

# **ZBORNIK RADOVA**

## **3. CROPOS KONFERENCIJE**

Opatija, listopad 2013.

---

---

**Izdavači:**

Državna geodetska uprava, Gruška 20, HR-10000 Zagreb  
Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb  
Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Ul. Grada Vukovara 271/II, HR-10000 Zagreb

**Urednici:**

prof. dr. sc. Tomislav Bašić  
dr. sc. Marijan Marjanović

**Tehnički urednik:**

mr. sc. Margareta Premužić

**Organizacijski odbor:**

prof. dr. sc. Tomislav Bašić, predsjednik  
Olga Bjelotomić, dipl. ing. geod.  
Vladimir Krupa, dipl. ing. geod.  
mr. sc. Ivan Landek  
dr. sc. Marijan Marjanović

**Znanstveno-stručni odbor:**

prof. dr. sc. Tomislav Bašić, predsjednik  
dr. sc. Marijan Marjanović  
dr. sc. Danko Markovinović  
doc. dr. sc. Ivana Racetin  
doc. dr. sc. Milan Rezo

**Grafički dizajn, priprema za tisk i tisk:**

ITD -Gaudeamus d.o.o.  
Mediaprint-tiskara Hrastić d.o.o.

**Naklada:**

900 primjeraka

---

# Sadržaj

## Otvorenje i pozvana predavanja

T. Bašić: Uvodno o 3. CROPOS konferenciji	6
D. Markovinović: CROPOS sustav - podrška gospodarstvu i ekonomskom razvoju u Republici Hrvatskoj	8
E. Brockmann: Monitoring of Permanent GNSS Networks as Base for Modern National Reference Frames	9
A. Kenyeres: European Integration of the Dense National Active GNSS Networks	13

## CROPOS - jučer, danas, sutra

M. Marjanović: CROPOS – status i razvoj sustava	16
N. Solarić, M. Solarić: Moguća primjena CROPOS-a i za najavu većeg potresa	21
O. Karahayit: Modern Geodetic Solutions for Automated Observation	29
M. Pavasović, M. Marjanović, T. Bašić: Praćenje stabilnosti koordinata CROPOS stanica	36
M. Premužić, D. Kršulović, I. Malović, M. Marjanović: Utjecaj pojačane aktivnosti ionosfere na preciznost i pouzdanost mjerjenja CROPOS sustavom	44

## GNSS mreže u okruženju

P. Braunmüller: GNSSnet.hu, the Hungarian active network - the right choice	54
K. Medved, S Berk, K Bajec: Recent Developments of Spatial Reference System in Slovenia	57
P. Femić: Montepos i jedinstveni model horizontalne transformacije	63
D. Tabučić: FBIHPOS mreža permanentnih GNSS stanica i status njene primjene	64
S. Naod, S Grekulović, V. Vasilić, O. Odalović, D. Blagojević: Terrestrial reference frame of Serbia and its temporal rate	70
S. Trpeski, S. Dimeski, Z. Lekoski: MAKPOS – Network of Permanent GNSS Stations in the Republic of Macedonia	77
M. Meha, M. Čaka, R. Murati: Analysis of KOPOS in the Testing Phase	82

A. Mihaljević, M. Kapustić, I. Kušan, I. Meštirović: Usporedba poslovnih modela permanentnih GNSS mreža u okruženju Hrvatske (Austrija, Slovenija, Mađarska, Srbija, Crna Gora i Hrvatska) 89

### Praktična primjena CROPOS sustava

G. Toplek, D. Bilajbegović, M. Štimac, F. Ambroš: Mobilni Internet u funkciji CROPOS-a i povećanju geodetske produktivnosti 97

M. Krkač, S. Mihalić Arbanas, Ž. Arbanas, N. Smolčak, K. Špehar, S. Bernat: Primjena rezultata praćenja permanentne GNSS mreže u modeliranju klizišta na primjeru klizišta Kostanjek u Zagrebu 103

M. Baučić, S. Mihalić Arbanas, M. Krkač: Geografski informacijski sustav klizišta Kostanjek: integracija podataka GNSS sustava praćenja pomaka u stvarnom vremenu s podacima drugih mjernih uređaja 111

I. Grgac, M. Katavić, M. Pavasović, O. Bjelotomić, M. Pejaković, M. Varga, M. Grgić, T. Bašić: Usporedba visina određenih CROPOS VPPS servisom i geometrijskim nivelmanom u realnom polju ubrzanja sile teže 118

M. Grgić, M. Pavasović, O. Bjelotomić, M. Pejaković, M. Varga, T. Bašić: Primjena Trimble xFill sustava za augmentaciju globalnih navigacijskih sustava 126

Ž. Hećimović, M. Grgić, M. Pejaković: Referentni sustavi s obzirom na usluge prostornih podataka 133

I. Jakopec, D. Šugar, Ž. Bačić: Ispitivanje točnosti VPPS usluge CROPOS-a 141

D. Šantek: Ispitivanje CROPOS sustava 150

I. Šarić, Ž. Bačić: Utjecaj udaljenosti permanentnih stanica BiHPOS i CROPOS mreža na točnost statičkog GNSS mjerjenja 158

M. Zrinjski, Đ. Barković, L. Vuljić: Ispitivanje preciznosti GNSS RTK mjernih sustava prema normi ISO 17123-8:2007 primjenom CROPOS-a 166

# Otvorenje i pozvana predavanja

**T. Bašić**

Uvodna riječ

**D. Markovinović**

CROPOS sustav – podrška gospodarstvu i ekonomskom razvoju u Republici Hrvatskoj

**J. Ihde**

EUREF's Reference System and Positioning Services (samo prezentacija)

**E. Brockmann**

Monitoring of Permanent GNSS Networks as Base for Modern National Reference Frames

**A. Kenyeres**

Densification of EPN Network

## Uvodno o 3. CROPOS konferenciji

Poštovani sudionici 3. CROPOS konferencije, uvaženi čitatelji Zbornika!

Pred vama je Zbornik radova 3. CROPOS konferencije koji ćete vjerujem rado prolistati i pročitati. Radi se dakle o već trećem okupljanju na kojem se razmjenjuju domaća i međunarodna iskustva vezana uz rad i korištenje GNSS permanentnih geodetskih mreža na ovim prostorima, posebno naravno Hrvatskog pozicijskog sustava CROPOS. Red je stoga da se prisjetimo najprije samih početaka.

1. CROPOS konferencija održana je u organizaciji Državne geodetske uprave Republike Hrvatske i Hrvatskog geodetskog društva 8. i 9. lipnja 2009. godine, svega šest mjeseci nakon što je 9. prosinca 2008. godine Državna geodetska uprava pustila u službenu upotrebu CROPOS za 70-tak ovlaštenih tvrtki. Već za vrijeme prve konferencije bilo je preko 200 tvrtki koje su bile licencirane za korištenje CROPOS-a. Sama konferencija je održana u Zagrebu, u hotelu International, a okupila je preko 300 stručnjaka-korisnika i znanstvenika iz Hrvatske i inozemstva. Otvaranju konferencije prisustvovali su predstavnici više ministarstava i središnjih državnih ureda (MZOPUIG, MPRRR, MK, e-Hrvatska), kao i čelnici međunarodnih državnih geodetsko-katastarskih organizacija Njemačke, Mađarske, Slovenije, Srbije, Crne Gore, Bosne i Hercegovine i Kosova.

Programski dio konferencije obuhvatio je 23 znanstveno-stručne prezentacije raspoređene u šest tematskih sesija: *Značaj i primjena permanentnih GNSS mreža, Permanentne GNSS mreže - status i razvoj, Prva iskustva u korištenju CROPOS-a, Prezentacija znanstveno-stručnih projekata DGU, Hrvatskog geodetskog instituta i Geodetskog fakulteta, Prezentacije proizvođača*

*GNSS mjerne opreme, Novosti te nastavne aktivnosti DGU značajne za primjenu CROPOS-a*. Sve su sesije bile izuzetno dobro posjećene i izazvale su veliko zanimanje, a i povratne informacije od strane sudionika ukazivale su na vrlo dobro pripremljen i odrađen skup. Na kraju prvog dana konferencije upriličeno je svečano potpisivanje Dogovora o razmjeni podataka pograničnih stanica s Crnom Gorom, Republikom Mađarskom i Republikom Slovenijom, sa svrhom poboljšanja pouzdanosti i točnosti podataka u pograničnim dijelovima država potpisnica, što je uobičajena praksa između svih europskih država koje imaju uspostavljene permanentne GNSS-mreže. Zbog velikog interesa sudionika već tada je odlučeno da se može najaviti održavanje sljedeće konferencije za dvije godine.

2. CROPOS konferencija održana je za preko 400 sudionika iz Hrvatske i inozemstva na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 8. travnja 2011. godine. Organizatori su bili Državna geodetska uprava i Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu u suradnji s Hrvatskom komorom ovlaštenih inženjera geodezije i Hrvatskim geodetskim društvom. Konferenciju je svečano otvorio ministar zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, u prisustvu visokih predstavnika domaćih i međunarodnih državnih institucija susjednih zemalja (Mađarskog instituta za geodeziju, kartografiju i daljinska istraživanja - FÖMI, Uprave za nekretnine Crne Gore, Geodetske uprave Republike Slovenije, Republičke uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove Republike Srpske te Federalne uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove Federacije Bosne i Hercegovine).

U međuvremenu je CROPOS postao nezaobilazan pozicijski servis u obavljanju sva-

kodnevnih poslovnih zadaća unutar hrvatskog geodetsko-katastarskog sustava i šire. Razlog tome je prije svega visoka pouzdanost i kvaliteta usluga koje omogućavaju korisniku jednostavnije i ekonomičnije obavljanje terenskih mjerena. Broj registriranih korisnika do kraja ožujka 2011. godine dosegao je brojku od 348 tvrtki. Ukupno je izdano 897 licencija za korištenje tri CROPOS servisa: DPS, VPPS i GPPS. Najveći broj licencija (478) dodijeljen je za VPPS servis, što je vidljivo i iz činjenice da je on korišten i do 8.000 sati mjesečno. Uz to, CROPOS sustav je nadograđen novom VPPS on-line transformacijskom uslugom CROPOS\_VRS\_HTRS96/TM koja omogućuje mjerena u novim službenim geodetskim referentnim sustavima (datumima), a koja je puštena u uporabu 3. siječnja 2011. godine. Za ljeto iste godine najavljena je i druga VPPS on-line transformacijska usluga CROPOS\_VRS\_HDKS u koju je implementiran novi jedinstveni transformacijski model za efikasno povezivanje starih i novih prostornih podataka.

U programu druge konferencije prezentirano je 17 znanstveno-stručnih prezentacija koje su bile svrstane u *Uvodna predavanja i Pozvana predavanja*, među kojima se ističu prezentacije Carine Bruyninx (Royal Observatory of Belgium), Bojana Stopara (Fakulteta za gradbeništvo in geodeziju, Ljubljana), Ane Karabatić (Institut für Geodäsie und Geophysik, Wien) i Volkera Wegenera (Trimble Germany), kao i prezentacije održane u okviru sljedeće dvije sesije: *Permanentne GNSS mreže i datumske transformacije te Praktična primjena CROPOS-a – Iskustva korisnika*. Glavni cilj druge konferencije bio je upoznavanje geodetske i šire javnosti s implementacijom novih službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija Republike Hrvatske, te uvođenje i primjena jedinstvenog transfor-

macijskog modela T7D, čime se korisnicima omogućuje još jednostavnije i učinkovitije obavljanje svakodnevnih zadaća. Na taj je način krug korisnika sustava bitno proširen na sve više subjekata geodetsko-katastarskog sustava, ali i na druga tijela državne uprave, javna poduzeća, gospodarstvo i cjeplokupnu javnost, pogotovo što je u tom trenutku uz 30 hrvatskih GNSS stanica u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara bilo uključeno i sedam slovenskih, četiri mađarske i dvije crnogorske stanice.

Daljnji napredak u primjeni i koristi CROPOS-a za Hrvatsku više je nego evidentan upravo danas, kada održavamo 3. CROPOS konferenciju, jer je broj licenciranih tvrtki već premašio brojku 600 (!), a ima dana kada po terenu diljem Hrvatske „šeće“ preko 800 rovera (!). To su doista velike brojke za jednu državu kao što je Hrvatska. Po pitanju programa trećeg skupa ne sumnjam da će stručnjaci, korisnici sustava, u okviru *Uvodnih predavanja i Pozvanih predavanja*, s vrlo uvaženim međunarodnim i domaćim predavačima, kao i sesija u nastavku: *CROPOS – jučer, danas, sutra*, zatim *GNSS mreže u okruženju i Praktična primjena CROPOS-a – iskustva korisnika*, s velikim interesom i zadovoljstvom poslušati odnosno u Zborniku pročitati članke za preko 25 prijavljenih predavanja. Stoga ne sumnjam da će se tradicija održavanja CROPOS konferencija nastaviti i na četvrtoj 2015. godine, za čiju pripremu očekujemo od vas povratnu informaciju o koristi i uspješnosti ove kao i prijedloge da ista bude još bolja i uspješnija.

