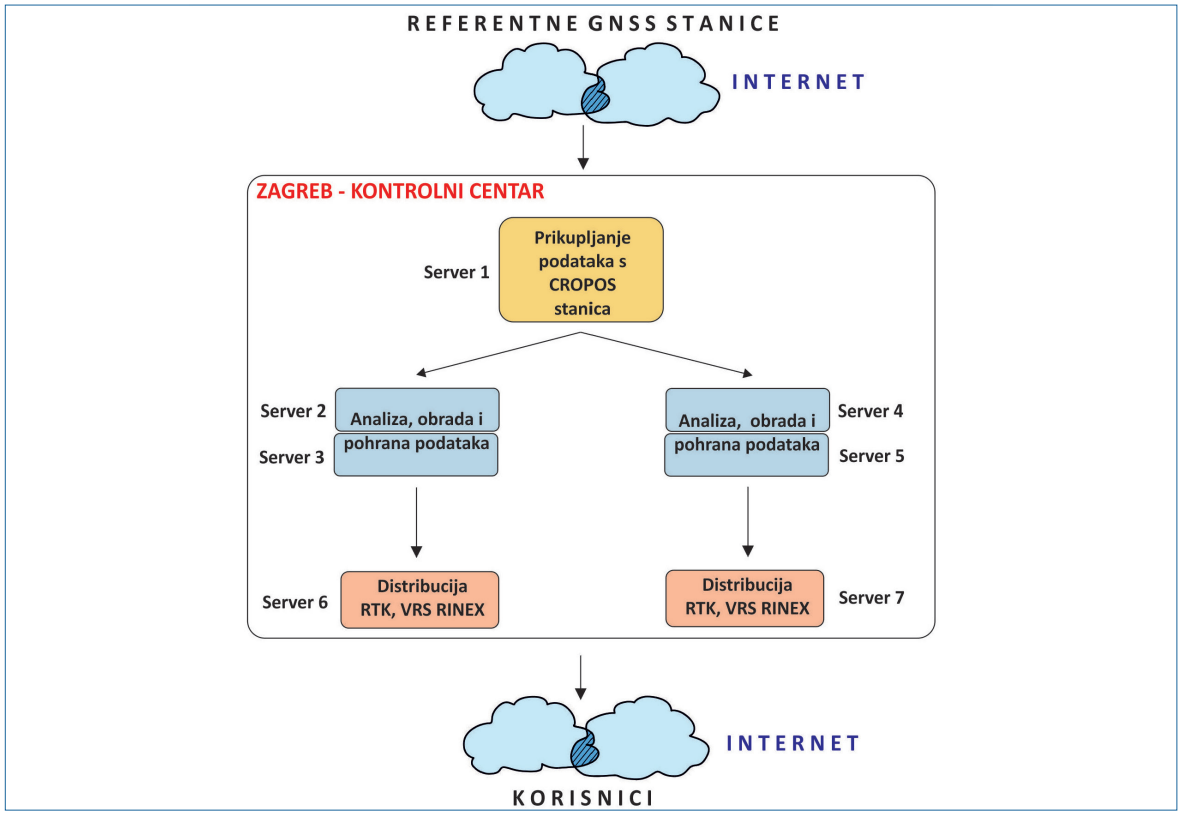
- set transformacijskih parametara (7 parametara, GRS80 > Bessel1841)
- grid datoteke:
- geoidne undulacije (HVRS71),
- geoidne undulacije (HVRS1875),
- parametri distorzije (korekcije za položajnu transformaciju).

Nakon uspješno obavljenog testiranja, usluge CROPOS-a za on-line transformaciju puštene su u službenu upotrebu 2011. godine.

2.2. Nadogradnja CROPOS-a

U kolovozu 2012. godine obavljena je značajna nadogradnja kontrolnog centra CROPOS-a u okviru koje je *GPS Net* upravljački program zamijenjen s *Trimble Pivot Platform* (TTP) programom koji nizom novih opcija omogućava učinkovitije upravljanje i održavanje rada sustava. Prijelazom na novi upravljački program iskorištene su njegove mogućnosti i prednosti te je u potpunosti promijenjena konfiguracija kontrolnog centra. Konfiguracija računalne i programske opreme izvedena je na način da su aplikacije instalirane na dva servera (obrada podataka, pohrana podataka, baza podataka i distribucija podataka), dok je na jednom serveru instalirana aplikacija za prikupljanje podataka mjerenja s CROPOS stanica tako da u velikoj mjeri postoji redundancija sustava koja osigurava rad sustava u slučaju problema s radom pojedinog servera (Slika 3). Također, broj licenci koje omogućavaju korisnicima istovremeni pristup sustavu i korištenje VPPS usluge tj. primjenu GNSS RTK metode mjerenja u realnom vremenu povećan je sa 100 na 169.

Trimble Pivot Platform razvijen je na .NET platformi koja podržava najnovije operativne sustave sa servisno-orijentiranom arhitekturom. Baza podataka i dalje se temelji na Microsoft SQL rješenju, dok su performanse DB servera poboljšane u svrhu rada s redundantnim sustavima odnosno sesijama. Najvažnija novost *Trimble Pivot* platforme je korištenje poboljšanih algoritama mrežnog procesiranja za VRS tehnologiju, kao i mogućnost kreiranja mrežnih korekcija za FKP i MAC metode, uz klasičnu RTK SB opciju. Nova verzija omogućava i praćenje novo



Slika 3: **Konfiguracija kontrolnog centra CROPOS-a u Zagrebu (2008. – 2016.)**

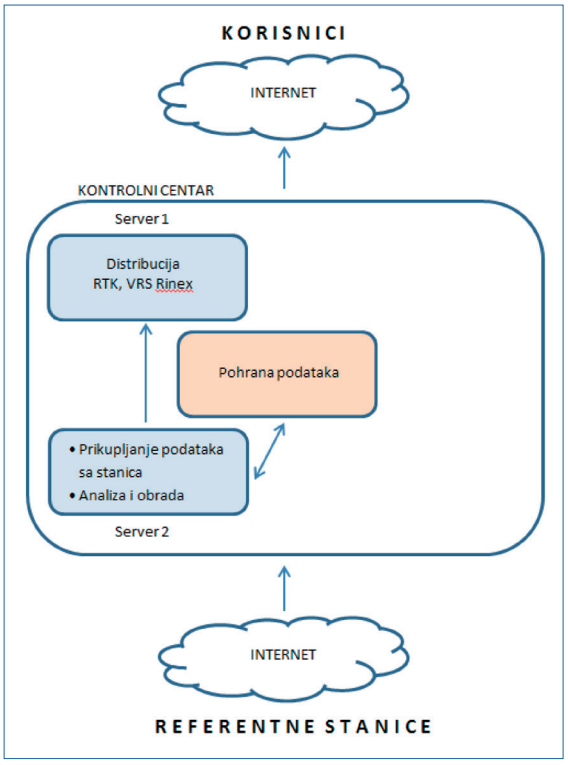
razvijenih RTCM formata, podržane su nove RTCM 3.x poruke kao i RTCM 3.2 MSM (engl. *Multi-Signal Message*) i nove transformacijske poruke. Novi TPP 3.5 ima unaprijeđeni algoritam za smanjivanje utjecaja ionosferske aktivnosti, uz primjenu novo razvijenih ionosferskih i troposferskih modela. Također su razvijeni i novi multipath modeli za potrebe analize okoline stajališta. Uz standardne I95, IRIM i GRIM vrijednosti, dostupni su i atmosferski i ionosferski moduli u svrhu bolje procjene ionosferske i troposferske pogreške (TEC i IPWV vrijednosti) te praćenja aktivnosti ionosfere. Najveća novost je RTX modul koji uvodi mogućnost apsolutnog pozicioniranja u realnom vremenu u svrhu praćenja rada permanentnih stanica u mreži u realnom vremenu te RTX-PP koji omogućuje apsolutno pozicioniranje u naknadnoj obradi korištenjem Trimble RTX-PP servisa.

2.3. Zamjena servera kontrolnog centra

U razdoblju od 16. do 20. siječnja 2017. godine zamijenjena je računalna i programska oprema kontrolnog centra CROPOS-a. Nabavljeni su novi serveri, potrebna komunikacijska oprema te sustavi za pohranu podataka (Slika 4). Nova oprema omogućila je nadogradnju postojećeg softvera s najnovijim programskim rješenjima, a stara računalna oprema se koristi kao backup sustav kontrolnog centra.

Prijašnja verzija upravljačkog programa sustava CROPOS – *Trimble Pivot Platform* 2.1 zamijenjena je novom – *Trimble Pivot Platform* 3.10 koja pruža još bolju pouzdanost i stabilnost sustava, ali i jednostavnije upravljanje istim (Slika 5).

Spomenuta računalna i programska oprema, radovi na uspostavi, kao i edukacija administratora sustava financirana je iz zajma Svjetske banke u sklopu „Projekta implementacije integriranog su-



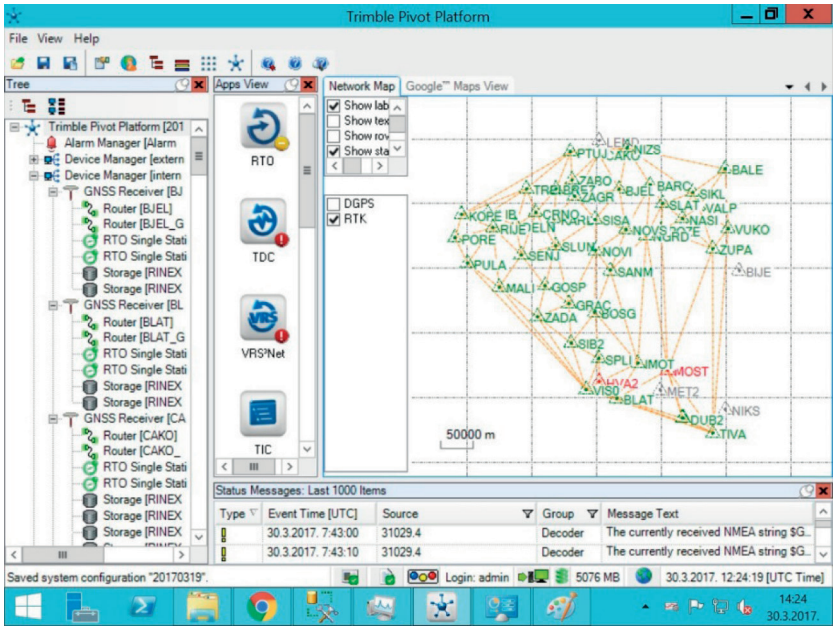
Slika 4: **Konfiguracija kontrolnog centra CROPOS-a u Zagrebu (2017.)**

stava zemljišne administracije“. U razdoblju instalacije također je izvršeno i detaljno testiranje sustava kako bi se sa sigurnošću utvrdila ispravnost svih komponenti. Ovom nadogradnjom omogućeno je da CROPOS ide u korak s novim trendovima u GNSS tehnologiji kako u ovom trenutku tako i u narednim godinama.

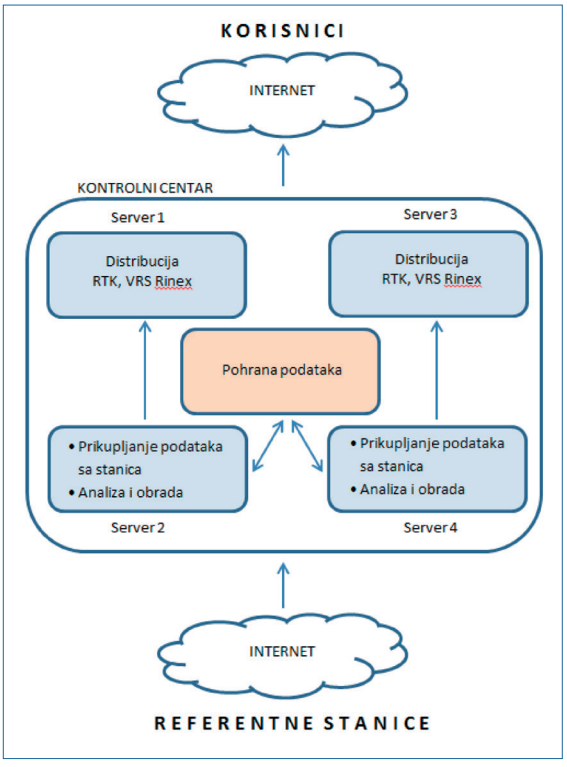
S obzirom na raspoloživa financijska sredstva tj. iznos koji je u tom trenutku odobren u okviru zajma Svjetska banke, zamjena računalne i programske opreme podijeljena je u dvije faze. U prvoj fazi zamjene opreme kontrolnog centra koja je u potpunosti realizirana početkom 2017. godine nabavljena je računalna i programska oprema neophodna za rad CROPOS-a (Slika 4), a okviru aktivnosti produljenja zajma Svjetske banke predloženo je da bi se u drugoj fazi nabavio preostali dio konfiguracije kojom će se osigurati cjeloviti backup sustava (Slika 6).

2.4. Nova internet stranica www.cropos.hr

U ožujku 2015. internet stranica **www.cropos.hr** dobila je novi izgled (URL 2). Nova stranica preglednija je i informativnija. Na njoj se nalaze, između ostalog, važne ažurne obavijesti o radu i dostupnosti sustava te je na taj način korisnicima omogućena provjera stanja sustava prije odlaska na teren, a kako je prilagođena i korištenju na pametnim telefonima i tabletima, moguća je jednostavna provjera dostupnosti sustava i na terenu. Kratkim pregle-



Slika 5:
Trimble Pivot Platform 3.10



Slika 6: **Konfiguracija kontrolnog centra CROPOS-a u Zagrebu**

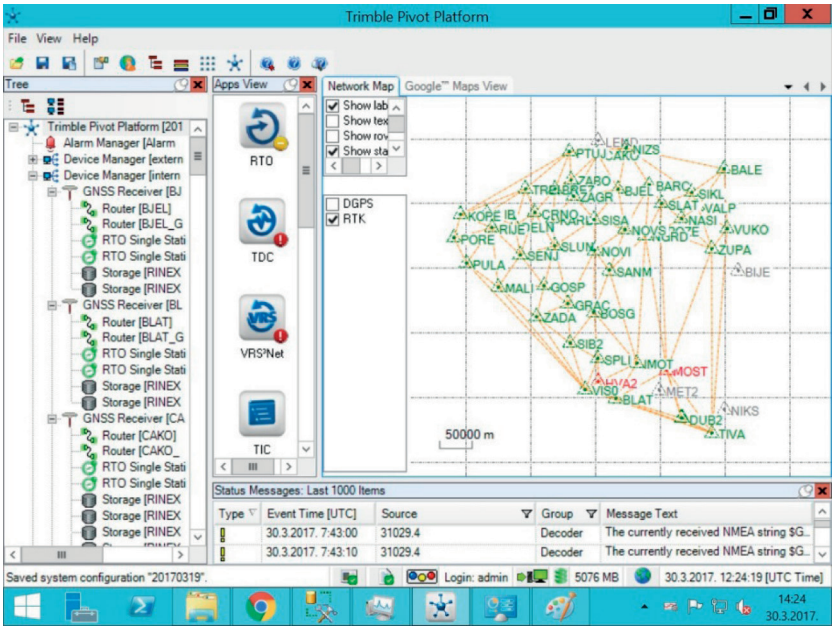
dom karte na stranici, korisnik također ima uvid i u rad svake pojedinačne stanice (Slika 7).

2.5. Informiranje korisnika

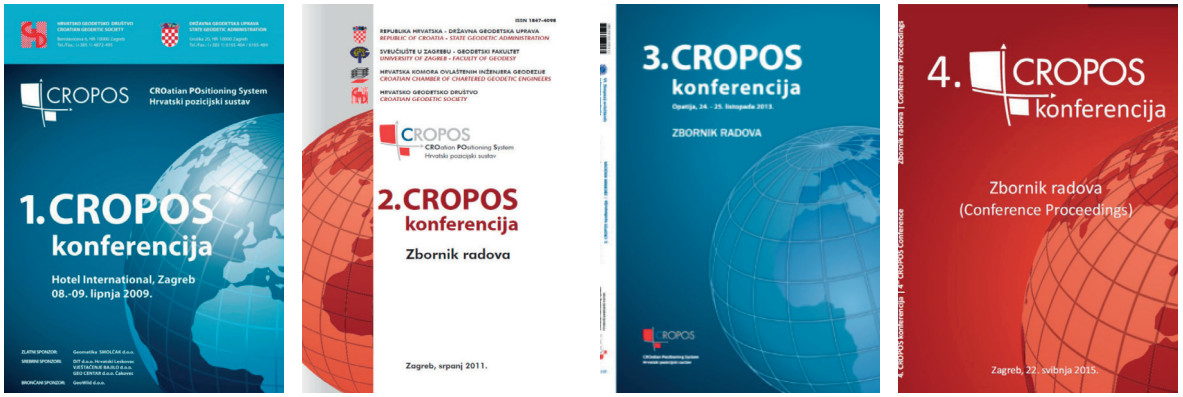
U okviru projekta „*Integrated Land Administration System*“ PHARE-2005 programa Europske unije obavljeno je niz aktivnosti koje su imale za cilj informirati korisnike o CROPOS-u, njegovim karakteristikama, mogućnostima i načinima primjene u svakodnevnom radu te je u tu svrhu pripremljen CROPOS letak i CROPOS brošura, kao i priručnik za korisnike (Marjanović i Link, 2009). U lipnju 2009. godine organizirana je u Zagrebu 1. CROPOS konferencija s ciljem informiranja korisnika o radu CROPOS-a, kao i međusobne razmjene iskustava samih korisnika sustava, a zatim je CROPOS konferencija organizirana 2011., 2013. i 2015. godine (Slika 8).

3. Registracija korisnika i korištenje sustava

Usluge CROPOS-a su dostupne isključivo registriranim korisnicima koji u tu svrhu podnose zahtjev za registraciju Državnoj geodetskoj upravi. Korištenje sustava se naplaćuju prema Pravilniku o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka dokumentacije državne izmjere i katastra nekretnina („Narod-



Slika 7: **Izgled nove internet stranice i Trimble web aplikacije**



Slika 8: **Zbornici radova CROPOS konferencija**

ne novine“, br. 59/2018, Tablica 2). Prilikom registracije korisnik plaća jednokratnu naknadu od 300,00 kn.

Tablica 2: **Cijene korištenja CROPOS-a**

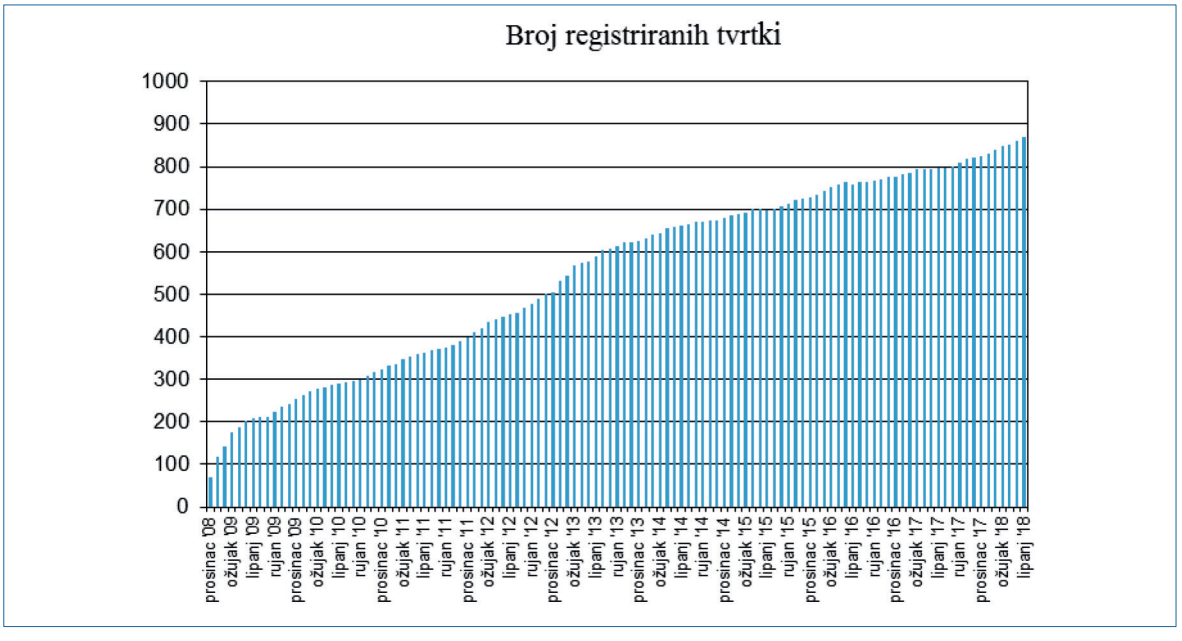
Usluga	Jedinica naplate	Cijena
CROPOS - DPS	1 godina*	1.000,00 kn
CROPOS - VPPS	1 minuta 1 godina	0,35 kn 5.000,00 kn
CROPOS - GPPS	1 minuta**	0.50 kn

* Usluga se naplaćuje isključivo godišnje
** Usluga se naplaćuje isključivo minutno

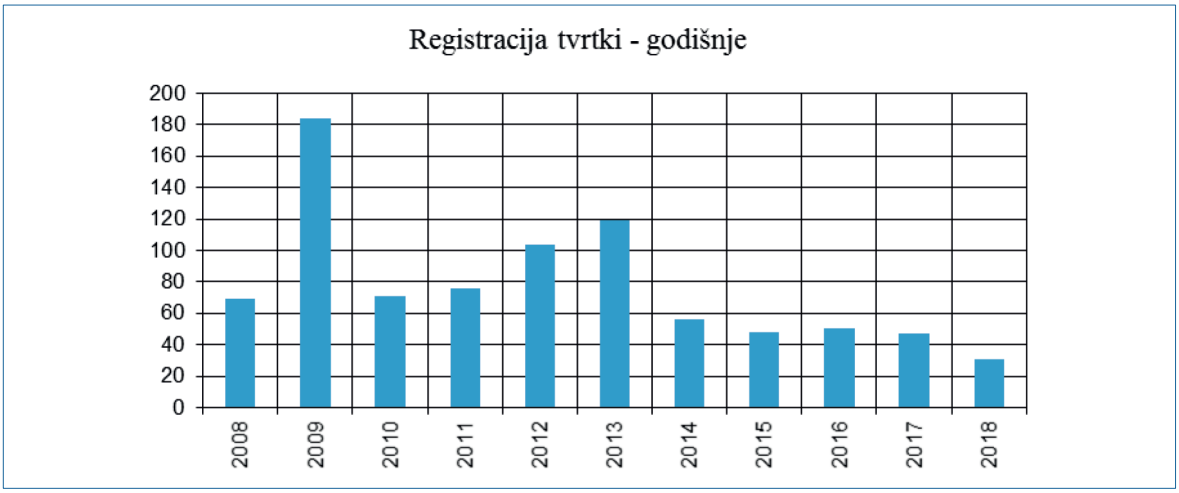
Broj registriranih tvrtki i korisnika se kontinuirano povećava, od 9. prosinca 2008. godine do 30. lipnja 2018. godine ukupno je registrirano 869 tvrtki (Slika 9).

Iako je proteklo deset godina od puštanja sustava u službenu upotrebu, godišnje se registrira oko 50 novih tvrtki (Slika 10).

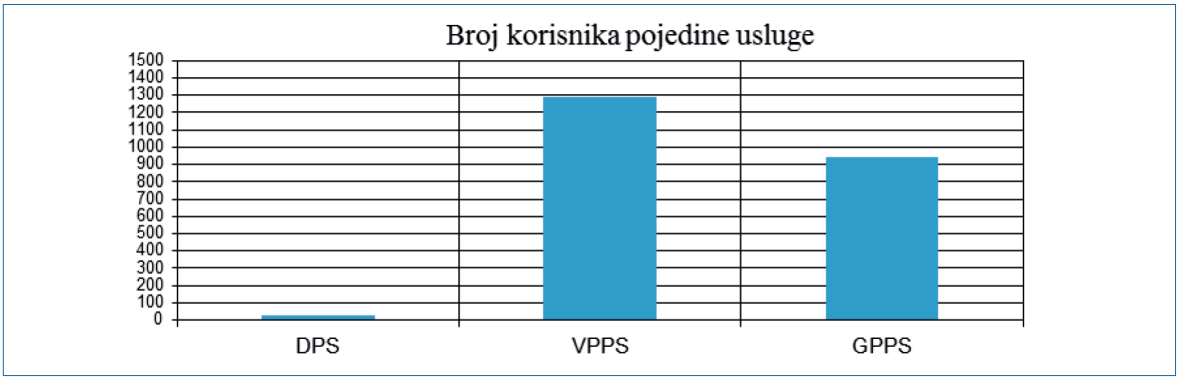
Usluga za koju je zatraženo najviše korisničkih imena je VPPS (Slika 11, Tablica 3).



Slika 9: **Ukupan broj registriranih tvrtki od početka rada sustava**



Slika 10: **Broj registriranih tvrtki od početka rada sustava po godinama**



Slika 11: **Broj korisničkih imena po uslugama**

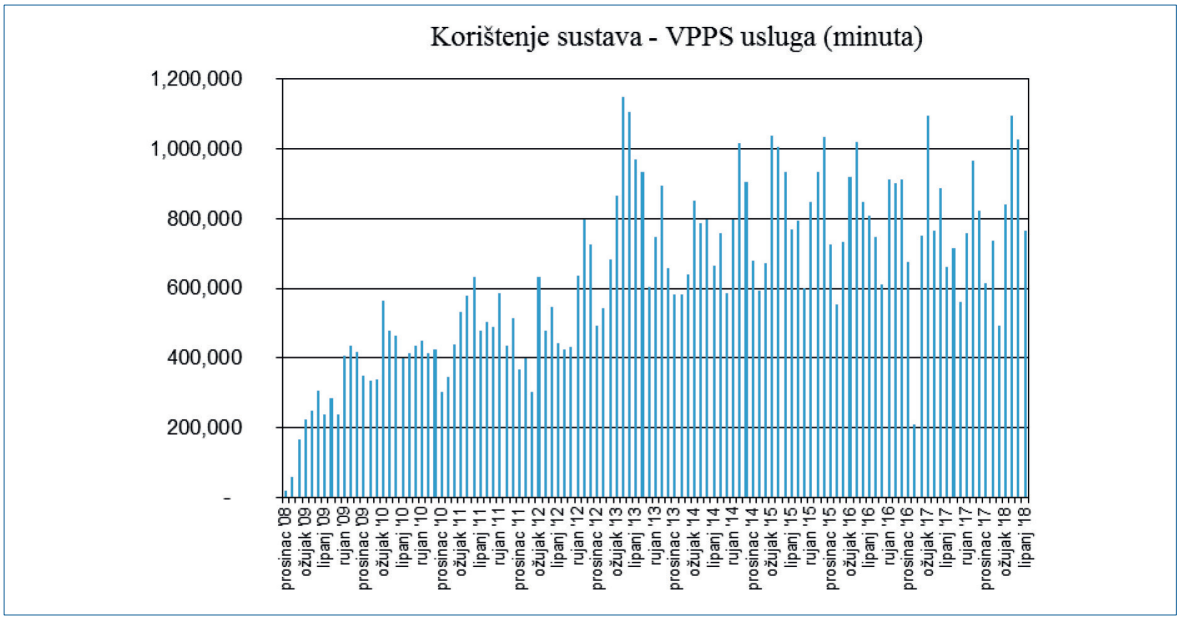
Tablica 3: **Broj korisničkih imena po uslugama**

Usluga i model plaćanja	Broj korisničkih imena
DPS	26
VPPS (min)	552
VPPS (flat)	741
GPPS	942
Ukupno:	2261

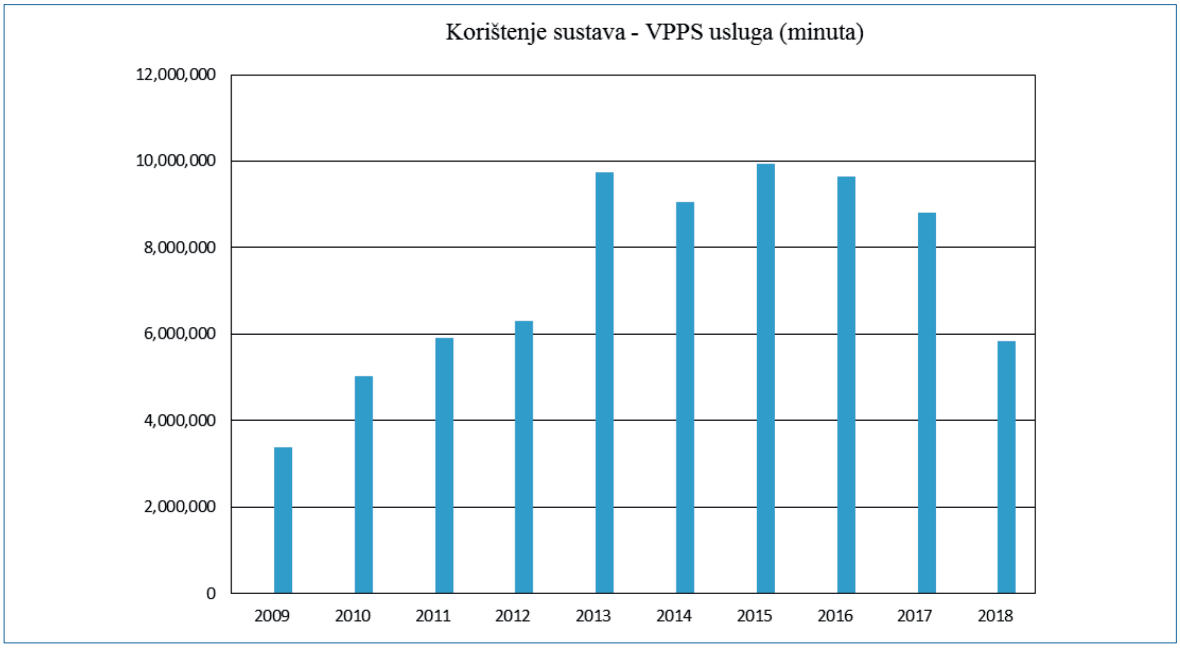
S brojem registriranih tvrtki i korisnika stalno se povećava ukupni broj minuta korištenja sustava te je tako korištenje VPPS usluge (RTK) od puštanja sustava u službenu upotrebu ukupno dostiglo 67.829,245 minuta (Slika 12 i 13, Tablica 4).

Tablica 4: **Ukupno korištenje usluga CROPOS-a**

Godina	GPPS usluga (min)	VPPS usluga (min)	Registriranih tvrtki	VPPS licenci
2008.	1,500	20,000	69	104
2009.	853,200	3,376,932	184	276
2010.	398,939	5,024,508	74	107
2011.	265,343	5,900,299	79	114
2012.	206,420	6,313,927	104	155
2013.	207,817	9,734,264	113	178
2014.	186,909	9,063,804	56	84
2015.	77,572	9,943,874	48	65
2016.	94,915	9,646,986	50	96
2017.	190,587	8,805,101	47	74
2018. (1.- 6.)	117,872	5,824,785	45	40
Ukupno:	2,197,700	67,829,245	869	1293



Slika 12: **Vrijeme korištenja VPPS usluge (minuta, mjesečno)**



Slika 13: **Vrijeme korištenja VPPS usluge (minuta, godišnje)**

4. Prihod i troškovi održavanja sustava

Ukupni troškovi uspostave CROPOS-a bili su 11,5 milijuna kuna, a značajan dio sredstava osiguran je u okviru PHARE-2005 programa Europske unije (7,9 milijuna kuna). Korisnicima su omogućena dva modela plaćanja, godišnja pretplata i plaćanje prema vremenu korištenja. Otkad su kreirane 2008. godine, cijene se nisu mijenjale. Formirane su na način da su prihvatljive korisnicima te da prihodi budu dostatni za održavanje i nadogradnju sustava. Održa-

vanje sustava i njegova nadogradnja financiraju se iz državnog proračuna, kao što se i ukupni prihodi CROPOS-a uplaćuju u državni proračun Republike Hrvatske. U tablici 5 prikazan je odnos troškova održavanja i prihoda koje sustav ostvaruje kroz godine.

Tablica 5: **Prihod i troškovi održavanja sustava**

Godina	Troškovi održavanja (milijuna HRK)	Prihod (milijuna HRK)
2009.	0,5	1,5
2010.	0,5	1,8
2011.	0,5	2,0
2012.	1,8	2,6
2013.	1,8	2,9
2014.	1,8	3,1
2015.	1,8	3,3
2016.	1,8	3,5
2017.	1,8	3,7
2018. (1. – 6.)	0,9	2,1
Ukupno:	13,2	26,5

5. Planovi

U lipnju 2018. godine potpisan je Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava za projekt „Unaprjeđenje hrvatskog pozicijskog sustava (CROPOS) povezivanjem s Europskim globalnim satelitskim sustavom Galileo“ koji se financira iz Europskih strukturnih i investicijskih fondova u financijskom razdoblju 2014. – 2020. Ukupna procijenjena vrijednost Projekta je 7.805.841,00 kuna od čega je iznos bespovratnih sredstava u iznosu od 6.634.960,00 kuna. U okviru Projekta planira se zamjena mjerne opreme na svim referentnim GNSS stanicama CROPOS-a kako bi se omogućilo korištenje satelitskog sustava Galileo kojega je razvila Europska unija te nadogradnja programske opreme kontrolnog centra u svrhu računanja korekcijskih parametara i pružanja novih usluga korisnicima na temelju GPS, GLONASS i Galileo sustava. Planiran dovršetak Projekta je u 2019. godini.

6. Zaključak

Od puštanja CROPOS-a u službenu upotrebu 2008. godine teško je i zamisliti obavljanje terenskih mjerenja u svakodnevnoj geodetskoj praksi. Državna geodetska uprava je uspostavljanjem sustava dala značajan doprinos geodetskom, informacijsko-komunikacijskom i gospodarskom razvoju Republike Hrvatske. CROPOS se kroz sve godine njegovog rada konstantno nadograđuje, poboljšava i održava kako bi išao u korak sa zahtjevima novih tehnologija, kao i zahtjevima korisnika. Osim primjene za geodetske potrebe, CROPOS nalazi primjenu u sve većem broju zadaća u drugim područjima za koje je potrebno pozicioniranje u realnom vremenu s visokom točnošću. S obzirom na širinu upotrebe CROPOS-a, obveza Državne geodetske uprave je i nadalje osiguravati dostupnost i pouzdanost sustava 24/7/365.

Literatura

Bašić, T. (2009): Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006.-2008. godine, Državna geodetska uprava, 2009.

Marjanović, M., Link, H.-P. (2009): CROPOS – Priručnik za korisnike, Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN: 978-953-293-100-6, Zagreb, 2009.

Pravilnik o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka dokumentacije državne izmjere i katastra nekretnina, „Narodne novine“, broj 59/2018.

URL1: http://www.epncb.oma.be (2013.)

URL2: http://www.cropos.hr (2015.)

CROPOS - TEN YEARS OF SYSTEM OPERATION

Abstract: On December 9, 2008, the Croatian Geodetic Administration released the Croatian positioning system CROPOS (*CROatian POsitionig System*) for official use. Over the past ten years, the State Geodetic Administration has invested in maintaining, developing and upgrading the CROPOS to ensure the reliability of its work, as well as providing customer service. In order to ensure a better coverage of the border area of the Republic of Croatia and to increase the reliability of the system operation in the event of unplanned interruption of the work of a single CROPOS reference station, with 33 Croatian GNSS stations in the networked solution and calculation of correction parameters are included based on signed agreements on data exchange of border reference stations neighboring countries of the Republic of Slovenia, Hungary, the Republic of Montenegro and Bosnia and Herzegovina in a network solution of a total of 51 reference stations. The result of continuous monitoring of system operation and system care has ensured a high availability of the system, which since its inception up to today is greater than 99,9%. The number of registered system users is constantly increasing and by June 2018, 869 companies registered with a total of 1293 user names for the VPPS service (the GNSS RTK real-time measurement method).

Keywords: CROPOS, system availability, system development, system usage

UNAPRJEĐENJE HRVATSKOGA POZICIJSKOG SUSTAVA (CROPOS) POVEZIVANJEM S EUROPSKIM GLOBALNIM SATELITSKIM SUSTAVOM GALILEO

Martina Ciprijan[1], Marijan Marjanović[2]
[1]Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, martina.ciprijan@dgu.hr
[2]Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, marijan.marjanovic@dgu.hr

Sažetak: Državna geodetska uprava ima obvezu uspostave i održavanja trajnoga višenamjenskog sustava za satelitsko pozicioniranje za potrebe državne izmjere, katastra nekretnina, navigacije i ostalih prostorno-informacijskih sustava – CROPOS-a. CROPOS je uspostavljen 2008. godine i danas ga koristi preko 95% ovlaštenih geodetskih izvoditelja kao i stručnjaka iz drugih područja. Od uspostave do danas, sustav koristi konstelacije GPS-a i GLONASS-a. Kako bi CROPOS bio pripremljen za europski sustav Galileo, treba ga unaprijediti. Integracija GPS-a i GLONASS-a s Galileom i ostalim dostupnim konstelacijama omogućit će 60 i više satelita u orbiti za pozicioniranje, čime će se povećati točnost određivanja položaja, a dostupnost signala iznosit će preko 95%. Državna geodetska uprava prijavila je projekt za dodjelu bespovratnih sredstava pod nazivom „Unaprjeđenje Hrvatskoga pozicijskog sustava (CROPOS) povezivanjem s europskim globalnim satelitskim sustavom Galileo“ te nakon prihvaćanja istog potpisan je dana 13. lipnja 2018. Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava za projekte koji se financiraju iz Europskih strukturnih i investicijskih fondova u financijskom razdoblju 2014. – 2020. potpisan je s Ministarstvom regionalnoga razvoja i fondova Europske unije i Središnjom agencijom za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije. Cilj je projekta unaprijediti CROPOS na način da se zamijene GNSS uređaji i antene na svim lokacijama referentnih stanica s onima koji imaju mogućnost korištenja signala sustava Galileo te nadogradi upravljački program kontrolnog centra u istu svrhu.

Ključne riječi: CROPOS, Galileo, Europski strukturni i investicijski fondovi

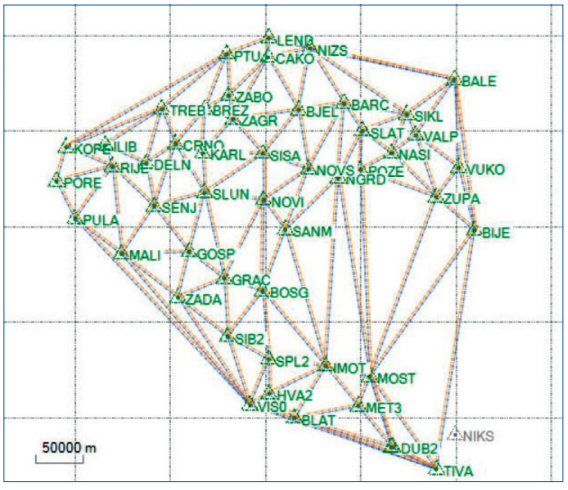
EUROPSKI STRUKTURNI I INVESTICIJSKI FONDOVI

1. Uvod

U skladu sa Zakonom o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (Narodne novine 16/07, 152/08, 124/10, 56/13, 121/16, 9/17), obaveza je Državne geodetske uprave uspostava i održavanje trajnoga višenamjenskog sustava za satelitsko pozicioniranje za potrebe državne izmjere, katastra nekretnina, navigacije i ostalih prostorno-informacijskih sustava – CROPOS-a (Narodne novine, 2007). Sustav je uspostavljen 2008. godine, a sufinanciran iz pretpristupnog programa Europske unije PHARE 2005. Danas ga koristi preko 95% ovlaštenih geodetskih izvoditelja, te brojne tvrtke iz drugih sektora. CROPOS se tako koristi u građevinarstvu, u poljoprivredi za satelitsko navođenje poljoprivrednih strojeva kao i za navođenje bespilotnih letjelica. Primjenu također nalazi i u sektoru energetike, prometa, obrazovanja, telekomunikacija i drugog.

S obzirom na to da je korisnicima na raspolaganju 24 sata dnevno, sedam dana u tjednu, sustav je postao nezaobilazan kada je u pitanju geodetska izmjera u Republici Hrvatskoj s naglaskom na katastarske podatke. Korištenjem CROPOS-a dobivaju se položajni podaci u realnom vremenu s točnošću od ±2 cm, te se time znatno skraćuje vrijeme mjerenja, smanjuje broj potrebnih ljudskih resursa na terenu, a svime time smanjuju se troškovi u poslovanju privatnog poduzetništva.

Sustav se sastoji od 33 stanice na međusobnoj udaljenosti od približno 70 km raspoređenih tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske te od kontrolnog centra smještenog u Središnjem uredu Državne geodetske uprave. Međutim, kako bi se postigla bolja pouzdanost pozicioniranja i pokrivenost pograničnog područja Republike Hrvatske, u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara uključeno je, na temelju potpisanih sporazuma o razmjeni podataka, i 18 pograničnih referentnih stanica. Podaci se razmjenjuju s Republikom Slovenijom, Mađarskom, Republikom Crnom Gorom te Bosnom i Hercegovinom. Stoga CROPOS koristi podatke s ukupno 51 referentne stanice u umreženom rješenju i računanju korekcijskih parametara (Slika 1).



Slika 1: **Referentne stanice u mrežnom rješenju CROPOS-a prikazane u upravljačkom programu Trimble Pivot Platform**

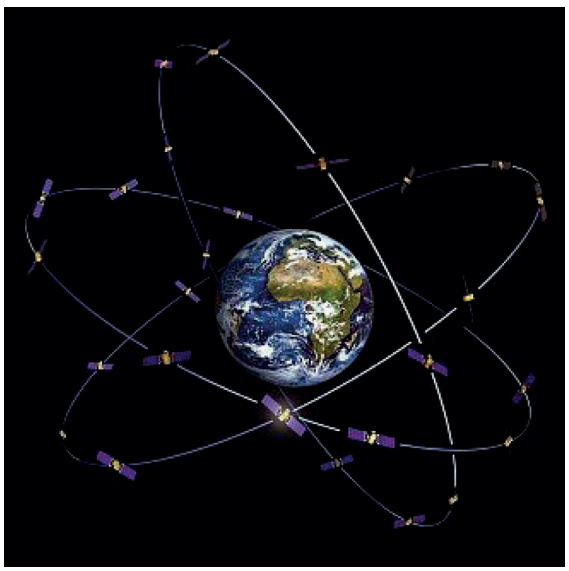
Trenutačno CROPOS koristi satelitske konstelacije dvaju vojnih sustava, GPS-a koji je kontroliran od vlade SAD-a i GLONASS-a koji je u vlasništvu ruske vlade te je potpuno ovisan o njihovom funkcioniranju. Vlasnici navedenih sustava imaju pravo ukinuti korištenje signala sa svojih satelita u bilo kojem trenutku te tako potpuno onemogućiti mjerenje putem CROPOS-a kao i bilo kojega drugog sustava te vrste. U tom slučaju CROPOS se više ne bi mogao koristiti za poslove za koje se sada primjenjuje, jer ne bi pružao potrebnu točnost.

2. Galileo

Europska unija je zajedno s Europskom svemirskom agencijom (ESA) razvila svoj satelitski sustav – Galileo. To je civilni sustav koji pruža potpunu neovisnost u funkcioniranju ostalih globalnih pozicijskih sustava.

Konstelacija Galileo satelita raspoređena je pravilno u tri orbitalne ravnine pod kutom od 56° u odnosu na ravninu ekvatora (Slika 2). Svakom satelitu treba približno 14 sati da napravi puni krug oko Zemlje. Po jedan satelit u svakoj ravnini bit će rezervni, spreman da preuzme funkciju u slučaju

prestanka rada nekog od aktivnih satelita. Ovaj raspored omogućava da uvijek bude vidljivo šest do osam satelita na većini lokacija na Zemlji što rezultira mogućnošću određivanja položaja s točnošću od nekoliko centimetara (URL 1).

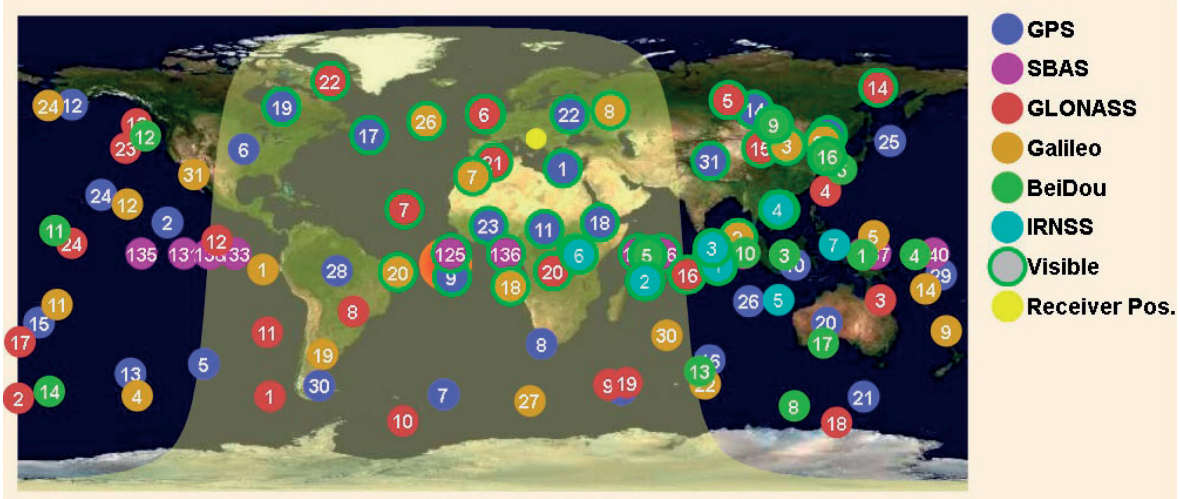


Slika 2: **Raspored satelita sustava Galileo (URL 1)**

Sustav Galileo trenutačno na raspolaganju ima 18 satelita od planiranih 30 (URL 2). Budućnost je GNSS-a (globalni navigacijski satelitski sustav) u potpunoj integraciji GPS-a i GLONASS-a s Galileom i ostalim dostupnim konstelacijama (Slika 3). Stanje koje će se time postići imat će niz prednosti: 60 i više satelita u orbiti za pozicioniranje (Zrinjski i dr., 2005), čime će se povećati točnost određivanja položaja, a dostupnost signala iznosit će preko 95% što sada ne može biti ostvareno zbog manjeg broja satelita na raspolaganju. Frekvencije sustava Galileo su: E1 (1575,42 MHz), E5a (1176,45 MHz) i E5b (1207,14 MHz), te frekvencija E6 (1278,75 MHz) za posebne (komercijalne) usluge.

3. Europski fond za regionalni razvoj

Europski fond za regionalni razvoj (EFRR) jedan je od pet fondova koji imaju zajednički naziv Europski strukturni i investicijski fondovi (ESI fondovi). U Financijskoj perspektivi 2007. - 2013., EFRR bio je uspostavljen Uredbama Vijeća br. 1080/2006 i 1083/2006. Za financijsko razdoblje 2014. - 2020. Vlada Republike Hrvatske na sjednici održanoj 4. rujna 2014. godine donijela je Uredbu Vijeća br. 1303/2013 kojomse utvrđuju zajedničke odredbe o Europskom fondu za regionalni razvoj i posebnim odredbama o cilju "Ulaganja za rast i radna mjesta" te stavljanju izvan snage Uredbe br. 1080/2006 i 1083/2006. Cilj fonda je jačanje gospodarske i socijalne kohezije te smanjivanje razlika između regija unutar Europske unije, kroz podršku u razvoju i strukturnim prilagodbama regionalnih gospodarstava, kao i podršku pre-



Slika 3: **Primjer vidljivosti satelita različitih konstelacija GNSS-a u prijamniku u Splitu na dan 3. listopada 2018. u 13 sati**

kograničnoj, transnacionalnoj i međuregionalnoj suradnji. Uglavnom je usmjeren na proizvodne investicije u cilju otvaranja radnih mjesta, infrastrukturne investicije te na lokalni razvoj, kao i razvoj malog i srednjeg poduzetništva.

Operativni program "Konkurentnost i kohezija" usvojen je od Europske komisije 2014. godine. Operativnim programom definirana su područja u koja će Republika Hrvatska, do 2020. godine, moći ulagati sredstva iz Europskog fonda za regionalni razvoj. Za razdoblje od 2007. do 2013. godine proračun EFRR-a, na razini Europske unije, iznosio je 201 milijardu eura, dok je u okviru Operativnog programa "Konkurentnost i kohezija" 2014. - 2020. Republici Hrvatskoj na raspolaganju 6,881 milijarda eura od čega 4,321 milijarda eura iz Europskog fonda za regionalni razvoj.

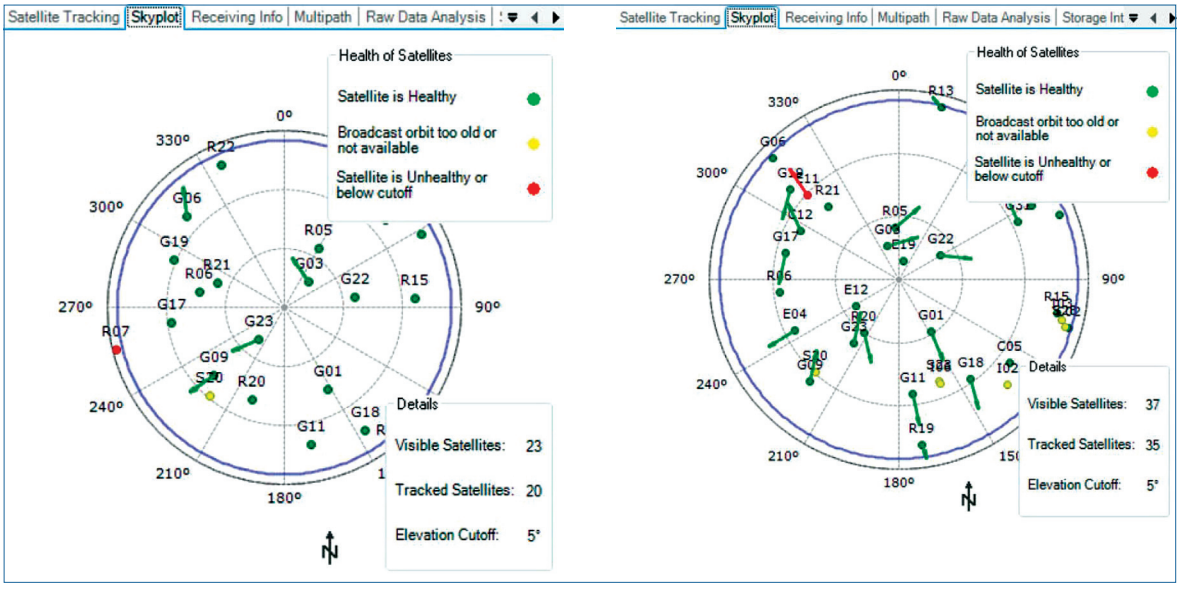
Sredstva fonda mogu koristiti istraživački centri, lokalne i regionalne vlasti, škole, korporacije, trening centri, državna uprava, mala i srednja poduzeća, sveučilišta, udruge. Osim za njih, sredstva su dostupna i za javna tijela, neke organizacije privatnog sektora (osobito mala poduzeća), nevladine organizacije, volonterske organizacije. Inozemne tvrtke sa sjedištem u regiji koja je pokrivena relevantnim operativnim programom, mogu se također prijaviti pod uvjetom da zadovoljavaju europska pravila javne nabave (URL 3).

4. Projekt „Unaprjeđenje Hrvatskoga pozicijskog sustava (CROPOS) povezivanjem s europskim globalnim satelitskim sustavom Galileo"

U siječnju 2017. godine iz sredstava zajma Svjetske banke kroz Projekt implementacije integriranog sustava zemljišne administracije obnovljen je kontrolni centar CROPOS-a. S obzirom na to da se uvidjela važnost ovog sustava, potpuno je zamijenjena računalna i programska oprema kako bi se osigurala pouzdanost sustava i umanjili rizici koji bi mogli dovesti do prekida pružanja usluga. Nabavljeni su novi poslužitelji te najnovija programska rješenja kako bi se omogućilo i daljnje razvijanje sustava te isti pripremio za nove tehnološke standarde. Međutim, drugi segment CROPOS-a, referentne stanice, u ovom trenutku nisu spremne za praćenje signala Galileo satelita. Naime, GNSS prijamnici referentnih stanica instalirani su prije 10 godina i nemaju mogućnost korištenja signala sustava Galileo te ih nije moguće nadograditi da bi imali tu funkciju.

Državna geodetska uprava korisnik je bespovratnih sredstava iz Prioritetne osi 2 – Korištenje informacijske i komunikacijske tehnologije Operativnog programa Konkurentnost i kohezija 2014. - 2020. Kako se održavanje CROPOS-a financira iz državnog proračuna Republike Hrvatske, a za nadogradnju sustava potrebna su značajna sredstva, Državna geodetska uprava prijavila je projekt pod nazivom „Unaprjeđenje Hrvatskoga pozicijskog sustava (CROPOS) povezivanjem s europskim globalnim satelitskim sustavom Galileo" za dodjelu bespovratnih sredstava iz Europskog fonda za regionalni razvoj u dijelu koji se odnosi na razvoj e-usluga. Dana 13. lipnja 2018. potpisan je Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava za projekte koji se financiraju iz Europskih strukturnih i investicijskih fondova u financijskom razdoblju 2014. – 2020. između Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova Europske unije, Središnje agencije za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije te Državne geodetske uprave. Projekt se financira s 85% bespovratnih sredstava iz Europskog fonda za regionalni razvoj, a 15% iz državnog proračuna. Projekt je započeo s provedbom 1. rujna 2018. godine, a predviđeno trajanje je 12 mjeseci.

Postojeći sustav (CROPOS), kroz ovaj projekt, unaprijedit će se na način da se mjerna oprema na lokacijama referentnih stanica zamijeni s onom nove generacije koja uz dosad dostupne konstelacije GPS-a i GLONASS-a ima mogućnost korištenja sustava Galileo (Slika 4). Stoga je potrebno nabaviti i na svim lokacijama referentnih stanica zamijeniti GNSS prijamnike, antene i pripadajuću opremu. Također,



Slika 4: **Vidljivost satelita u upravljačkom programu Trimble Pivot Platform s referentne stanice (Mali Lošinj) koja nema mogućnost primanja signala Galileo satelita (lijevo) i s referentne stanice (Split) koja tu mogućnost ima (desno)**

treba nadograditi upravljački program kontrolnog centra modulom koji omogućava niz funkcionalnosti koje proizlaze iz dobivanja podataka sa sustava Galileo. Projektom je predviđeno i testiranje sustava nakon potpuno završene nadogradnje čime će se izvršiti kontrola i analiza novih postavki sustava.

Mjerna oprema na referentnim stanicama mijenjat će se sustavno prema planu koji omogućava da sustav nesmetano radi i da ni u jednom trenutku ne bude prekida koji bi korisnicima ometali rad. Isto vrijedi i za nadogradnju upravljačkog programa i usklađivanje kontrolnog centra.

5. Zaključak

Postojanje CROPOS-a značajno je promijenilo način izvođenja geodetskih poslova koji se izravno tiču kako državne izmjere tako i usklađivanja katastra i zemljišnih knjiga. Državna geodetska uprava od početka rada CROPOS-a sustavno održava i nadograđuje njegove komponente kako bi se držao korak sa svjetskim trendovima u GNSS tehnologiji. Ovakav sustav neophodno je konstantno održavati na najvišoj tehnološkoj razini s obzirom na brzinu razvoja i primjene novih rješenja kako programskih tako i hardverskih. Projektom „Unaprjeđenje Hrvatskog pozicijskoga sustava (CROPOS) povezivanjem s europskim globalnim satelitskim sustavom Galileo“ omogućit će se korištenje konstelacija GPS-a, GLONASS-a i Galilea, ali i pripremiti sustav za druge postojeće konstelacije kao i za nadolazeće zahtjeve GNSS tehnologije. Rezultat ovog projekta su: dodatno povećanje pouzdanosti rada sustava s obzirom na to da će biti instalirana nova mjerna oprema, znatno bolja pokrivenost satelitima što omogućava brže i točnije dobivanje položaja na terenu, smanjenje utjecaja prepreka pri terenskim mjerenjima kao što su urbani kanjoni i slično. Sve nabrojano bitno će poboljšati kvalitetu rada korisnicima CROPOS-a.

Literatura:

Narodne novine (2007): Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, Narodne novine , 16/07, 152/08, 124,10, 56/13, 121/16,9/17, Zagreb.

Zrinjski, Mladen; Bačić, Željko; Barković, Đuro (2005): Modernizacija GPS-a (GNSS-2). Geodetski list, 1, 45-61.

URL 1: ESA, https://www.esa.int, (3.10.2018.).

URL 2: European GNSS Service Centre, https://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information (18.10.2018.).

URL 3: Europski fondovi, http://europski-fondovi.eu/, (3.10.2018.).

IMPROVING THE CROATIAN POSITIONING SYSTEM (CROPOS) BY LINKING WITH THE EUROPEAN GLOBAL SATELLITE SYSTEM GALILEO

Abstract: State Geodetic Administration is obligated to establish and maintain national satellite positioning system (CROPOS) for the purpose of state survey, real estate cadastre, navigation and for the use in other spatial systems. CROPOS was established in 2008. and is being used by 95% of all chartered geodetic engineers in the Republic of Croatia and by other experts from different proffesional fields. With current components CROPOS can process GPS and GLONASS constellations. In order to prepare the system for Galileo signal it has to be upgraded. Integration of GPS and GLONASS together with Galileo and other available constellations will enable 60 and more satellites in orbit for positioning which will lead to better accuracy of position determination as well to signal availability up to 95%. State Geodetic Administration applied for the project "Modernization of Croatian positioning system (CROPOS) by using European global satellite system Galileo" and had signed contract for financing the project from European structural and investment funds. The project goal is to modernize CROPOS through replacement of GNSS receivers and antennas on all of reference stations and with the upgrade of the control center.

Keywords: CROPOS, Galileo, European Structural and Investment Funds

PROJEKT EDUKACIJE SLUŽBENIKA DRŽAVNE GEODETSKE UPRAVE O PRIMJENI NOVIH METODA POZICIONIRANJA I NOVIH SERVISA CROPOS-A

Margareta Premužić[1], Marijan Marjanović[2]
[1]Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, margareta.premuzic@dgu.hr
[2]Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, marijan.marjanovic@dgu.hr

Sažetak: Državnoj geodetskoj upravi u protekloj je godini odobreno korištenje sredstava iz Europskog fonda za učinkovite ljudske potencijale koji će omogućiti edukaciju službenika DGU o primjeni novih metoda pozicioniranja i novih servisa CROPOS-a, a sve kako bi se povećala djelotvornost i kapaciteti u državnoj upravi te poboljšalo pružanje usluga. Metode visokotočnog pozicioniranja korištene u poslovima državne izmjere i katastra nekretnina evoluirale su uvođenjem europskog sustava Galileo te razvojem novih metoda i servisa pozicioniranja što će neophodno imati utjecaja i na servise CROPOS-a. Budućnost i trendovi korištenja GNSS-a za visokoprecizno pozicioniranje temeljit će se na upotrebi više konstelacija i signala satelita. Dvije glavne točke razvoja doprinijele su primjeni visokotočnog pozicioniranja na sve širem tržištu. Servisi GNSS korekcija uspostavljenih globalnih/regionalnih/lokalnih referentnih mreža koji konstantno prikupljaju GNSS signale i određuju korekcije pozicioniranja i novi pristupi odašiljanju korekcijskih podataka uvođenjem novih standarda poruka za odašiljanje korekcija, omogućilo je primjenu visokopreciznog pozicioniranja u sve većem broju prijamnika. Nove generacije niskobudžetnih GNSS prijamnika imaju mogućnost korištenja tih korekcijskih podataka u svrhu postizanja visokih razina točnosti za različite primjene: precizni letovi dronom, autonomna vozila, pametni gradovi i dr. S obzirom da je višekonstelacijski GNSS danas realnost, kroz edukaciju službenika DGU-a omogućit će se primjena novih metoda i servisa različitih razina točnosti, a time i brzo i efikasno pružanje usluga korisnicima državnih servisa.

Ključne riječi: ESF, CROPOS, korekcijski servisi, GNSS aplikacije.

1. Uvod

Državna geodetska uprava (DGU) nadležna je za poslove iz područja državne izmjere, katastra i infrastrukture prostornih podataka. U sklopu projekta financiranog iz Europskog socijalnog fonda (ESF), Operativnog Programa „Učinkoviti ljudski potencijali“ iz nadležnosti Sektora za državnu izmjeru, provest će se edukacija u cilju jačanja kapaciteta DGU. Edukacija će obuhvatiti nove metode pozicioniranja i nove servise CROPOS-a, a službenicima DGU-a i drugim ciljanim skupinama (ministarstvima, agencijama) omogućit će unaprjeđenje poslovnih procesa. Edukacija će omogućiti efikasno obavljanje terenske izmjere kao i korištenje raznih alata prilikom procesa kontrole kvalitete. Na taj način bit će omogućeno jednostavno prikupljanje i upravljanje prostornim podacima koji služe za izradu i kontrolu službenih proizvoda i kvalitetno obavljanje poslova državne izmjere i katastra. Ažurni prostorni podaci su osnovna pretpostavka za efikasan gospodarski razvoj, kvalitetno i učinkovito funkcioniranje tržišta nekretnina i provedbu kapitalnih i infrastrukturnih projekata države.

Uvođenjem novih satelitskih sustava i mjernih metoda/servisa, kao i novih rješenja sustava upravljanja podacima kroz upotrebu „open source“ rješenja, neophodna je provedba edukacije službenika DGU-a za unaprjeđenje njihovih znanja i vještina te nabava adekvatne mjerne opreme. Europska GSA (*Global navigation Satellite system Agency*) izdala je edukacijske priručnike vezano za nova tehnološka rješenja i tržišne aplikacije (Slika 1), a Državna geodetska uprava izraditi će u sklopu ovog projekta edukacijske priručnike vezane za uvođenje GALILEO sustava i novih servisa CROPOS-a uz primjenu novih metoda pozicioniranja. Sve to omogućit će efikasnije obavljanje kontrole i nadzora nad prostornim podacima od strane službenika DGU-a te posljedično brzo i efikasno pružanje usluga korisnicima državnih servisa.

Visoko-precizna GNSS (Global Navigation Satellite System) mjerenja danas se koriste za poslove državne izmjere i katastra. Propisi vezani za mjerenja sadržani su u *Pravilniku o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova* (NN 112/2017) i *Tehničkim specifikacijama za određivanje koordinata točaka u koordinatnom sustavu Republike Hrvatske* (URL-1). Propisane metode pozicioniranja temelje se na visoko-preciznim metodama mrežnog RTK - VRS (Virtual Reference Station) metoda koje koriste uspostavljenu mrežu GNSS referentnih stanica CROPOS-a. Uvođenje Galileo sustava i novih tehnika pozicioniranja (PPP-RTK, Precise Point Positioning - Real Time Kinematic) omogućit će veću pouzdanost sustava te bolju dostupnost i točnost mjerenja, ali i primjenu različitih razina točnosti s obzirom na vrstu primjene (od visoko-precizne statičke GNSS izmjere do preciznog prikupljanja prostornih podataka, npr. katastarskih podataka i dr.). Usporedno s uvođenjem novih metoda pozicioniranja trendovi pokazuju da su visoko-točne GNSS aplikacije sve više dostupne u niskobudžetnim GNSS uređajima, pa je sukladno tome potrebno definirati mjerne procedure i servise različitih razina točnosti.



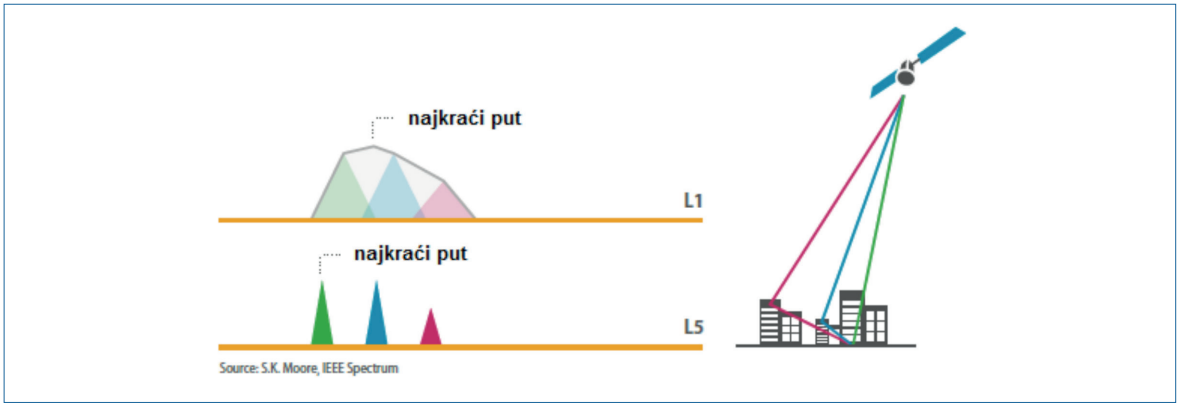
Slika 1: **Edukacijski priručnici (GSA, 2018) i (DGU, 2008)**

2. Razvoj modela visokotočnog pozicioniranja

Uvođenjem europskog Galileo sustava i modernizacijom GPS-a (Global Positioning System) i GLONASS-a (Global Navigation Satellite System) postaje dostupno sve više satelitskih konstelacija i nosećih frekvencija koje omogućuju veću pouzdanost pozicioniranja u urbanim područjima i smanjenje vremena konvergencije za postizanje centimetarskih točnosti. U svrhu podržavanja geodetskih aplikacija koje teže sve točnijim mjerenjima s obzirom na dostupne signale u svakodnevnim mjernim okolinama, od velike je važnosti da se postojeća infrastruktura nadogradi na Galileo sustav. Implementacija GALILEO sustava kroz nadogradnju CROPOS-a obavit će se kroz projekt unaprjeđenja CROPOS-a povezivanjem sa sustavom GALILEO u 2019 godini. Galileo sustav nudi pet vrsta usluga pozicioniranja od kojih su dvije za potrebe sustava potrage i spašavanja, a ostale tri su Galileo otvoreni servisi OS NMS (*Open Service Navigation Message Authentication*), Galileo javno regulirani servisi PRS SCE (*Public Regulated Service Spreading Code Encryption*) i Galileo komercijalni servisi (Commerical Services): HAS (*High Accuracy Service*) i SAS (*Signal Authentication Service*). Galileo će u budućnosti ponuditi komercijalne servise visoke točnosti CS-HAS koji će dostići razinu točnosti potrebnu za mnoge aplikacije u katastru i inženjerskim radovima, dostavljajući PPP korekcije na globalnoj razini putem Galileo satelita bez potrebe za dodatnim komunikacijskim kanalima. Galileo otvoreni servisi poboljšat će performanse pozicioniranja za visoko-precizna mjerenja uvođenjem E1/E5/E6 nosećih frekvencija te omogućiti bolje rezultate u težim okolinama (urbanim kanjonima, pod drvećem i dr.) uslijed smanjivanja pogrešaka „multipatha“ uvođenjem E5 „AltBOC“ modulacije i viših vrijednosti SNR-a (signal-to-noise ratio). Korištenjem dodatnih satelita i poboljšanom geometrijom povećat će se dostupnost, kontinuitet i pouzdanost mjerenja (GSA, 2018).Slika 2: Redukcija „multipatha“ s L5/E5 frekvencijom (GSA, 2018)

Novi signali s bržom ratom čipiranja (L5/E5) mogu identificirati direktne i reflektirane signale i stoga mogu pratiti direktni signal. Ovaj pristup pomaže i kod pronalaska krivotvorenih signala (Slika 2). Uvođenjem treće noseće frekvencije značajno se reducira vrijeme konvergencije što je posebno važno za implementaciju PPP metode, a više signala omogućit će bolju pouzdanost i točnost. Galileo E6 signal je visoke kvalitete modulacije i čip rate i pouzdan je za korištenje kao treća noseća frekvencija. E6 signal bit će dostupan u novim komercijalnim uslugama koje će biti operativne do 2020. godine: E6b za servise visoke točnosti (CS-HAS) i E6c za autentikaciju (CS-SAS).

Istraživanja koja su obavljena od strane Europske GSA upućuju na razvoj sljedećeg scenarija za uspostavu sustava za visoko-točno pozicioniranje (Slika 3) (Capua, 2018).



Slika 3: **Model za visokotočno pozicioniranje - geodetski dio (Capua, 2018)**

A) *Globalni servisi korekcija:* operateri globalnih servisa korekcija zaduženi su za osnovne poruke i njihov prijenos do operatera GNSS servisa radi konačnog emitiranja putem navigacijske poruke Galileo satelita. Ova je usluga besplatno dostupna korisnicima, a temelji se na maloj mreži globalnih referentnih stanica. Omogućava pružanje osnovnih poruka korisnicima (precizne efemeride i korekcije sata) od strane međunarodnih organizacija za implementaciju PPP metode. PPP usluge trenutačno su besplatne i očekuje se da će GNSS operateri i u budućnosti osigurati besplatne osnovne podatke kao što je slučaj kod IGS RTS (International GNSS Service Real Time Service). Primjena korekcija za satelitske pogreške je prvi korak koji je potrebno zadovoljiti za dobivanje usluga na razini RTK-a. Osnovne PPP usluge osiguravaju razinu točnosti od 10 cm s vremenom konvergencije od 10 do 40 minuta.

Za postizanje klasičnih performansi RTK-a odnosno omogućavanje „cm“ razine točnosti pozicioniranja u realnom vremenu potrebno je osigurati lokalne servise korekcija koji mogu pružiti precizne atmosferske popravke, za što se koriste uspostavljene nacionalne mreže referentnih stanica, kao što je CROPOS.

B) *Lokalni servisi korekcija:* operateri lokalnih servisa korekcija zaduženi su za pružanje potrebnih podataka o lokalnim atmosferskim korekcijama (troposfera, ionosfera) za postizanje „cm“ točnosti u realnom vremenu. Očekuje se da će takve usluge biti dostupne uz plaćanje naknade, kao što je bilo i do sada. Prednost ovih servisa je da mrežni RTK može djelovati kao neovisna usluga od globalnih servisa korekcija.

Visoko-precizne metode GNSS pozicioniranja koje su bazirane na globalnim i lokalnim servisima korekcija opisane su u nastavku:

1) *Višefrekvencijski i višekonstelacijski mrežni-RTK:* Galileo signali i signali ostalih dostupnih satelitskih sustava bit će uključeni u klasične diferencijalne metode pozicioniranja mrežnog RTK i na taj način će poboljšati dostupnost servisa u urbanim područjima reducirajući vrijeme izmjere. Metoda se primjenjuje već dugi niz godina u geodetskoj praksi, a korištenje višefrekvencijskih i višekonstelacijskih sustava omogućit će još veću pouzdanost i točnost pozicioniranja (≤ „cm“ točnosti) u realnom vremenu.

2) *Višefrekvencijski i višekonstelacijski - PPP:* ovi servisi su nadogradnja na klasičnu metodu PPP koja ima dugo vrijeme konvergencije, a bit će dostupni od globalnih/regionalnih servisa pozicioniranja baziranih na odašiljanju PPP korekcija na dodatnom signalu koji će omogućiti korisnicima dobivanje korekcija direktno s Galileo satelita i točnosti pozicioniranja boljim od decimetra. Na ovom principu raditi će Galileo komercijalni servisi.

3) *Višefrekvencijski i višekonstelacijski PPP-AR (PPP-Ambiguity Resolution) odnosno PPP-RTK:* takvi sustavi su ekstenzija na postojeću PPP metodu globalnih servisa korekcija, a omogućit će brzo vrijeme konvergencije korištenjem postojećih mreža referentnih stanica. Ukoliko se kao dodatne poruke sa satelita odašilju fazne pogreške signala satelita izračunate od strane različitih pružatelja PPP-AR usluga govorimo o klasičnoj PPP-AR metodi koja ima nešto duže vrijeme konvergencije (15-30 minuta). Ako se koristi lokalna mreža referentnih stanica za računanje atmosferskih korekcija (ionosferskog kašnjenja) i korekcije dostavljaju putem mobilnog interneta, govorimo o integraciji dvije metode u PPP-RTK rješenje. Metoda predstavlja inovativno rješenje za visoko-precizni sustav pozicioniranja u realnom vremenu s centimetarskim točnostima.

C) *Nacionalne geodetske agencije:* zadužene su za definiranje i održavanje nacionalnih referentnih sustava, usklađenih sa svjetskim i europskim preporukama (INSPIRE i EUREF: ETRF2000 realizacija ETRS89). U budućnosti će im zadaća biti pratiti dostupne globalne i lokalne servise za korekcije u svrhu kvalitetnog obavljanja poslova državne izmjere i katastra te praćenja usklađenosti sa svjetskim i europskim preporukama.

D) *Proizvođači mjerne opreme:* očekuje se da će zbog budućeg razvoja GNSS više-frekvencijskih či-

pova, visoke cijene prijamnika sve više padati. Korištenje niskobudžetnih GNSS prijemnika povezanih s globalnim i lokalnim korekcijskim uslugama omogućit će postizanje „dm“ točnosti, a u budućnosti je za očekivati i „cm“ točnosti.

Uz uspostavu korekcijskih servisa za razvoj modela visokotočnog pozicioniranja bitan je i način prijenosa korekcija. Dva su načina prijenosa korekcija za GNSS pogreške u korisnički rover. U OSR (*Observation Space Representation*) pristupu korekcijski servis računa opažane pogreške na lokaciji svakog individualnog rovera i odašilje ih u rover. U drugom SSR (*State Space Representation*) pristupu, opažane GNSS pogreške signala korištene su za modeliranje pogrešaka preko cijele regije koje u bilo koje vrijeme mogu biti odaslane u rover putem satelita. OSR pristup usvojen je kod mrežne RTK metode, a koristi mrežu referentnih stanica. Taj pristup zahtjeva dvostruku komunikaciju između rovera i korekcijskih servisa. Zbog teže održivosti takvih sustava kod primjene u mobilnim uređajima oni nisu pogodni za šire tržište. SSR pristup koristi jednostruke komunikacije za odašiljanje korekcija za sve rovere na području servisa. To pojednostavljuje postupak i daje robustan servis korištenjem manje gustoće referentnih stanica (150-250 km) i jedini je izvodljiv pristup za aplikacije šireg tržišta.