Zagreb, 24. listopada 2013.

prof. dr. sc. Tomislav Bašić  
predsjednik Organizacijskog odbora

# CROPOS sustav - podrška gospodarstvu i ekonomskom razvoju u Republici Hrvatskoj

Danko Markovinović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Gruška 20, Zagreb , danko.markovinovic@dgu.hr

U europskim i svjetskim razmjerima jedan od glavnih čimbenika podrške razvoja gospodarstva na gotovo svim razinama je pouzdana i precizna GNSS (Global Navigation Satellite System) tehnologija. Do sada se u GNSS industriji na svjetskoj razini bilježi promet od preko 100 bilijuna \$.

Od uspostave CROPOS (CROatian POrtation System) sustava, jednog od glavnih servisa Državne geodetske uprave, pa do danas u Republici Hrvatskoj se ostvaruje permanentni porast korisnika i prometa podataka, prvenstveno u smislu mjerjenja i evidentiranja promjena u geoprostoru. Svakodnevno se brzo, pouzdano i efikasno prikuplja veliki broj 3D podataka za koje su zainteresirani kako privatni tako i javni sektor, a pri čemu glavnu ulogu imaju geodetski stručnjaci.

Tako dobiveni geoprostorni podaci su osnova za katastarska postupanja, fotografmetrijske procese, proizvodnju kartografskih prikaza, evidentiranje infrastrukture, rješavanje imovinsko-pravnih poslova, te za sve ostale geodetske radove. Važno je napomenuti da je upravo CROPOS pružio veliku podršku u obliku tehnološkog alata

pri još uvijek aktualnoj provedbi Zakona o postupanju s nezakonito izgrađenim zgradama. Samo u prvoj polovici 2013. godine zabilježen je promet GNSS podataka jednak cjelokupnom godišnjem prometu pretходne godine. Analiza finansijske održivosti CROPOS-a potvrđuje njegovu samoodrživost pri čemu prihodi od licenci i GNSS prometa ostvaruju dodatnu vrijednost financijskom proračunu Republike Hrvatske.

Prostor za poboljšanje se nalazi u pojačavanju i širenju CROPOS-marketa, što je jedan od idućih koraka Državne geodetske uprave. Također, tendencija CROPOS-a je proširiti se i na nove korisnike iz sektora poljoprivrede, komunalnog i javnog sektora, građevine ali i znanstvenog područja, koji bi uporabom ovog sustava povećali uštedu, konkurentnost, te ostvarili rast poslovanja. U dosadašnjoj praksi, stopa povrata uloženog novca pri korištenju CROPOS-a multiplicirana je čak nekoliko puta. Stabilnost i pouzdanost CROPOS sustava, te njegovo planirano buduće proširenje, predstavlja siguran oslonac provedbi širokog područja poslovnih procesa Državne geodetske uprave u svrhu podrške i održivosti gospodarskog razvoja Republike Hrvatske.

# Monitoring of Permanent GNSS Networks as Base for Modern National Reference Frames

Elmar Brockmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Swiss Federal Office of Topography swisstopo, Wabern, Switzerland, elmar.brockmann@swisstopo.ch

The Federal Office of Topography swisstopo is responsible for the maintenance of the coordinate reference frames in Switzerland. Since 1998 swisstopo has been operating the Automated GPS Network of Switzerland (AGNES) which presently consists of 30 permanent GPS stations and serves different applications such as reference



Figure 1. The Swiss Permanent Network AGNES nested in the networks of EPN and IGS.

frame maintenance and zenith total delay estimates for numerical weather prediction. Furthermore, the positioning service swipos® has been available for commercial use since 2001. Monitoring the quality of the derived products is essential not only on a short-term, but also on a long-term basis.

For the short-term monitoring different tools, such as an SMS/e-mail messaging system and a web interface, were develo-

ped for monitoring the computers, the data flow, the stability of the coordinates, and the availability and quality of the products. The monitoring of coordinates and zenith total delay estimates are realized using the Bernese GPS Software, as well as with the commercial real-time positioning software from Trimble. Examples for the monitoring are shown, in particular during difficult conditions like, e.g., heavy snow fall.

For the long-term monitoring multi-annual solutions are computed on a weekly basis. These solutions generate time series for all stations and monitor therefore possible station movements in time. Thanks to the long time span of more than 15 years of GNSS observations the Alpine rise can clearly be monitored. Due to the fact that the Swiss Permanent Network is analyzed together with stations of the European Permanent Network EPN the monitoring is perfectly nested in the monitoring activities of EUREF.

As a densification of the permanent network the (passive) Swiss Reference Network LV95 (Landesvermessung 95), consisting of about 200 well monumented markers, is available. It was installed between 1988 and 1995 as the national first network which is completely based on satellite observations to the global positioning system GPS and was re-observed already in 1998, 2004, and 2010. The analysis of these campaigns gives further information of possible movements.

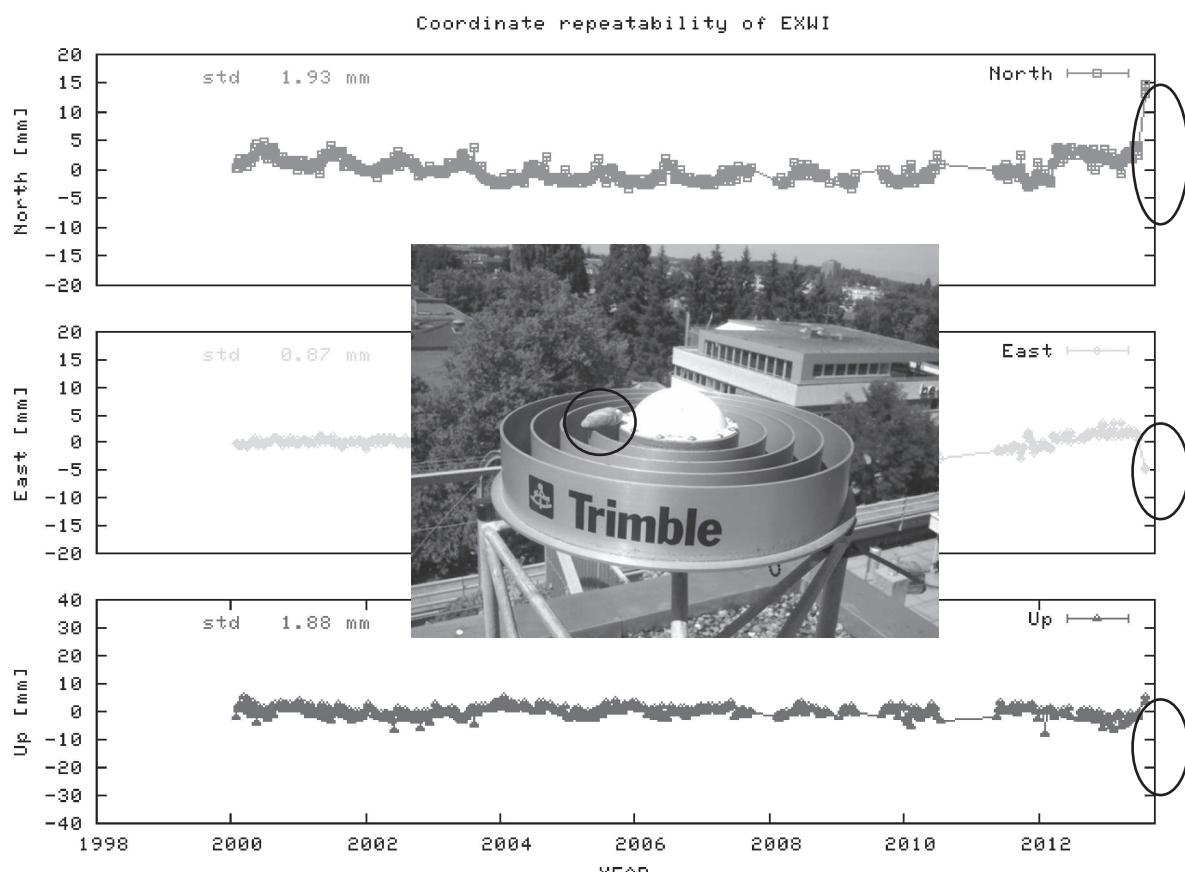


Figure 2. Outlier detected due to a stone on the antenna (Station EXWI).

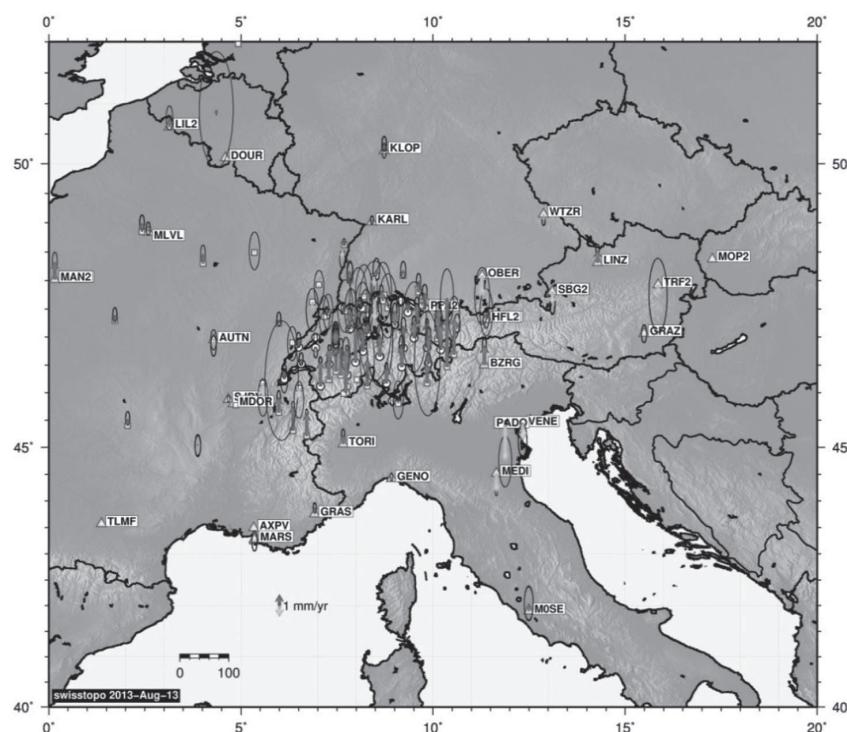


Figure 3. Alpine rising determined by GNSS.

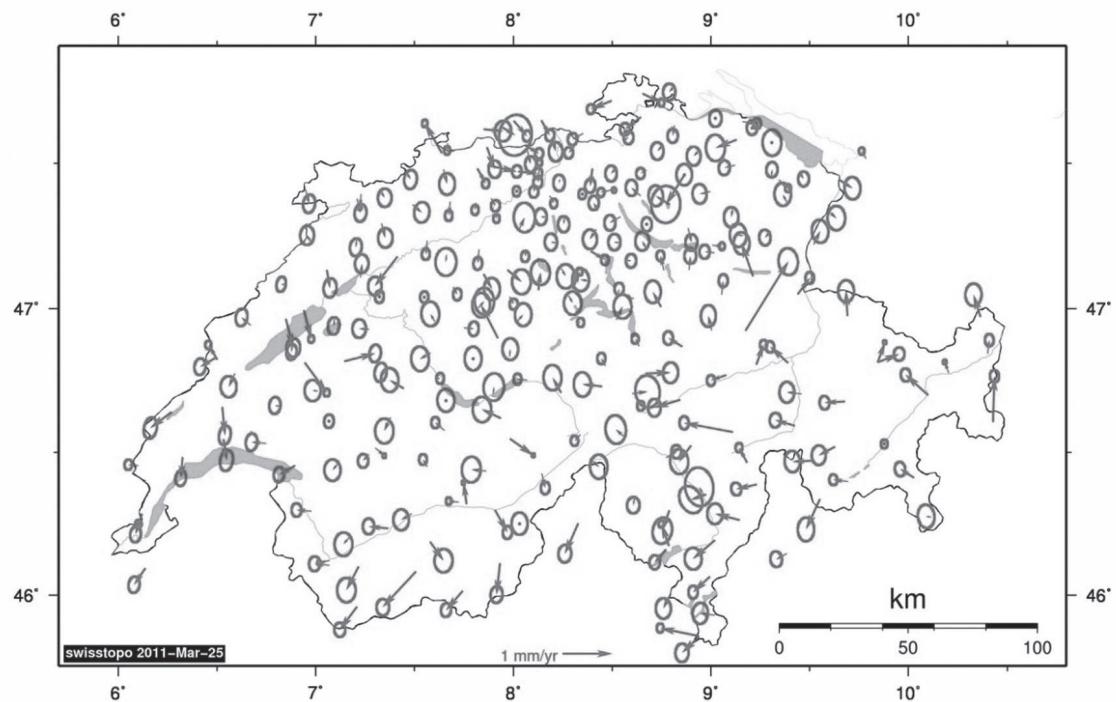


Figure 4. Horizontal velocities determined from the campaign measurements of the first order network LV95.