3. Tehnološki trendovi visokotočnih GNSS aplikacija

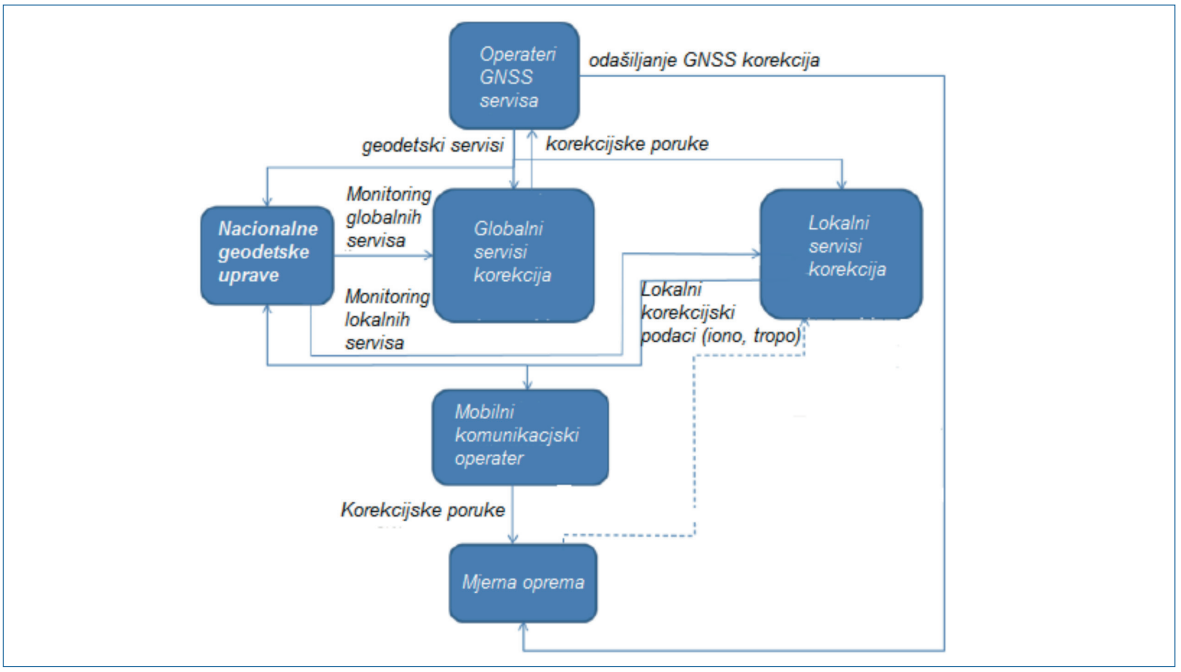
Uvođenje novih satelitskih sustava, prije svega GALILEO sustava, i novih poboljšanih metoda pozicioniranja (PPP-RTK metoda) dovest će do toga da će geodetski dvofrekvencijski GNSS prijamnici za precizno pozicioniranje s vremenom postati sve manji, jeftiniji i robusniji. RTK tehnologija koristi se već godinama ali samo u određenim profesionalnim aplikacijama, kao što je geodezija, inženjerski radovi i sl. s obzirom na visoke troškove i kompleksnost, te s obzirom da su visokotočne tehnologije pozicioniranja bile nedostupne za šire tržište. Budući da su se na tržištu masovno pojavile inovativne aplikacije koje zahtijevaju visoke preciznosti pozicioniranja, dobre performanse i niske troškove, kao što su bespilotne letjelice ili robotski sustavi implementirani u vozila, sve više se razvijaju niskobudžetni jednofrekvencijski prijamnici koji teže visokoj preciznosti. Nova generacija prijamnika su niskobudžetni višefrekvencijski GNSS prijamnici integrirani u tzv. pametne uređaje, kao što su pametni telefoni ili tableti i predstavljaju revoluciju u smislu geodetskog preciznog pozicioniranja. Oni sve više zamjenjuju složene i skupe GNSS prijemnike za odgovarajuće aplikacije preciznog pozicioniranja (Slika 4) (Capua, 2018).

Visokotočni GNSS prijamnici dizajnirani su za različite vrste pozicioniranja i možemo ih podijeliti u tri razreda, prema funkcionalnosti, robusnosti, masi i cijeni.

Statički GNSS prijamnici (točnosti 2-3 mm) - razvijeni su prvenstveno za naknadnu obradu statičkih GNSS opažanja. Značajna stavka kod ovih prijamnika je dovoljno prostora za pohranu, veliki kapacitet baterija i mogućnosti povezivanja s vanjskim izvorom energije i vanjskom antenom. Koriste se najviše kao GNSS infrastruktura ili mjerna oprema za znanstvene i stručne radove.

RTK prijamnici (točnosti 8 mm - 2 cm u realnom vremenu) – namijenjeni su prvenstveno za RTK/mrežna RTK mjerenja. Prijamnici ove grupe su obično integrirani (prijamnik-antena) i manje su mase, opremljeni s *linkom* za podatke: UHF/mobilni internet i koriste se u geodeziji, poljoprivredi, građevini, kartografiji, GIS-u i dr. Većina ih podržava i statički način mjerenja. Mogu biti integrirani s drugim senzorima koji omogućuju dodatne preciznosti te odgovarajuće primjene.

PPP prijamnici (točnosti 5 - 30 cm u realnom vremenu) – uobičajeni prijamnici korišteni u poljoprivredni i pomorskom prometu, no u zadnje vrijeme došlo je do ekspanzije i razvoja tih čipova za korištenje u geodeziji, inženjerskim radovima, kartografiji, GIS-u i dr. Značajni faktor ovog prijamnika je integrirani satelitski *L-band* i/ili mobilni link koji se nalazi unu-



Slika 4: **Tehnološki trendovi visoko-točnih GNSS aplikacija (Capua, 2018)**

tar prijamnika. Točnosti koje se mogu postići korištenjem PPP metode u realnom vremenu su ispod decimetra, a u novije vrijeme značajna je njihova integracija sa standardnom RTK metodom za postizanje „cm" točnosti pozicioniranja (npr. RTX rješenje).

Svi glavni proizvođači mjerne opreme ugradili su sve nove noseće frekvencije i konstelacije (GALILEO, BeiDou i dr). Osim toga u novijim prijamnicima ugrađeni su noviteti u rješavanju ambiguiteta: TCAR (*Three Carrier Ambiguity Resolution*) koji omogućuju brže vrijeme inicijalizacije za RTK i PPP metodu i bolju eliminaciju ionosferske refrakcije. Proizvođači mjerne opreme postaju sami pružatelji PPP usluga, ili se udružuju s njima, a time i ugrađuju vlasničke algoritme u svoje *čipsete* (npr. *RTX i OmniSTAR - Trimble, TerraStar - Novatel, SmartLink - Leica Geosystems, StarFire - Navcom*) za optimalnu kombinaciju RTK i PPP u jednom *čipsetu*. Razvijeno je i nekoliko novih tehnoloških rješenja za poboljšanje točnosti GNSS antena. U svim novim tipovima antena podržani su Galileo signali, a razvijene su i nove tehnike za otkrivanje smetnji interferencije i ublažavanju „multipatha" koje pružaju dodatne prednosti prilikom mjerenja u gustim urbanim područjima s obiljem neželjenih signala. Razvoj spiralnih GNSS antena koje su prikladnije za visokoprecizne aplikacije, kao i tehnike dodatnog filtriranja predstavljaju inovacije. Još jedna bitna stavka kod geodetskih GNSS prijamnika je integracija senzora. Sve više i više proizvođača integriraju, libele, inklinometre, žiroskopske senzore i magnetometre u prijemnike. Stoga je kapacitet GNSS prijamnika znatno porastao, a od nedavno se mogu postići i tražene točnosti u okruženjima koja su prethodno bila nemoguća, npr. gusto izgrađena urbana područja (GSA, 2018).

Novitet je primjena inovativne tehnologije „pozicioniranje kao servis" koja predstavlja korekcijske servise bazirane na GNSS-SDR (*Global Navigation Satellite System-Software Defined Receiver*) tehnologiji. Koristi se generička matična ploča uređaja koja se putem namjenskih servisnih aplikacija pretvara u GNSS prijemnik koji može primiti korekciju. Nova generacija GNSS-SDR prijamnika može transformirati mobilni uređaj s Android operativnim sustavom u dvofrekvencijski prijamnik s odgovarajućim sof-

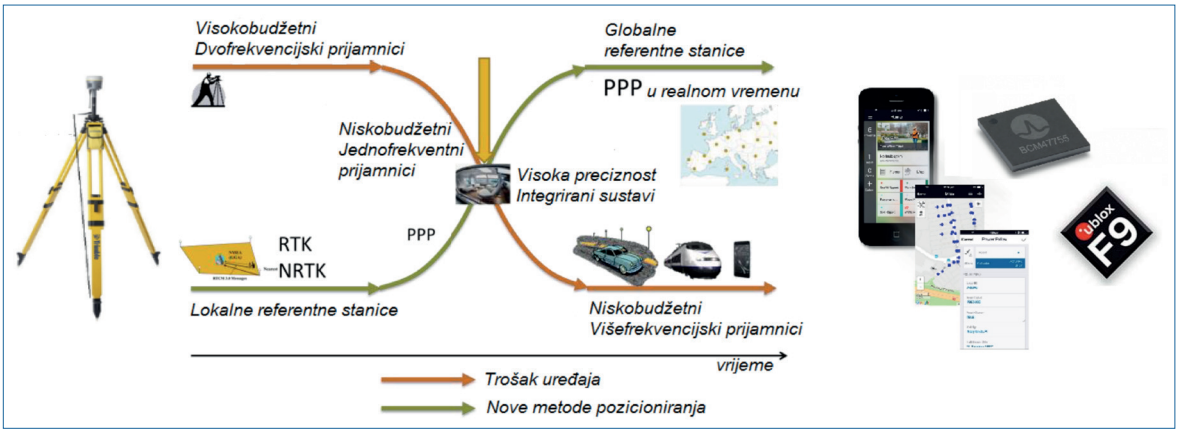
tverom i dodatnom GNSS antenom. GNSS SDR *open source* aplikacije reduciraju cijenu uređaja na cijenu dodatne antene u svrhu dobivanja visoko-preciznog GNSS uređaja, a koje mogu biti nadograđene za nove konstelacije i signale bez plaćanja dodatnog hardvera. Novi algoritmi rješavanja pogrešaka omogućuju kompenzaciju reflektiranih signala iz okoline pa je moguće ostvariti geodetske preciznosti s puno manjim antenama, čak onim integriranim u pametne uređaje. Različite vrste korekcija (DGNSS, NRTK, PPP) primjenjuju se ovisno o razini pretplate. Komercijalna rješenja, kao što je novi proizvod tvrtke Trimble: *Catalyst* koristi Android uređaj i pametnu antenu, a visoke točnosti postižu se korištenjem Trimble dostupnih servisa korekcija uz odgovarajuću pretplatu. Catalyst koristi vlastite servise kao što su *VRSNow* odnosno *CenterPoint RTX*. Trimble RTX tehnologija omogućava korekcije za satelitske pogreške, dok se za postizanje viših razina točnosti koristi PPP-RTK metoda kroz uspostavljene lokalne mreže referentnih stanica kao što je CROPOS, kako bi se mogle reducirati atmosferske pogreške koje utječu na pozicioniranje. Hardverske komponente Trimble Catalyst-a stoga iznose znatno manje, a precizno pozicioniranje ostvaruje se korištenjem dostupnih korekcijskih servisa koji se naplaćuju (Trimble i CROPOS).

4. Pozicioniranje u aplikacijama šireg tržišta

Tijekom 2017. i 2018. godine proizvedeni su višefrekvencijski prijemnici za masovno tržište čime se otvaraju vrata visokotočnom pozicioniranju na širem tržištu. U svibnju 2016 Google je objavio dostupnost GNSS sirovih mjerenja za sustave Android ver 7 (Nougat) i više. Po prvi put omogućen je pristup faznim i kodnim mjerenjima i navigacijskim porukama za uređaje širokog tržišta što je dosada bilo ograničeno na profesionalne GNSS uređaje. To je omogućilo da se napravi korak naprijed od *black-box* koncepta GNSS prijamnika i počnu primjenjivati napredne tehnike obrade na razvijenim „open source“ rješenjima u svrhu izrade aplikacija za obradu tih sirovih mjerenja i mogućnosti korištenja dodatnih korekcija s uspostavljenih servisa. Ograničenja kod obrade su i dalje pogreške kod faznih mjerenja, visoki šum pseudoudaljenosti, skokovi na nosećim fazama. Trenutačno je razina točnosti na sub metarskom nivou. Ipak unatoč svim prednostima, implementacija tih rješenja još uvijek nije u potpunosti prihvaćena od strane proizvođača pametnih uređaja. Glavni ograničavajući faktor za korištenje pametnih uređaja s klasičnim GNSS softverom na Android operativnim sustavima je činjenica da ne dopuštaju izravno spremanje sirovih podataka mjerenja u standardizirane formate kao što su RINEX (*Receiver Independent Exchange*), RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) ili NMEA (*National Marine Electronics Association*). Europska GSA pokrenula je radnu skupinu „*GNSS Raw Measurements*“ za angažiranje vodećih stručnjaka za navigaciju i pozicioniranje te poticanje razvoja inovativnih rješenja pozicioniranja. Izdano je tehničko izvješće: Korištenje GNSS sirovih mjerenja na Android mobilnim uređajima (GSA, 2017). Od Android 7 operativnog sustava omogućen je pristup sljedećim podacima GNSS sirovih mjerenja (Slika 5):

A) GNSS sat: vrijeme prijamnika (za računanje pseudoudaljenosti) i pogreška sata
B) GNSS navigacijske poruke: navigacijske poruke svih konstelacija i status navigacijske poruke
C) GNSS mjerenja: primljeno vrijeme satelita (za računanje pseudoudaljenosti), kodna mjerenja, fazna mjerenja.

Na tržištu su se pojavili i prvi niskobudžetni, a visokoprecizni GNSS RTK moduli implementirali u male čipove kao što je u-blox NEO-M8P (baza-rover), a koji koristi standarde kao što je RTCM za prijenos korekcijskih poruka te omogućava centimetarske razine točnosti. Početkom kolovoza 2017. godine tvrtka Geo ++ objavila je novu besplatnu aplikaciju za Android sustave, nazvanu Geo ++ RINEX Logger, koja omogućava pohranu sirovih podataka mjerenja dobivenih iz pametnih uređaja u RINEX format i naknadnu obradu. Francuska svemirska agencija CNES (*Centre National D'Etudes Spatiales*) stavila je



Slika 5: **GNSS sirova mjerenja u Android 7 sustavu**

dostupnim dvije aplikacije na Google Play trgovinu za operativni sustav Android N (Nougat). Prva je RTCM Converter koja konvertira GNSS sirova mjerenja prikupljena pametnim uređajem u RTCM poruke tipa 1077. Na taj način mobilni uređaj postaje bazna stanica koja odašalje RTCM poruku za primjenu od različitih softvera. PPP Wizlite je druga aplikacija razvijena u sklopu CNES PPP-Wizard projekta koja omogućuje PPP pozicioniranje do submetarske razine. Zahtijevana je internet veza u svrhu dobivanja korekcija. PPP WizLite omogućava PPP pozicioniranje u realnom vremenu korištenjem cjelobrojnog i nediferenciranog rješavanja ambiguiteta. Aplikacija koristi orbite i korekcije sata u realnom vremenu dostupne od IGS RTS u RTCM formatu. Ovi inicijalni rezultati poboljšati će se implementacijom sirovih mjerenja za dvofrekvencijske čipove kao i podrškom za sve veći broj signala iz različitih konstelacija kao što je: GLONASS, GALILEO i BeiDou. Još jedan ograničavajući čimbenik za precizno pozicioniranje u pametnim uređajima predstavlja takozvani „ciklus rada“, tj. postupak koji se koristi u GNSS modulima ugrađenim u pametne uređaje za povećanje trajanja baterije. U osnovi se sastoji od kontinuirano izmjenjujućih kratkih razdoblja (reda stotina milisekundi) u kojima je GNSS praćenje aktivno, s razdobljima u kojima je onemogućeno praćenje, stoga se uvode diskontinuiteti u faznim opažanjima. Danas na tržištu postoje već uređaji koji imaju onemogućen taj „ciklus rada“, npr. Android Google Nexus 9 tablet. Rezultati istraživanja pokazuju da se s pametnim uređajima koji imaju mogućnost prijama sirovih GNSS faznih opažanja (kao što je Nexus 9) mogu postići „dm“ točnost pozicioniranja bez rješavanja ambiguiteta metodom brze statike. Očekivano je da će se u budućnosti moći postići „cm“točnosti implementacijom algoritama za rješavanje ambiguiteta (Realini et al., 2017). U rujnu 2017. godine Broadcom je lansirao BCM47755 prvi čip za GNSS dvofrekvencijski prijamnik (GPS L1/L5, Galileo E1/E5a) za mobitel Xiaomi Mi8. BCM47755 čip podržava GPS frekvencije (L1+L5, C/A), GLONASS L1, BeiDou B1 te Galileo (E1+E5a) te QZSS (L1+L5) i stoga je značajno otporan na „multipath“ i reflektirane signale u urbanim područjima, a ima i veću otpornost na interferenciju signala. Obavljena su testiranja razvijenog sustava na modificiranim Android mobitelima s Broadcom BCM47755 čipom te su postignute točnosti od trideset centimetara (Riley et al., 2017). U siječnju 2018. godine časopis GPS World objavio je rezultate Trimble-ovog istraživanja: “Pozicioniranje s Androidom: GNSS opažanja” gdje je korišteno Trimble RTX rješenje za pozicioniranje pomoću čip seta BCM47755 i dodatne antene a postignute su „cm“ točnosti u idealnim uvjetima mjerenja. U usporedbi s postojećim profesionalnim GNSS uređajima, vrijeme konvergencije je veće međutim studija je dala dobar uvid u buduće mogućnosti pozicioniranja i razvoj prijemnika šireg tržišta. U veljači 2018 uBlox je lansirao F9 čip za industrijske i automobilske aplikacije. Čip

koristi GNSS signale u više frekvencijskim slojevima (L1, L2, L5) uključujući Galileo sustav i njegove frekvencije. F9 čip je prvi implementirao i tzv „on-chip“ RTK tehnologiju čime se razina točnosti pozicioniranja približila razini točnosti RTK pozicioniranja. Dolaskom dvofrekvencijskih čipova omogućena je znatno bolja točnost za uređaje širokog tržišta. Dvofrekvencijski uređaj omogućava poništavanje ionosferskog kašnjenja, poboljšano utvrđivanje kodnih pseudoudaljenosti i bolju otpornost na „multipath“ efekte te korištenje tehnika kao što je „wide laning“ za dobivanje trenutačnog rješenja OTF (*On the fly*) metode rješavanja ambiguiteta. S obzirom na uvedenu E5/L5 frekvenciju koja korištenjem Galilea omogućava razdvajanje direktnih signala od onih reflektiranih od zgrada, dodatno je omogućeno smanjivanje „multipath“ efekta (glavnog izvora pogrešaka u urbanim područjima i drugim zahtjevnim okolinama) (Pepe, 2018). Razvojem dvofrekventnih čipova i pristup sirovim mjerenjima u aplikacijama šireg tržišta rezultiralo je postizanjem „dm“ točnosti korištenjem korekcijskih servisa, no za postizanje dovoljne preciznosti još uvijek postoje značajni izazovi, kao što je razvoj višefrekvencijskih GNSS antena visoko osjetljivih na „multipath“ s dobrom faznom stabilnošću i poboljšanim radnim ciklusom. Budući da je to važan faktor u ostvarivanju visokih preciznosti kod integracije s pametnim uređajima povećano je istraživanje niskobudžetnih GNSS antena visokih performansi. Integracija antena za pozicioniranje i komunikaciju pojavljuje se kao opcija za budući razvoj (GSA, 2018).

5. Zaključak

U sklopu projekta financiranog iz Europskog socijalnog fonda, Operativnog Programa „Učinkoviti ljudski potencijali“ provest će se edukacija službenika DGU-a o novim metodama pozicioniranja i novim servisima CROPOS-a. S obzirom da je višekonstelacijski GNSS danas realnost, kroz edukaciju službenika DGU-a omogućit će se implementacija novih metoda i servisa različitih razina točnosti u državnoj upravi, a time i brzo i efikasno pružanje usluga korisnicima državnih servisa. Istraživanja koja su obavljena od strane GSA predlažu uspostavu sustava za visokotočno pozicioniranje kroz primjenu globalnih i lokalnih korekcijskih servisa koje nadziru nacionalne geodetske uprave. Servisi GNSS korekcija uspostavljenih globalnih / regionalnih / lokalnih referentnih mreža i novi pristupi odašiljanju korekcijskih podataka uvođenjem novih standarda poruka za odašiljanje korekcija omogućilo je širu primjenu visokopreciznog pozicioniranja u sve većem broju prijamnika. Dolaskom niskobudžetnih, dvofrekvencijskih čipova sposobnih za decimetarsku razinu preciznosti te dostupnosti korekcijskih servisa, napravljen je revolucionarni korak u primjeni visokotočnih RTK aplikacija na širem tržištu. Razvojem tehnologija kao što su GNSS antene visoko osjetljive na multipath, višefrekvencijski čipovi, dostupnost dvofrekvencijskih višekonstelacijskih GNSS sirovih podataka kodnih i faznih mjerenja na pametnim uređajima koji imaju Android operativni sustav, dovest će do „cm“ točnosti pozicioniranja u realnom vremenu unutar sljedećih nekoliko godina.

Literatura

Capua, R. (2018): GNSS in Cadastral Surveying: State of the Art and future perspectives in the framework of Galileo, FIG Congress 2018, Istanbul, Turkey, May 6–11, 2018.

GSA (2017): White paper: Using GNSS raw measurements on android devices.

GSA (2018): White paper: USER TECHNOLOGY REPORT, Issue 2.

Pepe M. (2018): CORS architecture and evaluation of positioning by low-cost GNSS receiver, Geodesy and Cartography, ISSN 2029-6991 / eISSN 2029-7009 , 2018 Volume 44 Issue 2: 36–44.

Realini E, Caldera S, Pertusini L, Sampietro D (2017): Precise GNSS Positioning Using Smart Devices, Sensors (Basel), 2017 Oct 24;17(10). pii: E2434. doi: 10.3390/s17102434.

Riley S, Lentz W, Clare A. (2017): ”On the Path to Precision – Observations with Android GNSS Observables”, In proceedings of ION GNSS 2017, p. 116-129, 2017.

URL-1: DGU Specifikacije, https://dgu.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Pristup%20informacijama/Zakoni%20i%20ostali%20propisi/Specifikacije/TEHNI%C4%8CKE%20SPECIFIKACIJE%20-%20ODLUKA.pdf, (9. 10. 2018.)

EDUCATION PROJECT FOR STATE GEODETIC ADMINISTRATION EMPLOYEES ON THE APPLICATION OF NEW POSITIONING METHODS AND NEW CROPOS SERVICES

Abstract: The State Geodetic Administration (SGA) has approved the use of funds from the European Fund for Effective Human Resources in the previous year, which will enable the SGA employees to be educated on the application of new positioning methods and new CROPOS services, all in order to increase the efficiency and capacities of the state administration and improve the provision of services. High-ranking positioning methods used in state-of-the-art surveying and cadastre evolved through the introduction of the European Galileo system and the development of new methods and positioning services, which will also have an impact on CROPOS services. The future and trends of using the GNSS high-range positioning system will be based on the use of multiple constellations and satellite signals. The two main development points made the application of high-level positioning in the wider market. The GNSS correction services of established global / regional / local reference networks that consistently gather GNSS signals and determine corrections for positioning errors and new approaches to sending of data corrections by introducing new standards for broadcast corrections, enabling high precision positioning in an increasing number of receivers. The new generation of low-budget GNSS receivers have the ability to use these corrections to achieve high levels of accuracy for different applications: precision flight of drones, autonomous vehicles, smart cities etc. Since the multi-constelation GNSS is today's reality, through education of SGA employees will be enabled application of new methods and services of different levels of accuracy in state administration and thus quickly and efficiently providing services to state service users.

Keywords: ESF, CROPOS, correction services, GNSS applications

ISPITIVANJE NAVIGACIJSKE TOČNOSTI BESPOSADNIH LETJELICA

Denis Blaženka[1], Željko Bačić[2], Danijel Šugar[3]
[1]Zavod za fotogrametriju d.d., Borongajska 71, Zagreb, Republika Hrvatska, deblazenka@gmail.com
[2]Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Republika Hrvatska, zbacic@geof.hr
[3]Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Republika Hrvatska, dsugar@geof.hr

Sažetak: Besposadne letjelice opremljene su s više senzora namijenjenih pozicioniranju i navigaciji, a jedan od njih je i GNSS (engl. *Global Navigation Satellite System*) prijamnik. Za potrebe ispitivanja točnosti pozicioniranja i navigacije besposadnih letjelica, osmišljena je, konstruirana i na terenu ispitana posebna testna platforma. Na toj je platformi ispitana točnost GNSS prijamnika ugrađenog na besposadnoj letjelici *DJI Phantom 4* i to kako u statičkom, tako i u kinematičkom načinu rada. Pri ispitivanju točnosti pozicioniranja besposadne letjelice korištena su i tri geodetska GNSS prijamnika *Trimble R8*. Ishodišne koordinate sva tri uređaja određene su na osnovi statički prikupljenih podataka opažanja i podataka iz Geodetskog preciznog pozicijskog servisa (GPPS) CROPOS-a. Testiranje točnosti u kinematičkom načinu rada provedeno je primjenom PPK (engl. *Post – Processed Kinematic)* metode uz povećanu frekvenciju pohrane opažanja. Ocjena točnosti pozicioniranja u statičkom načinu rada ostvarena pomoću GNSS prijamnika integriranog u besposadnoj letjelici, pokazala je znatno bolje vrijednosti od onih navedenih u tehničkoj dokumentaciji. Zbog toga je provedeno dodatno ispitivanje koje je imalo za cilj utvrdili koristi li besposadna letjelica i podatke SBAS-a (engl. *Satellite Based Augmentation System*), što je na području Europe EGNOS (engl. *European Geostationary Navigation Overlay Service*). Za te je potrebe korišten geodetski GNSS prijamnik *Topcon Hiper SR* kojim su koordinate određivane apsolutnom metodom pozicioniranja na osnovi kodnih mjerenja iz šest kombinacija satelitskih sustava (GPS+GLONASS, GPS+EGNOS, GPS+GLONASS+EGNOS, GLONASS+EGNOS, GPS, GLONASS). Dodatno, na osnovi rezultata pozicioniranja GNSS uređaja ugrađenog na besposadnoj letjelici potvrđena je veza između referentnog okvira CROPOS-a (ETRF2000 R05) i referentnog okvira GPS-a (WGS84).

Ključne riječi: besposadna letjelica, GNSS, CROPOS, EGNOS, WGS84

1. Uvod

Besposadne letjelice, ili skraćeno UAV-i (engl. *Unmanned Aerial Vehicles*) su letjelice kojima ne upravlja posada ili pilot, odnosno to su daljinski upravljane ili samoupravljane letjelice koje mogu nositi teret ili odraditi određeni zadatak (ICAO 2015). Iako je u posljednjih desetak godina došlo do masovnog razvoja ovih letjelica, prva pojava UAV-a zabilježena je još u 19. stoljeću. Od tada su UAV-i primarno korišteni u vojne svrhe, ali u posljednje vrijeme dolazi i do sve većeg razvoja besposadnih letjelica u civilne svrhe, pa tako i u području geodezije i geoinformatike.

Osnovna podjela besposadnih letjelica je u dvije kategorije, a to su autonomne letjelice i letjelice na daljinsko upravljanje ili RPA (engl. *Remotely Piloted Aircraft*). Autonomne letjelice temelje se na naprednim sustavima za dinamičko navođenje te ih se trenutačno smatra neprikladnima za regulaciju radi zakonskih problema, dok letjelice na daljinsko upravljanje podliježu pravnim propisima ICAO-a (engl. *International Civil Aviation Organization*) te propisima i zakonima nacionalnih agencija za civilno zrakoplovstvo (ibid.). Sa svakom novijom verzijom besposadnih letjelica povećavaju se njihove mogućnosti, a najznačajne karakteristike su duljina leta, veća sigurnost letenja, napredniji sustav autopilota. Ove potencijalne prednosti ovise o mnogo faktora poput vrste letjelice, vanjskih uvjeta, tipa senzora (Watts i dr. 2012). U svaku besposadnu letjelicu ugrađen je GNSS (engl. *Global Navigation Satellite Systems*) senzor za navigaciju i pozicioniranje. Također, svaki UAV ima ugrađene i INS (*engl. Inertial Navigation System*) senzore, a obično se sastoje od dva ili tri žiroskopa i akcelerometara te magnetometra. Neizostavan dio je mikroprocesor koji nadzire, tj. kontrolira rad cjelokupnog sustava (DJI 2016). U području geodezije i geoinformatike besposadne letjelice se uglavnom koriste za potrebe fotogrametrije za snimanje velikih i nepristupačnih područja prikupljanjem velikog broja podataka, a točnost svih dobivenih podataka ovisi o senzorima pojedine letjelice.

Za potrebe ispitivanja navigacijske točnosti GNSS senzora besposadne letjelice osmišljena je i konstruirana testna platforma na kojoj su provedena statička i kinematička ispitivanja. Iskazana je ocjena točnosti pozicioniranja i navigacije koja se postiže GNSS senzorom na bespilotnoj letjelici te je prikazana usporedba tih vrijednosti s onima danima od strane proizvođača. Prikazan je postupak testiranja i obrada prikupljenih podataka, za potrebe obrade statičkih opažanja GPPS CROPOS-a.

2. Ispitivanje navigacijske točnosti

Ispitivanje navigacijske točnosti besposadne letjelice, tj. ispitivanje navigacijske točnosti njezinih senzora odrađeno je u statičkom i kinematičkom načinu rada. Za potrebe ispitivanja točnosti, odnosno testova, uz posjedovanje besposadne letjelica, bilo je potrebno osmisliti i izraditi odgovarajuću platformu. Platforma je morala zadovoljiti tri uvjeta. Prvi od uvjeta bio je taj da dimenzije trajektorije budu znatno veće od točnosti određivanja koordinata s GNSS senzorom besposadne letjelice, drugi uvjet bio je da platforma bude dovoljno čvrsta kako bi se na njezine rubove mogli postaviti GNSS prijamnici, a da pritom ne dođe do znatnijeg deformiranja same konstrukcije. Kako bi se zadovoljila dva navedena uvjeta, platforma je izvedena od pravokutnog aluminijskog profila duljine 6 m, širine 12 cm, visine 3 cm i debljine stijenke 4 mm (Slika 2.1).



Slika 2.1: **Platforma za ispitivanje navigacijske točnosti besposadne letjelice (foto: D. Blaženka)**

Treći uvjet bio je da se platforma može okretati u horizontalnoj ravnini oko vertikalne osi postavljene kroz težište aluminijskog profila što je izvedeno izradom metalne osovine. Samo ispitivanje provedeno je kroz tri testa, a to su:

1. statika (koja će poslužiti za određivanje koordinata triju točaka na platformi (rubne i središnja točka, a dobivene koordinate središnjeg uređaja će kasnije poslužiti za ispitivanje točnosti PPK metode, ali i određivanje točnosti GNSS senzora besposadne letjelice),
2. testiranje točnosti PPK metode,
3. testiranje točnosti GNSS senzora besposadne letjelice *DJI Phantom 4*.

Sva ispitivanja, tj. svi testovi izvedeni su na području srednjoškolskog igrališta u blizini Geodetskog fakulteta u Zagrebu.

2.1. Prvi test – statika

Prva dva testa (određivanje koordinata središta i rubova platforme te ispitivanje točnosti PPK metode) izvedeni su pomoću tri GNSS Trimble R8 prijamnika zajedno s pripadnim TSC2 kontrolerima. Prvi provedeni test bila je statika, odnosno test u kojemu su se dobile koordinate svih triju točaka na platformi na mjestima na kojima su se nalazili GNSS prijamnici (središte i rubovi profila) (Slika 2.2). Na taj način su se odredile koordinate središnjeg GNSS uređaja koje će kasnije poslužiti za ispitivanje točnosti PPK metode i ispitivanje točnosti GNSS senzora besposadne letjelice. Ovaj test trajao je ukupno 22 minute sukladno članku 13., Prilog 2, *Pravilnika o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova* (NN 112/2017). Sva tri prijamnika prikupljala su podatke opažanja s intervalom pohrane 10 sekundi, a broj vidljivih GPS i GLONASS satelita bio je u rasponu 16 - 17.



Slika 2.2: **Provedba prvog testa – statika (foto: D. Blaženka)**

2.2. Ispitivanje točnosti PPK metode

Nakon završenog prvog testa, odmah se započelo s drugim testom tj. ispitivanjem točnosti PPK metode. Iz literature Hofmann-Wellenhof i dr. (2008) poznato je da se upotrebom dvofekvencijskih prijamnika iz nekoliko epoha opažanja (nakon postignute inicijalizacije) pri duljinama vektora do 10 km postižu položajne točnosti oko 2 cm. Da bi se moglo provesti ispitivanje točnosti GNSS prijamnika na besposadnoj letjelici primjenom PPK metode, trebalo je prethodno utvrditi ostvarivu razinu točnosti same PPK metode.

Svaki od tri GNSS uređaja zadržao je svoj položaj na platformi identičan onome tijekom prvoga testiranja. Pomoću GNSS prijamnika postavljenima na rubovima testne platforme provedena su kinematička PPK opažanja, dok su pomoću središnjeg uređaja provedena statička opažanja, ali s povećanim intervalom pohrane u odnosu na prvi test (0.1 s). Za provedbu PPK metode ili bilo koje druge kinematičke metode pozicioniranja potrebno je provesti inicijalizaciju GNSS mjerenja. Sukladno preporukama proizvođača GNSS uređaja (Trimble 2018), za L1/L2 metodu inicijalizacije potrebno je prikupiti opažanja kroz 8 minuta uz vidljivost 6 ili više satelita. Kako je prilikom provedbe testa bilo vidljivo više od 6 satelita, inicijalizacija je trajala 8 minuta, dok je cijeli drugi test trajao približno 11 minuta.

2.3. Ispitivanje navigacijske točnosti GNSS senzora besposadne letjelice

Treći test bio je ispitivanje točnosti GNSS senzora besposadne letjelice DJI Phantom 4. Letjelica je smještena na jedan od rubova aluminijskog profila

te je vezicama pričvršćena za profil (Slika 2.3). GNSS prijamnik umjesto kojega je postavljena letjelica na profil poslužio je kao pomoćni uređaj postavljen s južno od platforme na stativ te je statički opažao tijekom testa. Na taj način dobila su se prekobrojna mjerenja za ispitivanje navigacijske točnosti. Interval pohrane postavljen je na 0.1 s, a tijekom testiranja bilo je vidljivo 17-18 satelita. Nakon paljenja motora, besposadnoj letjelici trebalo je malo više od minute da se zagriju svi senzori. Nakon provedene kalibracije kompasa, akcelerometara i žiroskopa moglo se započeti s prikupljanjem podataka (otprilike 30 podataka u sekundi), a sama platforma vrtjela se tri puta tijekom cijelog testa (Slika 2.2). Na taj je način omogućeno davanje ocjene točnosti rezultata postignutih GNSS prijamnikom na besposadnoj letjelici u statičkim i kinematičkim uvjetima opažanja.



Slika 2.3: **Ispitivanje točnosti GNSS senzora na UAV DJI Phantom 4 (foto: D. Blaženka)**

2.4. Ispitivanje utjecaja EGNOS-a na GNSS mjerenja

Cilj provedbe ovoga zasebnog testa bio je odgovor na pitanje koristi li letjelica DJI Phantom 4 podatke EGNOS satelita za poboljšanje podataka navigacije. Naime, s obzirom da je testiranjem GNSS prijamnika na besposadnoj letjelici utvrđena znatno bolja točnost od one navedene u tehničkim specifikacijama, bilo je potrebno provesti navedeni test. Ovo testiranje obavljeno je korištenjem letjelice DJI Phantom 4 te *Topcon* GNSS prijamnika *Hiper SR* i kontrolera *FC-5000* na dvjema točkama poznatim po koordinatama (GFP4 i GFP5) na području srednjoškolskog igrališta (Slika 2.4). Sam test proveden je na način da je najprije besposadna letjelica uključena, a dvije minute kasnije pokrenuti su i motori te je odmah započelo prikupljanje podataka (otprilike 30 podataka u sekundi), dok je mjerenje GNSS prijamnikom obavljeno pomoću programa TRU (engl. *Topcon Receiver Utility*) na način da su obavljena „Standalone“ opažanja (interval pohrane postavljen je na 1 sekundu, dok je elevacijska maska iznosila 10°) u trajanju od 2 minute. GNSS prijamnikom *Topcon Hiper SR* provedeno je apsolutno pozicioniranje na osnovi kodnih mjerenja opažanjem šest različitih kombinacija satelitskih sustava (GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+EGNOS, GLONASS+EGNOS, GPS+EGNOS).





Slika 2.4: **Ispitivanje utjecaja EGNOS-a na GNSS mjerenja: DJI Phantom 4 na točki GFP5 (slika lijevo) i Topcon Hiper SR na točki GFP4 (slika desno) (foto: D. Blaženka)**

3. Obrada podataka mjerenja

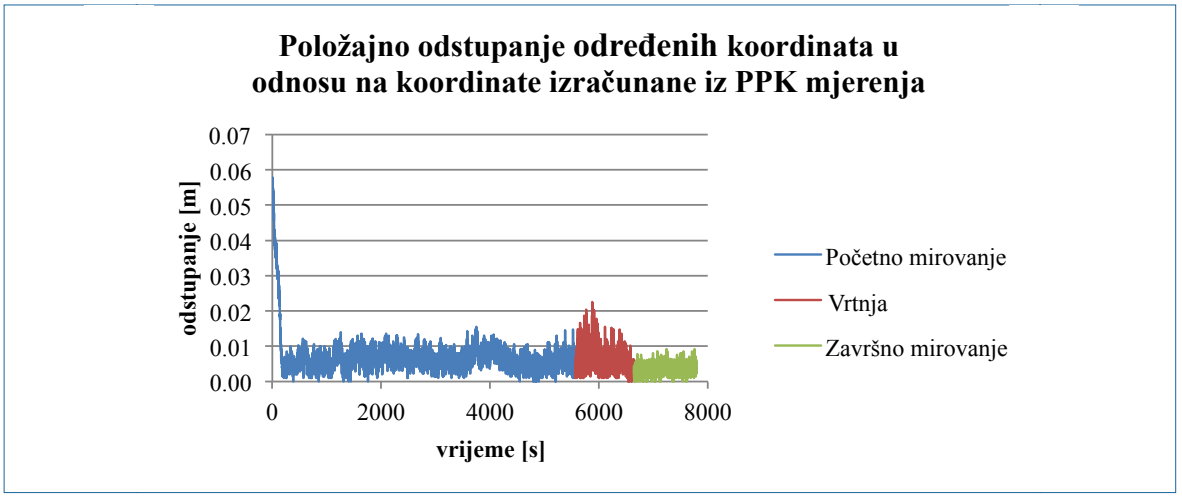
Po završetku terenskih aktivnosti i prikupljanja podataka opažanja, pristupilo se njihovoj obradi i analizi. Za obradu statički prikupljenih podataka pomoću GNSS prijamnika Trimble R8, korišten je programski paket *Trimble Business Center ver. 4.00*, koji uz obradu podataka omogućuje prikaz i transformaciju statičkih i kinematičkih mjerenja te daje konačni popis svih točaka i njihovih koordinata. Obradom opažanja prvog testa dobivene su izjednačene koordinate stajališta GNSS prijamnika na platformi koje su kasnije poslužile za ispitivanje navigacijske točnosti GNSS prijamnika besposadne letjelice. Drugi test uključivao je utvrđivanje točnosti PPK metode, dok su se obradom kinematičkih podataka u trećem testu dobile koordinate krajeva platforme tijekom vrtnje u kružnoj putanji, koje su se nakon obrade mogle usporediti s koordinatama prikupljenima pomoću besposadne letjelice. Na taj način dala se ocjena navigacijske točnosti GNSS prijamnika na besposadnoj letjelici, te se ona konačno usporedila s podacima navedenima u tehničkim specifikacijama.

3.1. Obrada statičkih mjerenja

Za potrebe obrade statičkih mjerenja, s web servera GPPS CROPOS-a (URL-1) preuzeti su podaci opažanja u RINEX formatu za referentnu točku CORS ZAGR koja se nalazi na zgradi Geodetskog fakulteta te dodatno za dvije virtualne referentne stanice (V171 i V172) koje se nalaze otprilike na jednakoj udaljenosti od opažanih točaka kao i referentna točka ZAGR.

3.2. Obrada kinematičkih mjerenja (PPK metoda)

Prvi korak nakon postavljanja svih potrebnih postavki za obradu kinematičkih podataka mjerenja, bilo je učitavanje podataka opažanja središnjeg GNSS prijamnika Trimble R8 koji je tijekom testa opažao u statičkom načinu rada (10 Hz), a nakon toga učitani su i podaci opažanja GNSS prijamnika koji su na krajevima platforme opažali u PPK načinu rada (10 Hz). Idući korak bio je fiksiranje koordinata središta platforme te je uspješno provedeno računanje vektora opažanih trajektorija u odnosu na središnju točku. Na temelju izračunanih koordinata jednog rubnog GNSS prijamnika za svaku epohu, poznatih koordinata središnjeg uređaja te poznate geometrije testne platforme, moguće je na osnovi izraza prikazanih u Blaženka (2018) izračunati koordinate drugog rubnog GNSS prijamnika. Usporedbom na taj način određenih koordinata s onima izračunanima iz PPK mjerenja, dobivena je ocjena točnosti PPK metode. Napravljeni su prikazi odstupanja, tj. razlika izračunatih i dobivenih koordinata po *E* i *N* osima, a za bolju predodžbu na-



Slika 3.1: **Položajno odstupanje određenih koordinata u odnosu na koordinate izračunane iz PPK mjerenja**

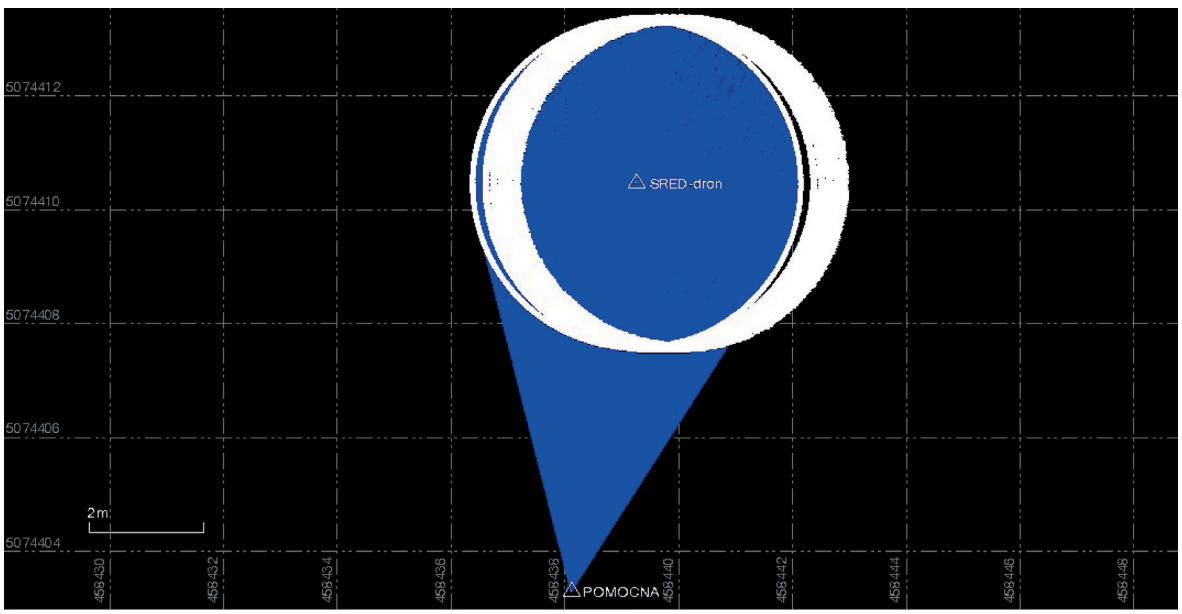
pravljen je i prikaz položajnih odstupanja za svaku epohu mjerenja (Slika 3.1).

Vidljivo je da su tijekom mirovanja položajna odstupanja između određenih koordinata i koordinata izračunanih iz mjerenja za cijelu platformu približno jednakih vrijednosti te iznose oko 1 cm, dok se lagano povećavaju tijekom vrtnje do maksimalne vrijednosti od 2.2 cm te srednje vrijednosti od 1.5 cm. Odstupanja po *E* osi kreću se između 0.012 m i 0.02 m, dok se odstupanja po *N* osi kreću u vrijednostima između 0.017 m i 0.055 m. Vrijednost ukupnog standardnog odstupanja kreće se u vrijednostima od 0.026 m i 0.056 m.

3.3. Obrada mjerenja besposadne letjelice

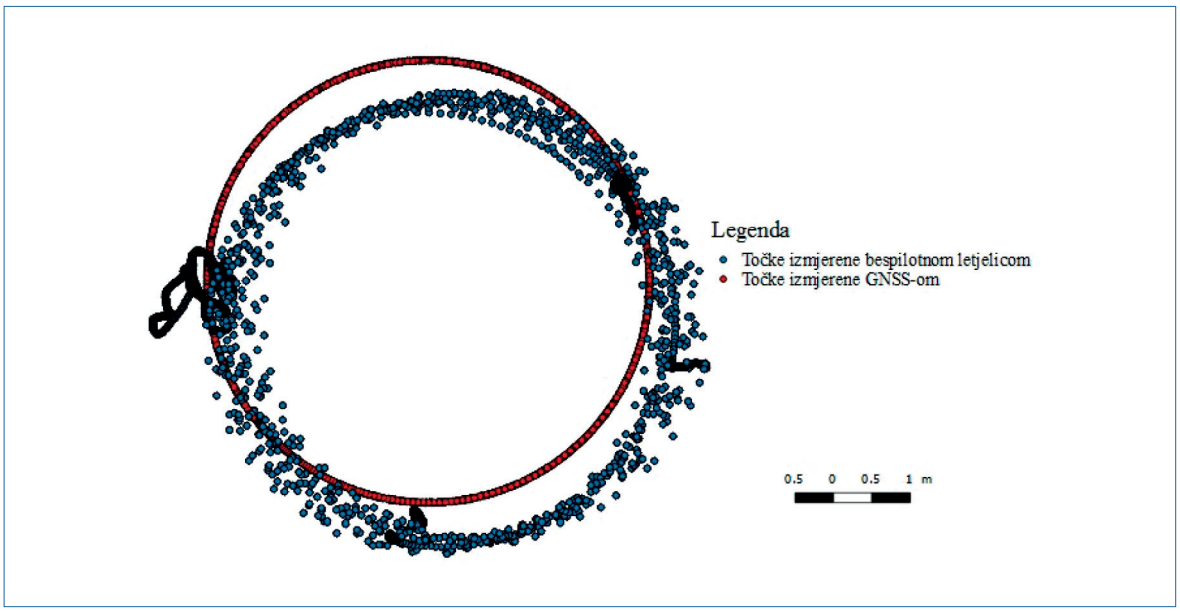
Prvi korak pri obradi podataka ovog testa bio je obrada statičkih, a zatim i kinematičkih podataka GNSS instrumenata u programu *TBC ver.4.00*. Početni korak bio je učitavanje datoteka u RINEX formatu koje sadrže opažanja za referentnu točku CORS ZAGR kao i za dvije virtualne referentne stanice (V173, V174). Nakon tih točaka, učitane su i dvije datoteke s podacima statičkih opažanja središnjeg instrumenta i pomoćnog instrumenta Trimble R8 koji se nalazio s južne strane platforme (točka POMOĆNA, slika 3.2). Uslijedila je obrada baznih linija između točaka, te je uspješno obrađeno svih 10 vektora. Izjednačenje mreže uspješno je provedeno, a ocjena točnosti iskazana je pomoću pogrešaka izjednačenih koordinata koje iznose 0.000 m u smjeru *E* i *N* osi s razinom pouzdanosti od 95%. Uslijed uspješnog izjednačenja mreže i dobivanja izjednačenih koordinata središnje i pomoćne točke moglo se pristupiti obradi kinematičkih mjerenja (PPK) prikupljenih na jednome od rubova platforme. Iako je za obradu kinematičkih baznih linija bila dovoljna samo središnja točka (SRED-dron), s pomoću POMOĆNE točke mogu se provjeriti koordinate točaka kružne putanje za svaku epohu (Slika 3.2).

Istovremenim kinematičkim opažanjem GNSS prijamnika na jednom rubu platforme i statičkim opažanjem GNSS prijamnika u sredini platforme, omogućeno je određivanje koordinata stajališta GNSS prijamnika besposadne letjelice za svaku epohu. Tako dobivene koodinate uspoređene su s koordinatama koje je odredio GNSS prijamnik u besposadnoj letjelici što je omogućilo davanje ocjene točnosti postignutih rješenja.



Slika 3.2: **Izračunane kinematičke bazne linije u odnosu na središnju (SRED-dron) i pomoćnu točku (POMOCNA)**

Besposadna letjelica pohranjuje podatke letenja u binarnoj *.DAT datoteci koja je kao takva nečitljiva i kriptirana od strane proizvođača. Za konverziju u čitljivi *.csv format korišten je slobodni softver *CsvView 1.3.8.* te je nakon toga omogućena obrada podataka. Usporedba dobivenih koordinata određenih pomoću besposadne letjelice i rubnog GNSS uređaja nije bila moguća bez transformacije koordinata. Naime, referentni koordinatni sustav za GNSS prijamnik na besposadnoj letjelici je WGS84, a koordinate izračunane iz statičkih i kinematičkim mjerenja u TBC-u dane su u referentnom okviru CROPOS-a (ETRF2000 (R05), epoha 2008.83), odnosno u koordinatnom sustavu HTRS96/TM. Zbog toga bilo je potrebno transformirati koordinate iz referentnog okvira ETRF2000 (R05) (epoha 2008.83) u ITRF2008 (epoha 2005.0) te u ITRF2014 (epoha 2017.93 koja odgovara epohi provedbe testiranja). Razlog transformacije u ITRF 2008 je taj što sukladno NGA (2014), WGS84 sustav je istovjetan ITRF2008, epoha 2005.0 (transformacijski parametri su zanemarivo mali pa se mogu smatrati nulom), a razlog transformacije u ITRF2014 je taj da se potvrdi pretpostavka prati li WGS84 aktualnu realizaciju ITRF-a i epohu mjerenja. Transformacija koordinata središnje i pomoćne točke između ETRF-a i ITRF-a provedena je pomoću EUREF-ovog servisa (URL-2). Ulazni podaci bili su *X*, *Y* i *Z* koordinate zajedno s godišnjim brzinama gibanja točaka, ulazni okvir je ETRF2000, epoha 2008.83. Izlazni podaci izračunani su u dva referentna okvira, i to u ITRF2008 (epoha 2005.0) i ITRF2014 (epoha 2017.93). Prethodno su izračunane godišnje brzine kretanja tektonske ploče, odnosno brzine kretanja središnje točke platforme i pomoćne točke. Za računanje brzina korišten je UNAVCO-ov *Plate Motion Calculator* i model gibanja tektonskih ploča NUVEL 1A (URL-3). Utvrđeno je da se koordinate dobivene besposadnom letjelicom manje razlikuju od koordinata izraženih u ITRF2014 (epoha 2017.93) nego od onih izraženih u ITRF2008 (epoha 2005.0). Ovakvi rezultati su potvrdili pretpostavku da WGS84 prati aktualnu realizaciju ITRF-a i epohu mjerenja. Za bolje shvaćanje, tj. za prikaz odnosa *Easting* i *Northing* koordinata besposadne letjelice i GNSS uređaja (PPK) korišten je i program *QGIS 2.18.1* (Slika 3.3). Ukupna položajna odstupanja točaka određenih letjelicom kreću se u intervalu 0.35 – 0.71 m u odnosu na referentne vrijednosti (veća odstupanja se javljaju tijekom vrtnje), dok je ukupni raspon osi (razlika maksimalnih i minimalnih vrijednosti po osima) oko 1.05 m.



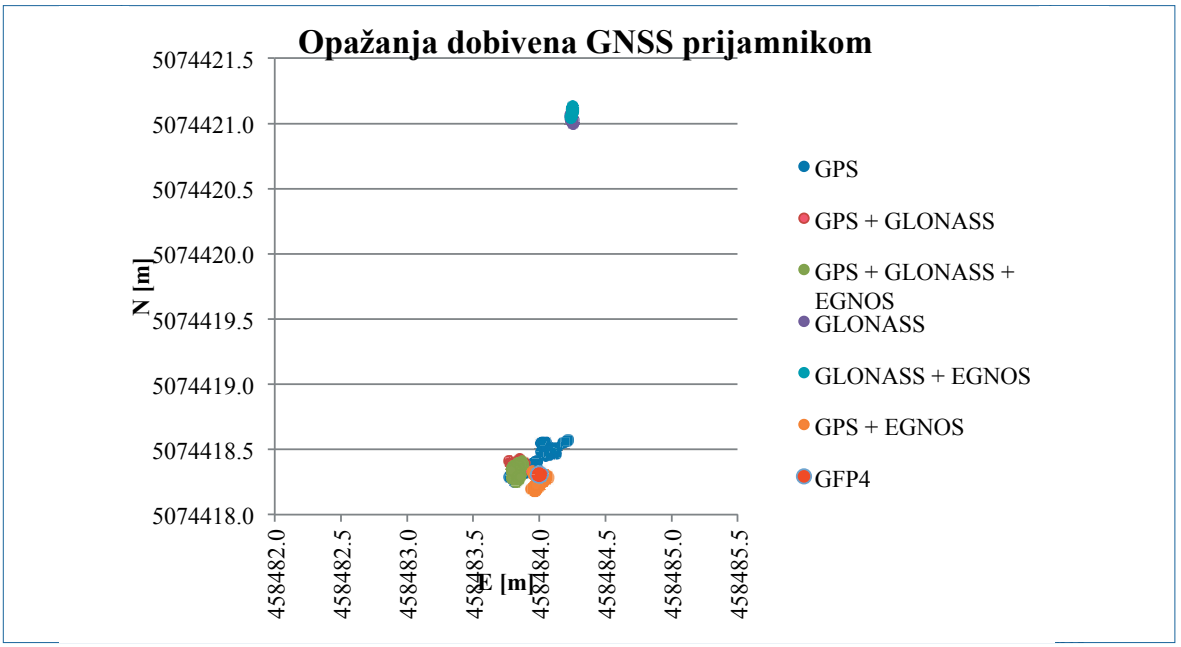
Slika 3.3: **Prikaz točaka trajektorije određenih GNSS-om na besposadnoj letjelici i PPK metodom**

3.4. Obrada podataka dobivenih iz GNSS-a i letjelice vezanih uz utjecaj EGNOS-a na GNSS mjerenja

U *.xslx datoteci, dobivenoj iz *.tsp datoteke u programu *Magnet Office Tools,* pohranjena su mjerenja obavljena pomoću Topcon prijamnika Hiper SR i kontrolera FC-5000 na točki GFP4 i to s intervalom pohrane od 1 sekunde. Kod besposadne letjelice DJI Phantom 4 koja se nalazila na točki GFP5 drugačije su postavke s obzirom da letjelica ima frekvenciju opažanja od približno 30 Hz. Stoga je prvi korak pri obradi podataka ovoga testa bio određivanje prosječnih vrijednosti koordinata letjelice (aritmetička sredina) centrirane na punu sekundu, a zatim su tako dobivene koordinate (φ, λ) transformirane u (E, N) koordinate koristeći program *Trimble Business Center 4.0*. Također, bilo je potrebno transformirati i koordinate točaka GFP4 i GFP5 iz referentnog okvira HTRS96/TM (ETRF2000 epoha 2008.83) u ITRF2014 (epoha 2018.38) koristeći UNAVCO-ov servis računanja brzina i EUREF-ov servis transformacija koordinata. Nakon toga krenulo se u obradu podataka prikupljenih pomoću GNSS prijamnika Topcon Hiper SR danih u *.xslx datoteci. U datoteci su dobivene E i N koordinate te elipsoidne visine u referentnom okviru ITRF2014 (epoha 2018.83). Napravljen je grafički prikaz svih točaka dobivenih na točki GFP4 iz svih šest kombinacija satelitskih sustava tj. svih šest serija mjerenja (Slika 3.4).

Kao što je vidljivo na slici 3.4, podaci koji su najbliži točki s poznatim koordinatama GFP4 su podaci dobiveni opažanjem GPS i GLONASS (prikazano crvenom bojom), te GPS i EGNOS satelita (prikazano narančastom bojom) kojih je tijekom mjerenja bilo vidljivo 12 (9 GPS i 3 EGNOS satelita). Položajno odstupanje prosjeka koordinata tih skupova (određena aritmetičkom sredinom) najmanje je iz opažanja kombinacije svih satelitskih sustava te iznosi oko 0.06 m. Najgušće dobiveni skupovi podataka su oni dobiveni opažanjem samo GLONASS satelita (ljubičasta boja) te GLONASS i EGNOS satelita (plavo – siva boja), ali ti skupovi imaju ukupno položajno odstupanje od točke poznatih koordinata od 2.70 m. Razlog ovakvih odstupanja GLONASS rezultata od GPS rezultata vjerojatno je posljedica razlike referentnih sustava (WGS84 je referentni sustav za GPS, a PZ-90 za GLONASS) kao i posljedica razlike u vrijednostima DOP-a.

Idući korak bio je obrada podataka dobivenih pomoću GNSS-a na besposadnoj letjelici. Letjelica



Slika 3.4: **Koordinate točaka određene prijamnikom Topcon Hiper SR kroz šest sesija mjerenja**

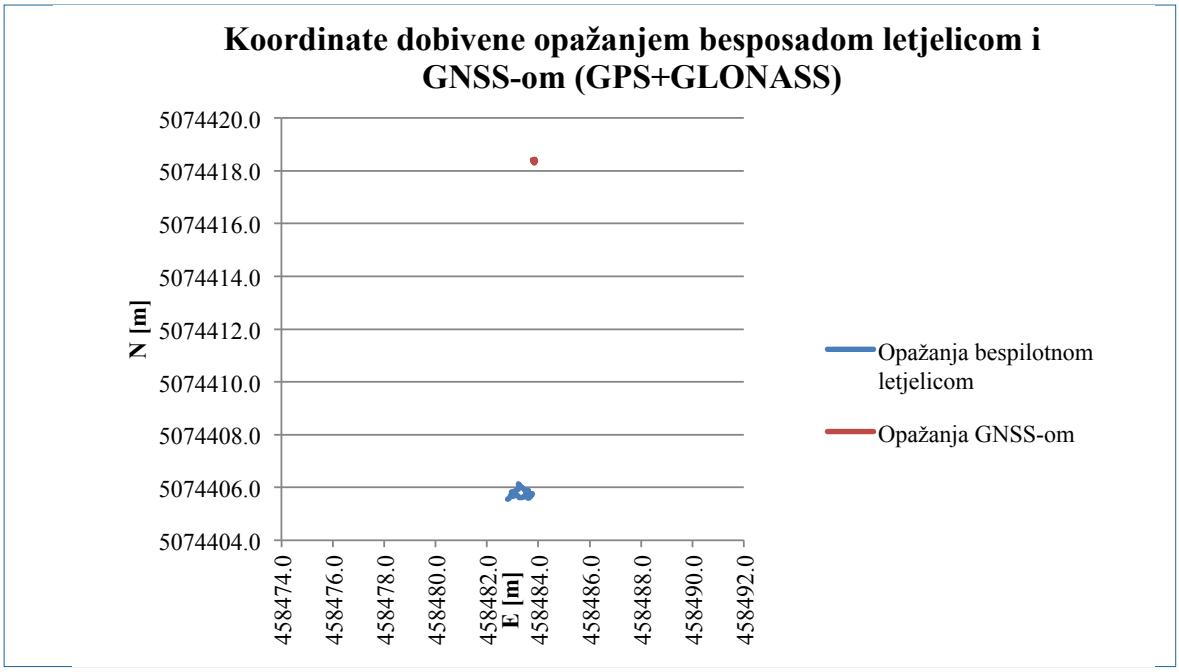
daje otprilike 30 podataka u sekundi (opažanjem GPS i GLONASS satelita) u GPS vremenu te je potrebno voditi računa da se vremena izmjere letjelicom poklapaju s onima od strane GNSS-a, a trenutačna razlika između GPS i UTC vremena je 18 sekundi (URL-4). Za pobliže pojašnjenje, odnosno za potvrdu pretpostavke da se najbolje poklapaju opažanja dobivena letjelicom s onima od strane GNSS prijamnika kada je opažana kombinacija GPS+GLONASS, napravljeno je i šest grafičkih prikaza na kojima su uspoređena opažanja besposadnom letjelicom DJI Phantom 4 i GNSS Topcon Hiper SR uređajem za svaku opažanja. Slika 3.5 prikazuje rezultate iz kombinacije GPS + GLONASS koja grafički i statistički (najmanji rasponi po osima te najmanja standardna i položajna odstupanja između ova dva skupa podataka) najbolje odgovara opažanjima dobivenima pomoću letjelice DJI Phantom 4 u istim trenucima mjerenja.

Ovime se potvrdilo da GNSS na bespilotnoj letjelici za pozicioniranje i navigaciju koristi opažanja GPS i GLONASS satelita (kako je uostalom i navedeno te tehničkoj dokumentaciji letjelice), ali ne i podatke EGNOS satelita.

Na slici 3.5 grafički su prikazani rezultati dobiveni GNSS prijamnikom Topcon Hiper SR na točki GFP4 na osnovi opažanja GPS+GLONASS satelita. Također, prikazani su i rezultati dobiveni besposadnom letjelicom na točki GFP5. Koordinate određene na obje točke pokazuju najbolje slaganje statističkih parametara za kombinaciju GPS+GLONASS, iako je rasap rezultata dobivenih pomoću bespilotne letjelice (GFP5) znatno veći od rasapa rezultata ostvarenih pomoću geodetskog GNSS prijamnika Topcon Hiper SR (GFP4).

4. Zaključak

Tehnologija besposadnih letjelica danas se koristi u mnogim područjima i znanostima, pa tako i u geodeziji i geoinformatici. U ovome radu prikazano je ispitivanje navigacijske točnosti besposadne letjelice DJI Phantom 4, koja daje brojne podatke određene pomoću ugrađenih senzora poput GNSS-a, akcelerometara i žiroskopa. Ispitivanju navigacijske točnosti ugrađenog GNSS senzora letjelice pristupilo se na način da je projektirana i realizirana testna aluminijska platforma duljine 6 m s mogućnošću okretanja oko



Slika 3.5: **Opažanja besposadnom letjelicom i Topcon Hiper SR GNSS-om (GPS + GLONASS)**

vertikalne osovine. Za ispitivanje navigacijske točnosti GNSS senzora korištena su tri GNSS uređaja Trimble R8, a samo ispitivanje provedeno je u obliku tri testa koja uključuju statičku relativnu metodu, ispitivanje točnosti PPK metode te ispitivanje navigacijske točnosti GNSS senzora besposadne letjelice. Dobivena ocjena točnosti PPK metode pokazala je vrijednosti 1-2 cm što je omogućilo pouzdano određivanje točnosti GNSS prijamnika na besposadnoj letjelici u statičkom i kinematičkom načinu rada. Horizontalna točnost pozicioniranja i navigacije navedena u tehničkoj dokumentaciji bespilotne letjelice kreće se između 0.5 m i 1.5 m, dok su vrijednosti dobivene testiranjem ispod jednog metra, u nekim slučajevima čak i ispod 0.5 m. Najmanje položajno odstupanje koje se pojavilo tijekom statičkog testa je u vrijednosti 0.35 m. Odstupanje po *E* osi iznosilo je 0.05 m, dok je odstupanje po *N* osi u vrijednosti od 0.34 m. Rasponi po osima, tj. razlika između minimalne i maksimalne vrijednosti koordinata iznosili su 1.04 m po *E* osi i 1.07 m po *N* osi. Veća položajna odstupanja javljaju se tijekom gibanja letjelice (u ovome slučaju vrtnje platforme), ali i mirovanja između gibanja jer je letjelici potrebno vrijeme od približno dvije minute za potpuno vraćanje senzora u prvotni način rada nakon zaustavljanja. Položajna odstupanja tijekom vrtnji platforme i mirovanja između vrtnji kreću se u intervalu od 0.60 m do 0.71 m, što je daleko ispod vrijednosti od 1.5 m. Odstupanja po *E* osi kreću se u intervalu između 0.13 m i 0.60 m, dok su odstupanja po *N* osi u vrijednosti između 0.38 m i 0.63m. Također, brzina utječe na položajnu točnost što je utvrđeno tijekom testiranja; tijekom većih brzina letjelice dobivaju se veća odstupanja koordinata. Tijekom obrade podataka trećeg testa, tj. tijekom obrade podataka besposadne letjelice utvrđeno je i da WGS84 odgovara najnovijoj realizaciji ITRF-a (ITRF2014) i aktualnoj epohi opažanja. Uz ova tri testa provedeno je i dodatno testiranje čiji je cilj bio utvrditi koristi li GNSS senzor letjelice podatke EGNOS satelita za navigaciju (uz podatke GPS i GLONASS satelita). Testiranje je provedeno na način da je letjelica kontinuirano opažala na točki poznatoj po koordinatama (GFP5), a simultano je provedeno i opažanje pomoću GNSS prijamnika Topcon Hiper SR na 15 m udaljenoj drugoj točki poznatoj po koordinatama (GFP4). Pomoću GNSS prijamnika Topcon Hiper SR provedeno je šest serija opažanja koristeći različite kombinacije satelitskih sustava (GPS, GPS + GLONASS, GPS + GLONASS + EGNOS, GLONASS, GPS + EGNOS, GLONASS + EGNOS). Usporedbom statističkih pokazatelja (kao što su rasponi po osima, standardno odstupanje po osima te ukupno položajno odstupanje) simultano prikupljenih podataka pomoću oba GNSS prijamnika (Topcon Hiper SR i besposadna letjelica), utvrđeno je da je postignuto najbolje međusobno podudaranje koordinata određenih iz opažanja kombinacije GPS+GLONASS.

Literatura

Blaženka, D. (2018): Ispitivanje navigacijske i ortofoto točnosti bespilotnih letjelica, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Zagreb.

DJI (2016): DJI Phantom 4 User Manual, Version 1.0.

Hofmann-Wellenhof, B.,Lichtenegger, H., Wasle, E. (2008): GNSS – Global Navigation Satellite Systems - GPS, GLONASS, Galileo, and more, Springer-Verlag, Wien, New York.

International Civil Aviation Organization - ICAO (2015): Unmanned Aircraft Systems (UAS), Cir 328.

Narodne Novine (110/2004): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Vlada RH.

Narodne Novine (112/2017): Pravilnik o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova, Prilog 2, Državna geodetska uprava, Zagreb.

National Geospatial-Intelligence Agency - NGA (2014): Department of Defence, World Geodetic System 1974, Its Definitions and Relationships with Local Geodetic Systems, Version 1.0.0.

Trimble Inc. (2018): Trimble Access General Survey, Help, Version 2017.20, Revision A.

Watts, A. C., Ambrosia, V. G., Hinkley, E. A. (2012): Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. Remote Sensing, 4, str. 1671-1692, USA.

URL-1: Web server GPPS CROPOS-a, http://195.29.198.194/Map/SensorMap.aspx

URL-2: Transformacija koordinata, http://epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/ (20. 8. 2018.)

URL-3: UNAVCO servis, https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator/plate-motion-calculator.html (20. 8. 2018.)

URL-4: Prijestupna sekunda, https://confluence.qps.nl/qinsy/en/utc-to-gps-time-correction-32245263.html (20. 8. 2018.)

TESTING OF NAVIGATION ACCURACY OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLES

Abstract: UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*) are normally equipped with several sensors for positioning and navigation, one of them is the GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) receiver. For the assessment of positioning and navigation accuracy of the UAVs declared by the manufacturer, a testing platform was designed, constructed and finally tested on the field. The platform has served for testing the accuracy of the embedded GNSS sensor on UAV *DJI Phantom 4* in static and kinematic mode as well. Three geodetic GNSS Trimble R8 receivers were also involved in testing of the positioning accuracy of the UAV. Reference coordinates of all three receivers were determined by static observations and data from CROPOS GPPS. Accuracy testing in kinematic mode was carried out using PPK method with increased logging frequency. The assessment of positioning accuracy of the UAV in static mode has shown significantly better values than those specified in technical documentation. Therefore, an additional test was carried out aimed at determination whether the UAV uses data from available SBAS (Satellite Based Augmentation System) or not. SBAS available in Europe is EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*). For that purpose, the GNSS receiver *Topcon Hiper SR* was used. The coordinates were determined by the absolute positioning method based on code measurements and six combinations of satellite systems (GPS, GPS + GLONASS, GLONASS, GPS + EGNOS, GPS + GLONASS + EGNOS, GLONASS + EGNOS). Additionally, based on positioning results determined by the GNSS receiver on the UAV, a relationship between CROPOS (ETRF2000 R05) and GPS reference frame (WGS84) was verified.

Keywords: UAV, GNSS, CROPOS EGNOS, WGS84.

MOGUĆNOSTI POZICIONIRANJA PRIMJENOM SUSTAVA GALILEO I NOVIH METODA MREŽNOG RJEŠENJA

Margareta Premužić[1], Danijel Šugar[2], Željko Bačić[3]
[1]Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, margareta.premuzic@dgu.hr
[2]Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Republika Hrvatska, dsugar@geof.hr
[3]Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, Zagreb, Republika Hrvatska, zbacic@geof.hr

Sažetak: Uvođenjem više nosećih frekvencija sa sustavom Galileo i primjenom frekvencije L5 GPS-a (emitiranje uvedeno na satelitima Block IIF) u servisima CROPOS-a, znatno će se povećati pouzdanost i produktivnost preciznog pozicioniranja. Za VRS koncept mrežnog RTK rješenja, korištenje dodatnih nosećih frekvencija znatno će povećati pouzdanost sustava, dok će uvođenje Galileo signala za metodu *„Single base RTK"* otvoriti nove mogućnosti pozicioniranja. Uvođenjem treće frekvencije na razini mjernog sustava omogućit će se povećanje razmaka međustaničnih udaljenosti prilikom primjene koncepta VRS-a sa 70 km na 90 km. Dostupnost opažanja na više od dvije noseće frekvencije značajno utječe na modeliranje ionosferske refrakcije, što predstavlja važan doprinos pri rješavanju ambiguiteta. Također, točnost pozicioniranja bit će poboljšana smanjivanjem utjecaja *multipatha* s obzirom na dostupnost opažanja s većeg broja satelita. Uvođenje novih (Galileo, BeiDou) i modernizacija postojećih (GPS, GLONASS) satelitskih sustava dovelo je do iskoraka i u metodama pozicioniranja na strani mreže referentnih stanica. Metoda RTX (*Real Time eXtended*) uvodi novi pristup u odnosu na postojeća mrežna RTK rješenja i rješavanje pogrešaka opažanja, a bit će implementirana zajedno sa sustavom Galileo kroz nadogradnju CROPOS-a tijekom 2019. godine. Kombiniranjem prednosti metoda PPP *(Precise Point Positioning)* i RTK *(Real Time Kinematic)* u zajednički koncept, metoda RTX otvara perspektive za precizno pozicioniranje u realnom vremenu primjenom preciznih satelitskih korekcija, što će zajedno s novim moderniziranim satelitskim sustavima doprinijeti većoj dostupnosti, točnosti, pouzdanosti i boljoj inicijalizaciji u nepovoljnim uvjetima mjerenja. U radu je dan pregled prvih iskustava vezano za primjenu novih mogućnosti pozicioniranja.

Ključne riječi: CROPOS, Galileo, mrežni RTK, PPP, RTX

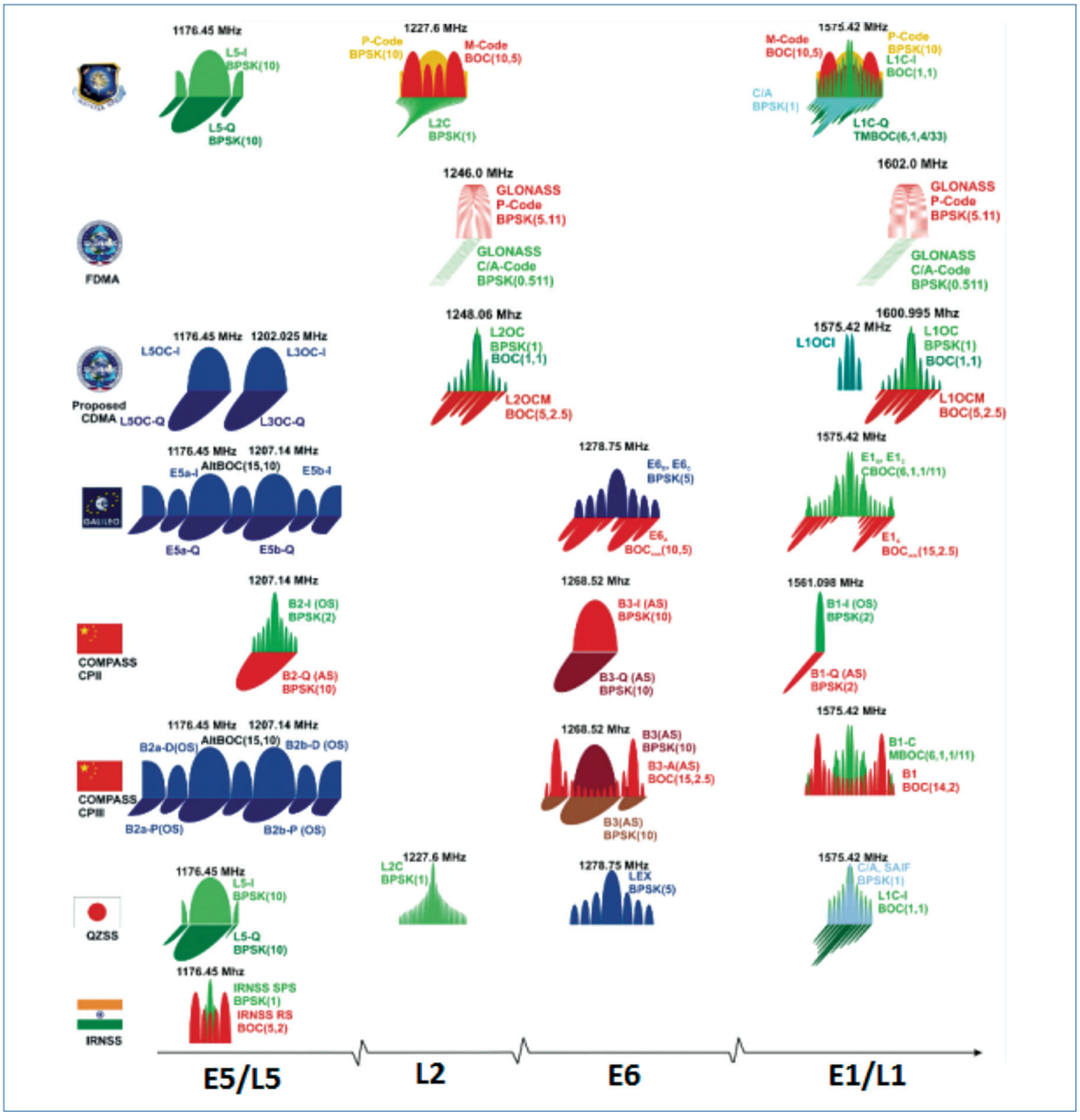
1. Uvod

CROPOS je državna mreža referentnih GNSS stanica Republike Hrvatske. Svrha CROPOS-a je omogućiti pozicioniranje u realnom vremenu s točnošću od ± (2-4) cm na čitavom području države. Od tri servisa pozicioniranja, koji se nude u sklopu CROPOS-a, najveću primjenu u praksi doživio je visokoprecizni servis pozicioniranja (VPPS), a predstavlja umreženo rješenje opažanja nosećih faza u realnom vremenu korištenjem dva dostupna satelitska sustava GPS i GLONASS. Obzirom da je CROPOS implementiran i dobro prihvaćen od geodetske operative u Hrvatskoj, a temelji se na Virtual Reference Station (VRS) konceptu mrežnog RTK te s obzirom na nove mogućnosti pozicioniranja koje su evoluirale uvođenjem europskog sustava Galileo te razvojem novih metoda i servisa pozicioniranja, gdje je razvoj PPP metode kao alternative mrežnom RTK omogućio primjenu inovativnih algoritama za „cm“ točnost pozicioniranja, u radu je dan pregled novih satelitskih sustava i mogućnosti pozicioniranja, a koje će neophodno imati utjecaja i na servise CROPOS-a.