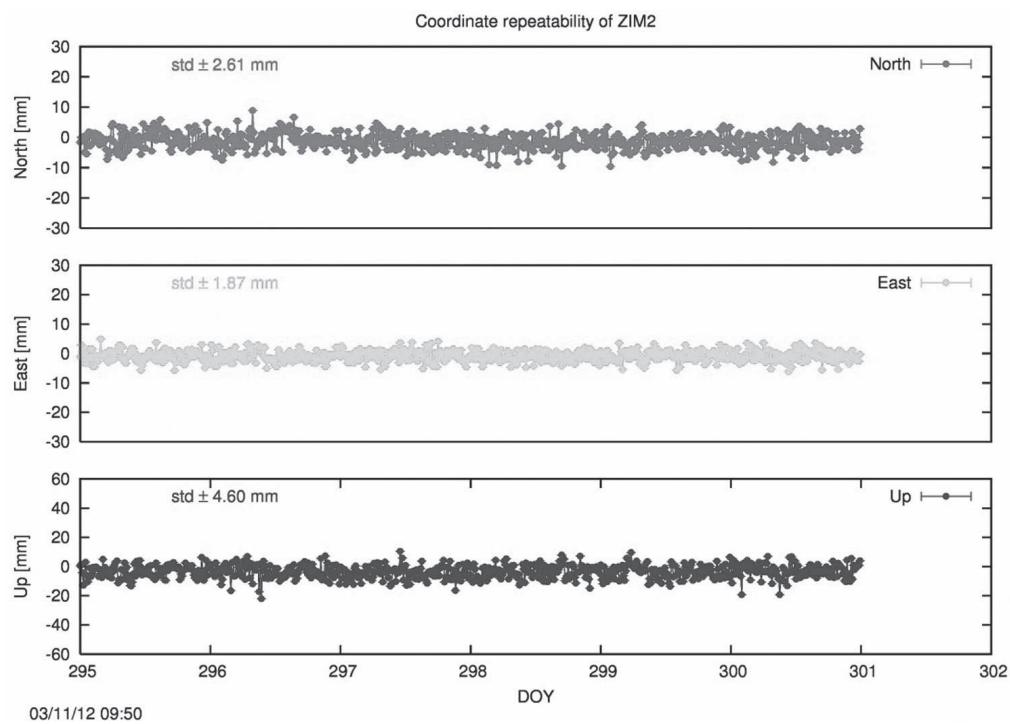


Figure 5. Analysis of double station baselines ZIM2-ZIMM: kinematic coordinates (each epoch a coordinate estimation).

Modern technologies and upcoming new satellite systems are important and challenging for the operation of GNSS permanent networks. Due to the fact that the enhancement of the network from GPS to GPS/GLONASS in 2007 was realized in a way that 8 double-stations continued operation, uninterrupted time series covering more than 10 years helped to derive reliable velocity estimates. Furthermore, the double stations allow coordinate monitoring on the extreme short baselines on an even higher level of precision as well as comparisons with the ground truth derived with classical terrestrial measurement techniques.

Enhancing the data flow to the large variety of new signals in space requires changes in the data handling programs and in

the analysis programs and methods. Challenging are also the upcoming positioning methods such as the Precise Point Positioning (PPP) which is suited in real-time as well as in post-processing applications. The method works globally, allows computing an extreme large number of stations simultaneously, benefits from the recently started real-time service of the International GNSS Service IGS, and is under investigations by many institutions. The refinement of models used in the analysis of the GNSS observations is another important topic which leads to more consistent time series if complete data archives are reprocessed using the most recent products of IGS and the most recent analysis software using the most precise analysis models.

# European Integration of the Dense National Active GNSS Networks

Ambrus Kenyeres<sup>1</sup>

<sup>1</sup> EPN reference Frame Coordinator, FÖMI Satellite Geodetic Observatory, H-1585 Budapest, POB 585, kenyeres@sgo.fomi.hu



Figure 1. The permanent GNSS sites available for the densification program as of August 2013

The national permanent GNSS networks are becoming essential not only at serving the general surveying practice in real-time mode, but those may be deployed at the long-term reference frame maintenance and geodynamic studies relying on their homogeneously analyzed data. Using the EPN as backbone infrastructure, the weekly SINEX products of the national active networks can be integrated and a homo-

geneous, dense position and velocity product can be derived. Our previous analysis performed in the frame of the IAG Working Group on "Dense Velocity Fields" already indicated that the only way to get a uniform, homogeneous cumulative solution on the continental and global scales is the integration done on the weekly SINEX product level in order to minimize the inconsistencies. At this procedure the **weekly**

**national SINEX solutions** are merged to the EPN weekly SINEX product used as reference. The integration is being done with the CATREF software using the Minimum Constraint approach. Before the creation of the integrated cumulative solution several quality and homogeneity tests (strategies, models, naming, data availability, site stability, weighting) are being performed.

The integration of the national dense permanent networks has been started in 2009 in the frame of the EUPOS Combination Centre with the participation of 5 countries. In 2011 at the EUREF2011 symposium a resolution has been accepted, which asked ALL EUREF member states to support this integration, and to extend the program to the whole continent. As of September 2013 **18 countries** are participating and the number of **included permanent stations exceeds 1500!**

The main product of the program will be a homogeneous position and velocity solution, fully consistent with the EPN products.

The use of the products are manifold and all participants will benefit from them:

1. the position solution can be used by the countries **to validate their ETRS89 realization**, or even they can use it immediately according their national needs;
2. the dense velocity field product will be the input for the creation of a continental-scale velocity model. This model will be used in the future for an **upgraded definition of ETRS89**, where the long term definition of an ETRS89 realization can be established taking the time variable coordinates into account. This feature will be relevant in countries outside the „stable part of Europe“, where the current ETRS89 definition is valid for a limited period of time only. Those regions comprises Fennoscandia, but mainly relevant near the Mediterranean, e.g. around the Adriatic.
3. The velocity field and the derived

velocity model will be essential input for large scale tectonic investigations, where the homogeneous reference frame is essential.

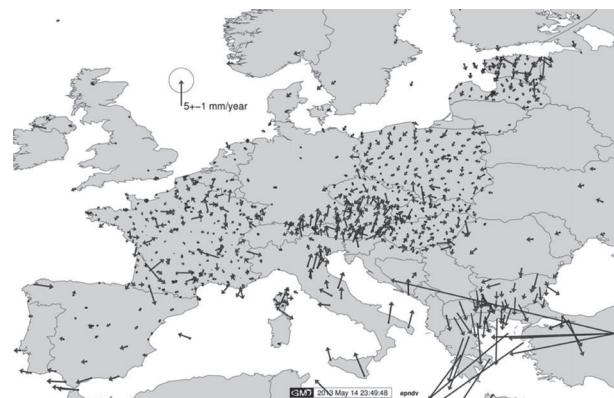


Figure 2. The 2D velocity estimate from the integration (status May 2013)

The ongoing EPN densification program - managed by the EPN Reference Frame Coordinator - is one of the leading activity of EUREF for the next few years. In order to cover the greatest part of the continent **all European countries are cordially invited to make their weekly GNSS SINEX solutions available.**

# CROPOS – jučer, danas, sutra

**M. Marjanović**

CROPOS – status i razvoj sustava

**N. Solarić, M. Solarić**

Moguća primjena CROPOS-a i za najavu potresa

**O. Karahayit**

Modern geodetic solutions for automated observation

**M. Pavasović, M. Marjanović, T. Bašić**

Praćenje stabilnosti koordinata CROPOS stanica

**M. Premužić, D. Kršulović, I. Malović, M. Marjanović**

Utjecaj pojačane aktivnosti ionosfere na preciznost i pouzdanost mjerjenja CROPOS sustavom

# CROPOS – status i razvoj sustava

Marijan Marjanović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Republika Hrvatska, marijan.marjanovic@dgu.hr

## Sažetak:

Tijekom proteklog razdoblja od gotovo pet godina, Državna geodetska uprava sustavno je ulagala napore u održavanje, razvoj i nadogradnju CROPOS sustava kako bi se osigurala pouzdanost rada sustava, ali i pružanje novih usluga korisnicima. Također se kontinuirano ulagalo u opremu kako bi kontrolni centar i referentne stanice besprijekorno radile. U cilju osiguravanja bolje pokrivenosti graničnog područja Republike Hrvatske te povećanja pouzdanosti rada sustava u slučaju neplaniranog prekida rada pojedine referentne stanice CROPOS sustava, uz 30 hrvatskih GNSS stanica u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara uključeno je na temelju potpisanih sporazuma o razmjeni podataka pograničnih referentnih stanica sa susjednim zemljama Republikom Slovenijom, Mađarskom i Republikom Crnom Gorom u umreženo rješenje ukupno 43 referentne stanice, do kraja 2013. godine planira se uspostavljanje razmjene podataka s Bosnom i Hercegovinom, a tijekom 2014. godine i s Republikom Srbijom. Rezultat stalnog praćenja rada sustava i vođenja brige o sustavu je osiguranje dostupnosti sustava koja je od uspostavljanja sustava do danas veća od 99.9%. Broj korisnika sustava stalno raste te je do kolovoza 2013. godine registrirano 607 turtki s ukupno 883 korisničkih imena za VPPS uslugu tj. primjenu RTK metode mjerjenja u realnom vremenu.

**Ključne riječi:**  
**CROPOS, korištenje**  
**sustava,**  
**dostupnost**  
**sustava,**  
**EUREF/EPN**

## 1. CROPOS – hrvatski pozicijski sustav

CROPOS sustav je državna mreža referentnih GNSS stanica koja omogućuje primjenu modernih metoda mjerjenja i tehnologije u svakodnevnom radu geodetskih stručnjaka u Republici Hrvatskoj (Slika 1). Primjena CROPOS sustava osigurava određivanje koordinata točaka na cijelom području države s istom točnošću korištenjem jedinstvenih metoda mjerjenja te je njegovom uspostavom ispunjen jedan od najvažnijih uvjeta za implementaciju novih geodetskih datuma i kartografskih projekcija Republike Hrvatske. Zahvaljujući visokoj tehnološkoj i tehničkoj kvaliteti svih komponenti sustava, ali i svakodnevnom nadzoru i održavanju

sustava, osiguran je pouzdan rad sustava, tako da je dostupnost bila veća od 99.9%. Nakon uspostave CROPOS sustava 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



Slika 1: CROPOS sustav – raspored referentnih GNSS stanica

tijekom obavljanja terenskih mjerena u starom koordinatnom sustavu (HDKS) i novom referentnom terestričkom sustavu (HTRS96) te određivanje nadmorskih visina u starom visinskom sustavu (Trst) i novom referentnom visinskom sustavu (HVR97), razvijen je jedinstveni transformacijski model T7D i novi model geoida HRG2009 (Bašić, 2009) te je CROPOS sustav nadograđen 2011. godine i korisnicima su stavljenе na raspolaganje dvije nove usluge:

- VRS\_HTRS96 (HTRS96/ETRS89 > HTRS96/TM),
- VRS\_HDKS (HTRS96/ETRS89 > HDKS).