2. Sustav Galileo

Moderno pozicioniranje, navigacija i prijenos vremena značajno su evoluirali s obzirom na danas dostupne GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) konstelacije satelita. Njihovom kombinacijom značajno se poboljšala dostupnosti signala te je povećana točnost pozicioniranja. Modernizirani GNSS uključuje GPS (trenutačno u orbiti 32 satelita i raspon frekvencija: L1, L2 i L5) i u budućnosti planirani GPS-III, revitaliziran i moderniziran GLONASS (trenutačno u orbiti 26 satelita i raspon frekvencija: L1OC, L2OC, L3OC i L1OF, L2OF), europski sustav Galileo u izgradnji (trenutačno u orbiti 26 satelita i raspon frekvencija: E1, E5a, E5b, E6) kao i kineski BeiDou (trenutačno u orbiti 33 satelita, od kojih je 15 uključeno u operativnu konstelaciju satelita te raspon frekvencija: B1, B2 i B3). Svi trenutno dostupni globalni satelitski sustavi prikazani su na slici 1.

Iako se GPS i GLONASS koriste u kombinaciji već duži niz godina i imaju isti rang frekvencija, kompatibilnost sustava GPS i Galileo pokazuje bolje perspektive budući da sustav Galileo koristi CDMA (*Code Division Multiple Access*) kodiranje kao i GPS, a dijele i dva zajednička pojasa frekvencije: L1/E1 i L5/E5a. Signal Galileo E1 preklapa se sa signalom GPS L1 na frekvenciji 1575,420 MHz, dok se signali Galileo E5a i GPS L5 preklapaju na 1176,450 MHz. Korištenje signala AltBOC (*Alternative Binary Offset Carrier*) ima prednosti pri modeliranju *multipath* efekta. Ipak, modernizacija GLONASS-a omogućila je pored postojećih signala FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) uvođenje signala CDMA te primjenu novih frekvencija: L1OC, L2OC, L3OC te u budućnosti i L5OC. Sve dostupne GNSS frekvencije ukazuju na potencijal korištenja kombinacije E5a/L5 i E1/L1. Galileo sateliti odašilju i GPS-Galileo razliku vremenskih sustava što nudi fleksibilnost pri računanju rješenja za korisnički rover. Galileo E5 frekvencija pokazala se kao dobar izbor za drugu frekvenciju, budući da skoro dvostruko više satelita odašilje signale na L5/E5 nego na L2. Signali na L5/E5 omogućuju značajno smanjivanje *multipatha* i bolju točnost pozicioniranja nego dosada korišteni L2 signali. Također primljeni signali od L5/E5 su jači 3dB nego od L2C, što predstavlja značajnu prednost kod korištenja u ograničenim okolinama, npr. u urbanim područjima (ESA, 2018). Primjena Galileo E1 frekvencije sve je više zastupljena kod jednofrekventnih prijamnika koji se pojavljuju na tržištu s obzirom na dostupne nove metode rješavanja GNSS pogrešaka, dok su novitet Galileo SAR repetitori koji omogućuju korištenje sustava potrage i spašavanja COSPAS-SARSAT. Iako je sustav Galileo proglasio inicijalne servise 15. prosinca 2016., a trenutna konstelacija sadrži 26 satelita u orbiti, svi noviji prijamnici na tržištu već imaju ugrađene module za korištenje sustava Galileo. Nekoliko preliminarnih studija pokazalo je da će se uvođenjem i treće frekvencije u GNSS prijamnike pouzdanost inicijalizacije s implementiranim OTF (*On the fly*) algoritmima značajno poboljšati u usporedbi s dvofrekvencijskim RTK sustavima.



Slika 1: **Pojasevi frekvencija dostupnih GNSS-a (URL-5)**

Dostupnost više od dvije frekvencije značajno će doprinijeti modeliranju ionosferske refrakcije, što predstavlja izuzetan doprinos rješavanju ambiguiteta metodom OTF. Budući da Galileo koristi i poboljšani ionosferski model NeQuick G u usporedbi s GPS modelom Klobuchara, poboljšanja u točnosti pozicioniranja vidljiva su i kod dvofrekvencijskih prijamnika koji koriste Galileo signale. Razvoj prijamnika koji podržavaju treću frekvenciju, a koji tek ulaze na šire tržište, omogućit će korištenje poboljšanih algoritama rješavanja ambiguiteta TCAR (*Three-Carrier Ambiguity Resolution*), te daljnja poboljšanja točnosti pozicioniranja. Primjenom trofrekventnih GNSS mjerenja omogućit će se povećanje udaljenosti stanica u CORS mreži na nekoliko stotina km (Rizos i dr, 2012).

Sustav Galileo nudi pet vrsta usluga satelitske navigacije i pozicioniranja (ESA, 2018):

Galileo otvoreni servisi (OS): besplatna usluga pozicioniranja, navigacije i vremena. Vremenske usluge su sve robusnije, preciznije i brže (nanosekunde) u usporedbi s drugim sustavima pozicioniranja. Omogućuje sustav *eCall*, koji je obvezan u svim novim automobilima u EU od 31. ožujka 2018. godine, u svrhu komunikacije i odašiljanja lokacije vozila za hitne službe.

Galileo komercijalni servisi (CS): ti servisi nadopunit će Galileo otvorene servise na način da će omogućiti dodatni navigacijski signal i servise za visokotočno pozicioniranje na dodatnoj frekvenciji. Visokotočni servisi bit će bazirani na odašiljanju PPP informacija kroz signal E6-B, i na taj način omogućit će korisniku točnost veću od 1 decimetra na globalnoj razini. Za razliku od otvorenih servisa ti servisi mogu biti zaštićeni u svrhu kontrole pristupa komercijalnim uslugama. Komercijalni autentikacijski servis bazira se na zaštiti koda na signalu E6 koji će se koristiti za profesionalne aplikacije.

Galileo servisi za spašavanje (SoL): usluge spašavanja ljudskih života bit će dostupne u svakoj prilici u kojoj ljudski životi mogu biti izvrgnuti pogibeljima koje proizlaze iz prometnih procesa. Stupanj preciznosti identičan je onome iz grupe *OS*.

Galileo javno regulirani servisi (PRS): šifrirana usluga namijenjena tijelima javne vlasti za sigurnosno korištenje, npr. vojne operacije. PRS ima za cilj osigurati kontinuitet usluge, čak i u najnepovoljnijem okruženju. Nudi posebno robusnu i potpuno šifriranu uslugu državnim korisnicima tijekom nacionalnih hitnih slučajeva ili u kriznim situacijama, poput terorističkih napada.

Galileo služba za traganje i spašavanje (SAR): usluga lokalizacije signala i prijave nevolje s omogućenog „beacona“. Početkom primjene Galileovih usluga u prosincu 2016., vrijeme koje je potrebno za otkrivanje osobe izgubljene na moru ili u planinama, nakon što se aktivira alarm, smanjena je s 4 sata na 10 minuta. Točnost lokalizacije je također poboljšana, s 10 km bez sustava Galileo na manje od 2 km s Galileom.

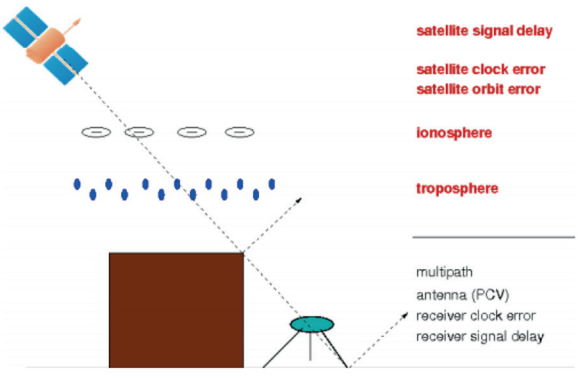
3. Novi standardi pozicioniranja

Uvođenje novih (Galileo, BeiDou) i modernizacija postojećih (GPS, GLONASS) satelitskih sustava dovelo je do iskoraka i u metodama pozicioniranja korištenjem lokalnih/regionalnih/globalnih mreža referentnih stanica. Tijekom zadnjeg desetljeća metoda mrežnog RTK bazirana na uspostavljenim referentnim stanicama CORS-a (*Continuously Operating Reference Stations*), kao što je CROPOS, pokazala se kao precizan alat pozicioniranja u realnom vremenu „cm“ točnosti za GNSS rovere koji imaju mogućnost prijama GNSS korekcija koristeći standardizirane RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) formate. Osnova te metode je uspješno rješavanje ambiguiteta nosećih faza koje je od strane mreže referentnih stanica neophodno riješiti u svrhu određivanja preciznih atmosferskih korekcija. Mrežni RTK je relativna metoda pozicioniranja gdje korisnički rover koristi korekcije od mreže referentnih stanica i GNSS podatke od jedne CORS stanice, s obzirom na koju treba riješiti ambiguitete u svrhu dobivanja precizne – „cm“ točnosti pozicioniranja. U praksi postoje različite varijacije implementacije mrežnog RTK rješenja: VRS (Virtual Reference Station), FKP (Flächen Korrektur Parameter), MAC (Master Auxiliary Concept) i dr. RTK tehnologija koristi se u različitom spektru aplikacija u realnom vremenu budući da RTK sustavi omogućavaju precizno pozicioniranje s vremenom inicijalizacije od nekoliko sekundi. U zadnjih nekoliko godina sve se više prepoznaje apsolutna metoda pozicioniranja PPP (Precise Point Positioning) kao alternativa mrežnom RTK s obzirom da je prednost te metode da nije potrebno koristiti uspostavljene mreže referentnih stanica. PPP metoda prisutna je već nekoliko desetljeća, a razvijena je od NRCAN (Natural Resources Canada). Danas je dostupno nekoliko besplatnih servisa baziranih na PPP rješenju, osim NRCAN (URL-4) i IGS RTS (URL-1) postoje i komercijalna rješenja kao što su VERIPOS (Hexagon, Leica, URL-2), RTX (Trimble, URL-3).

Za razliku od diferencijalnog pozicioniranja koje koristi korekcije s jedne ili više referentnih stanica, kod PPP metode je u svrhu postizanja „cm“ točnosti potrebno poznavati GNSS orbite subdecimetarske točnosti i pogreške satova satelita subnanosekundne točnosti u realnom vremenu i s kašnjenjem ne većim od nekoliko sekundi. Deklarirana položajna točnost PPP metode bolja je od 10 cm. Glavni nedostatak te metode je relativno sporo vrijeme konvergencije (nekoliko desetaka minuta ili više) potrebno za rješavanje ambiguiteta i postizanje „cm“ točnosti s obzirom na geometriju satelita i atmosferske uvjete. Također budući da nisu korištene tehnike diferenciranja, relativno ionosfersko kašnjenje ne može biti poništeno pa je stoga zahtjevana primjena dodatnih korekcija u svrhu postizanja „cm“ točnosti u realnom vremenu, a koja nije zahtjevana u diferencijalnim metodama kod mrežnog RTK rješenja (Slika 2).

PPP metoda u realnom vremenu nalazi sve veću primjenu s obzirom na sve bolju dostupnost i pouzdanost proizvoda preciznih satelitskih orbita i satova. Od velike je važnosti odašiljanje informacija o preciznim orbitama satelita i korekcijama sata satelita s visokom ratom ažuriranja, što je obično oko 1–2 minute za korekcije orbite i 1–10 s za korekcije sata. Tako velike rate ažuriranja izazov su za mnoge primjene budući da zahtijevaju kontinuiranu vezu za prijenos podataka kako bi se korekcijski podaci primili u realnom vremenu. Stoga je kašnjenje i gubitak korekcija nastalih zbog nepovoljne veze glavni nedostatak te metode. Najpouzdaniji proizvodi dostupni za GNSS pozicioniranje dobiveni su od IGS (International GNSS Service, URL-1). IGS Ultra-rapid (IGU) proizvodi koji su na raspolaganju u realnom vremenu za orbite točnosti su ~5 cm, dok za korekcije sata satelita ne daju dovoljnu točnost (3 ns RMS ~ 0,9 m RMS) za precizno pozicioniranje u realnom vremenu. Od travnja 2013. godine IGS RTS (Real Time Service) servisi u realnom vremenu nude pristup preciznim proizvodima u realnom vremenu kao što su RTS orbite, satovi i kodne „bias“ koristeći RTCM-SSR standardne poruke, a koje se mogu koristiti umjesto „Ultra-rapid“ proizvoda u aplikacijama u realnom vremenu te imaju deklariranu dovoljnu točnost za GPS: točnost orbite od 5 cm i točnost satova od 8 cm. Dostupnost RTS proizvoda posebno je važna za PPP metodu u realnom vremenu, što za GPS iznosi više od 95 %, dok je kašnjenje procijenjeno na 10 - 20 sekun-

	PPP	RTK
POGREŠKE SATELITA		
precizne korekcije sata satelita	✓	×
offset faznog centra antene	✓	✓
varijacije faznog centra antene	✓	✓
precizne satelitske orbite	✓	✓/×
diferencijalno grupno kašnjenje	✓L1	×
pogreška relativiteta	✓	×
"wind up" pogreška faze antene	✓	×
POGREŠKE PRIJAMNIKA		
offset faznog centra antene	✓	✓
varijacije faznog centra antene	✓	✓
"wind up" pogreška faze antene	✓	×
GEOFIZIČKI MODELI - pomak valova čvrste zemlje - oceanske mjene - polarne mijene - pomaci tektonskih ploča	✓	×
ATMOSFERSKI MODELI		
troposfersko kašnjenje	✓	✓
ionosfersko kašnjenje	✓L1	×



Slika 2: **Pogreške pozicioniranja i izvori pogrešaka za PPP i RTK metodu (Rizos i dr., 2012)**

di. Korekcije za precizne satelitske orbite i satove uvedene su zatim u sustav jednadžbi opažanja kao fiksni parametri tako da njihovi reziduali direktno utječu na kvalitetu pozicioniranja.

Paralelno s uvođenjem novih satelitskih sustava i metoda pozicioniranja uvedeni su novi internacionalni otvoreni standardi za poruke od RTCM SC-104 (Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Committee 104) radne grupe, a koji podržavaju razvoj GNSS pozicioniranja u realnom vremenu. Razvijeni su novi tipovi RTCM poruka: RTCM SSR (*State Space Representation*) i RTCM MSM (*Multiple Signal Message*) koji obuhvaćaju, uz dostupne satelitske sustave (GPS i GLONASS), i uvođenje standarda za Galileo tipove poruka te mogućnost proširenja za nove navigacijske sustave i buduće signale (tablica 1). Također, korištenjem novih standardnih formata dostupno je odašiljanje više signala po frekvenciji, a poboljšana je i rezolucija kodnih i faznih mjerenja (Stürze i dr. 2012).

Dosadašnji pristup računanju komponenti pogrešaka u mrežnom RTK sustavu je OSR (*Observation Space Representation*) koji sumira sve GNSS pogreške stanica s obzirom na GNSS frekvenciju i signale. Korištenjem mrežnih RTK rješenja pogreške ovisne o udaljenosti na području mreže stanica su modelirane i eliminirane. Nedostatak je što se koriste samo sateliti/signali praćeni od mrežnog RTK i nema redukcije pogrešaka ovisnih o referentnoj stanici. Noviji SSR princip računanja komponenti pogrešaka koje utječu na pozicioniranje primjenjuje odašiljanje pojedinih komponenti GNSS pogre-

Message type number	Description
1001/1009	GPS/GLONASS L1 code and phase
1002/1010	GPS/GLONASS L1 code and phase and ambiguities and carrier-to-noise ratio
1003/1011	GPS/GLONASS L1 and L2 code and phase
1004/1012	GPS/GLONASS L1 and L2 code and phase and ambiguities and carrier-to-noise ratio
1005	Station coordinates XYZ for antenna reference point
1006	Station coordinates XYZ for antenna reference point and antenna height
1007	Antenna descriptor and ID
1008	Antenna serial number
1019	GPS ephemeris
1020	GLONASS ephemeris
1045	Galileo F/NAV ephemeris
1046	Galileo I/NAV ephemeris
	SSR (State Space Representation)
1057/1063	GPS/GLONASS orbit corrections to Broadcast Ephemeris
1058/1064	GPS/GLONASS clock corrections to Broadcast Ephemeris
1059/1065	GPS/GLONASS code biases
1060/1066	Orbit and clock corrections to GPS/GLONASS Broadcast Ephemeris
1061/1067	GPS/GLONASS User Range Accuracy (URA)
1062/1068	High-rate GPS/GLONASS clock corrections to Broadcast Ephemeris
1240 - 1245	SSR Galileo messages (orbit, clock, code bias, combined, URA, high rate clock)
1265 - 1267	SSR GPS/GLONASS/GALILEO phase bias
1264	SSR Ionosphere Vertical TEC
	MSM (Multiple Signal Messages)
1071/1081/1091/1121	Compact GPS/Glonass/Galileo/BeiDou pseudo-ranges
1072/1082/1092/1122	Compact GPS/Glonass/Galileo/BeiDou carrier phases
1073/1083/1093/1123	Compact GPS/Glonass/Galileo/BeiDou pseudo-ranges and carrier phases
1074/1084/1094/1124	Full GPS/Glonass/Galileo/BeiDou pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength
1075/1085/1095/1125	Full GPS/Glonass/Galileo/BeiDou pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength
1076/1086/1096/1126	Full GPS/Glonass/Galileo/BeiDou pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength (high resolution)
1077/1087/1097/1127	Full GPS/Glonass/Galileo/BeiDou pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength (high resolution)

Tablica 1: **Razvoj novih tipova RTCM v3 poruka (Schmitz, 2012)**

šaka u korisnički rover. Kod tog pristupa značajna je redukcija pogrešaka ovisnih o referentnoj stanici budući da se koriste „realni“ fizikalni modeli za pojedine pogreške koji omogućuju bolje modeliranje i interpolaciju. Korekcije mogu u cijelosti ili dijelom biti dobivene iz globalnog SSM modela (State Space Model) ili korištenjem uspostavljenih mreža referentnih stanica (globalne/regionalne/lokalne).

RTCM SC 104 je razvio novi standard formata koji kombinira prednosti PPP i RTK metoda. RTCM-SSR format podržava aplikacije različitih razina točnosti. Prvi dio omogućava primjenu kodnih korekcija za PPP i sastoji se od poruka koje prenose korekcije satelitske orbite, korekcije sata satelita i kodne „bias“ signala satelita. Sljedeći korak bio je razvoj poruke za vertikalni totalni sadržaj elektrona (VTEC) u svrhu podržavanja jednofrekventne PPP metode, odnosno omogućavanje rješavanja pogrešaka atmosfere. Rješavanje ambiguiteta za PPP metodu omogućeno je uvođenjem RTCM – SSR poruke koje odašilju fazne „bias“ signala satelita. U budućnosti je planiran razvoj poruke za kosi totalni sadržaj elektrona (STEC-Slant TEC) kao i poruke za troposfersko kašnjenje u svrhu poboljšanja točnosti metode PPP-RTK, odnosno postizanja centimetarske točnosti kroz rješavanje ambiguiteta unutar nekoliko sekundi (Schmitz, 2012). RTCM 3.2 poruka omogućava visokoprecizne fazne i kodne korekcije za RTK, mrežni RTK i PPP aplikacije te je modernizirana s MSM porukama u svrhu uključivanja novih konstelacija i signala satelita.

4. Metoda PPP-RTK

Mrežni RTK danas je vodeća metoda za precizno satelitsko pozicioniranje. Preporučena udaljenost između referentnih stanica iznosi između 20 km i 100 km, a koriste se a priori poznate koordinate referentnih stanica na razini ± 2 mm. Pogreške ovisne o udaljenosti mogu biti značajno smanjene zajedničkom obradom opažanih podataka mreže referentnih stanica. Obavezan je preduvjet za taj pristup da se riješe fazni ambiguiteti referentnih stanica. Usporedba mjerenih pseudoudaljenosti između referentnih stanica i GNSS satelita s izračunatim udaljenostima koristeći njihove poznate koordinate omogućuje određivanje atmosferskih reziduala. Koristeći taj mrežni princip mogu se postići i najviši zahtjevi za točnosti od ± (1-2) cm na udaljenostima između rovera i najbliže referentne stanice do 40 - 50 km. Uobičajeno vrijeme inicijalizacije je nekoliko desetaka sekundi. Za razliku od mrežne RTK metode, klasična PPP metoda omogućava da korisnik pomoću jednog GNSS prijamnika odredi poziciju na decimetarskoj razini točnosti korištenjem preciznih satelitskih orbita i satova satelita bez korištenja uspostavljenih CORS mreža. Veliki nedostatak ove metode je dugo vrijeme inicijalizacije (veće od 40 min). Metoda PPP dobiva na značaju uvođenjem i integracijom više satelitskih sustava. U takvim okolinama vrijeme konvergencije preciznog pozicioniranja značajno je reducirano u usporedbi s jednim sustavom. Također, PDOP vrijednosti značajno su smanjene (<2). PPP metoda koristi nediferencirana mjerenja pa rješavanje ambiguiteta predstavlja veliki izazov. Koristi se ionosferski slobodna kombinacija koja ne dopušta cjelobrojno rješavanje ambiguiteta s obzirom da su prisutna kašnjenja kod satelita i prijamnika. U zadnjih nekoliko godina razvijeno je nekoliko metoda rješavanja ambiguiteta u realnom vremenu. PPP-AR (*PPP Ambiguity Resolution*) metoda bazira se na utvrđivanju upravo tih pogrešaka u svrhu rješavanja faznih ambiguiteta koristeći dostupne fazne „bias“ signala satelita izračunate od različitih pružatelja PPP-AR usluga: GFZ (Geo Forschungs Zentrum), NRCan (Natural Resources Canada) i CNES (Centre National d'Etudes Spatial). Ipak vrijeme inicijalizacije i dalje je nepovoljno ~ 30 min (Wübbena i dr., 2005).

Kombiniranjem prednosti PPP i RTK metoda u zajednički koncept predložen je PPP-RTK koncept od Wübbena i dr. (2005). Koncept se prije svega zasniva na mogućnosti rješavanja ambiguiteta koristeći uspostavljene CORS mreže. CORS mreže neophodne su kako bi se izračunale dovoljno precizne ionosferske korekcije (Rizos i dr., 2012). PPP-RTK metoda otva-

ra perspektive za precizno pozicioniranje u realnom vremenu primjenom preciznih satelitskih korekcija SSR standardiziranim porukama koje se onda do korisničkog rovera odašilju korištenjem NTRIP protokola (Network Transport of RTCM via Internet Protocol). Na taj način mogu se postići položajne točnosti usporedive s mrežnom RTK metodom. PPP-RTK metoda koristi GNSS opažanja iz mreže referentnih stanica i utvrđene mrežne parametre: „bias" satova prijamnika, „bias" satova satelita, „bias" faznih i kodnih kašnjenja, dvostruko diferencirani ambiguiteti, jednostruko diferencirano zenitno troposfersko kašnjenje i ionosferski parametri modela. Iz tih mrežnih parametara korisnički rover može obaviti rješavanje ambiguiteta i ostvariti „cm" razinu pozicioniranja s vremenom inicijalizacije manjom od 1 minute. PPP-RTK metoda koristi informacije o svim relevantnim GNSS pogreškama dobivene iz SSR poruke i izračunate iz mreže referentnih stanica, a koje su prikazane u tablici 2.

5. Metoda pozicioniranja RTX

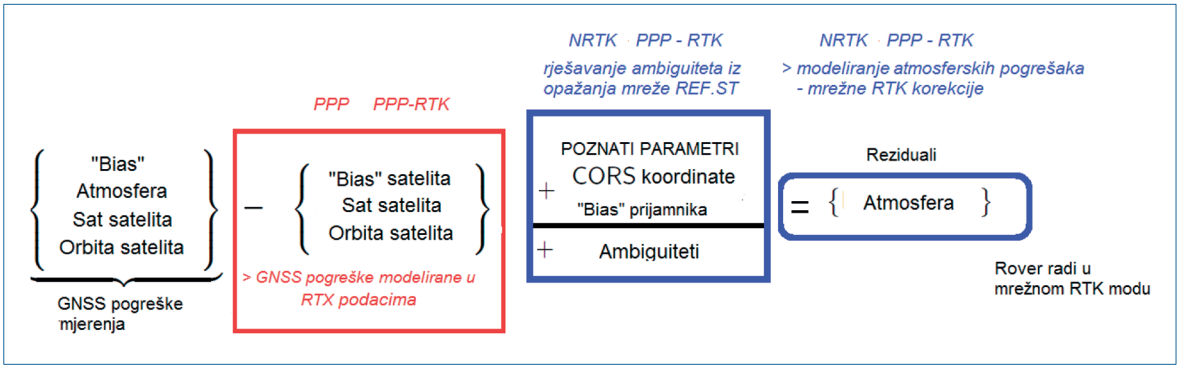
Postoji nekoliko mrežnih rješenja na tržištu koja su implementirala PPP-RTK metodu, npr. Geo++ GNSMART, Trimble RTX i dr. Trimbleovo inovativno rješenje u RTK mrežnom pozicioniranju nudi rješenje RTX, koje omogućuje pozicioniranje „cm" točnosti u realnom vremenu korištenjem više GNSS konstelacija satelita (GPS, GLONASS, QZSS, Galileo, BeiDou). Većina mrežnih RTK koncepata, kao npr. VRS i MAC, koriste fizičku baznu stanicu ili „Master" stanicu za modeliranje pogrešaka pozicioniranja, dok je novo Trimble RTX rješenje bazirano na PPP metodi. Prednost postojećih metoda (VRS, MAC) je da prilikom mrežne obrade nije potrebno precizno odrediti sve izvore pogrešaka, dok je nedostatak taj da kvaliteta podataka bazne stanice jako utječe na performanse rovera, npr. multipath efekt te stanice je 100% prenesen na pozicioniranje rove-

Tablica 2: **Karakteristike PPP i PPP-RTK metoda pozicioniranja (Wübbena i dr., 2005)**

	PPP	PPP-RTK
KOREKCIJE	- orbite satelita - satovi satelita	- orbite satelita - satovi satelita - ionosfera - troposfera
IONOSFERA	- ionosfersko kašnjenje je ispravljeno dvofrekvencijskim opažanjima u roveru	dobivena kao dio parametara korekcije - reducirana ili eliminirana u roveru
TROPOSFERA	- određena od strane rovera kao dodatna nepoznanica u izjednačenju	dobivena kao dio parametara korekcije - reducirana ili eliminirana u roveru
SAT PRIJAMNIKA	- određen od strane rovera	- određen od strane rovera
UDALJENOSTI REFERENTNIH STANICA	- velike udaljenosti između stanica u mreži - onemogućeno rješavanje ambiguiteta u mreži - dm točnost	- međustanične udaljenosti su do 100 km - riješeni ambiguiteti - cm točnost
RJEŠAVANJE AMBIGUITETA	- nije određena cijelobrojna vrijednost faznih opažanja - nije moguće riješiti ambiguitete za fazna mjerenja rovera	- parametri mreže sadržavaju cijelobrojne vrijednosti faznih opažanja - rover može riješiti cjelobrojne ambiguitete i dobiti cm točnost pozicioniranja
INICIJALIZACIJA	- dugo vrijeme inicijalizacije: do 30 min - dm točnost nekoliko sati - cm točnost	- nekoliko sekundi (10 - 50 s)
SIGNALI	L0 (ionosferski slobodna)	L1 / L2 / L0 (ionosferski slobodna)
TOČNOST	Statika 3D ~5 cm RTK 3D 15 - 20 cm	Statika 3D 1 - 3 cm RTK 3D 1 - 3 cm

ra. Kod VRS metode modelirane pogreške se distribuiraju u mreži stanica između referentnih stanica na udaljenostima 50-70 km. Novi pristup pozicioniranju Trimble RTX neovisan je o fizičkoj baznoj stanici, a precizno su modelirani svi izvori pogrešaka koristeći informacije položaja satelita i satova satelita, te satelitske fazne i kodne „bias“ koje su izračunate u RTX kontrolnom centru. Obrada kodnih i faznih opažanja na RTX serveru korištenjem mreže referentnih stanica računa multipath i šum od uključenih referentnih stanica što predstavlja bolje rješenje pozicioniranja s obzirom na VRS mrežni RTK koncept. Ipak, za računanje atmosferskih korekcija (troposferski i ionosferski utjecaji) potrebno je koristiti lokalne mreže stanica u svrhu rješavanja ambiguiteta. Najbitnija karakteristika PPP-RTK metode pozicioniranja je korištenje preciznih satelitskih korekcija (orbite, sata satelita) u realnom vremenu na globalnoj razini. Slično kao kod IGS-RTS-a, Trimble RTX koristi globalne CORS mreže u svrhu dobivanja podataka orbita satelita i korekcija sata. Rover može utvrditi ambiguitete s obzirom na cjelobrojnu prirodu primljenih RTX korekcija te primjenom korekcija satova satelita i interpoliranog ionosferskog kašnjenja ostvariti „cm“ točnost pozicioniranja. Sa strane korisničkog rovera potrebno je imati prijamnik koji podržava napredne algoritme u RTK pozicioniranju (RTX korekcije) (Leandro i dr, 2011).

Rješenje trenutačno primijenjeno u kontrolnom centru CROPOS-a je TPP (Trimble Pivot Platform) ver. 3.5 koje koristi VRS3Net procesor za mrežno RTK pozicioniranje. Novi satelitski signali i konstelacije satelita zahtjevaju implementaciju novih rješenja na strani mrežnog procesora s obzirom na limitirajuće faktore u procesoru i memoriji zbog značajnog povećanja količine podataka. RTX Net procesor radi na principu Trimble-RTX tehnologije primjenjujući sve novije konstelacije satelita (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou i QZSS), a primjenjen je u novim verzijama TPP softvera kao dodatan modul. U Trimble RTX Net procesoru primijenjene su direktno korekcije satova i orbite u realnom vremenu. Primjenjena je PPP metoda pozicioniranja po stanici i sljedeće korekcije: Zemljine i oceanske mijene, „wind up“ pogreška faze antene, kalibracija za kodne „bias“ i dr. (vidi sliku 2). Za razliku od implementiranog rješenja koje koristi GPS i GLONASS satelite za mrežnu obradu koristeći Kalman filter, zajednička obrada svih satelitskih sustava i modeliranje svih pogrešaka zahtijeva kompleksan filter koji je implementiran u Trimble RTX procesoru. Prvotno se rješavaju ambiguiteti u PPP rješenju koristeći poznate referentne koordinate. Preostale pogreške u opažanjima po stanici distribuirane su kao ionosferske i troposferske za svako opažanje satelita. Pogreške nisu jednako distribuirane u mreži stanica, kao što je slučaj kod VRS3Net rješenja. Izračunate atmosferske pogreške koriste se za VRS interpolaciju te odašilju kao mrežne RTK korekcije u korisnički rover (slika 3). RTX mrežni procesor ne zahtijeva obradu svih stanica GNSS mreže, odnosno može koristiti pojedine referentne stanice. Za računanje mrežnih korekcija mini-



Slika 3: **RTX Net shema (Trimble Infrastructure, 2015)**

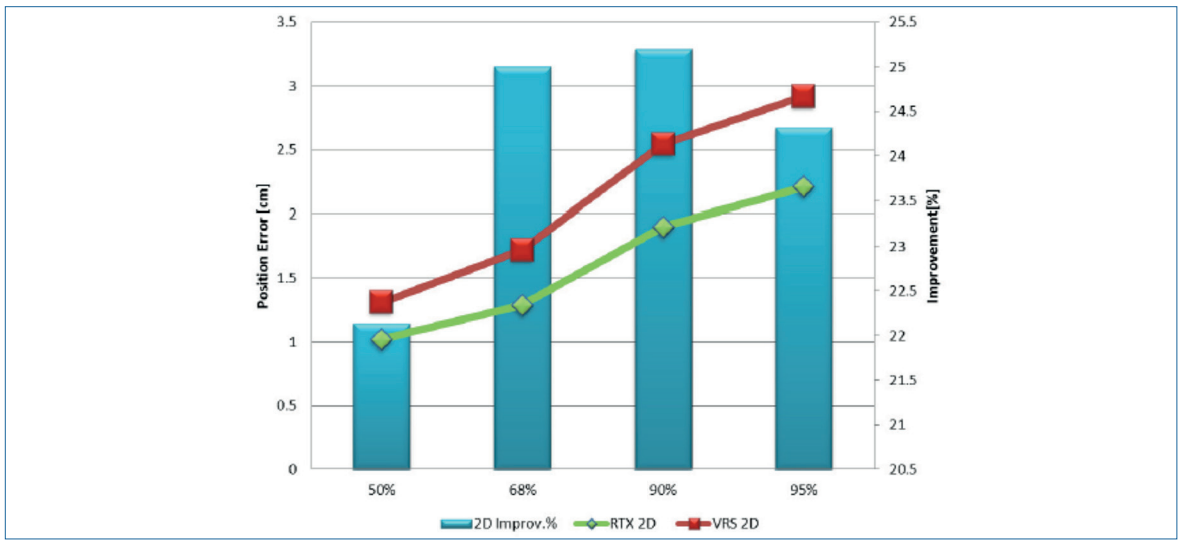
malno je zahtijevano 2 satelita po sustavu (GPS i Galileo), odnosno 3 za GLONASS. Korekcije za RTK pozicioniranje dane su u formatu podataka koji podržava nove satelitske sustave i signale RTCM v3 MSM format (RTCM 3.2).

6. Testna GNSS mjerenja primjenom više satelitskih sustava i novih metoda pozicioniranja

Glavna razlika između Trimbleovih rješenja mrežnog RTK, primijenjene VRS metode i nove metode RTX, je u primjenjenim korekcijama. Za VRS metodu diferencijalne korekcije (troposferska i ionosferska) između fizičke bazne stanice i VRS lokacije dodane su opažanju CORS stanice i onda je primijenjeno geometrijsko premještanje od CORS na VRS lokaciju. To znači da će VRS podaci 100% preuzeti pogreške CORS stanice (npr. multipath efekt). S druge strane RTX metoda primjenjuje direktno korekcije izračunate od globalnih i regionalnih mreža, stoga su multipath pogreške znatno smanjene. Ispitivanja od strane tvrtke Trimble Terrasat GmbH u okolinama gdje je značajan multipath, 2D pozicioniranje RTX metode je oko 25% bolje nego VRS metoda s 95% pouzdanošću (Chen i dr., 2011) (slika 4).

U svrhu ispitivanja doprinosa Galileo sustava visokopreciznom pozicioniranju, dobiveni su rezultati nekoliko studija provedenih na dostupnim „Single-base“ RTK i mrežnom RTK rješenju. U svrhu maksimalne interoperabilnosti s drugim GNSS konstelacijama svi Galileo signali (E1, E5a, E5b i AltBOC) korišteni su za pozicioniranje. Testiranje implementacije više GNSS-a obavljeno je od Trimble Terrasat GmbH koristeći vlastita mrežna rješenja i GNSS opremu.

Korisnički rover s implementiranim sustavom Galileo i moderniziranim GPS-om (L5), odnosno implementiranom trećom frekvencijom, poslužio je za ispitivanja performansi „Single base“ i VRS rješenja. Za „Single base“ rješenje utjecaj novih konstelacija satelitskih sustava na pouzdanost veća je nego utjecaj treće frekvencije. Kod VRS metode korištenje treće frekvencije povećava pouzdanost pozicioniranja puno više nego korištenje kombinacije GPS i Galileo konstelacije (tablica 3). Stoga će treća frekvencija donijeti prednosti kod korištenja mrežnog RTK rješenja te će omogućiti povećanje međustaničnih udaljenosti za mrežu referentnih



Slika 4: **Usporedba VRS i RTX performansi kod pozicioniranja za vrijeme kada je najbliža CORS stanica podutjecajem multipatha (Chen i dr., 2011)**

stanica sa 70 km na 90 km. Vertikalne RMS vrijednosti gotovo su neovisne od satelitske konstelacije i broja korištenih frekvencija i bolje su za manje međustanične udaljenosti u mreži stanica. Horizontalni RMS nije ovisan o veličini mreže, no bolji je kod korištenja treće frekvencije i novih konstelacija satelita. Horizontalni RMS za razliku od vertikalnog ovisi o ionosferi. Ionosferski utjecaj može biti bolje eliminiran korištenjem više frekvencija. No odabir konstelacija satelita (korištenje sustava Galileo) ipak ima veći utjecaj na horizontalni RMS nego broj frekvencija (Vollath i dr., 2004).

Tablica 3: **Prikaz vertikalnog i horizontalnog RMS-a za različite kombinacije RTK rješenja, konstelacije satelita i korištene frekvencije (Vollath i dr., 2004)**

VRS	GPS 2f	GPS 3f	G&G 2f	G&G 3f
50 km	9,5	7,9	5,8	4,9
90 km	10,5	8,7	6,7	5,9
120 km	10,7	9,0	6,9	6,1

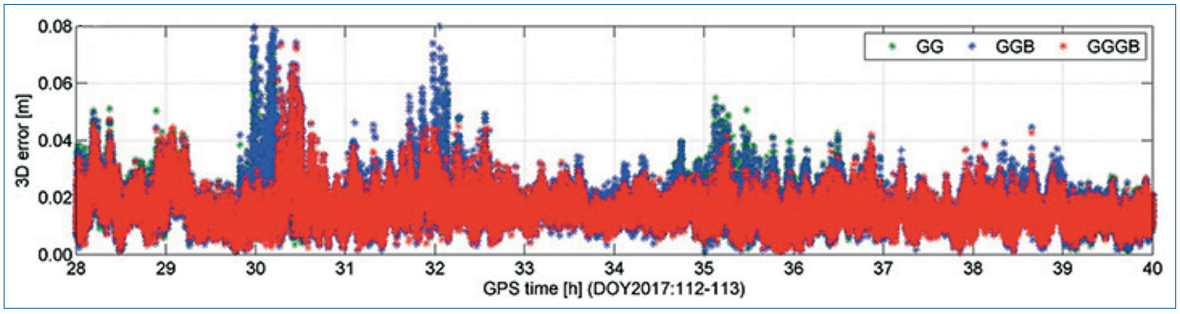
Testiranje utjecaja implementacije više GNSS-a na mrežno RTK rješenje obavljeno je i od tvrtke Leica. Korišten je softver Leica SmartWorx Viva Field i mrežni softver Leica GNSS Spider 7.0.0 koji podržava uz GPS, GLONASS i nove sustave: Galileo, BeiDou, QZSS. Korištene su korekcije u realnom vremenu te su analizirane performanse pod različitim mjernim okolinama s obzirom na dostupnost, točnost, pouzdanost i vrijeme inicijalizacije.

1. Testna mjerenja – čisti horizont

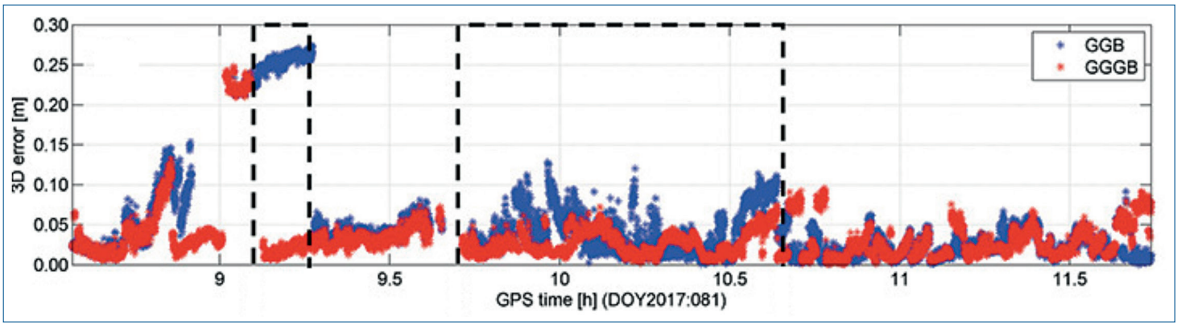
Mjerenja su najprije obavljena pod uvjetima čistog horizonta korištenjem mreže referentnih stanica na kratkim (2 km) i dužim (116 km) baznim linijama. Ispitivala se iskoristivost Galileo konstelacije pod dobrim uvijetima mjerenja. Prikupljeni su podaci tijekom dva dana mjerenja s intervalom od 1 sekunde koristeći različite kombinacije satelitskih sustava: GPS+GLO (GG), GPS+GLO+BDS (GGB) i GPS+GLO+GAL+BDS (GGGB). U prosjeku su tri Galileo satelita doprinosila računanju fixnog rješenja kod mrežnog RTK. Za kratke bazne linije od 2 km, maksimalni broj od četiri Galileo satelita korišten je za pozicioniranje, dok se povećanjem baznih linija smanjuje broj korištenih Galileo satelita. Na slici 5a je prikaz odabranog perioda od 12 sati gdje je vidljiva prednost korištenja sustava Galileo u smanjivanju 3D pogreške sa 6–8 cm na 3–4 cm, korištenjem 2-3 Galileo satelita u rješenju više GNSS-a (GGGB) (Luo i dr., 2017).

2. Testna mjerenja – multipath

Kod drugog testa, GNSS antena smještena je na lokaciju s jakim multipathom, gdje su GNSS signali ometani i reflektirani s okolnih zgrada. Primijenjena je standardna elevacijska maska od 10°. Analizirani su podaci prikupljeni tijekom tri sata opažanja s intervalom registracije od 1 sekunde. 3D pogreška analizirana je sa i bez sustava Galileo (GGGB vs. GGB). Uključivanje 2-3 Galileo satelita vodi značajnom poboljšanju u položajnoj točnosti od nekoliko „cm“. Prema empiričkoj kumulativnoj funkciji distribucije podataka vjerojatnost da 3D pogreška



Slika 5a. **Utjecaj integracije Galileo sustava na 3D pogreške pozicioniranja u mrežnom RTK pod uvjetima čistog horizonta (Luo i dr., 2017).**



Slika 5b. **Utjecaj integracije Galileo sustava na 3D pogreške pozicioniranja u mrežnom RTK pod uvjetima multipatha (Luo i dr., 2017)**

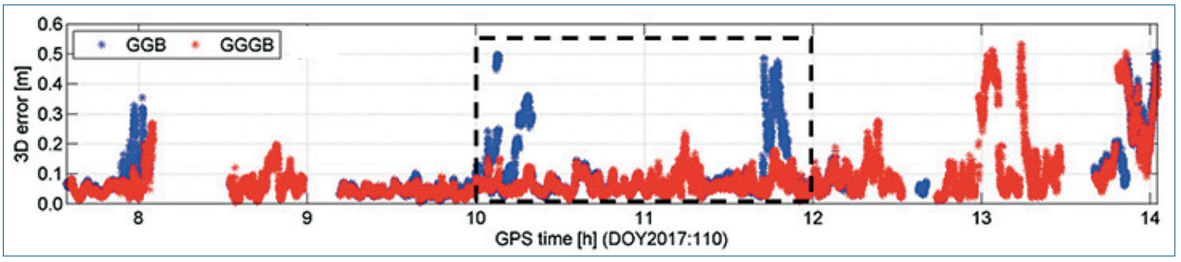
bude unutar 5 cm povećana je sa 70% na 85% uz korištenje sustava Galileo (slika 5b).

Korištenjem Galileo sustava 3D RMS pogreška je značajno reducirana (56,3%), od 0,080 m (GGB) na 0,035 m (GGGB). U usporedbi s horizontalnim komponentama gdje razlika nije toliko značajna (od 0,028 m (GGB) na 0,016 m (GGGB)), visinska RMS pogreška pokazuje poboljšanje od 58,7% s obzirom na integraciju GALILEO sustava, od 0,075 m (GGB) na 0,031 m (GGGB). 3D dostupnost signala pod uvjetima multipatha poboljšana je za 7,3%, od 88,2% (GGB) na 95,5% (GGGB), a slično je za položajnu i visinsku komponentu. Vrijeme inicijalizacije ispitivano je reinicijalizacijom nakon uspostave fiksnog rješenja. Ukupno je prikupljeno 765 vrijednosti s GGB i 1128 vrijednosti uspostavljene inicijalizacije s GGGB. Značajno veći broj inicijalizacije korištenjem GGGB upućuje na to da je veća dostupnost fiksnog rješenja korištenjem Galileo sustava. Također, potrebno je kraće vrijeme za fiksiranje ambiguiteta za GGGB, unutar 5 s (10 s) s 46% (87%) vjerovatnosti što je 29% (16%) više nego s GGB (Luo i dr., 2017).

3. Testna mjerenja – prepreke na horizontu

Kod ovog testa GNSS prijamnik nalazio se pod drvećem koje je blokiralo ili reflektiralo GNSS signale, a što je vodilo smanjenom broju opažanja, lošijoj kvaliteti i smanjenim RTK performansama. Korištena je također elevacijska maska od 10°, bazna duljina je bila 116 km. Prikupljeni su podaci mjerenja tijekom sedmosatne sesije s intervalom pohrane od 1 sekunde. Uključivanje Galileo sustava poboljšalo je dostupnost RTK fiksnog rješenja od 65,7% (GGB) na 77,9% (GGGB). Također, smanjene su položajne pogreške korištenjem do 3 Galileo satelita kao što je vidljivo na slici 5c.

Glavni faktor koji smanjuje točnost RTK pozicioniranja nije samo utjecaj okoline nego i duge bazne linije. Integracija Galileo sustava vodi značajnom smanjenju 3D RMS pogreške od 23,7%, tj. sa 0,114 m (GGB) na 0,087 m (GGGB). Uspoređujući 2D i 1D RMS pogreške, korištenje Galileo sustava daje veća poboljšanja za visinu nego za horizontalne komponente. Dostupnost signala samo je blago povećana s obzirom na lošu okolinu i korištenje dugih baznih duljina (Luo i dr., 2017).



Slika 5c: **Utjecaj integracije Galileo sustava na 3D pogreške pozicioniranja u mrežnom RTK pod uvjetima prepreka na horizontu (Luo i dr., 2017)**

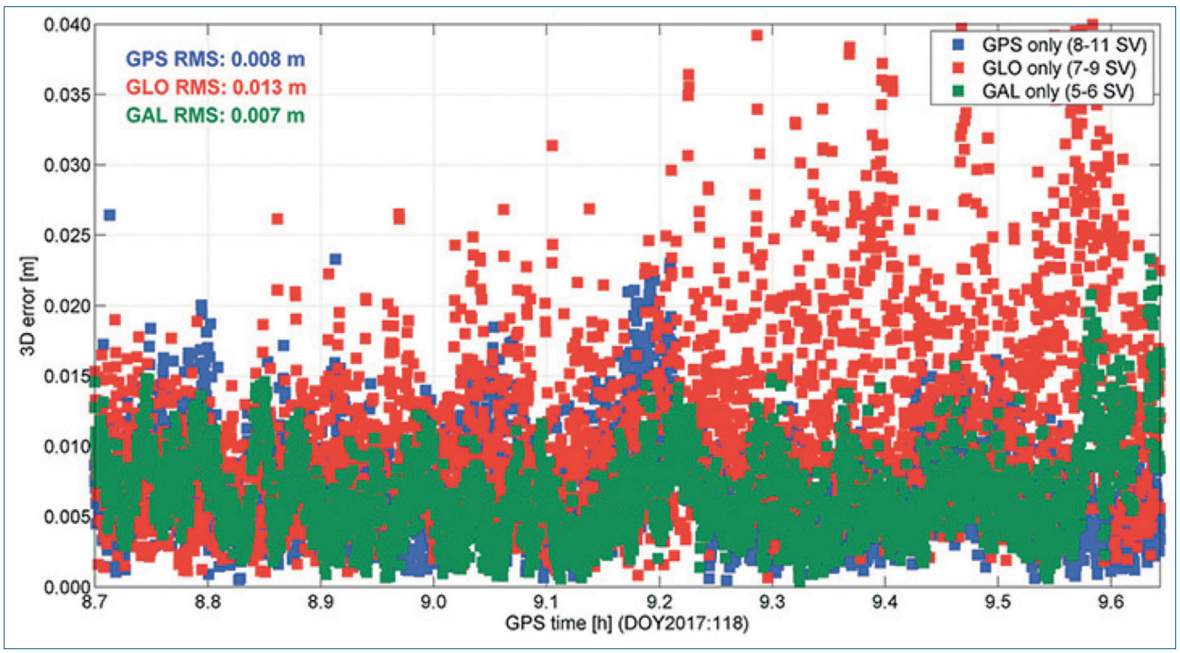
4. Testna mjerenja – pojedini sustavi (GPS vs GLONASS vs Galileo)

Kako bi se u potpunosti ispitale performanse korištenja više GNSS-a kod RTK pozicioniranja potrebno je ispitati i svaki sustav zasebno. S proizvodnjom GNSS prijamnika koji mogu koristiti pojedine sustave zasebno te s obzirom na uspostavu Galileo sustava u vrijeme testiranja, u kolovozu 2017., kada je Galileo počeo s incijalnim servisima, korišten je samo određeni broj Galileo satelita. RTK pozicioniranje obavljeno je na vrlo kratkim baznim linijama i s čistim horizontom, dok je elevacijska maska postavljena na 0° u svrhu praćenja što više satelita. Obavljeno je „Single-base" RTK pozicioniranje u trajanju od 1 sata s intervalom od 1 sekunde. Izračunate su 3D pogreške korištenjem posebno GPS, GLONASS i Galileo sustava u RTK pozicioniranju gdje je broj korištenih satelita za pojedini sustav bio od 8 do 11 za GPS, od 7 do 9 za GLONASS i od 5 do 6 za Galileo. Za vrijeme testiranja bilo je dostupno samo 3-4 BeiDou satelita pa posebno korištenje tog sustava nije ispitano.

3D pogreške GPS-a odnosno Galileo sustava usporedivih su RMS vrijednosti (ispod cm) dok je 3D RMS pogreška kod GLONASS-a gotovo dvaput veća. Također, treba reći da je korišteno više dostupnih GPS satelita nego Galileo satelita s obzirom na postignutu točnost, pa i to treba uzeti u obzir. GPS i Galileo RTK pozicioniranje pokazuju bolju distribuciju pogrešaka nego GLONASS. Korištenjem samo GPS ili Galileo sustava vjerojatnost da 3D pogreška bude unutar 1 cm je preko 80%, što je 30% više nego korištenjem samo GLONASS-a (Luo i dr., 2017) (slika 5d).

7. Zaključak

Proglašenjem Galileo inicijalnih servisa u prosincu 2016., prvi put je omogućeno korištenje civilnog europskog Galileo satelitskog sustava na globalnoj razini za pozicioniranje, navigaciju i vrijeme. Do završetka uspostave sustava 2020. godine, Galileo će imati važnu ulogu u primjenama u visoko-



Slika 5d: **3D pogreške RTK pozicioniranja koristeći pojedine satelitske sustave: GPS vs GLONASS vs Galileo (Luo i dr., 2017)**

preciznom GNSS pozicioniranju. Kombiniranjem prednosti novih metoda pozicioniranja PPP i RTK metode, u zajednički koncept PPP-RTK i njegovom implementacijom u komercijalnim softverima, npr. metoda RTX, omogućeno je precizno pozicioniranje u realnom vremenu primjenom novih standarda i metoda pozicioniranja, što će zajedno s novim moderniziranim satelitskim sustavima doprinijeti većoj dostupnosti, točnosti, pouzdanosti i boljoj inicijalizaciji u lošijim uvjetima mjerenja. Rezultati istraživanja primjene novih satelitskih sustava i metoda pozicioniranja pokazuju važnost uloge CORS infrastrukture, kao što je CROPOS. Nadogradnjom sustava u 2019. godini bit će omogućeno pouzdano i precizno pozicioniranje u realnom vremenu korištenjem Galileo satelitskog sustava i moderniziranog GPS-a i GLONASS-a, kao i novih metoda pozicioniranja. Također, za očekivati je i njegovu širu primjenu u različitim aplikacijama koje zahtijevaju visokoprecizno pozicioniranje.

Literatura

Chen X., Allison T, Cao W, Ferguson K, Grünig S, Gomez V, Kipka A., Köhler J, Landau H, Leandro R, Lu G, Stolz R, Talbot N (2011): Trimble RTX, an Innovative New Approach for Network RTK, Trimble WhitePaper_RTX, ION-GNSS-2011, September 20-23, 2011, portland, OR, USA

ESA - European Space Agency (2018): GALILEO Performance Update, United Nations/Argentina Workshop on the Applications of GNSS, 19-23 march 2018, Falda del carmen, Argentina

Leandro R., Landau H., Nitschke M., Glocker M., Seeger S., Chen X., Deking A., BenTahar M., Zhang F., Ferguson K., Stolz R., Talbot N., Lu G., Allison T., Brandl M, Gomez V., Cao W., Kipka A. (2011) : RTX Positioning: The Next Generation of cm-accurate Real-Time GNSS Positioning, ION-GNSS-2011, September 20-23, 2011, portland, OR, USA

Luo X., Chen J., Richter B., Takac F. (2017): The Benefits of GALILEO for High-Precision RTK, European Navigation Conference 2017, may 9-12, Lausanne, Switzerland

Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C. & Grinter, T. (2012). Precise point positioning: is the era of differential GNSS positioning drawing to an end? FIG Working Week 2012, Rome, Italy, 6-10 May.

Schmitz M. (2012): RTCM State Space Representation Messages, Status and Plans, PPP-RTK & Open Standards Symposium, March 12-13, 2012, Frankfurt, Germany

Stürze A., Mervart L., Söhne1 W., Weber G., Wübbena G. (2012): Real-Time PPP using open CORS Networks and RTCM Standards, 3rd International Conference on Machine Control & Guidance, March 27-29, 2012

Trimble Infrastructure (2015): VRS powered by BeiDou and GALILEO, FIG working week, 17-21 May 2015, Sofia, Bulgaria

Vollath U., Patra R., Chen X., Landau H., Allison T. (2004): GALILEO/Modernized GPS A New Challenge to Network RTK, ION GNSS-04, September 21-24, 2004 Long Beach Convention Center Long Beach, California

Wübbena G., Schmitz M, Bagge A.: PPP-RTK (2005): Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks, 18th International Technical meeting, ION GNSS-05, September 13-16, 2005, Long Beach, California

URL-1: IGS proizvodi, http://www.igs.org/, (18. 9. 2018.)

URL-2: VERIPOS, https://veripos.com/, (18. 9. 2018.)

URL-3: Trimble RTX, https://www.trimble.com/positioning-services/trimble-rtx, (18. 9. 2018.)

URL-4: NRCAN, https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php, (18. 9. 2018.)

URL-5: GNSS Science Support Center, https://gssc.esa.int/, (17. 9. 2018.)

POSITIONING POSSIBILITIES THROUGH THE IMPLEMENTATION OF THE GALILEO SYSTEM AND NEW NETWORK POSITIONING METHODS

Abstract: By introducing multiple frequencies with the Galileo system and using L5 GPS frequencies (broadcasting on Block IIF satellites) at CROPOS services, it will be significantly increased the reliability and productivity of precision positioning. For the VRS concept of the network RTK solution, the use of additional frequencies will significantly increase system reliability, while the introduction of the Galileo signals in the Single base RTK method will enable new positioning capabilities. By introducing the third frequency, it will be possible to increase the spacing of the interstation distances in the application of the VRS concept from 70 km to 90 km. The availability of observations on more than two frequencies significantly influences modeling of ionospheric refraction, which is an important contribution to resolving ambiguity. Also positioning accuracy will be enhanced by reducing the impact of multipath with regard to the availability of observations from a larger number of satellites. The introduction of new (Galileo, BeiDou) and the modernization of existing (GPS, GLONASS) satellite systems has led to the step forward in the positioning methods on the side of the network of reference stations. The RTX method introduces a new approach to the existing network-based RTK solutions and resolution of positioning errors, and will be implemented in conjunction with the Galileo system by upgrading CROPOS as a system during the year 2019. By combining PPP's (Precise Point Positioning) and RTK (Real Time Kinematic) methods into a common concept, the RTX method opens the prospects for precise positioning in real time using precise satellite corrections, which will, together with the new modernized satellite systems, contribute to greater availability, accuracy, reliability and better initialization in bad measurement conditions. The paper will also describe the first experiences related to the application of new positioning possibilities.

Keywords: CROPOS, Galileo, network RTK, PPP, RTX

OBNOVA REFERENTNE MREŽE REPUBLIKE HRVATSKE 2006-2018

OBNOVA REFERENTNE MREŽE REPUBLIKE HRVATSKE 2006-2018

Margareta Premužić[1], Marijan Marjanović[2]
[1]Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, margareta.premuzic@dgu.hr
[2]Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, marijan.marjanovic@dgu.hr

Sažetak: Projekt obnove trigonometrijskih točaka I. reda započeo je 2006. godine te je u razdoblju do 2018. godine ukupno obnovljeno 62 točke referentne mreže Republike Hrvatske odnosno trigonometrijske točke I. reda i osnovne GPS mreže. Cilj obnove bio je popraviti opću stabilnost i kvalitetu točaka, kao i njihov izgled te osigurati trajnost točaka uz očuvanje oznake na gornjoj plohi točke kojom je definiran položaj i na koju se odnose koordinate točke.

Ključne riječi: referentna mreža, obnova točaka, EUREF, HTRS96.

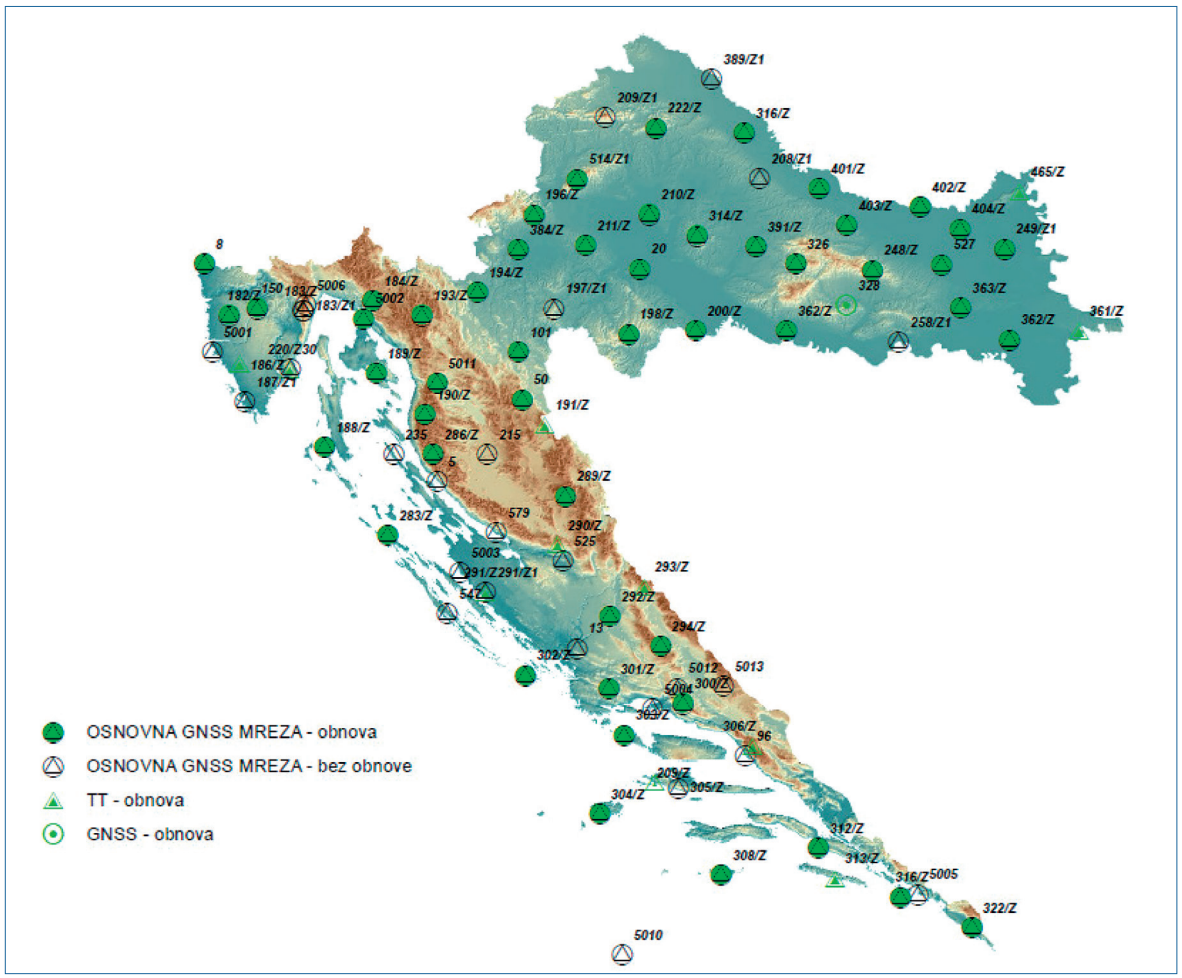
1. Uvod

Službeni hrvatski terestrički referentni sustav HTRS96 čini 78 stalnih točaka geodetske osnove, većina kojih su trigonometrijske točke stare triangulacijske mreže, čije je fizičko stanje i izgled prilično loše kao posljedica gotovo nikakvog održavanja od njihove uspostave do danas. Stupanj oštećenja tih točaka je različit od točke do točke, pa se obnovi i sanaciji oštećenja pristupalo individualno tim više što je i njihova stabilizacija izvedena na različite načine. Trigonometrijske točke I. reda nalaze se na istaknutim i teško dostupnim mjestima (vrhovi planina, najviše točke otoka i sl.) te je zbog vremenskih uvjeta koji vladaju na tim mjestima (kiša, snijeg, smrzavanje, velike temperaturne razlike, pojačana korozija i starenje materijala uzrokovano jakim vjetrovima i padalinama te udarima gromova) na nekim točkama došlo do velikih oštećenja. U svrhu sprječavanja daljnjeg propadanja osnovnih točaka koje čine referentni sustav Republike Hrvatske, Državna geodetska uprava je krenula u postupnu obnovu točaka referentne mreže, prvenstveno trigonometara I. reda.

Trigonometrijske točke I. reda koje su ujedno i osnovne točke novog službenog hrvatskog terestričkog referentnog sustava – HTRS96 su samim tim od izuzetnog značaja za osnovni geodetski referentni sustav naše zemlje. Triangulacija I. reda u Republici Hrvatskoj počiva na 13 Laplaceovih točaka, a točke su određene u vremenskom razdoblju od 1850. do 1954. godine. Na trigonometrijske točke I. reda oslonjene su sve trigonometrijske mreže nižih redova (II., III. i IV. reda), a većina ih je preuzeta u GPS mrežu 0. I. ili II. reda koje se koriste za obavljanje svih geodetskih radova na području Republike Hrvatske kao što su uspostava i održavanje katastarskog sustava, izrada topografskih karata, izmjera državne granice te projektiranje i izvođenje inženjerskih radova. Prva međunarodna GPS mjerna kampanja jedinstvenog europskog koordinatnog okvira EUREF poduzeta je 1993. godine u Republici Hrvatskoj i Republici Sloveniji pod nazivom EUREF'94. Uspostavljeno je 10 točaka na području Hrvatske za koje su odabrani trigonometri I. reda. Nakon toga održano je u Republici Hrvatskoj sljedećih godina nekoliko međunarodnih GPS kampanja (CROREF'95, CROREF'96, CRODYN'94, CRODYN'98).

U razdoblju od 2006. do 2018. godine ukupno je obnovljeno 62 točke referentne mreže Republike Hrvatske odnosno trigonometrijske točke I. reda i osnovne GPS mreže (Slika 1). Cilj obnove bio je popraviti opću stabilnost i kvalitetu točaka, kao i njihov izgled te osigurati trajnost točaka uz očuvanje oznake na gornjoj plohi točke (metalna bolcna, uklesan križ ili vijak za prisilno centriranje) kojom je definiran položaj i na koju se odnose koordinate točke, a ugradnjom metalne pločice od nehrđajućeg materijala javnosti su pružene osnovne informacije o geodetskoj točki i njenim koordinatama uz napomenu da je zakonom zabranjeno njihovo uništavanje odnosno oštećivanje.

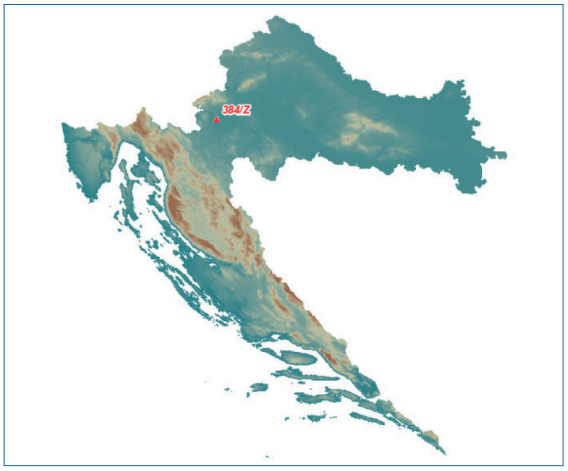
Projekt obnove trigonometrijskih točaka I. reda započeo je 2006. godine. U tu svrhu izrađena je projektna dokumentacija (građevinski projekt sanacije) u suradnji s Institutom građevinarstva Hrvatske kako bi se što bolje definirale procedure obnove točaka s obzirom na njihov položaj, oblik i izloženost utjecaju vremenskih prilika te način na koji pristupiti obnovi točke s obzirom na tip stabilizacije i vrstu materijala. Radovi koji su poduzeti su: ispitivanje materijala za sanaciju i stanja pripreme podloge, pripremanja stare podloge, izbora i načina ugradnje armaturne mreže ako se ocijeni potrebnom, sanacije na betonskim elementima konstrukcije sa posebnim naglaskom na način pripreme i obrade gornje završne plohe s obzirom da se ne smije ugroziti položaj i stabilnost vijka, bolcne ili križa, do završne obrade odnosno stavljanja zaštite kako bi im se produžio uporabni vijek. Na konstrukciju svake točke ugrađena je inox pločica. Po potrebi rađena su geodetska kontrolna mjerenja tijekom i nakon sanacije.



Slika 1: **Osnovna GNSS mreža Republike Hrvatske**

2. Obnovljene točke referentne mreže Republike Hrvatske

2.1. Točka 384/Z BRUSNIK



Slika 2: **DMR s prikazom TT 384/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Putačićeva glava na brdu Brusnik.

Točka je obnovljena 2006.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°34´42.90¨ λ = 15°34´12.82¨ H = 223.4 m

GNSS kampanje: CRODYN94, CRODYN96, CROSLO94, CROREF95, CROREF96, EUVN97, CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 3: **Fotografija prije obnove**

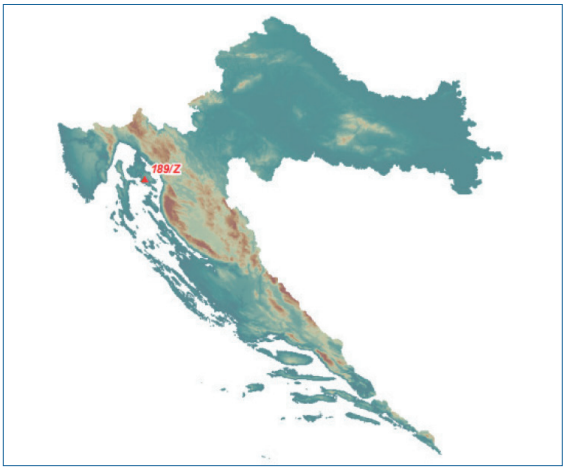


Slika 4: **Fotografija poslije obnove**



Slika 5: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.2. Točka 189/Z VELI VRH



Slika 6: **DMR s prikazom TT 189/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Veli Vrh na otoku Krku. Točka je obnovljena 2006.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°00´25.14¨$ $\lambda = 14°40´33.04¨$ H = 541.9 m

GNSS kampanje: CRODYN94, CRODYN98, CROREF96, CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 7: **Fotografija prije obnove**

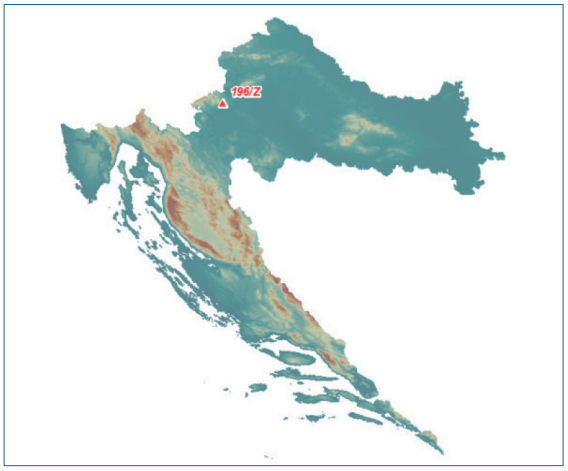


Slika 8: **Fotografija poslije obnove**



Slika 9: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.3. Točka 196/Z PLEŠIVICA



Slika 10: **DMR s prikazom TT 196/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Plešivica u Samoborskom gorju.

Točka je obnovljena 2006.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°44´13.90¨ λ = 15°40´05.08¨ H = 779.4 m

GNSS kampanje: CROREF95, CROREF96.



Slika 11**: Fotografija prije obnove**

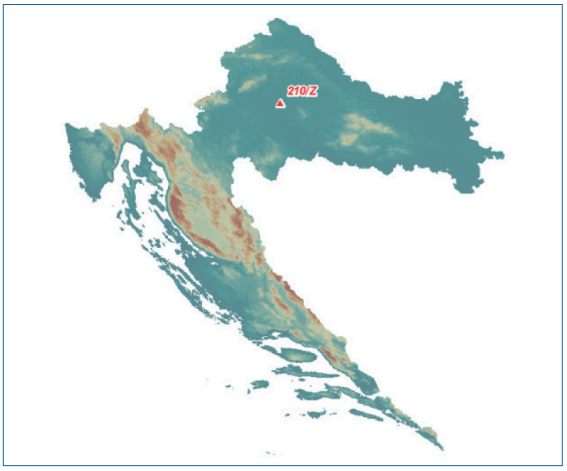


Slika 12**: Fotografija poslije obnove**



Slika 13: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.4. Točka 210/Z KLOŠTAR IVANIĆ



Slika 14: **DMR s prikazom TT 210/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi u Kloštar Ivaniću.

Točka je obnovljena 2006.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°44´32.99¨ \quad \lambda = 16°24´48.60¨ \quad H = 150.3$ m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 15: **Fotografija prije obnove**

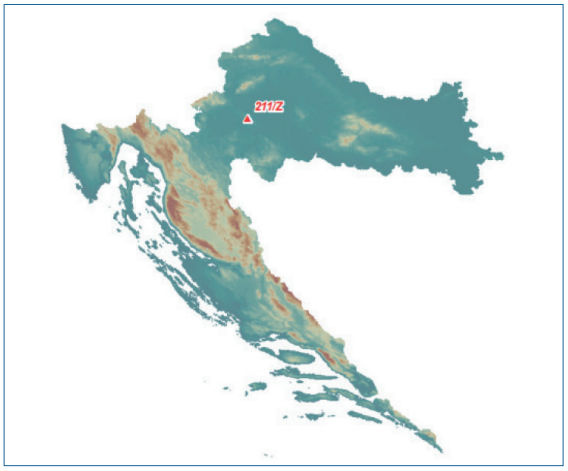


Slika 16: **Fotografija poslije obnove**



Slika 17: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.5. Točka 211/Z KOZJAČA



Slika 18: **DMR s prikazom TT 211/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi u naselju Kozjača.

Točka je obnovljena 2006.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°35´57.78¨ λ = 16°00´19.98¨ H = 241.2 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 19**: Fotografija prije obnove**

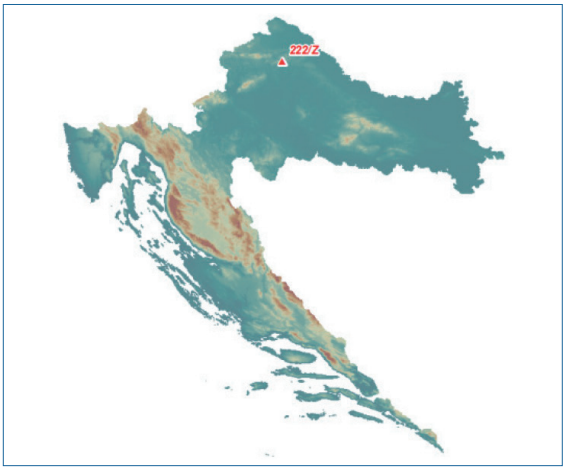


Slika 20**: Fotografija poslije obnove**



Slika 21: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.6. Točka 222/Z KALNIK



Slika 22: **DMR s prikazom TT 222/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Vranilac na Kalniku.

Točka je obnovljena 2006.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 46°07´52.62¨ λ = 16°27´16.79¨ H = 643.3 m

GNSS kampanje: CROREF95, CROREF96, CRODYN 2005.



Slika 23: **Fotografija prije obnove**

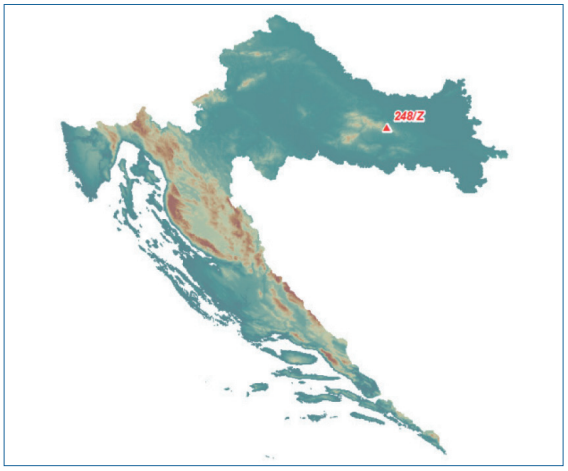


Slika 24: **Fotografija poslije obnove**



Slika 25: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.7. Točka 248/Z KAPAVAC



Slika 26: **DMR s prikazom TT 248/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Kapavac na Krndiji

Točka je obnovljena 2006.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°28´59.50¨ λ = 17°50´48.59¨ H = 791.3 m

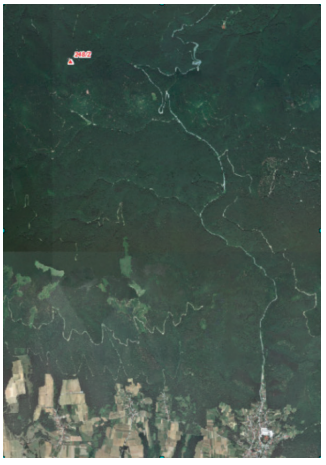
GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 27: **Fotografija prije obnove**

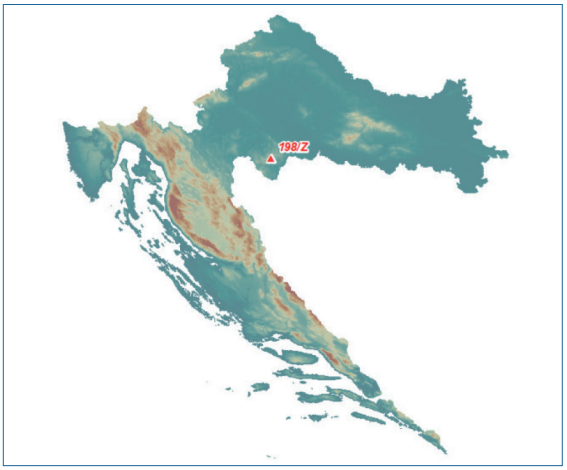


Slika 28: **Fotografija poslije obnove**



Slika 29: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.8. Točka 198/Z PRISEKA



Slika 30: **DMR s prikazom TT 198/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Zrinske gore.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

45°11´59.88¨ λ = 16°16´53.31¨ H = 569.4 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 31: **Fotografija prije obnove**

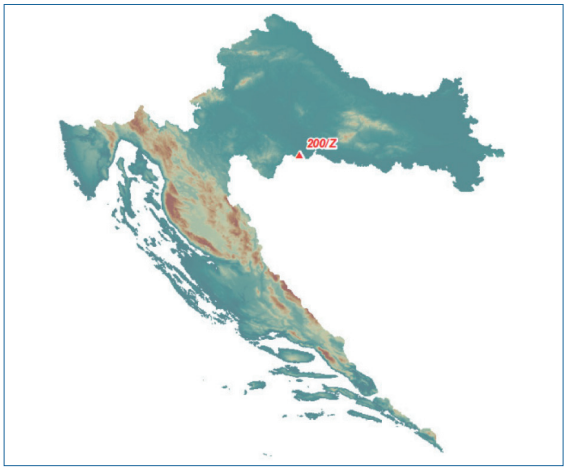


Slika 32: **Fotografija poslije obnove**



Slika 33: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.9. Točka 200/Z ALIJE



Slika 34: **DMR s prikazom TT 200/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na brdu Alije.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°13´12.86¨ \quad \lambda = 16°42´35.33¨ \quad H = 183.9$ m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 35: **Fotografija prije obnove**

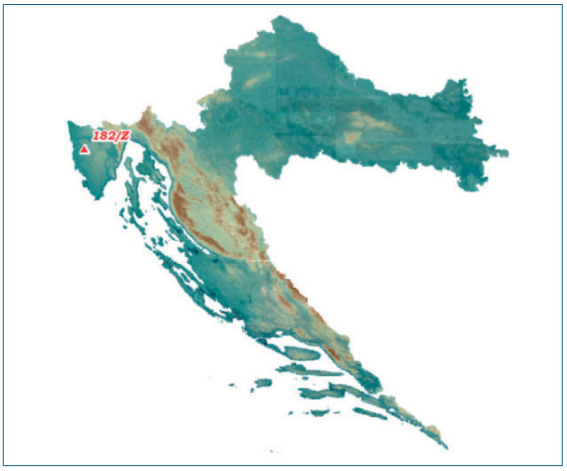


Slika 36: **Fotografija poslije obnove**



Slika 37: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.10. Točka 182/Z MONTAUR



Slika 38: **DMR s prikazom TT 182/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na brdu Montaur.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°15´02.30¨ λ = 13°43´37.58¨ H = 275.7 m

GNSS kampanje: CROREF95, CROREF96.