## 2. Status i razvoj sustava

Broj GNSS stanica uključenih u računanje mrežnog rješenja CROPOS sustava se je tijekom dosadašnjeg rada sustava povećao s 30 na 43. Naime, kako bi se osigurala bolja pokrivenost graničnog područja Republike Hrvatske te povećala pouzdanost rada sustava u slučaju neplaniranog prekida rada pojedine referentne stanice CROPOS sustava, uz 30 hrvatskih GNSS stanica u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara uključeno je na temelju potpisanih sporazuma o razmjeni podataka pograničnih referentnih stanica sa susjed-

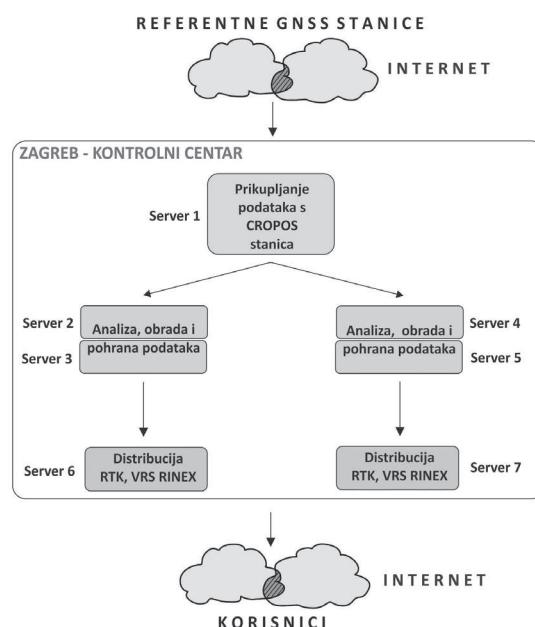
nim zemljama Republikom Slovenijom, Mađarskom i Republikom Crnom Gorom u umreženo rješenje ukupno 43 referentne stanice. Do kraja 2013. godine planiraju se u umreženo rješenje uključiti dvije stanice u Republici Hrvatskoj (Hvar i Dubrovnik) i pet stanica iz Bosne i Hercegovine, a tijekom 2014. godine planira se uključiti stanica postavljena u Novoj Gradiški te nakon potpisivanja Sporazuma o razmjeni podataka i dvije stanice iz Republike Srbije tako da bi broj stanica bio ukupno 53 (Tablica 1).

Broj stanica	GNSS mreža	Napomena
30	CROPOS	2008. godina
41	GNSSnet.hu (4), SIGNAL (7)	2009. godina
43	MONTEPOS (2)	2010. godina
50	CROPOS (2), FBiHPOS (3), SRPOS (2)	Do kraja 2013. godine
53	CROPOS (1), AGROS (2)	Tijekom 2014. godine

Tablica 1 : Broj referentnih GNSS stanica uključenih u CROPOS sustav

U kolovozu 2012. godine obavljena je značajna nadogradnja kontrolnog centra CROPOS sustava u okviru koje je GPS Net upravljački program zamijenjen s Trimble Pivot Platform programom koji ima niz novih opcija koje omogućavaju učinkovitije upravljanje i održavanje rada sustava. Prijelazom na novi upravljački program iskoristene 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 mjerjenja s CRO-

POS stanica tako da u velikoj mjeri postoji redundancija sustava koja osigurava rad sustava u slučaju problema s radom pojedinog servera (Slika 2). Također, broj licenci koje omogućavaju korisnicima istovremeni pristup sustavu i korištenje VPPS usluge tj. primjenu RTK metode mjerjenja u realnom vremenu povećan je s 100 na 169.



Slika 2: Konfiguracija kontrolnog centra CROPOS sustava u Zagrebu

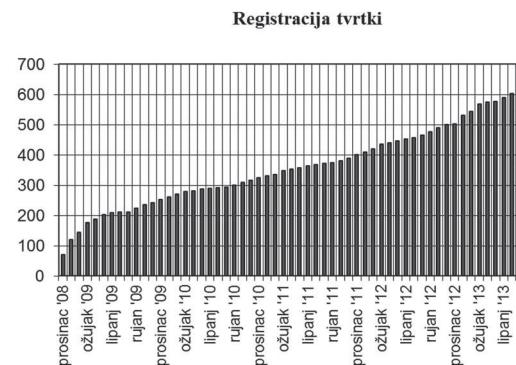
Od lipnja 2013. godine 5 referentnih GNSS stanica CROPOS sustava CAKO (Čakovec), DUB2 (Dubrovnik), PORE (Poreč), POZE (Požega) i ZADA (Zadar) uključeno je u EUREF permanentnu mrežu - EPN. U EPN centrima svakodnevno se provjerava kvaliteta pristiglih GNSS mjerjenja, dostupnost i konzistentnost podatka. Državna geodetska uprava je 2011. god. predložila 5 CROPOS stanica za uključenje u EPN mrežu i nakon razdoblja kontrole i analize podataka mjerjenja kroz godinu i pol dana od strane EPN centara za analizu podataka, svih 5 stanica uspješno je uključeno u europsku permanentnu mrežu.

### 3. Registracija korisnika i korištenje sustava

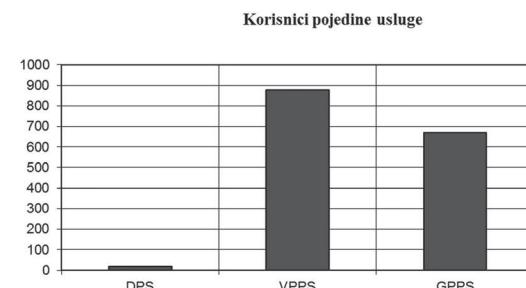
Usluge CROPOS sustava dostupne su registriranim korisnicima koji u tu svrhu podnose zahtjev za registraciju Državnoj geodetskoj upravi. Na temelju podataka u zahtjevu za registraciju, korisnik dobiva za svaku pojedinu uslugu korisničko ime i lozinku pomoću kojih mu je omogućen pristup sustavu. Od puštanja sustava u službenu upotrebu broj korisnika stalno raste.

Od 9. prosinca 2008. godine do 31. kolovoza 2013. godine ukupno je registrirano 607 tvrtki (Slika 3) s 1578 korisnika (Slika 4). Kao što se vidi iz slika 3 i 4, broj registriranih tvrtki i korisnika kontinuirano raste što je pokazatelj da je sustav odlično prihvaćen od strane geodetskih stručnjaka.

S brojem registriranih tvrtki i korisnika stalno se povećava ukupni broj minuta mje-



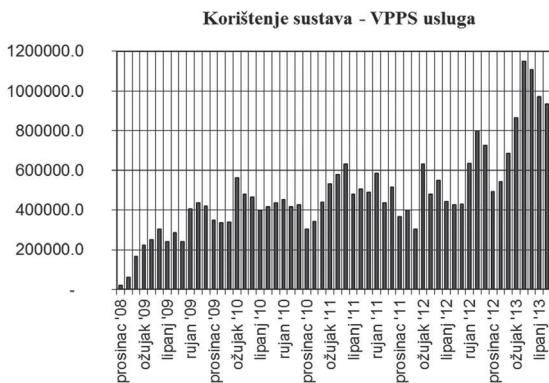
Slika 3: Broj registriranih tvrtki (prosinac 2008 – kolovoz 2013)



Slika 4: Broj korisnika pojedine usluge (prosinac 2008 – kolovoz 2013)

Godina	GPPS usluga (min)	VPPS usluga (min)	Registriranih tvrtki
2008.	1,500	20,000	69
2009.	853,200	3,376,932	184
2010.	398,939	5,024,508	74
2011.	265,343	5,900,299	79
2012.	206,420	6,313,927	104
2013. (1 - 8)	169,666	6,853,307	97
<b>Ukupno:</b>	<b>1,895,068</b>	<b>27,488,973</b>	<b>607</b>

Tablica 2: Ukupno korištenje usluga CROPOS sustava



Slika 5: Korištenje sustava – VPPS usluga (prosinac 2008 – kolovoz 2013)

sečnog korištenja sustava te je tako korištenje VPPS usluge (RTK) u travnju 2013. godine dostiglo 1,148,993 minuta (Slika 5, Tablica 2).

#### 4. Prihod i troškovi održavanja sustava

Ukupni troškovi uspostavljanja CROPOS sustava bili su 11.5 milijuna kuna, a značajan dio sredstava osiguran je u okviru PHARE-2005 programa Europske unije (7.9 milijuna kuna). Samoj izvedbi projekta koja je započela potpisom ugovora 28. studenog 2007. godine prethodilo je više od tri godine planiranja, priprema, izrada tehničkih specifikacija i natječajne dokumentacije što je rezultiralo uspješnim dovršetkom projekta i puštanjem sustava u službenu upotrebu 9. prosinca 2008. godine, gotovo tri tjedna prije roka. Drugi dobitak takvog rada i pristupa je uspostavljanje tehnološki složenog i kvalitetnoj informatičko-komunikacijskoj

Godina	Troškovi održavanja (miliuna kuna)	Prihod (milijuna kuna)
2009.	0,5	1,5
2010.	0,5	1,8
2011.	0,5	2,0
2012.	2,0	2,6
2013. (1.-8.)	1,4	1,8
<b>Ukupno</b>	<b>4,9</b>	<b>9,7</b>

Tablica 3: Prihod i troškovi održavanja sustava

skog sustava te osiguranje održivog rada i razvoja sustava. Naime, da bi se osigurao pouzdan rad sustava potrebno ga je stalno održavati i nadograđivati za što je potrebno osigurati finansijska sredstva odnosno prihode sustava.

Izradi modela plaćanja tj. određivanju naknada za korištenje sustava dana je velika pažnja s ciljem da cijene korištenja sustava budu prihvatljive za korisnike (NN 148/2008) što je i prepoznato od strane korisnika (470 korisnika ima godišnji model plaćanja VPPS usluge, a 413 minutno), ali i ostvarivanja prihoda koji osiguravaju održivost rada sustava (Tablica 3).

Međutim, da bi se osigurala kvaliteta rada sustava bit će potrebna daljnja ulaganja u sustav iz državnog proračuna. Naime, za

dvije godine (2015. godine) biti će potrebno zamijeniti servere CROPOS sustava u kontrolnom centru pošto će održavanje opreme starije od 6 godina biti preskupo i ekonomski neisplativo. Također, zamjenom servera prestala bi podrška usluge pristupa sustavu putem GSM modema (glasovni poziv) zbog velikih troškova održavanja i pružanja te usluge za manje od 10 korisnika.

#### 4. Zaključak

Od puštanja CROPOS sustava u službenu upotrebu 2008. godine teško je i zamisliti obavljanje terenskih mjerena u svakodnevnoj geodetskoj praksi. Državna geodetska uprava je uspostavljanjem sustava dala

značajan doprinos geodetskom, informacijsko-komunikacijskom i gospodarskom razvoju Republike Hrvatske. U svrhu što učinkovitijeg korištenja sustava u svakodnevnom radu i iskorištavanja prednosti koje omogućavaju usluge CROPOS-a potrebno je nastaviti s informiranjem i edukacijom korisnika. Državna geodetska uprava će i dalje s jednakim naporom i zalaganjem osiguravati pouzdanost i stabilnost rada sustava te njegovog unaprjeđenja, kao i što bolju suradnju s CROPOS korisnicima.

#### 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.
- Pravilniku o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka državne izmjere i katastra nekretnina, „Narodne novine“, br. 148/2008.