Slika 39: **Fotografija prije obnove**

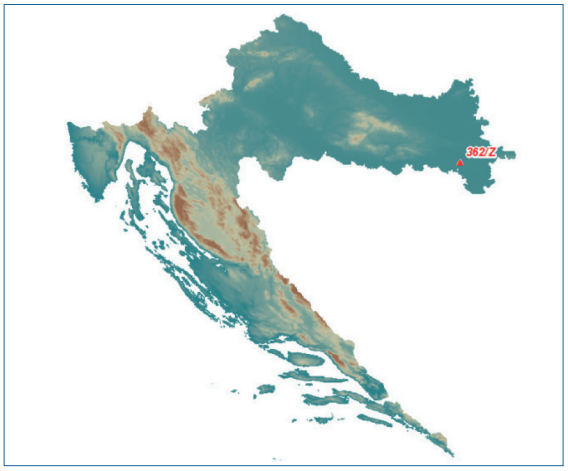


Slika 40: **Fotografija poslije obnove**



Slika 41: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.11. Točka 362/Z GRADIŠTE



Slika 42: **DMR s prikazom TT 362/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na Velikom brdu u naselju Gradište.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°09´14.21¨ λ = 18°42´42.06¨ H = 101.7 m

GNSS kampanje: CROSLO94, CROREF96, EUVN97, CRODYN 2005, CRODYN2013.



Slika 43: **Fotografija prije obnove**

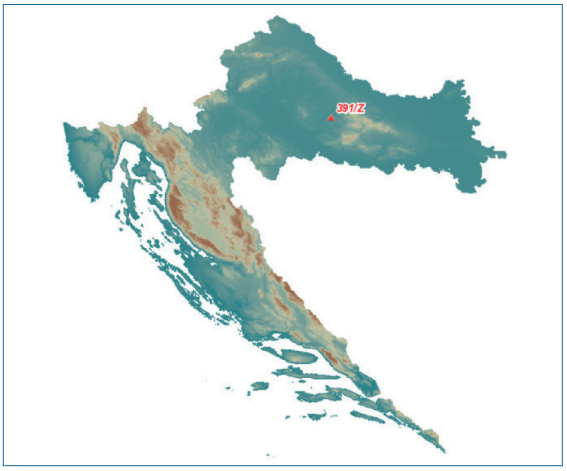


Slika 44: **Fotografija poslije obnove**



Slika 45: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.12. Točka 391/Z NOVOSELSKO BRDO



Slika 46: **DMR s prikazom TT 391/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi u naselju Dežanovac na brdu Zobik. Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°35´35.93¨ \quad \lambda = 17°06´02.00¨ \quad H = 184.9$ m

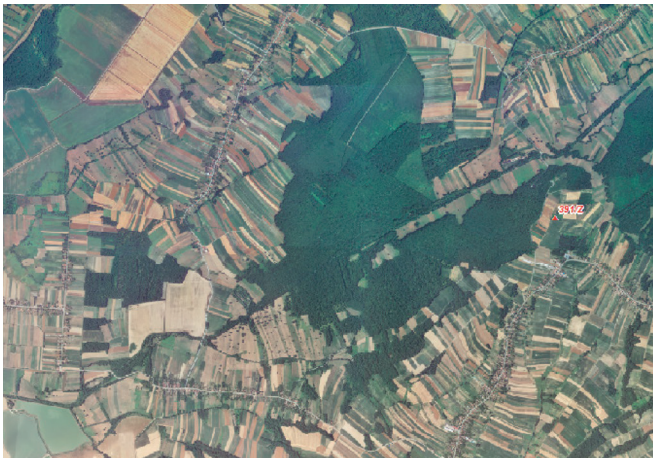
GNSS kampanje: CRODYN96, CROSLO94, CROREF95, CRODYN 2005.



Slika 47: **Fotografija prije obnove**

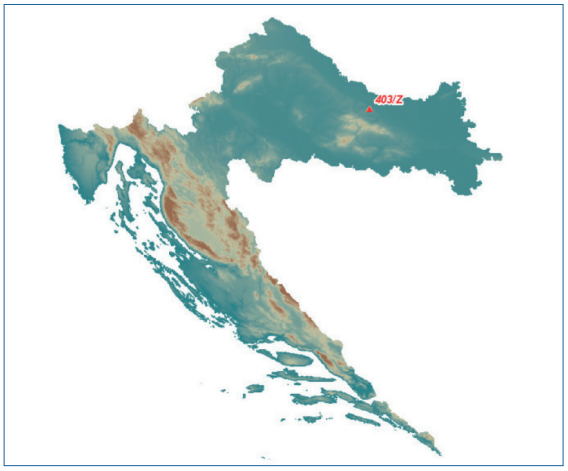


Slika 48: **Fotografija poslije obnove**



Slika 49: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.13. Točka 403/Z BREŽIĆ



Slika 50: **DMR s prikazom TT 403/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi u naselju Slatina na brdu Brežić. Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°41´16.90¨ λ = 17°41´13.84¨ H = 249.0 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 51: **Fotografija prije obnove**

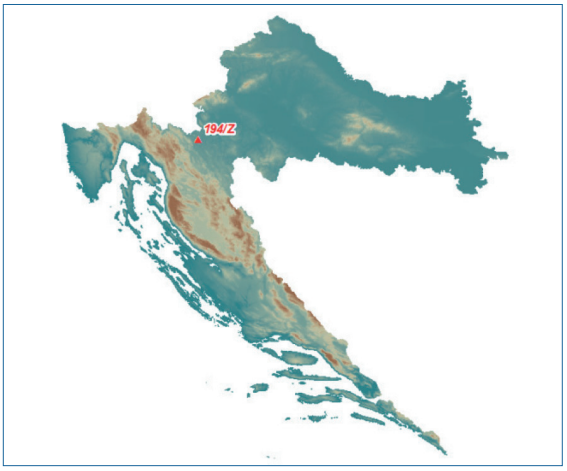


Slika 52: **Fotografija poslije obnove**



Slika 53: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.14. Točka 194/Z PRIVIS



Slika 54: **DMR s prikazom TT 194/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu brda Privis.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°23´13.43¨ \quad \lambda = 15°18´51.91¨ \quad H = 460.4$ m

GNSS kampanje: CROREF95, CROREF96.



Slika 55: **Fotografija prije obnove**

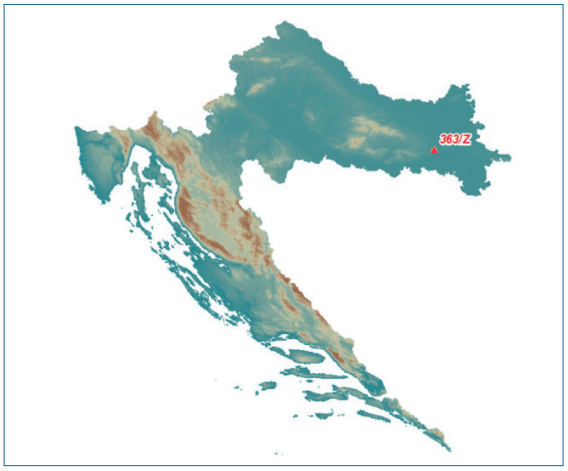


Slika 56: **Fotografija poslije obnove**



Slika 57: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.16. Točka 363/Z ĐAKOVO



Slika 58: **DMR s prikazom TT 363/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi u Gradu Đakovu.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°18´18.72¨ λ = 18°24´28.01¨ H = 97.7 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 59: **Fotografija prije obnove**

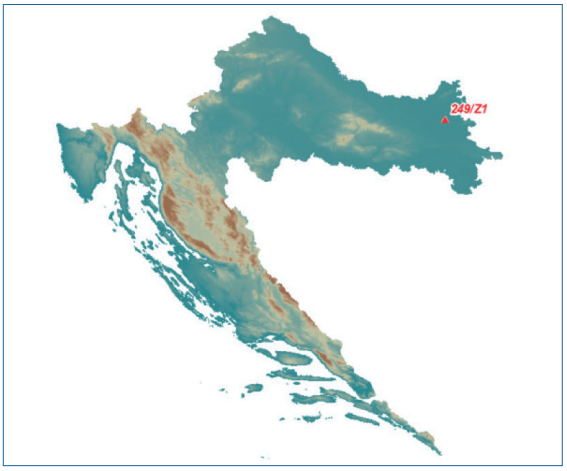


Slika 60: **Fotografija poslije obnove**



Slika 61: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.16. Točka 249/Z1 OSIJEK



Slika 62: **DMR s prikazom TT 249/Z1**

TT 1.red

Točka se nalazi u Gradu Osijeku.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°33´46.39¨$ $\lambda = 18°41´47.80¨$ $H = 87.0$ m

GNSS kampanje: CROREF96, EUVN05.



Slika 63: **Fotografija prije obnove**

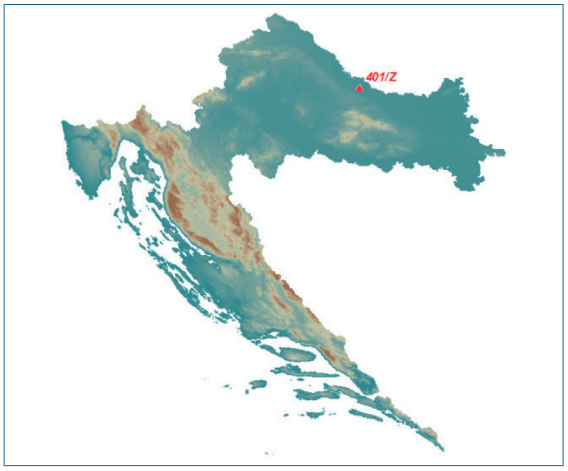


Slika 64: **Fotografija poslije obnove**



Slika 65: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.17. Točka 401/Z GRADINA



Slika 66: **DMR s prikazom TT 401/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi u naselju Gradina.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°51´16.55¨ λ = 17°30´41.61¨ H = 120.8 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 67: **Fotografija prije obnove**

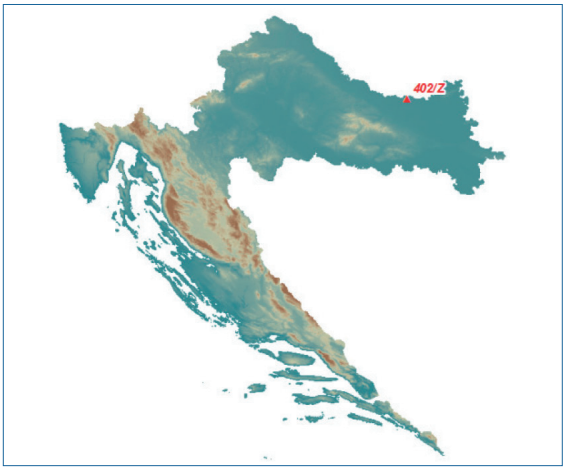


Slika 68: **Fotografija poslije obnove**



Slika 69: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.18. Točka 402/Z DONJI MIHOLJAC



Slika 70: **DMR s prikazom TT 402/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi u Gradu Donji Miholjac.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°45´39.96¨ \quad \lambda = 18°09´42.04¨ \quad H = 98.2$ m

GNSS kampanje: CROSLO94, CROREF96, CRODYN 2005.



Slika 71: **Fotografija prije obnove**

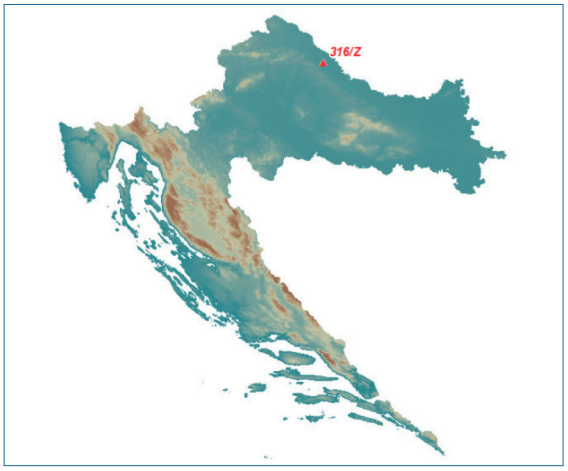


Slika 72: **Fotografija poslije obnove**



Slika 73: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.19. Točka 316/Z MOLVE



Slika 74: **DMR s prikazom TT 316/Z**

TT 2.red

Točka se nalazi u naselju Molve.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 46°06´25.53¨ λ = 17°01´51.60¨ H = 131.6 m

GNSS kampanje: CROREF96



Slika 75: **Fotografija prije obnove**

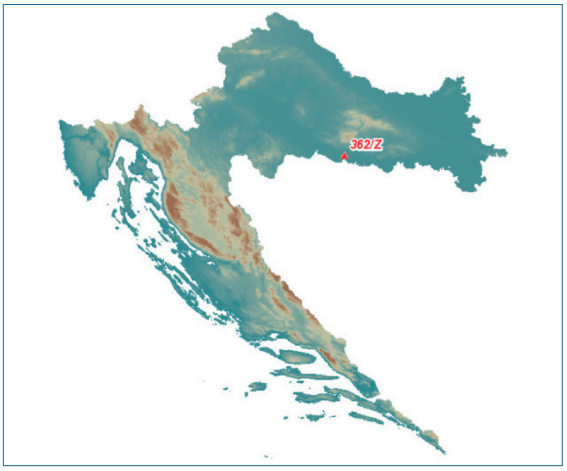


Slika 76: **Fotografija poslije obnove**



Slika 77: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.20. Točka 362/Z GORICA



Slika 78: **DMR s prikazom TT 362/Z**

TT 2.red

Točka se nalazi u naselju Gorice.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°13´01.18¨ \quad \lambda = 17°17´35.50¨ \quad H = 138.8$ m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 79: **Fotografija prije obnove**

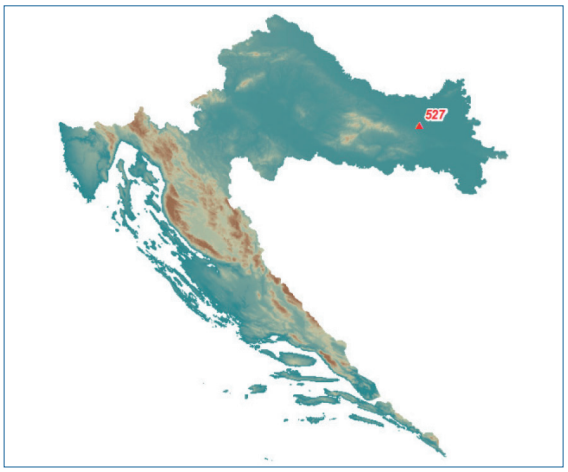


Slika 80: **Fotografija poslije obnove**



Slika 81: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.21. Točka 527 BABJAK



Slika 82: **DMR s prikazom TT 527**

TT 2.red

Točka se nalazi u naselju Branimirovac.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°30´10.78¨ λ = 18°17´35.71¨ H = 98.0 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 83: **Fotografija prije obnove**



Slika 84: **Fotografija poslije obnove**



Slika 85: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.22. Točka 20 SISAK



Slika 86: **DMR s prikazom TT 20**

TT 4.red

Točka se nalazi u Gradu Sisku.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°29´43.69¨$ $\lambda = 16°21´16.25¨$ H = 101.4 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 87: **Fotografija prije obnove**

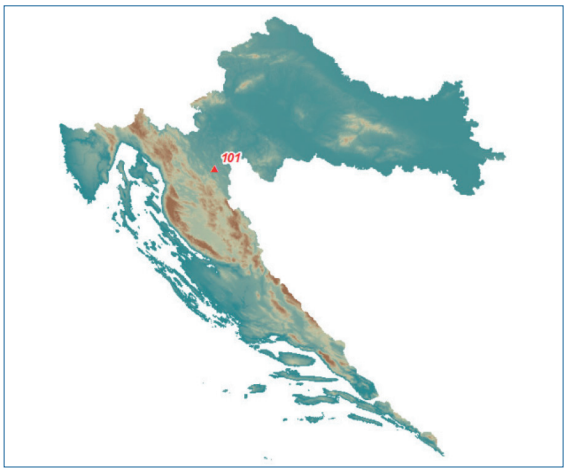


Slika 88: **Fotografija poslije obnove**



Slika 89: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.23. Točka 101 IVŠIĆ BRDO



Slika 90: **DMR s prikazom TT 101**

TT 3.red

Točka se nalazi na Ivšić brdu u Gradu Slunju.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°07´07.92¨ λ = 15°34´47.14¨ H = 294.4 m

GNSS kampanje: CRODYN98, CROREF96, CRODYN



Slika 91: **Fotografija prije obnove**

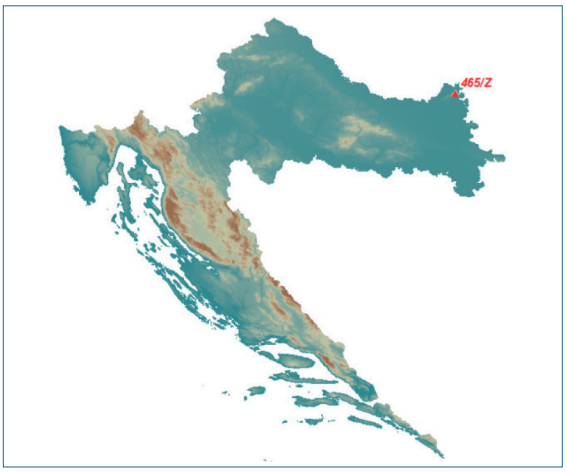


Slika 92: **Fotografija poslije obnove**



Slika 93: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.24. Točka 465/Z TROJNAŠ



Slika 94: **DMR s prikazom TT 465/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na brdu Trojnaš.

Točka je obnovljena 2007.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°49´33.73¨$ $\lambda = 18°48´27.15¨$ H = 206.7 m

GNSS kampanje: CRO10x10.



Slika 95: **Fotografija prije obnove**

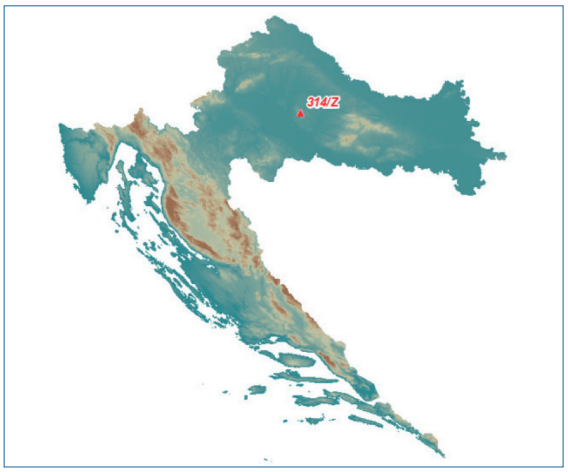


Slika 96: **Fotografija poslije obnove**



Slika 97: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.25. Točka 314/Z KALUĐEROV GROB



Slika 98: **DMR s prikazom TT 314/Z**

TT 2.red

Točka se nalazi na vrhu Strma međa na Moslavačkoj gori.

Točka je obnovljena 2008.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°38´41.01¨ λ = 16°43´17.82¨ H = 438.0 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 99: **Fotografija prije obnove**



Slika 100: **Fotografija poslije obnove**



Slika 101: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.26. Točka 326 VELIKI JAVORNIK



Slika 102: **DMR s prikazom TT 326**

TT 2.red

Točka se nalazi na vrhu Veliki Javornik na Ravnoj Gori.

Točka je obnovljena 2008.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°30´59.18¨$ $\lambda = 17°21´24.26¨$ H = 717.1 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 103: **Fotografija prije obnove**

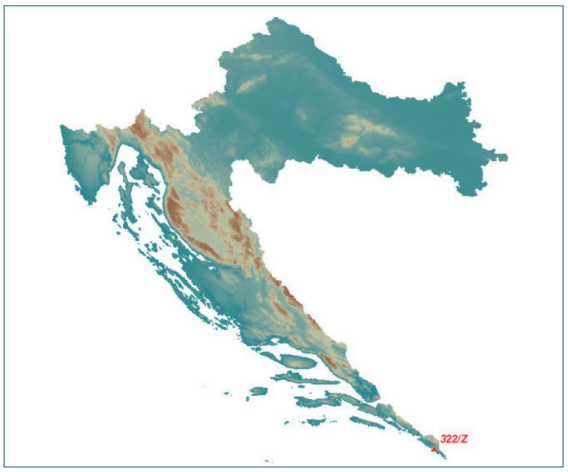


Slika 104: **Fotografija poslije obnove**



Slika 105: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.27. Točka 322/Z ILIN VRH



Slika 106: **DMR s prikazom TT 322/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na Ilinom vrhu u Konavlima.

Točka je obnovljena 2008.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 42°29´55.89¨ λ = 18°23´09.82¨ H = 561.6 m

GNSS kampanje: CRODYN96, CRODYN98, CROSLO94, CROREF96, CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 107: **Fotografija prije obnove**

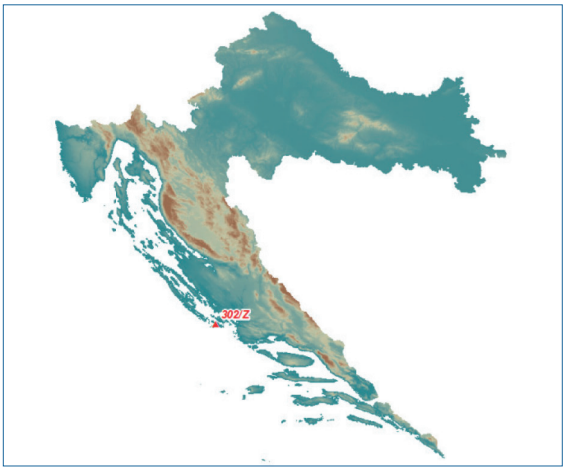


Slika 108: **Fotografija poslije obnove**



Slika 109: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.28. Točka 302/Z ŽIRJE



Slika 110: **DMR s prikazom TT 302/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Straža na otoku Žirju.

Točka je obnovljena 2008.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 43°39´16.40¨ \quad \lambda = 15°38´38.03¨ \quad H = 120.3$ m

GNSS kampanje: CRODYN96, CRODYN98, CROSLO94, CROREF96, CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 111: **Fotografija prije obnove**

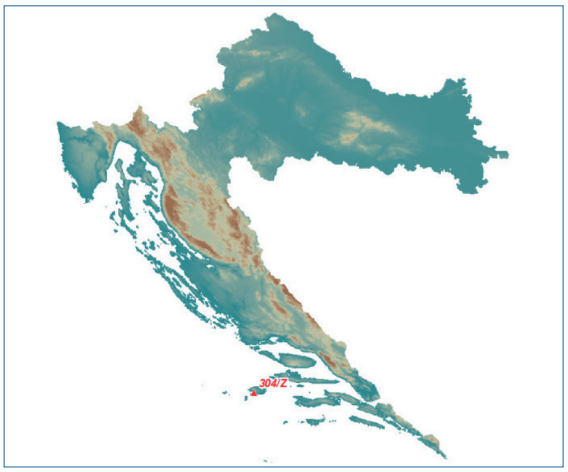


Slika 112: **Fotografija poslije obnove**



Slika 113: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.29. Točka 304/Z HUM



Slika 114: **DMR s prikazom TT 304/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Hum na otoku Visu.

Točka je obnovljena 2008.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 43°01´47.90¨ λ = 16°06´49.02¨ H = 587.0 m

GNSS kampanje: CRODYN94, CRODYN96, CRODYN98, CROREF96, CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 115: **Fotografija prije obnove**

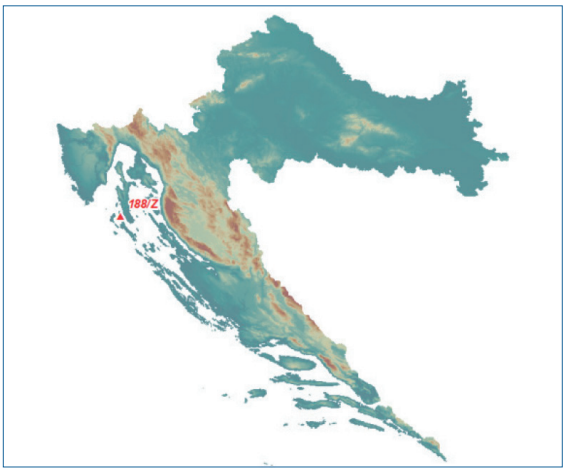


Slika 116: **Fotografija poslije obnove**



Slika 117: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.30. Točka 188/Z OSOR



Slika 118: **DMR s prikazom TT 188/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Televrin na otoku Lošinju.

Točka je obnovljena 2008.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 44°40´17.38¨ \quad \lambda = 14°21´42.38¨ \quad H = 588.5$ m

GNSS kampanje: CROREF96, CRODYN 2005.



Slika 119: **Fotografija prije obnove**

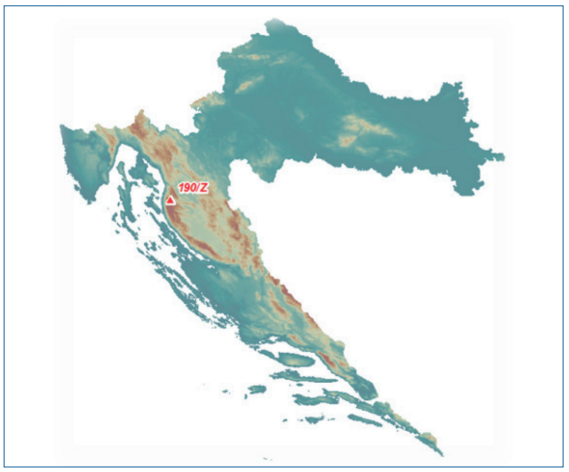


Slika 120: **Fotografija poslije obnove**



Slika 121: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.31. Točka 190/Z VELEBITSKA PLJEŠIVICA



Slika 122: **DMR s prikazom TT 190/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Plješivica na Sjevernom Velebitu.

Točka je obnovljena 2008.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 44°49´38.72¨ λ = 14°59´33.03¨ H = 1654.4 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 123: **Fotografija prije obnove**



Slika 124: **Fotografija poslije obnove**



Slika 125: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.32. Točka 308/Z SV. JURAJ



Slika 126: **DMR s prikazom TT 308/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Hum na otoku Lastovu.

Točka je obnovljena 2009.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 42°45´05.89¨$ $\lambda = 16°51´37.82¨$ H = 417.2 m

GNSS kampanje: CRODYN94, CRODYN96, CRODYN98, CROREF96, CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 127: **Fotografija prije obnove**

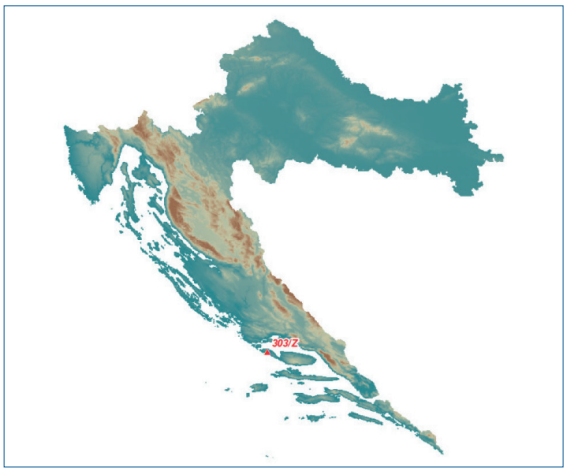


Slika 128: **Fotografija poslije obnove**



Slika 129: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.33. Točka 303/Z VELA STRAŽA



Slika 130: **DMR s prikazom TT 303/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Vela Straža na otoku Šolta.

Točka je obnovljena 2009.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 43°23´12.74¨ λ = 16°15´44.39¨ H = 210.7 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 131: **Fotografija prije obnove**



Slika 132: **Fotografija poslije obnove**



Slika 133: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.34. Točka 283/Z STRAŽICA



Slika 134: **DMR s prikazom TT 283/Z**

TT 1.red

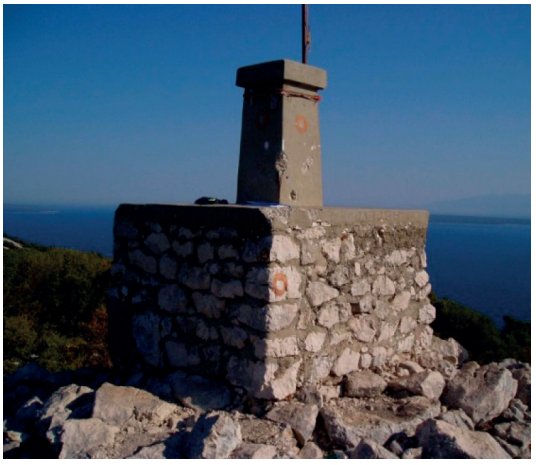
Točka se nalazi na vrhu Stražica na otoku Ist.

Točka je obnovljena 2009.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 44°16´42.42¨$ $\lambda = 14°46´13.93¨$ H = 176.1 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 135: **Fotografija prije obnove**

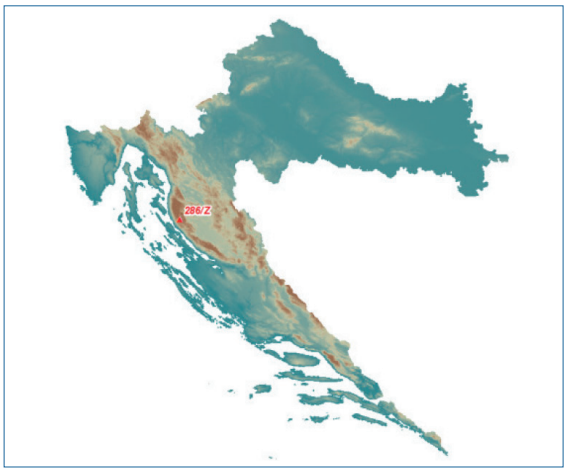


Slika 136: **Fotografija poslije obnove**



Slika 137: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.35. Točka 286/Z ŠATORINA



Slika 138: **DMR s prikazom TT 286/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Šatorina, najvišem vrhu Srednjeg Velebita.

Točka je obnovljena 2009.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 44°38´51.67¨ λ = 15°02´54.48¨ H = 1623.8 m

GNSS kampanje: CROSLO94, CROREF96.



Slika 139: **Fotografija prije obnove**

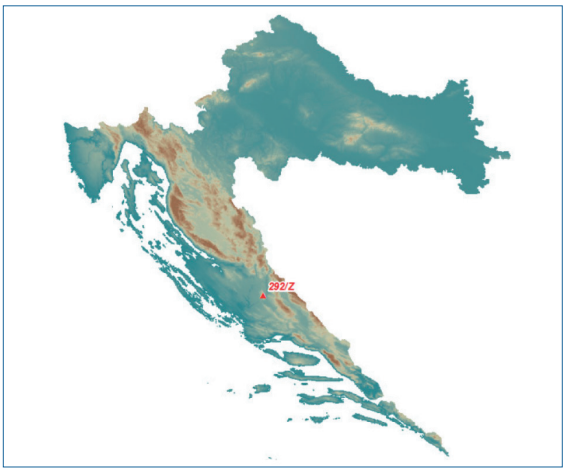


Slika 140: **Fotografija poslije obnove**



Slika 141: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.36. Točka 292/Z VELIKA PROMINA



Slika 142: **DMR s prikazom TT 292/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Velike Promine.

Točka je obnovljena 2009.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 43°55´28.63¨ λ = 16°10´11.78¨ H = 1148.2 m

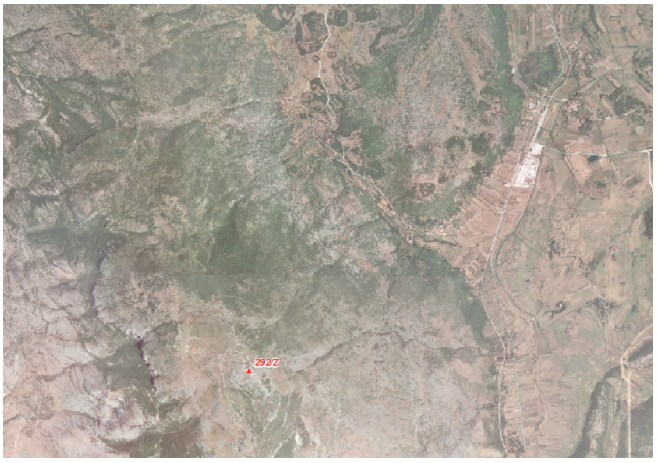
GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 143: **Fotografija prije obnove**

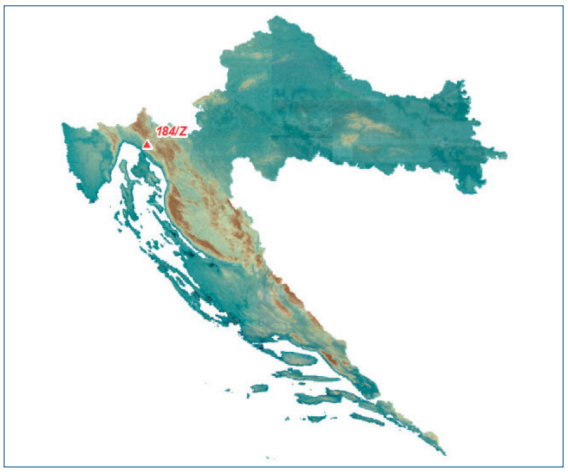


Slika 144: **Fotografija poslije obnove**



Slika 145: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.37. Točka 184/Z TUHOBIĆ



Slika 146: **DMR s prikazom TT 184/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Tuhobića.

Točka je obnovljena 2010.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°20´03.40¨ λ = 14°38´30.22¨ H = 1107.6 m

GNSS kampanje: CROREF95, CROREF96.



Slika 147: **Fotografija prije obnove**



Slika 148: **Fotografija poslije obnove**



Slika 149: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.38. Točka 193/Z BJELOLASICA



Slika 150: **DMR s prikazom TT 193/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Kula na Bjelolasici.

Točka je obnovljena 2010.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°16´24.83¨$ $\lambda = 14°57´40.20¨$ H = 1534.0 m

GNSS kampanje: CROREF95, CROREF96.



Slika 151: **Fotografija prije obnove**

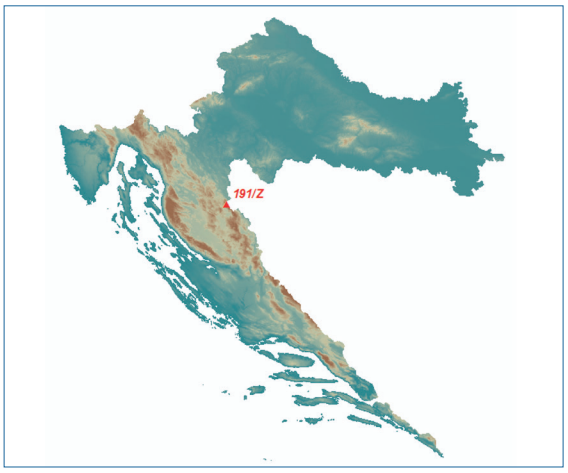


Slika 152: **Fotografija poslije obnove**



Slika 153: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.39. Točka 191/Z GOLA PLJEŠIVICA



Slika 154: **DMR s prikazom TT 191/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Gola Plješivica u Lici.