#### *Abstract:*

*During the period of almost five years, State Geodetic Administration has systematically worked on maintenance, development and upgrade of CROPOS system in order to ensure the reliability of the system and providing new services to users. Also, continually investement in equipment of the control center and the reference stations was carried out. In order to provide better coverage of the Croatian border areas and to increase the reliability of the system in the event of unplanned downtime of CROPOS system reference stations, with 30 Croatian GNSS stations in networked solution and computation of correction parameters the stations of neighboring countries Republic of Slovenia, Hungary and the Republic of Montenegro are included on the basis of signed agreements and in that way a total of 43 reference stations are included in networked solution. By the end of year 2013 the exchange of data with Bosnia and Herzegovina will be establish and in year 2014 with the Republic of Serbia. The result of constant monitoring and maintenance of the system is to ensure the availability of system which is since system establishment better than 99.9%. Number of users is constantly growing and till August 2013 in total 607 companies were registered with total of 883 user names for VPPS service (RTK measurement method in real time).*

**CROPOS  
– status  
and  
system  
develop-  
ment**

**Keywords:**  
**CROPOS,  
system  
usage,  
system  
availabilty,  
EUREF/EPN**

# Moguća primjena CROPOS-a i za najavu većeg potresa

Nikola Solarić<sup>1</sup>, Miljenko Solarić<sup>2</sup> - Zagreb

---

<sup>1</sup> Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska, nikola.solaric@geof.hr

<sup>2</sup> Kozarčev vijenac 1, 10000 Zagreb, Hrvatska, miljenko.solaric@geof.hr

---

## Sažetak:

CROPOS je pozicijski sustav u Hrvatskoj koji koristi GNSS sate-  
lite. On je postigao vrlo visoku točnost i može se rabiti među ostalim  
i u prognoziranju potresa. U Japanu je postavljena mreža od 1200  
GNSS permanentnih stanica, a S. Murai i H. Araki patentirali su  
pronalaženje GNSS signala prije potresa računanjem površina tro-  
kuta u čijim vrhovima se nalaze GNSS stanice. Prethodni GNSS  
signal prije potresa, pronalazili su kad je promjena površine tro-  
kuta u jednom danu bila veća od 3 sigma (grube pogreške mjere-  
nja). Za 162 potresa većih od magnitude 6 stupnjeva po Richteru  
u Japanu dobili su prethodni GNSS signal prije potresa od jed-  
nog do 90 dana. Naime, prije samog potresa postoji tzv. "priprema  
za potres". U časopisu „Geodetska služba“ objavljene su promjene  
duljina stranica u permanentnoj GNSS mreži AGROS, u okoli-  
ći Kraljeva, gdje se dogodio potres magnitude 5,4 stupnjeva po  
Richterovo skali 3.11.2010. Kada smo grafički prikazali promjene  
duljina, vidjelo se da je dva dana prije potresa postojala kompresija  
u terenu, koja je prema mišljenju seizmotektoničara mogla naja-  
viti jači potres. To potvrđuje da bi i CROPOS mreža mogla eventualno  
poslužiti za najavu većeg potresa u okolini Zagreba i u okolini  
nuklearke Krško, kao i na drugim trusnim područjima u Hrvat-  
skoj. U tom slučaju trebalo bi u Zagrebu i okolini postaviti dodatno  
desetak novih GNSS permanentnih stanica s posebno dobrom sta-  
bilizacijom. Na taj način CROPOS bi dobio, osim za čiste geodet-  
ske surhe, još dodatnu funkciju za potrebe geodinamike i eventualnu  
najavu većeg potresa. Za financiranje takovog projekta bila  
bi potrebna dodatna ulaganja što bi se moglo osigurati najvećim  
dijelom iz europskih fondova. Za razliku od Japanaca predlažemo  
da se prethodni GNSS signal prije jačeg potresa određuje iz dnev-  
nih promjena duljina između GNSS stanica i u analizi zajedno sa  
seizmotektoničarima. Na kraju članka opisana su i istraživanja za  
najavu potresa pomoću posebnih umjetnih satelita.

## Ključne riječi:

CROPOS,  
najava potresa,  
permanentna  
GNSS stanica

## 1. Uvod

Državna geodetska uprava Republike Hrvatske postavila je nacionalnu mrežu GNSS permanentnih stanica za realiza-

ciju hrvatskog pozicijskog sustava koji je nazvan CROPOS prema engleskom nazivu Croatian Position System. Njegov zadatak je uz pomoć satelitskih pozicijskih sustava osigurati vrlo visoku točnost određivanja

položaja točaka i to uz što manji utrošak vremena i finansijskih izdataka. U službenu uporabu pušten je 9. prosinca 2008. godine.

Za realizaciju toga, za naše prilike, skupog projekta uspostave mreže GNSS permanentnih stanica u Hrvatskoj pomogla je i Evropska unija osiguravši 75% finansijskih sredstava u okviru programa PHARE 2005 i 25% sredstava iz državnog proračuna Republike Hrvatske. Pored toga u uspostavi CROPOS mreže pomogle su i kolege iz Njemačke, pa među njima i prof. dr. sc. Asim Bilajbegović iz Dresdена. Međutim, tu treba pohvaliti i zalaganje kolega geodeta iz Državne geodetske uprave na čelu s njihovim tadašnjim ravnateljima dipl. ing. B. Gojčetom i prof. dr. sc. Ž. Bačićem, kao i savjetnika dipl.ing. M. Bosiljevca.

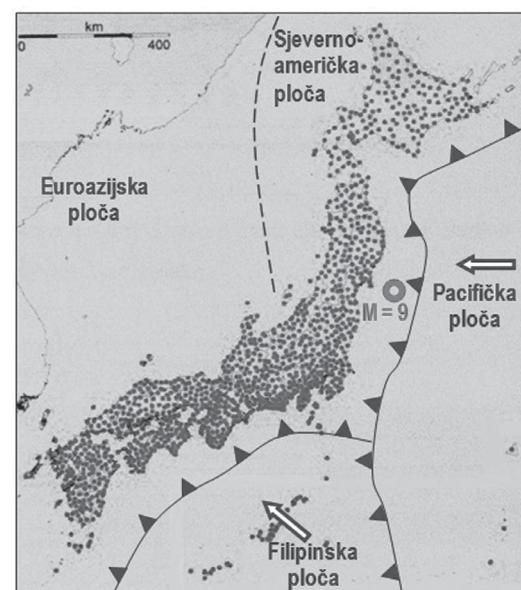
Taj hrvatski pozicijski sustav dokazao se u protekle 4,5 godina kao vrlo uspješan u rješavanju tako reći svih geodetskih zadataka. Za njegov uspješan rad zaslužni su dr. sc. Marijan Marjanović kao voditelj kontrolnog centra mreže GNSS permanentnih stanica i prof. dr. sc. Tomislav Bašić, koji je dao poseban prilog u određivanju visina s GPS-prijamnicima.

Međutim, CROPOS-ov pozicijski sustav može poslužiti osim za potrebe geodetskih određivanja i za druge namjene. Tako na primjer za eventualnu moguću najavu potresa, ali tada treba ostvariti najveću moguću točnost GNSS-mjerenja i obrade podataka mjerenja.

Hrvatska je sigurno vrlo zainteresirana za mogućnost najave potresa, jer je naše područje vrlo aktivno što je vidljivo s Karte potresnih područja R. H. čiji je autor prof. dr. sc. M. Herak (Herak, 2012), a u Zagrebu bio je veliki potres 1880. godine (Prelogović, Cvijanović, 1981), kao i u Dubrovniku 1667. godine.

## 2. GNSS pozicijski sustav u Japanu

Japan se nalazi na tektonski vrlo nestabilnom dijelu Zemljine kore, gdje se sudebruju



Slika 1: Plavom bojom označene su granice Pacifičke, Filipinske, Sjevernoameričke i Euroazijske ploče. Točkice označene crvenom bojom označuju položaje GNSS permanentnih stanica u Japanu uključenih u GSI mrežu. Kružićem je označeno mjesto epicentra potresa Tohoku 11.03.2011.



Slika 2: GNSS – permanentna stanica smještena na stupu visokom 5 m. Na njemu je smještena GNSS antena, GNSS prijamnik, uređaji za napajanje električnom energijom, uređaji za prijenos primljenih radio signala s raznih pozicijskih satelita do kontrolnog računskog centra, zaštita od gromova, ali i zaštita od krađe. Stup je inače postavljen na duboko ukopan temelj. Tako je cijena uspostave GNSS – permanentne stanice vrlo velika.

ploče Zemljine kore: Pacifička, Filipinska, Sjevernoamerička i Euroazijska (Slika 1).

Zato se tamo događaju vrlo česti potresi i to vrlo velike magnitude, te su tako Japanci životno zainteresirani za registriranje pomicanja Zemljine kore i predviđanje potresa. U tom cilju Japanci su 1994. godine započeli s izgradnjom mreže permanentnih GNSS-stanica nazvane GEONET (GPS Earth Observation Network). Brigu o uspostavi mreže preuzeo je GSI (Geographic Survey Institute), te su već 2000. godine imali uspostavljenu mrežu od čak 1200 GNSS - permanentnih stanica (Slika 1).

Tu mrežu nazivaju i GSI mrežom, a razmak između GNSS – permanentnih stanica je 20 km do 50 km. Da bi osuvremenili svoje prijamnike na permanentnim stanicama oni su prije godinu dana sklopili ugovor s kompanijom TRIMBLE za kupovinu 500 novih tipova GNSS prijamnika za njihove permanentne stanice (Slika 2).

Svi skupljeni podaci GNSS mjerjenja u Japanu skupljaju se u njihovom kontrolnom računskom središtu i izračunavaju se srednje dnevne vrijednosti koordinata položaja X, Y i Z njihovih GNSS – permanentnih stanica. Iz tih koordinata za dva susjedna dana mogu se izračunati promjene njihovog položaja. Shunji Murai i Harumi Araki patentirali su 2005. godine da se iz koordinata položaja izračunaju dnevne promjene površina u pojedinim trokutima formiranim između GNSS stanica.

Tako su oni u Japanu formirali 6590 trokuta u različitim kombinacijama između GNSS stanica. U vremenskom periodu od 2000. do 2007. godine svakodnevno su provjeravali njihove površine i da li one prelaze 3 sigma (trostrukog standardnog odstupanja GNSS mjerjenja – grube pogreške mjerjenja). Utvrđili su da je prije 162 potresa u Japanu, veća od 6 stupnjeva po Richterovoj ljestvici, postojao prethodni GNSS-signal koji je najavljuvao potres i to u vremenskom

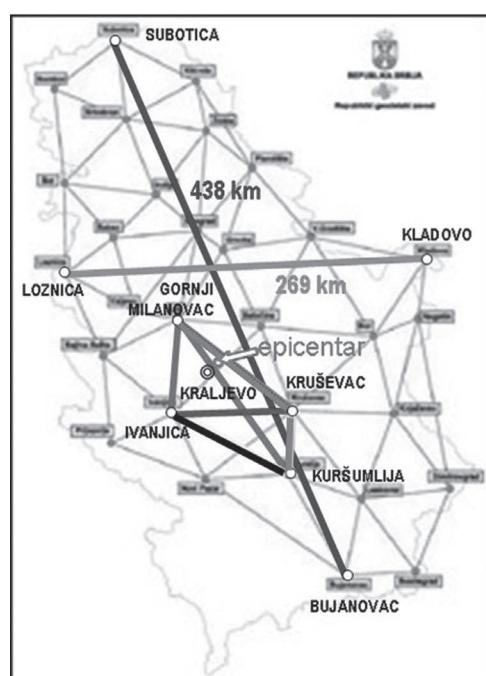
razdoblju od jednog dana do 90 dana.

Osim toga su analizirali GNSS-mjerenja s IGS<sup>1</sup> - stanica za potrese na Sumatri, u Kini, Pakistanu i Kašmiru. Pronašli su da postojali prethodni GNSS-signali 6 do 10 dana prije potresa (Murai i Araki, 2003, 2005, 2006, 2008, 2009; URL 1).

### 3. AGROS-ov pozicijski sustav i potres kod Kraljeva 3. 11. 2010.

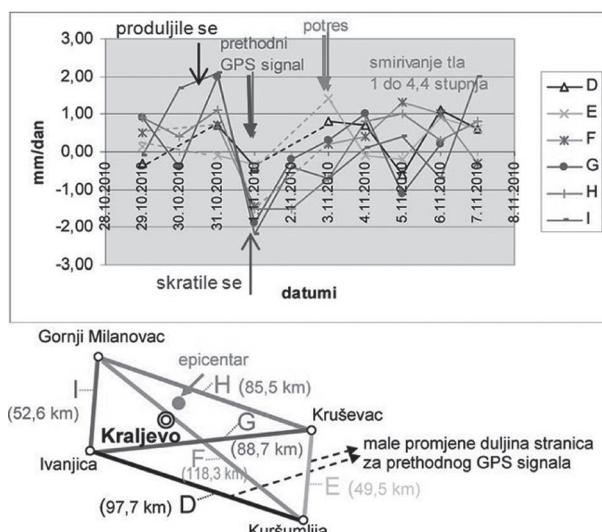
AGROS-ov pozicijski sustav je satelitski pozicijski sustav u Srbiji (Slika 3) potpuno sličan CROPOS-u, a u njihovoj mreži nalazi se također 30 permanentnih GNSS-stanica. Potres u okolini Kraljeva dogodio se 3. 11. 2010., a imao je magnitudu 5,4 stupnjeva po Richterovoj ljestvici i u epicentru izazvao je velika razaranja. Hipocentar potresa bio je u dubini 10 km sjeveroistočno od Kraljeva.

Nakon potresa željelo se analizirati da li su se pomakle GNSS-referentne stanice, te se pomoću Bernese GNSS softvera verzija 5,0



Slika 3: AGROS-ova mreža permanentnih GNSS-stanica.