Točka je obnovljena 2011.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 44°47´37.65¨ λ = 15°44´54.46¨ H = 1647.6 m

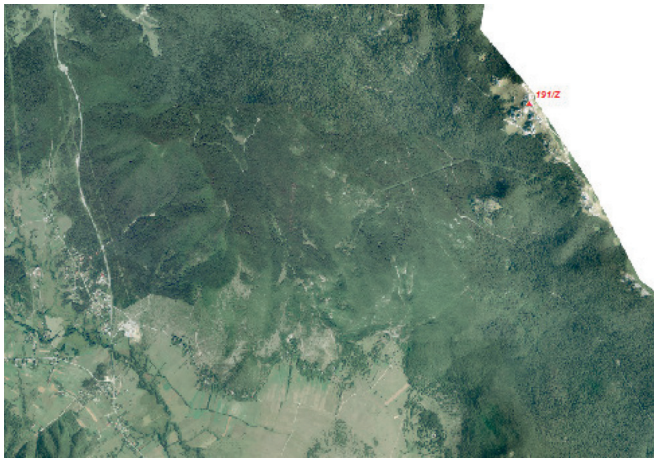
GNSS kampanje: CRO10x10



Slika 155: **Fotografija prije obnove**

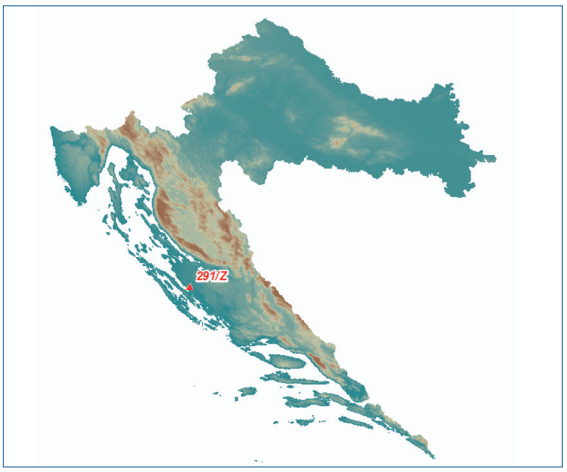


Slika 156: **Fotografija poslije obnove**



Slika 157: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.40. Točka 291/Z VRČEVO



Slika 158: **DMR s prikazom TT 291/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Vrčevo.

Točka je obnovljena 2011.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 44°01´56.51¨ λ = 15°23´33.33¨ H = 213.1 m



Slika 159: **Fotografija prije obnove**

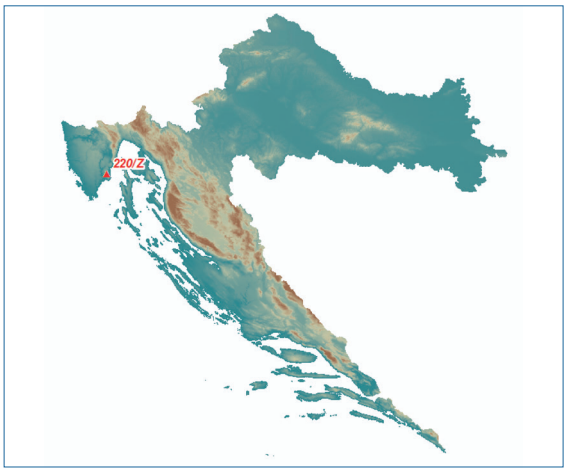


Slika 160: **Fotografija poslije obnove**



Slika 161: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.41. Točka 220/Z GOLI



Slika 162: **DMR s prikazom TT 220/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Goli.

Točka je obnovljena 2011.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°01´11.79¨ λ = 14°07´22.74¨ H = 539.1 m



Slika 163: **Fotografija prije obnove**

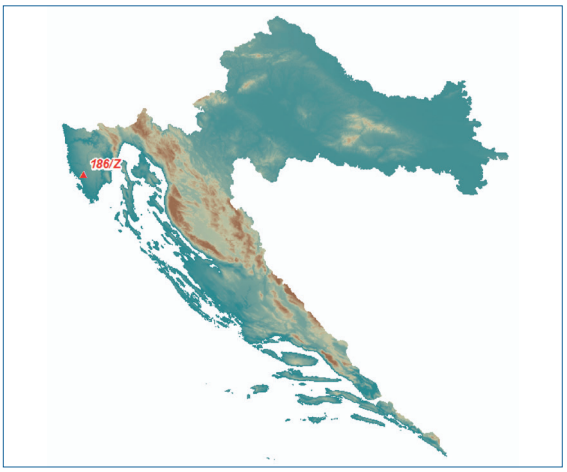


Slika 164: **Fotografija poslije obnove**



Slika 165: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.42. Točka 186/Z SV. MIHOVIL



Slika 166: **DMR s prikazom TT 186/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Forke.

Točka je obnovljena 2011.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°02´19.87¨ λ = 13°48´09.91¨ H = 205.8 m



Slika 167: **Fotografija prije obnove**

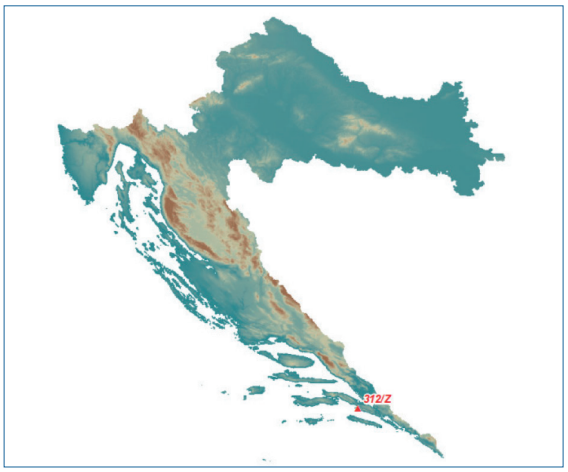


Slika 168: **Fotografija poslije obnove**



Slika 169: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.43. Točka 312/Z SV. IVAN



Slika 170: **DMR s prikazom TT 312/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Sv. Ivan na poluotoku Pelješac.

Točka je obnovljena 2011.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 42°52´25.63¨ λ = 17°27´26.78¨ H = 469.7 m

GNSS kampanje: CRODYN94, CRODYN96, CRODYN98, CROSLO94, CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 171: **Fotografija prije obnove**

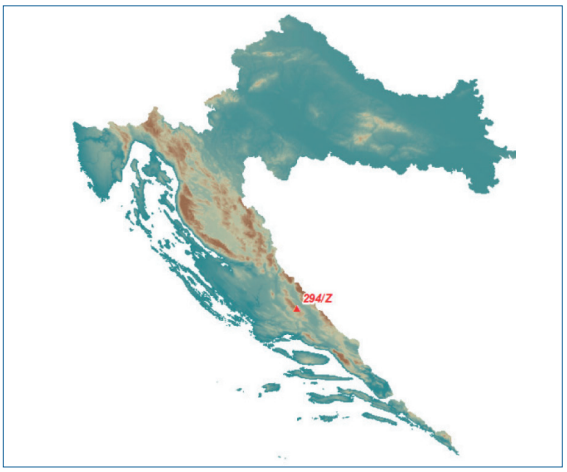


Slika 172: **Fotografija poslije obnove**



Slika 173: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.44. Točka 294/Z SVILAJA



Slika 174: **DMR s prikazom TT 294/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Svilaje.

Točka je obnovljena 2012.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 43°47´26.18¨ λ = 16°29´05.61¨ H = 1508.8 m

GNSS kampanje: CRODYN96, CRODYN98, CROREF96.



Slika 175: **Fotografija prije obnove**

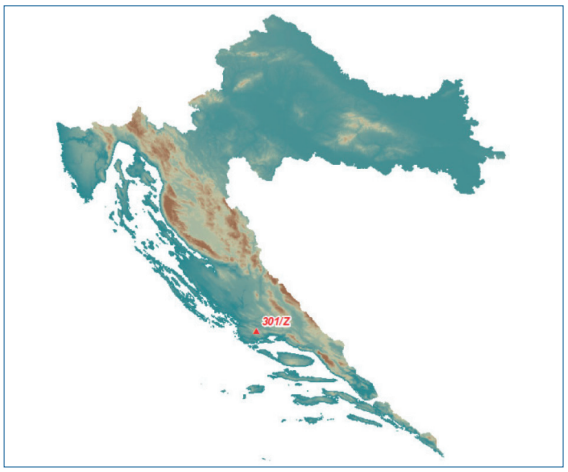


Slika 176: **Fotografija poslije obnove**



Slika 177: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.45. Točka 301/Z PRAPATNICA



Slika 178: **DMR s prikazom TT 301/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na Crnom vrhu.

Točka je obnovljena 2012.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 43°35´37.14¨ λ = 16°10´02.25¨ H = 739.1 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 179: **Fotografija prije obnove**

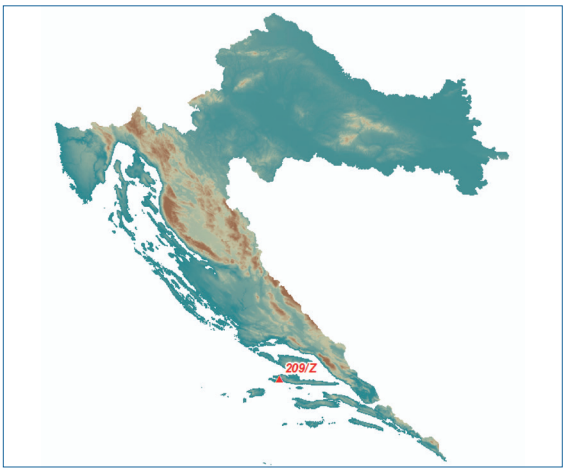


Slika 180: **Fotografija poslije obnove**



Slika 181: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.46. Točka 209/Z OPSERVATORIJ HVAR



Slika 182: **DMR s prikazom TT 209/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na Opservatoriju Hvar.

Točka je obnovljena 2012.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 43°10´38.61¨ λ = 16°26´56.12¨ H = 243.9 m

GNSS kampanje: CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 183: **Fotografija prije obnove**

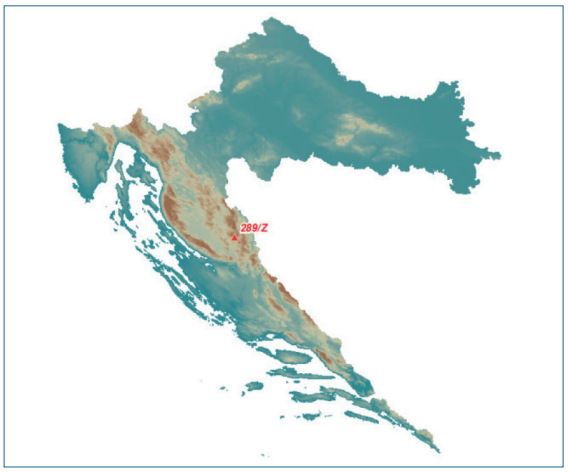


Slika 184: **Fotografija poslije obnove**



Slika 185: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.47. Točka 289/Z KREMEN



Slika 186: **DMR s prikazom TT 289/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Kremen.

Točka je obnovljena 2013.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 44°27´50.87¨ λ = 15°53´11.09¨ H = 1591.0 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 187: **Fotografija prije obnove**

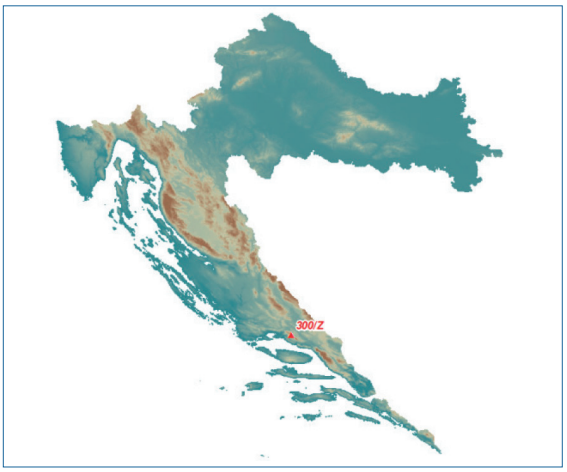


Slika 188: **Fotografija poslije obnove**



Slika 189: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.48. Točka 300/Z MOSOR



Slika 190: **DMR s prikazom TT 300/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Mosora.

Točka je obnovljena 2013.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 43°31´53.79¨ λ = 16°37´40.72¨ H = 1330.4 m

GNSS kampanje: CRODYN96, CROREF96.



Slika 191: **Fotografija prije obnove**

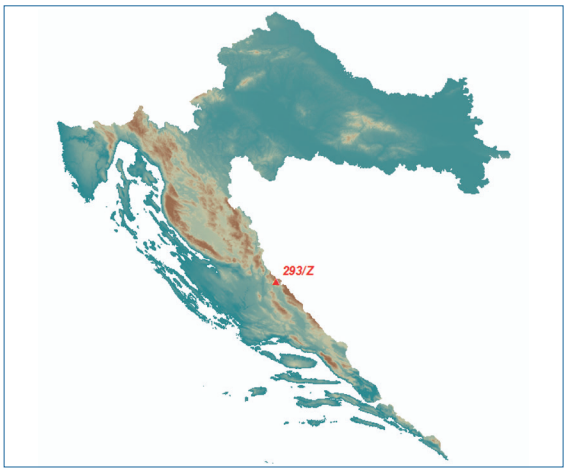


Slika 192: **Fotografija poslije obnove**



Slika 193: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.49. Točka 293/Z DINARA



Slika 194: **DMR s prikazom TT 293/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na najvišem vrhu Hrvatske Dinari.

Točka je obnovljena 2014.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 44°03´44.89¨ λ = 16°22´58.39¨ H = 1830.9 m



Slika 195: **Fotografija prije obnove**

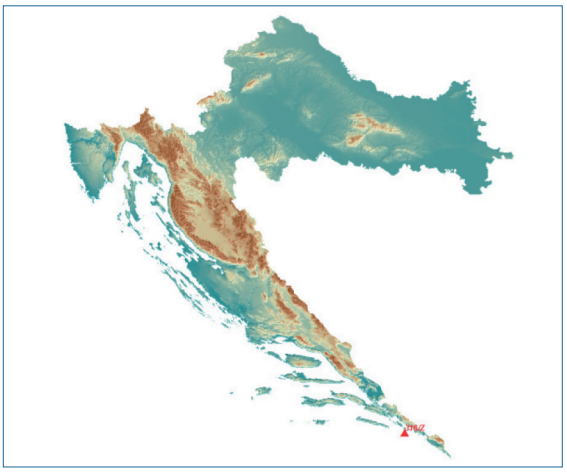


Slika 196: **Fotografija poslije obnove**



Slika 197: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.50. Točka 316/Z SV. ANDRIJA



Slika 198: **DMR s prikazom TT 316/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na otoku Sv.Andrija.

Točka je obnovljena 2014.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 42°38´40.56¨$ $\lambda = 17°57´09.25¨$ $H = 30.7$ m

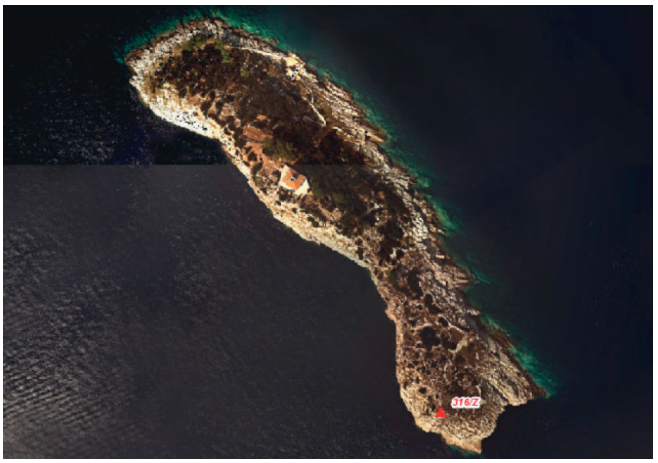
GNSS kampanje: CRODYN96, CRODYN98, CROREF96.



Slika 199: **Fotografija prije obnove**

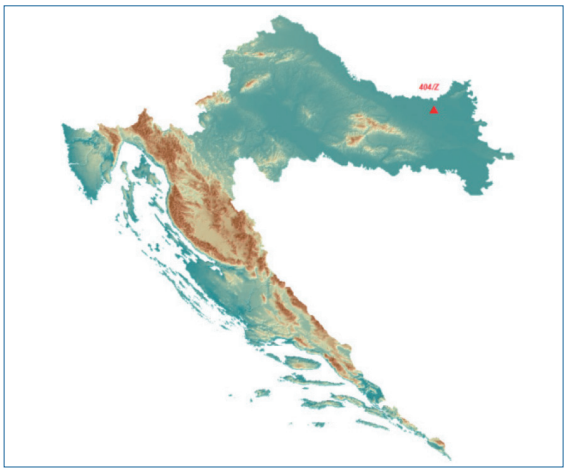


Slika 200: **Fotografija poslije obnove**



Slika 201: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.51. Točka 404/Z VALPOVO



Slika 202: **DMR s prikazom TT 404/Z**

TT 1.red

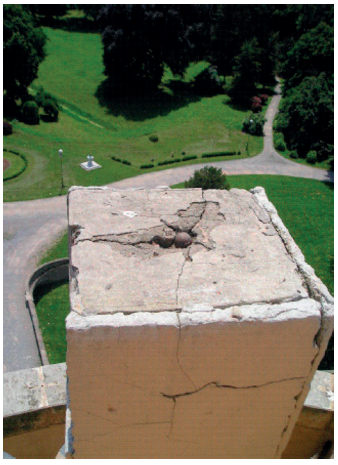
Točka se nalazi na tornju dvorca Normann u Valpovu.

Točka je obnovljena 2015.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°39´29.92¨ λ = 18°24´56.90¨ H = 91.2 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 203: **Fotografija prije obnove**

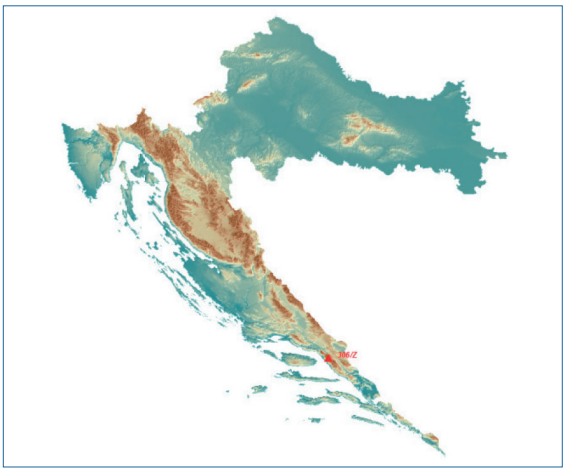


Slika 204: **Fotografija poslije obnove**



Slika 205: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.52. Točka 306/Z BIOKOVO



Slika 206: **DMR s prikazom TT 306/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Sv. Jure, drugom najvišem vrhu Hrvatske.

Točka je obnovljena 2015.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

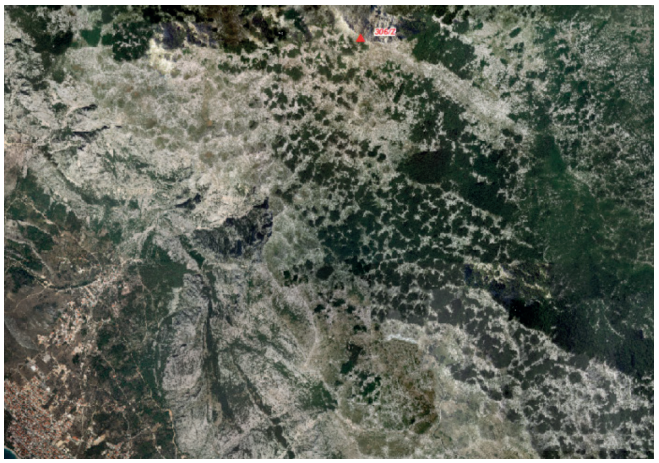
$\varphi = 43°20´31.25¨ \quad \lambda = 17°03´13.78¨ \quad H = 1761.9$ m



Slika 207: **Fotografija prije obnove**

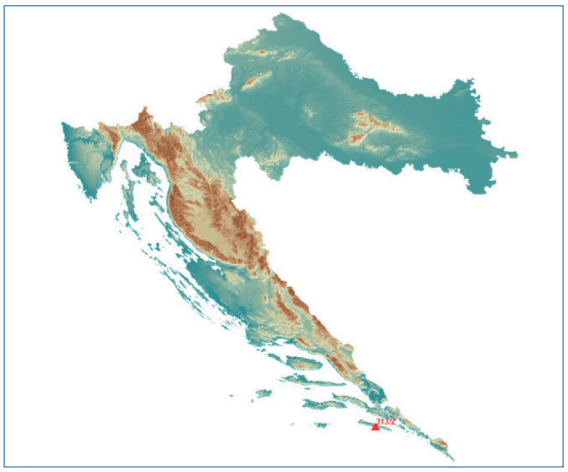


Slika 208: **Fotografija poslije obnove**



Slika 209: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.53. Točka 313/Z VELIKI GRAD



Slika 210: **DMR s prikazom TT 313/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Veliki Grad na otoku Mljetu.

Točka je obnovljena 2015.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 42°44´21.33¨ λ = 17°33´15.84¨ H = 512.7 m



Slika 211: **Fotografija prije obnove**

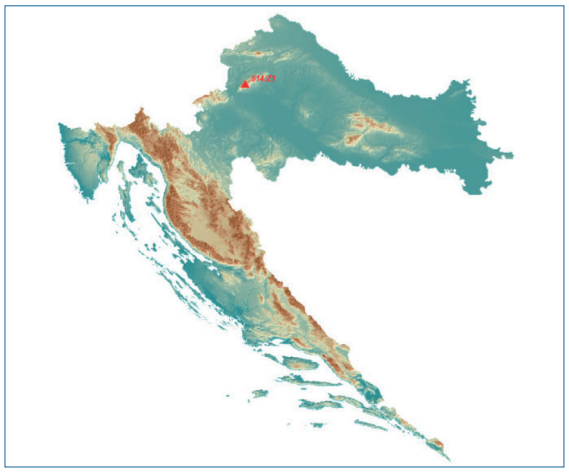


Slika 212: **Fotografija poslije obnove**



Slika 213: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.54. Točka 514/Z1 SLJEME



Slika 214: **DMR s prikazom TT 514/Z1**

TT 1.red

Točka se nalazi na vidikovcu na vrhu Sljemena.

Točka je obnovljena 2016.god.

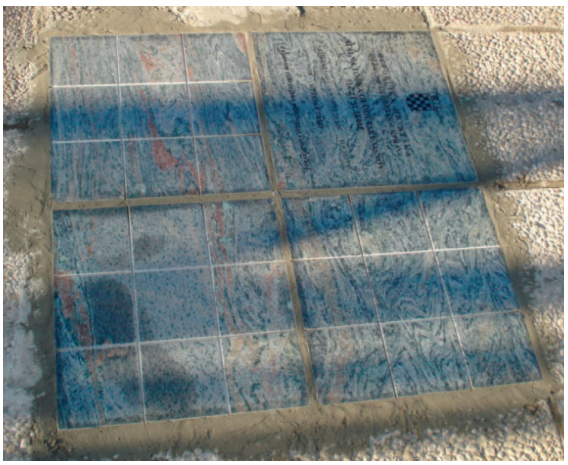
HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°53´57.51¨ λ = 15°56´50.82¨ H = 1033.1 m

GNSS kampanje: CROREF95, CROREF96.



Slika 215: **Fotografija prije obnove**

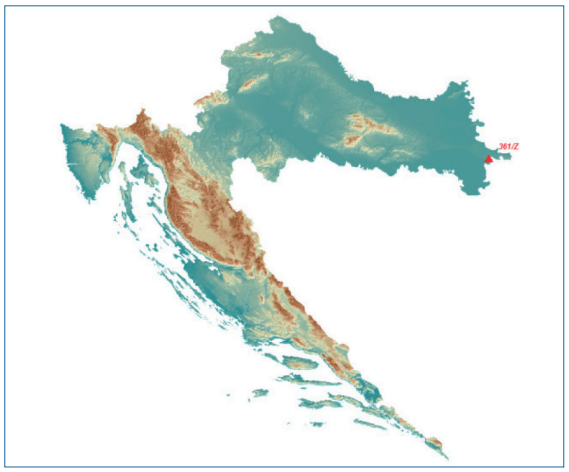


Slika 216: **Fotografija poslije obnove**



Slika 217: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.55. Točka 361/Z JABUKA



Slika 218: **DMR s prikazom TT 361/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi u naselju Tovarnik.

Točka je obnovljena (na podzemni centar) 2016. god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°11´26.58¨ λ = 19°09´30.83¨

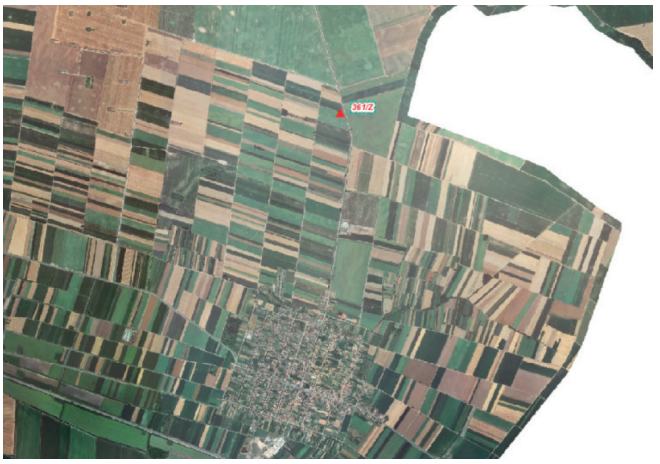
GNSS kampanje: CRO10x10.



Slika 219: **Fotografija prije obnove**

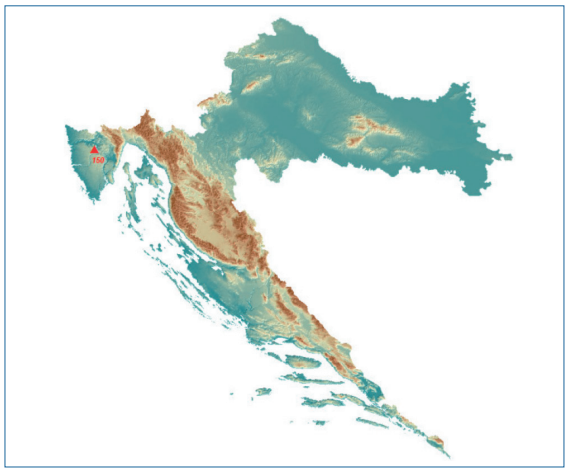


Slika 220: **Fotografija poslije obnove**



Slika 221: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.56. Točka 150 PILOŠĆAK



Slika 222: **DMR s prikazom TT 150**

TT 4.red

Točka se nalazi u naselju Kašćerga na vrhu Pilošćak.

Točka je obnovljena 2016.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°17´12.52¨ \quad \lambda = 13°54´15.90¨ \quad H = 479.4$ m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 223: **Fotografija prije obnove**

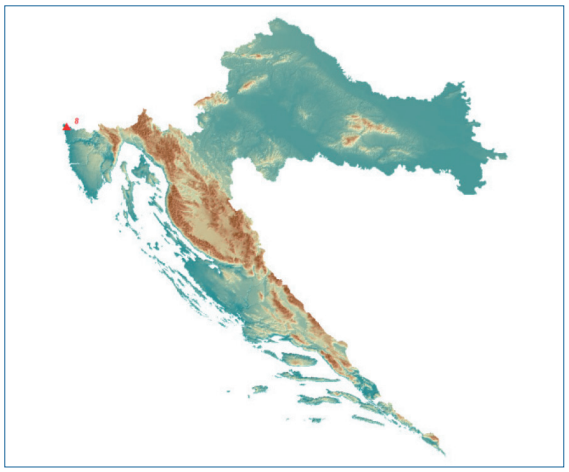


Slika 224: **Fotografija poslije obnove**



Slika 225: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.57. Točka 8 SAVUDRIJA



Slika 226: **DMR s prikazom GPS 8**

GPS 1.red

Točka se nalazi u naselju Valica.

Točka je obnovljena 2016.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°28´58.39¨ λ = 13°33´30.95¨ H = 83.4 m

GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 227: **Fotografija prije obnove**

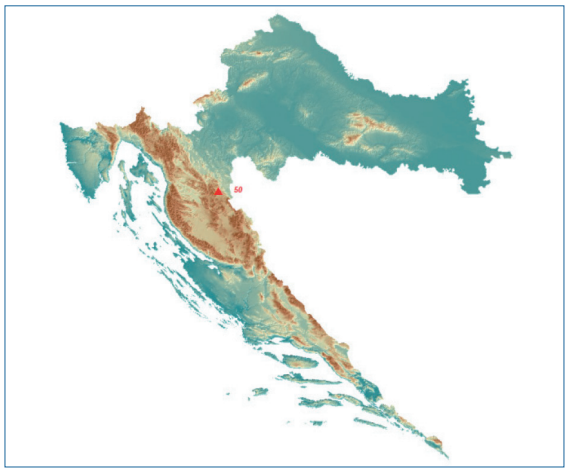


Slika 228: **Fotografija poslije obnove**



Slika 229: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.58. Točka 50 PLITVICE



Slika 230: **DMR s prikazom GPS 50**

GPS 1.red

Točka se nalazi u naselju Plitvica Selo.

Točka je obnovljena (na podzemni centar) 2016. god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 44°54´04.98¨$ $\lambda = 15°36´29.76¨$

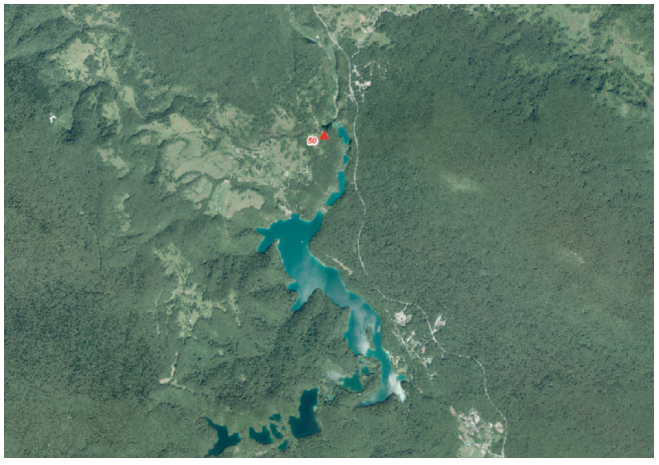
GNSS kampanje: CROREF96.



Slika 231: **Fotografija prije obnove**

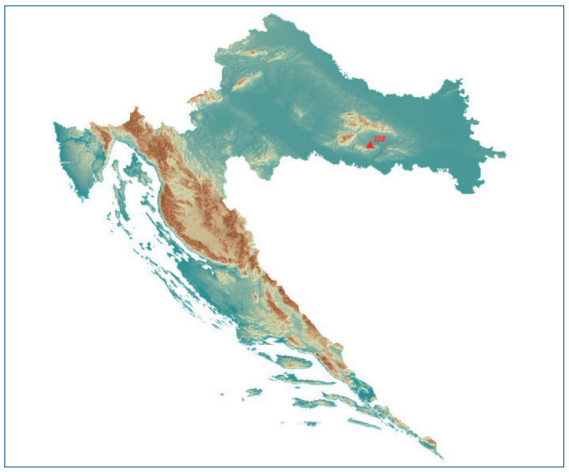


Slika 232: **Fotografija poslije obnove**



Slika 233: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.59. Točka 328 POŽEGA



Slika 234: **DMR s prikazom GPS 328**

GPS 2.red

Točka se nalazi na Trgu Svetog Trojstva u Požegi.

Točka je obnovljena (na podzemni centar) 2016. god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

$\varphi = 45°19´51.71¨$ $\lambda = 17°40´33.24¨$

GNSS kampanje: CRO10x10.



Slika 235: **Fotografija prije obnove**

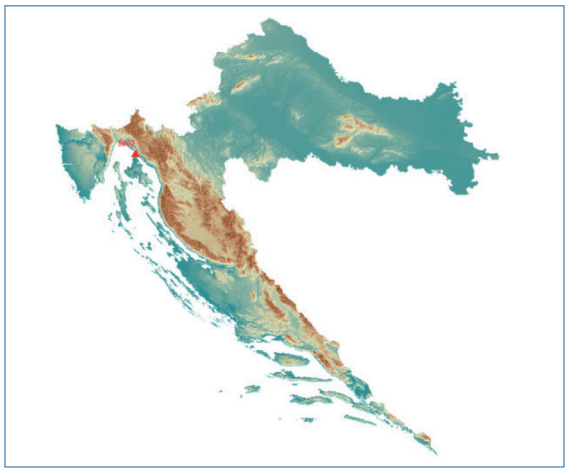


Slika 236: **Fotografija poslije obnove**



Slika 237: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.60. Točka 5002 BAKAR



Slika 238: **DMR s prikazom GPS 5002**

GPS 1.red

Točka se nalazi u naselju Šmrika.

Točka je obnovljena 2017.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 45°15´19.60¨ λ = 14°35´09.27¨ H = 137.7 m

GNSS kampanje: CRODYN94, CRODYN98, CROREF96, EUVN97, CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 239: **Fotografija prije obnove**

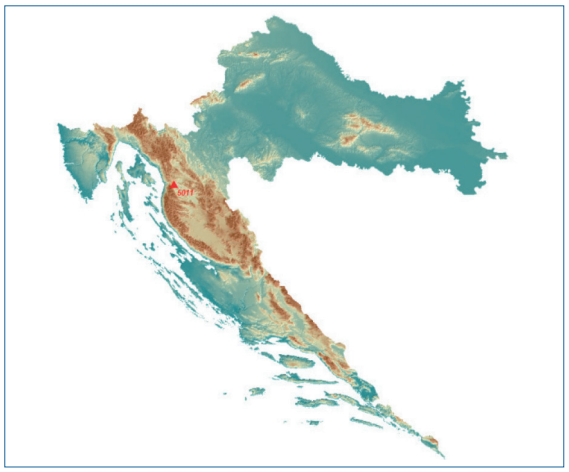


Slika 240: **Fotografija poslije obnove**



Slika 241: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.61. Točka 5011 ŽUTA LOKVA



Slika 242: **DMR s prikazom GPS 5011**

GPS 1.red

Točka se nalazi u naselju Žuta Lokva.

Točka je obnovljena 2017.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

φ = 44°58´09.78¨ λ = 15°03´43.92¨ H = 488.7 m

GNSS kampanje: CRODYN94, CRODYN96, CRODYN98, CROREF96, EUVN05, CRODYN 2005, CRODYN 2013.



Slika 243: **Fotografija prije obnove**

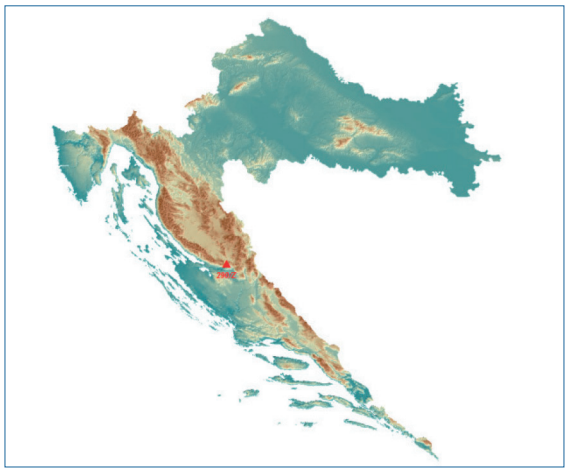


Slika 244: **Fotografija poslije obnove**



Slika 245: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

2.62. Točka 290/Z CRNOPAC



Slika 246: **DMR s prikazom TT 290/Z**

TT 1.red

Točka se nalazi na vrhu Veliki Crnopac na južnom Velebitu.

Točka je obnovljena 2017.god.

HTRS96 koordinate i HVRS71 visina:

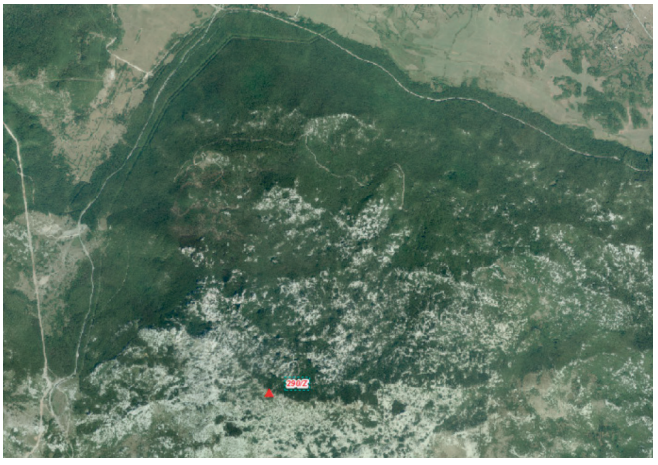
$\varphi = 44°15´07.32¨ \quad \lambda = 15°50´11.61¨ \quad H = 1402.9$ m



Slika 247: **Fotografija prije obnove**



Slika 248: **Fotografija poslije obnove**



Slika 249: **DOF 5000 u mjerilu 1: 25000**

3. Zaključak

Projekt obnove trigonometrijskih točaka I. reda pokrenut 2006. godine jedan je od značajnijih projekata osnovnih geodetskih radova kojim je zaustavljeno propadanje te osigurana dugoročna trajnost, stabilnost i kvaliteta točaka koje čine službeni hrvatski referentni sustav HTRS96. Projekt obnove točaka nastaviti će se i u budućnosti sukladno planu obnove i dinamikom koja ovisi o raspoloživim financijskim sredstvima.

RENEWAL OF THE REFERENCE NETWORK OF THE REPUBLIC OF CROATIA

Abstract: The project of the reconstruction of the trigonometric points of the 1st order started in 2006 and in the period until 2018, 62 points of the reference network of the Republic of Croatia or the trigonometric point I. order and reference GPS network were renovated. The aim of the renovation was to improve the overall stability and quality of the points as well as their appearance and to ensure the durability of the points while preserving the mark on the upper surface of the point defining the position and related to the coordinates of the point.

Keywords: reference network, reconstruction of points, EUREF, HTRS96.