<sup>1</sup> IGS – International GNSS service



Slika 4: Dnevne promjene duljina stranica u blizini Kraljeva prije i poslije potresa 3.11.2011. godine. Dva dana prije potresa sve su se duljine stranica skratile, naročito stranice u blizini epicentra, došlo je do kompresije u terenu, što je prema mišljenju seizmotektoničara moglo nagovijestiti veći potres (Solarić i Solarić, 2012).

ponovno izračunala duljina pojedinih dugih stranica i kratke duljine u blizini epicentra (Slika 4). Te promjene duljina u mreži AGROS objavljene su u časopisu „Geodetska služba“ (Đalović i Škrnjug, 2011). Kada smo grafički prikazali promjene duljina kratkih stranica blizu Kraljeva, vidjelo se da je dva dana prije potresa postojala kompresija u terenu (Slika 4), koja je prema mišljenju seizmotektoničara mogla najaviti jači potres.

To sve naprijed izloženo dokazuje da bi i CROPOS mreža mogla eventualno pomoći seizmotektoničarima pri proučavanju geodinamike (geokinematike) Zagrebačkog područja i pri ocijeni da li u narednom periodu vremena može doći do velikog potresa u Zagrebu i okolici.

#### 4. Prijedlog da se progusi CROPOS-ova mreža na širem području Zagreba za eventualnu najavu većeg potresa u Zagrebu i njegovoj okolici

Za geokinematička i geodinamička istraživanja, a to znači i predviđanje potresa

potrebna je točnost GNSS-mjerenja od milimetra. Naime, pomaci prije potresa su vrlo mali, budući da su epicentri potresa na dubinama 10 do 300 km. Zato se za obradu GNSS-podataka mora koristiti znanstveni softver BERNESE GNSS s najnovijom verzijom.

Da bi se CROPOS referentne GNSS stanice mogle koristiti i za najavu potresa morat će se ispitati njihova *stabilnost*. Takve referentne GNSS stanice trebalo bi postaviti na čvrste stijene. To je vrlo teško ostvarivo zbog dovođenja struje, telefonske linije, ali i zaštite referentne GNSS stanice od gromova, krađa i oštećenja.

Predlaže se da se CROPOS referentne stanice, koje inače kontinuirano mijere cijeli CROPOS sustav, primjene i za moguću najavu potresa. U tu svrhu trebalo bi postaviti i dodatno desetak permanentnih GNSS stanica u okolini Zagreba s razmakom približno 10 do 20 km.

CROPOS kontrolni centar mogao bi u prvo vrijeme poslužiti za prikupljanje podataka s CROPOS-stanica, ali i dodatnih GNSS stanica iz Zagrebačkog područja, kao i obravnavati podatke s najnovijom verzijom softvera BERNESE GNSS. Poslije će se morati proširiti kapacitet kontrolnog centra, a i ekipno povećati. Pri tome će Kontrolni centar morati podnosići svakodnevna izvješća o promjenama duljina i o tome izvještavati seizmotektoničare.

Otkrića iz fizike za koje su primljene Nobelove nagrade za 2005. i 1997. godinu omogućit će da se u sljedećih približno 5 do 10 godina konstruiraju optički satovi pomoću tzv. frekvencijskog češlja. Ti satovi bit će 1000 puta precizniji od atomskih satova. To će omogućiti veću točnost GNSS mjerena. Zato su perspektive daljnog razvoja te GPS odnosno GNSS metode relativno velike.

Prema kriteriju Japanaca može biti više prethodnih GNSS signala prije potresa. Da

se to ne bi događalo predlažemo da se odluka o tome kada je nastupio prethodni GNSS signal ne donosi automatski nego da to donose seizmotektoničari. Seizmotektoničari znaju gdje se nalaze rasjedi i imaju svoja mjerena na rasjedima, a upoznati su i s ostalim geofizičkim metodama, pa mogu pravilnije donositi odluke.

Seizmotektoničari će morati stići iskustvo na prethodnim potresima koliko velike te kompresije ili dekompresije u terenu moraju biti da bi zaista došlo do potresa. Zato bi bilo dobro još detaljnije analizirati potres u Kraljevu i slične potrese za koje su obavljena mjerena s permanentnim GNSS stanicama, te stići iskustvo.

Iako se ne prognozira točno vrijeme kada će nastupiti potres, nego samo da će do njega doći u sljedećem periodu vremena, puno je već to da se ljudi mogu na vrijeme pripraviti za nastupajuće poteškoće, a nuklearna elektrana se može na vrijeme isključiti.

Kad se ova metoda uhoda u Zagrebu i okolini i na području uz nuklearnu elektranu Krško, gdje je veliki broj stanovnika, može se primijeniti i u ostalim trusnim područjima: Dubrovniku, Splitu i Rijeci, a i u susjednim državama: Sloveniji, Bosni, Makedoniji, Crnoj gori, Srbiji, Italiji i Grčkoj, odnosno svugdje gdje postoje mreže permanentnih referentnih GNSS stanica, koje su slične CROPOS-u.

Vjerojatno bi se mogao dobiti europski projekt za razvoj te metode pomoći GNSS prijamnika zajedno s Italijom, Slovenijom i drugim zainteresiranim zemljama.

Bilo bi dobro da se taj projekt pokrene zajedno s Italijom i Slovenijom uz podršku Grada Zagreba i njihove službe za korištenje europskih fondova i podršku Državne geodetske uprave Republike Hrvatske, te da se dobije i financijska podrška Europske Unije.

I nadalje treba razvijati i ostale geofizičke metode koje mogu pomoći najavi većih potresa kao što su:

- zapisivanje potresa seismografima, - mjerjenja temperature tla, - mjerjenje količine plina radona<sup>2</sup>, - gravimetrijska mjerjenja, - VAN<sup>3</sup> metoda, - satelitski snimci atmosfere Zemlje u infracrvenom području, - satelitska detekcija TEC<sup>4</sup>-om, - projekt TwinSat,

kao i druge metode, da bi se mogao donijeti sigurniji zaključak o tome da li potres zaista dolazi.

Sve te metode imaju svoje nedostatke te se do danas nije ostvarilo predviđanje potresa i pored toga što je u Općoj enciklopediji (Šentija, 1980) predviđano da će se u roku 20 do 30 godina potresi moći prognozirati. To predviđanje nije ostvareno i pored toga što je prošao taj predviđeni rok.

Primjećeno je da često prije potresa na površini Zemlje kroz pukotine u terenu dolazi do pojave veće količine plina radona. Međutim i tu dolazi do pogrešaka u zaključivanju da li potres dolazi, jer postoji obično više pukotina u Zemljinoj kori koje idu najčešće koso prema horizontu terena. Tako je došlo do pogreške i u L'Aquila 6.04.2009. godine. Laborant Gioacchino Giuliani navodno je predvidio potres u L'Aquila mještaju emisiju radona iz Zemlje, ali je optužen kao širitelj panike i bio je prisiljen ukloniti svoja otkrića s Interneta, jer je tjedan dana

<sup>2</sup> Radon – plemeniti plin koji nastaje kao međuproizvod pri radioaktivnom raspadanju urana, torija i aktinija, a sam se radioaktivnim raspadanjem pretvara u odgovarajuće izotope olova. U novije doba količina radona u vodi i atmosferi dovodi se u vezu sa seizmičkom aktivnosti

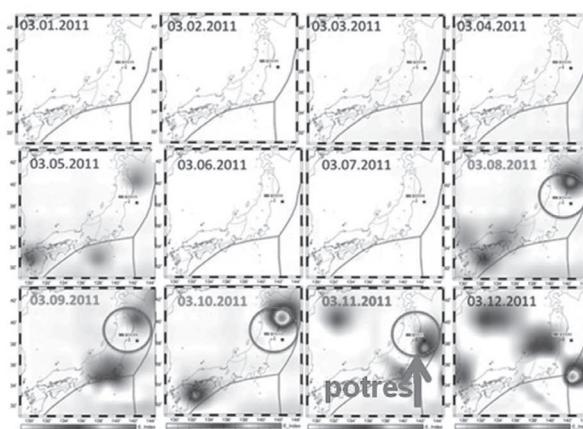
<sup>3</sup> VAN – metoda je metoda Grka P. Varotsosa, C. Alexopoulosa i K. Nomikosau kojoj se pomoći elektroda u rasjedu i zemlji izvan rasjeda mjeri napon između elektroda. Prema tome kako se postavljaju elektrode i koje se električne veličine mijere postoje još metode Enomoto-Hashimoto, Fulnawa-Takahashi, Olke et. al. I Yochimoto

<sup>4</sup> TEC – Total Electron Content (totalna količina elektrona) je važna količina koja opisuje stanje ionosfere

prije pogrešno najavio potres u susjednom mjestu, koji se nije dogodio (URL 4). Međutim, ipak je upozorio svoju obitelj i tako ju spasio.

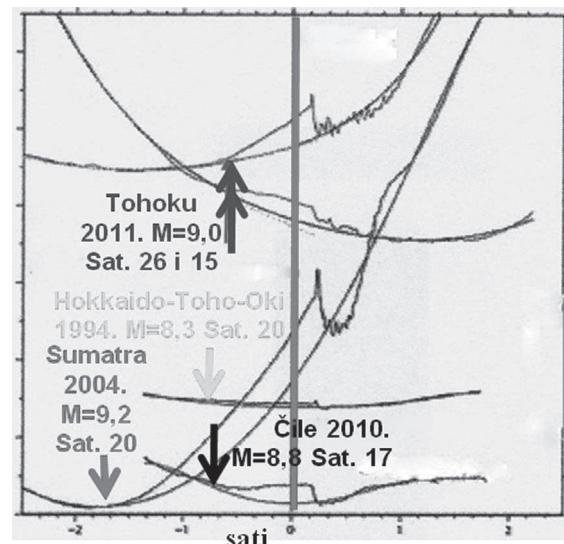
Iz satelita NOAA-15AVHRR snimana je infracrvena emisija atmosfere iznad epicentra prije, za vrijeme i poslije potresa magnitude 9,0 stupnjeva po Richter-ovoј ljestvici u Japanu u Tohoku 11.03.2011. godine. Uočeno je, da je 3 dana prije potresa znatno porasla infracrvena emisija (Slika 5) (URL 2). Međutim, i u tom slučaju može se eventualno donijeti krivi zaključak, jer i toplina izlazi kroz pukotine u Zemljinoj kori.

Isto i kod VAN geofizičke metode, a i drugih geofizičkih metoda može doći do pogrešaka u zaključivanju.



Slika 5: Snimke atmosfere iz satelita NOAA-15AVHRR u infracrvenom području prije, za vrijeme i poslije potresa magnitude 9,0 stupnjeva po Richter-ovoј ljestvici u Japanu u Tohoku 11.03.2011. (URL2)

Iz više satelita mjerena je i TEC - Total electron content (ukupna količina elektrona) u ionosferi prije, za vrijeme i poslije potresa u Tohoku. To je važna količina koja opisuje stanje ionosfere, mjeri se iz satelita, a rasla je približno 40 minuta prije potresa, prema mjerjenjima iz satelita 15 i satelita 26 (Slika 6). Ta količina TEC-a porasla je 40 minuta i prije velikog potresa u Čileu, a 1,5 sati prije velikog potresa u Sumatri (URL 3). Međutim, i tu mogu nastati pogreške, jer



Slika 6: TEC - Total electron content (ukupna količina elektrona) u ionosferi prije, za vrijeme i poslije potresa u Tohoku, Čileu, Sumatri i Hokaidu-Tohoku-Oki (URL 3).

ukupna količina elektrona u atmosferi može ovisiti i o radonu koji izlazi kroz pukotine u Zemljinoj kori, a i o sunčevim olujama.

Rusija i Velika Britanija planiraju projekt TwinSat i predviđaju lansiranje TwinSat-satelita 2015. godine (jednog veličine strog televizora i drugog veličine kutije za cipele). Oni bi trebali pomoći u predviđanju potresa, ali i u predviđanju vulkanskih aktivnosti na Islandu i Kamčatki (URL 5). Kao što se u Zemlji prije potresa nakuplja naprezanje tako se i u gornjim slojevima atmosfere javljaju posebni elektromagnetski signali, istaknuo je profesor Alan Smith, direktor Laboratorija za svemirske znanosti u Londonu. Prema navodu dr. Vitaly Chmyreva pomoću tih elektromagnetskih signala moglo se naslutiti da dolazi veliki potres u Havajima. Do 2018. godine predviđa se lansiranje 15 manjih satelita veličine šake, koji ne bi izazivali velike finansijske izdatke, a koji bi najavljuvali potrese na cijeloj Zemlji (URL 6). Ovaj sustav za najavu potresa i vulkanskih aktivnosti sastojao bi se od:

1. svemirskog segmenta (15 letjelica),
2. zračnog laboratoriјa,
3. mreže geofizičkih stanica u seizmičkim područjima,

4. osnovne infrastrukture za odlučivanje kada treba oglasiti alarm prije potresa.

Taj sustav trebao bi proraditi nakon 2018. godine. U taj sustav za otkrivanje potresa mogla bi se uključiti i GNSS mjerena na terenu.

Zato je najbolje da se GNSS metodom prate promjene dimenzija na površini Zemlje, a seizmotektoničari, na temelju njima poznatih rasjeda, te uzimajući u obzir i ostale geofizičke metode, mogu zaključiti kada je nastupio pravi prethodni GNSS signal prije potresa.

## 5. Zaključak

Potres je složena pojava koja se javlja u nehomogenom sastavu Zemljine kore, zato ga je teško predvidjeti samo na temelju jedne vrste mjerena. To je razlog da ga se treba predviđati na temelju raznih geofizičkih metoda, mjerena iz satelita i GNSS mjerena na terenu, a veliku ulogu u zaključivanju da li dolazi prethodni GNSS signal za potres ili ne imat će seizmotektoničari.

### Literatura:

- Đalović, S., Škrnjug, J. (2011): Analiza promjena duljina baznih linija permanentnih stanica pre i nakon zemljotresa u Kraljevu, Geodetska služba, 114, str. 12–19.
- Herak, M. (2012): Karta potresnih područja R. H. <http://seizkarta.gfz.hr/karta.ptp>
- Murai, S., Araki, H. (2003): Earthquake Prediction Using GPS-A New Method Based on GPS Network Triangles, GIM Volume 17, October 2003.
- Murai, S., Araki, H. (2005): Was early warning of Sumatra earthquake possible? Coordinates, Vol. 1, Issue 2, July 2005, 8-11.
- Murai, S., Araki, H. (2006): Was there any pre-signal of Pakistan earthquake?, Coordinates, Volume 2, Issue 4, April 2006, 6-7.
- Murai, S., Araki, H. (2008): Couldn't we predict the Wenchuan Earthquake with GPSps? Coordinates, Dec 2008.
- Murai, S., Araki, H. (2009): Earthquake Prediction: New Finding, GIM international, Volum 23, Issue 6, June 2009, 18-23.
- Prelogović, E., Cvijanović, D. (1981): Potres na Medvednici 1880. godine, Geološki vjesnik 34, 137-146.
- Solarić, N., Solarić, M. (2012): Prijedlog da se u Zagrebu i okolici uz CROPOS-ove stanice postavi i nekoliko GPS (GNSS)-permanentnih stanica za geodinamiku i moguću najavu većeg potresa u sljedećem vremenskom razdoblju, Geodetski. list 2012, 3, 149–164.
- Šentija, J. (1980): Potres, Opća enciklopedija Jugoslavenskog leksikografskog zavoda, svezak 6, str. 582-583, Zagreb.
- URL 1 : Monitoring of Disaster using Remote Sensing, GIS and GPS, [http://www.management.kochi-tech.ac.jp/PDF/IWPMIWPM\\_Murai.pdf](http://www.management.kochi-tech.ac.jp/PDF/IWPMIWPM_Murai.pdf), (19.02.2012.).
- URL 2: Atmosphere above Japan Heated Rapidly Before M9 Earthquake -Technology review, <http://www.technologyreview.com/view/424033/atmosphere-above-japan-heated-rapidly-before-m9-earthquake/> (19.02.2012.).
- URL 3: Possible earthquake early warning signal discovered, <http://wattsupwiththat.com/2011/10/03/possible-earthquake-early-warning-signal-discovered/> (19.02.2012.).
- URL 4: Potres u L'Aquila 2009., <http://www.google.hr/search?q=potres+l%27aquila+2009+wikipedija+mht&channel=linkdoctor> (19.02.2012.).

- URL 5: Satellite project to predict earthquakes will 'help save lives'  
<http://www.independent.co.uk/news/world/europe/satellite-project-to-predict-earthquakes-will-help-save-lives-2219299.html> (03.08.2013.)
- URL 6: Detection and Monitoring of Earthquake Precursors: TwinSat, a Russia-UK Satellite Project,  
<http://www.ucl.ac.uk/mssl/current-projects/formative-projects/twin-sat/twinsat-details> (03.08.2013.).

**Abstract:**

*CROPOS is the positioning system in the Croatia which is using the GNSS satellites. It has achieved the very high accuracy and it is possible to use also in the forecast of earthquakes. Japan has set up 1200 GNSS permanent stations in the network GEONET. S. Murai and H. Araki have patented the finding of pre GNSS signal before the earthquake computing surfaces of triangles in whose tops there are the GNSS of stations. The pre GNSS signal for the earthquake were located if the change of surface of triangle in the one day were higher than 3 sigma (the serious mistake of measurement). For the 162 earthquakes of higher than magnitudes 6 on the Richter scale in the Japan they have got pre GNSS signals for the earthquakes before the earthquake from one to 90 day. Namely, before an earthquake there is "prepares for the earthquake". In the journal „Geodetska služba“ are published changes of lengths between GNSS permanent stations in network AGROS, in surroundings of Kraljevo, where happens the earthquake of magnitude 5.4 levels on the Richter scale on 03. November 2010. When we have represented graphically changes of lengths from day to day, it is possible see that two day before the earthquake was the compression in the terrain, which by opinion of seismotectonics experts was able indicate for arrival the stronger earthquake. That confirms that CROPOS the network could also serve for the announcement of larger earthquake in surroundings of Zagreb and in surroundings of nuclear power plant Krško, as well as in other seismic areas in the Croatia. In that case it would need in the Zagreb and surroundings set up additionally about ten new GNSS of permanent stations, with the especially good stabilisation. In this way CROPOS would get, except for clean surveying purposes, yet additional function for the purposes of the geodynamics and the possible announcement of larger earthquake. This project is possible additional financing from Europeans Funds. As opposed to Japanese's we propose for determination the pre GNSS signal before the stronger earthquake from the differences daily changes of lengths between the GNSS stations, and in the analysis together with the seismotectonics experts. On the end of paper described also investigations for the announcement of earthquakes using special the artificial satellites.*

**The possible application of CROPOS and for the announcement of larger earthquake**

**Keywords:**  
**announcements of earthquakes, CROPOS, permanent GNSS station**

# Modern Geodetic Solutions for Automated Observation

Onur Karahayit<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trimble Germany GmbH, Am Prime Parc 11, 65479 Raunheim

## **Abstract:**

*Monitoring of large man-made structures such as dams, tunnels, mines, but also natural structures such as land-slide areas are objects of interest. The driver for the interest is nowadays mainly public safety and environmental aspects, but was ever since and will be the interest of engineers. They had and still have to collect, interpret and visualize data in order to analyze the structures' movement; or better to say: Ideally present data that the structure is not moving. In this paper we would like to present modern geodetic solutions for automated observation of such structures and the possibilities to present and visualize the collected data in permanent monitoring solutions.*

## **Introduction**

Monitoring is the process of taking measurements onto a structure over a period of time with the sole purpose of detecting changes in the size, shape or behavior of the structure. The main objects of interests for monitoring can be listed as Dams, Mines, Landslides, Bridges, Tunnels, Steep Slopes and many more. In a monitoring project, one would specifically look for detecting the changes in a structure such as displacement, pressure, temperature, etc. Measuring the rate of change and how fast the rate of change is increasing is as important as measuring the change itself. This information carries utmost information for understanding the trends of the movement thus anticipating the possible danger to the public safety. This way the necessary precautions can be taken in time to warn people.

Every structural monitoring project starts with identifying the structure to be monitored, designing the system, installing the

sensors, setting up the software (Trimble 4D Control), setting up the alarm levels and finally watching the structure for changes.

Two major components of a monitoring project namely; Sensors and Software will be reviewed in the following sections.

## **Sensors**

It is important to keep in mind that every monitoring application is different so the choice of the sensors to be installed will be different. Key factors in this decision making process is mainly the size of the project, the type of the expected movement and the required accuracy of the results. Trimble monitoring solutions have the capability to support GNSS sensors, Optical sensors, Geotechnical sensors as well as Weather sensors individually, as a combination or as integration.

## **Optical Total Stations**

Typically in a monitoring project, a total

station (Figure 1) sits at a known location observing multiple targets (prisms), measuring distances, bearing and slope angles from which the location of the prism can be determined at the time of the measurement. This measurement is repeated over time this way the new location of the target is determined. The difference between the two positions represents the movement of the structure. By knowing the time difference between two measurements, the velocity and the acceleration of the movement can be easily calculated.

Optical total stations have the advantage that they are very precise instruments. They can deliver real-time results with millimeter accuracy. In addition to this a lot of points can be observed with only one unit. On the other hand, optical total stations can only operate on relatively short distances - typically less than 2.5 kilometers.

### **GNSS Sensors**

Typically in a monitoring project with GNSS sensors (Figure 2), one would need multiple GNSS receivers and antennas situated on the structure to be monitored. These points would need to be fairly stable points. Trimble 4D Control software calculates the current coordinates of the monitored stations in a relation to fixed and stable reference stations and constantly monitors for any changes on the positions of these stations. This means a monitoring project with GNSS sensors would also require the presence of one or more very stable GNSS control stations in the proximity of the study area.

GNSS sensors have the advantage of monitoring large distances (1000s of kilometers) since they are not dependent on the direct line of sight. The high data rate which could be setup by the user allows updating the results very frequently. However real time accuracy can be lower than an optical total

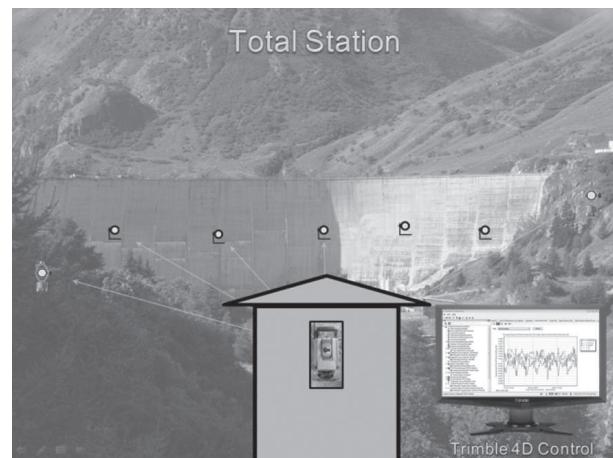


Figure 1. Monitoring a dam with Total Station

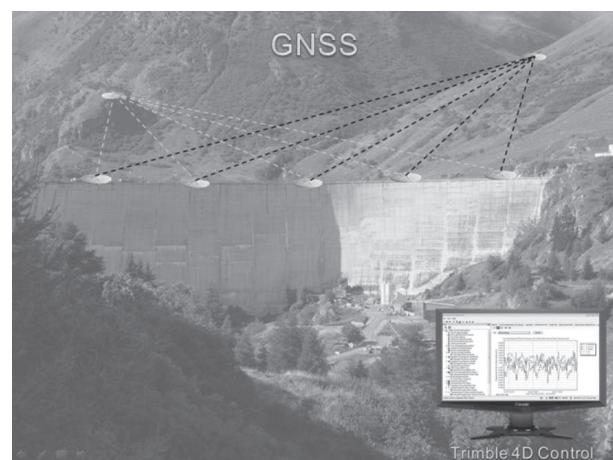


Figure 2. Monitoring a dam with GNSS

station measurement and each sensor can only observe one single point.

### **Geotechnical Sensors**

Geotechnical sensors can be used in order to augment the measurements collected by total stations and GNSS receivers. These sensors can be placed in obstructed locations where no prism or GNSS antenna would do the job. Some of the geotechnical sensors supported by Trimble monitoring solutions are as follows: Tilt Sensors, Piezometers, Pressure Cells, Extensometers, Inclinometers, Crack Sensors, Strain Gauges, etc.

## Software

Trimble® 4D Control is an advanced and scalable monitoring solution, designed to address a wide range of deformation monitoring requirements. This monitoring solution is capable of:

- Continuous monitoring of data from sensors on the structure
- Comparative analysis of the data via a web interface
- Issue alarms on changes that are detected
- Monitor data from GNSS Sensors, Optical total stations, Geotechnical Sensors and Weather stations.

Monitoring applications ranging from simple post-processed style monitoring campaigns to large scale “real-time” deformation monitoring applications are supported by this software package.

Trimble 4D Control (T4D) has three software components:

- T4D Control Server: Utilized for data collection, processing and data storage
- T4D Control Desktop: Utilized for project setup and sensor configuration
- T4D Control Web: Utilized for easy data visualization & analysis, data logging and alarming.

For the sake of keeping this paper short and concise, only T4D Server component will be reviewed in this paper.

### Trimble 4D Control Server

Trimble 4D Control Server is essentially designed as Windows services which run in the background to complete all the hard work such as data storage, processing, filtering, etc. while the T4D Server User Interface (UI) is mainly used for configuration and simple analysis. Separation of processing and the user interface is envisioned to make sure that any possible issues or hold ups in the UI do not affect the data storage and processing.

T4D Server can be considered as the backbone of the Trimble’s monitoring solution as this is the platform where all the data is received, stored, processed and made ready for analysis, reporting and issuing alarms. Data flow in T4D Server can be best described as in Figure 3.

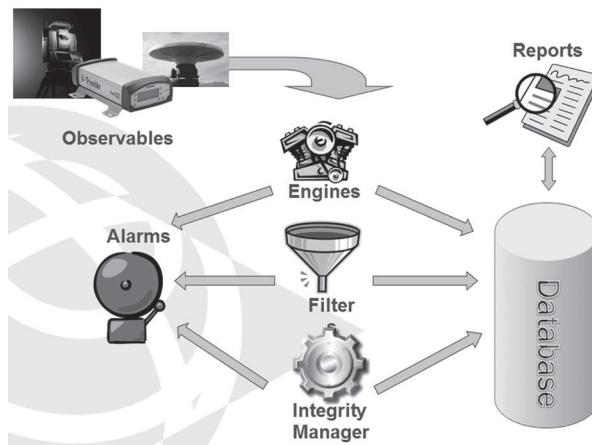


Figure 3. Data flow in T4D Control Server

As illustrated in Figure 3, once the data is collected by various sensors, resulting observables are received by the T4D Server. Depending on the type of processing (Real time processing or Post processing), observables are either directed to the synchronizer (for real time processing) or to the data storage modules (for post-processing). Next, the data is passed onto the processing engines.

### Engines

The engines are used to detect and verify movements across the range of those affecting GNSS networks, from sudden large movements like earthquake or vandalism through slow creeping effects such as subsidence. The engines cover a full range of time and spatial scales to ensure all movement can be detected and verified. In simple terms, engines are where the baseline processing is completed. Engines in T4D Server can be grouped into two: Terrrestrial Engines, GNSS Monitoring Engines.

## Terrestrial Engines

This engine is used for the post-processing or real time processing of optical total station measurements. It receives the raw measurements (distances, bearing and slope angles) from the total station, makes corrections for distance ppm and vertical refractions, processes the station setup, calculates the station setup residuals for control points and finally passes the resulting data to the Integrity Manager (Deformation Monitor) for the network adjustment.

## GNSS Monitoring Engines

There are five main engines for processing GNSS monitoring data, namely: Post Processing Engine, RTK Engine, Rapid Motion Engine, Network Motion Engine and NMEA Engine. Processing engine type should be selected based on the length of the baseline, positional accuracy requirements and the required reaction time.

### » Post Processing Engine

Post processing engine processes the raw GNSS data files stored in the data storage modules. It provides the most precise coordinates. Reaction time to changes depends on the processing intervals. Users can set the processing interval from 1 minute to 2 weeks. It can process baselines up to 2000

kilometers. Due to its use in long baselines and adjustable reaction times, this engine could be best utilized for Plate tectonics monitoring or the control of reference objects.

### » RTK Engine

Real-time Kinematic Engine processes baselines using synchronized GNSS real-time data. It uses RTK techniques at the server to resolve baselines. This engine is comparable to the GNSS receiver's on-board RTK engines thus the accuracy is comparable to RTK rover. It can process baselines up to 35 kilometers. This engine has a very short reaction time meaning sudden changes in the monitored area can be easily detected. This engine type is typically suggested for small site analysis and rapid validation of the change.

### » Rapid Motion Engine

Rapid Motion Engine is similar to RTK Engine with longer baseline processing capability. It may also be called "RTK Engine for long baselines". It utilizes proprietary algorithms to detect sudden changes greater than 3 cm/sec. It can react to changes as fast as RTK engine; however it provides less accurate results.

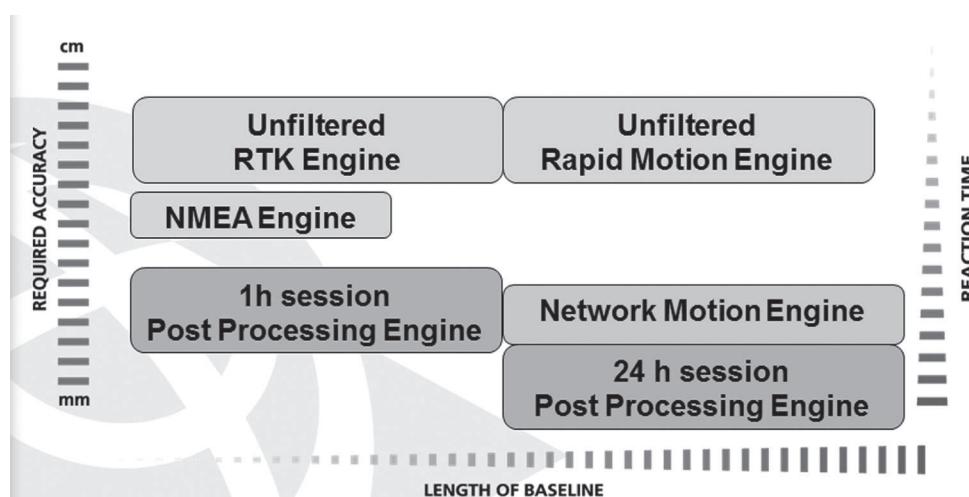


Figure 4. Summary of GNSS Monitoring Engines

### » Network Motion Engine

Network Motion Engine uses synchronized real-time GNSS observations to process a network solution for all reference stations simultaneously and continuously. It accumulates all observations in order to improve the positional accuracy. Instead of baseline processing, the positions are monitored directly thus there is no limit in distance between the stations. This engine provides a continuous and long term solution. It can be best utilized in large networks and long baselines for precise monitoring of the reference coordinates, antenna settings, etc.

### » NMEA Engine

The processing routine of the NMEA Engine is based on the fixed RTK positions coming from e.g. rover receivers. This engine prepares NMEA data streams for deformation monitoring including synchronization, interval filtering and position filtering. NMEA engine is as accurate and as fast as the processing engine of the receivers which is sending the NMEA streams.

## **Filters**

Filtering is used to remove outliers from engine results or to smooth the data. There are three main types of filters: Median Filter, Weighted Mean Filter and Kalman Filter.

### » Median Filter

Median filter is used to smooth the data and to remove outliers. It determines the median out of 3 or 5 epochs and compares this value to the current epoch. If the value of the current epoch exceeds the user-defined outlier size, the filter will replace this value by the median.

### » Weighted Mean Filter

Weighted Mean Filter takes the measurements of the defined sliding time win-

dow (1 min,...,4 hour) prior to the current epoch and it calculates the weighted mean depending on the variances of all epochs.

### » Kalman Filter

The Kalman filter is a recursive filter that estimates the state of a dynamic system from a series of noisy measurements. It estimates the parameters of a model equation for prediction. Measurements and the prediction are weighted depending on the driving noise.

Selection of filters depends on the desired trend analysis of data. Weighted Mean and Median filter follows and averages trends. Kalman filters attempt to remove noise and provide true values. Kalman Filters have different presets that should be selected based on the type of movement that is to be detected. Options include sudden, moderate, or static Kalman filters. As with any GNSS positioning method, greater precision takes a longer time to report, and a fast acting filter will do so with less precision. For example, a sudden movement will be detected quickly by a Kalman filter set to detect sudden movement, but the actual extent of the movement will be better evaluated by a Kalman filter set for static.

## **Deformation Monitor**

Once the data is processed and filtered thorough engines, it is passed on to the Deformation Monitor. The Deformation Monitor module receives the data, adjusts it and calculates the displacements. This module serves for multiple purposes:

- Position adjustment and position update over time, thus allowing you to monitor deformations
- Axis rotation
- Velocity calculation
- Data visualization
- Alarm generation

The adjustment functionality is most important in a deformation analysis environment. It performs a least squares adjust-

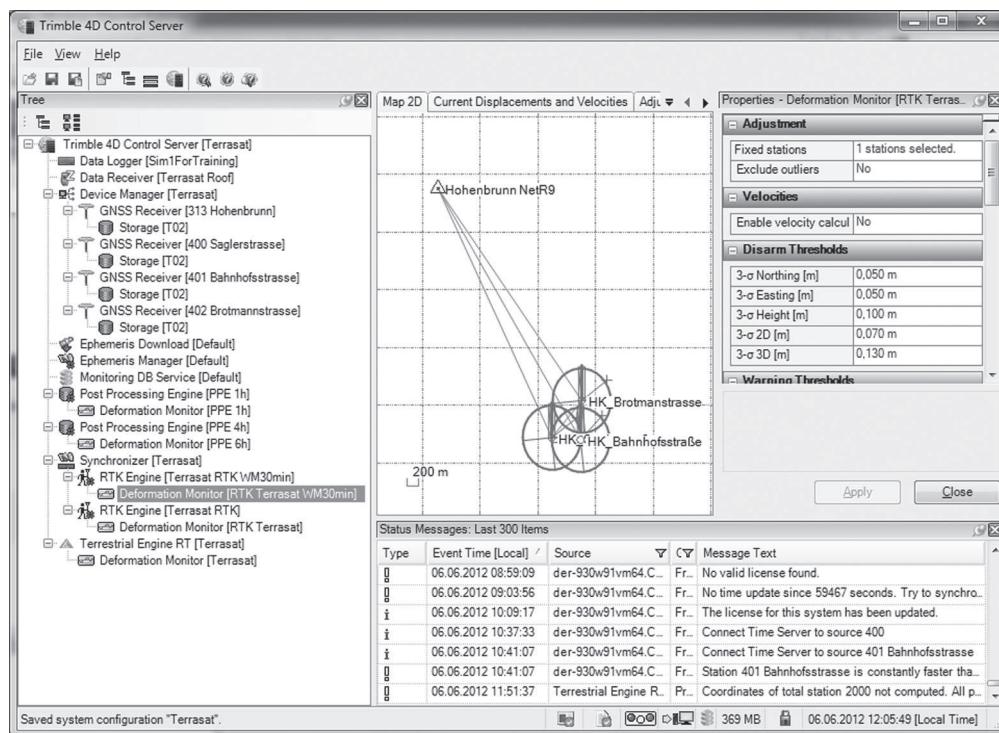


Figure 5. T4D Control Server User Interface

tment of the angles and distances and/or of your network of processed baselines. The purpose of the adjustment is to:

- Detect blunders and large errors
- Generate information for analysis, including estimates of precision values (D Northing / D Axial, D Easting / D Lateral, D Height, D 2D, and D 3D), as well as the respective 3-s values)
- Minimize corrections made to the measurements.

After a least squares adjustment is successfully performed, you can determine that there are no blunder and systematic errors in the observations and any remaining errors are small, random, and properly distributed. A least squares adjustment ensures good positional closures and estimates of repeatability; thus, it ensures the reliability of your current and future measurements.

All actions of the Deformation monitor module are logged into a central database from which you can generate reports on the station coordinates, displacements, velocities etc. to perform analysis on the results.

Deformation monitor also gives its users the ability to setup alerts and/or warning thresholds. With this functionality, software warns and alerts the operator against any kind of unexpected movement activity. This way Trimble 4D Control software not only monitors the project area but also allows the authorities to react to the monitored area in a timely manner to minimize casualties. Figure 5 illustrates the user interface of the T4D Control Server. Sensors feeding data, processing engines and deformation monitors can be seen on the left hand side of the screenshot. In the middle, the 2D Map displays the baselines between the reference station and the monitored stations, displacements and the error ellipses of the monitored stations. Properties pane of the Deformation Monitor on the right hand side is where you can setup the threshold values for Warnings and Alarms.

## Conclusion

Monitoring of both man made or natural structures carries utmost importance for

various reasons most important of which is maintaining the public safety. Trimble Navigation provides a convenient monitoring solution to monitor Dams, Mines, Landslides, Bridges, Tunnels, Land slides, etc. This solution is not only capable of collecting the data but also provides its users with the ability to detect changes, per-

form analysis, interpret the outcomes and visualize the results in a clear and concise way. Its functionality to issue warnings and alarms when the displacement threshold values are exceeded gives the authorities the capability to react to the monitored area in a timely manner.

---

## References

- Trimble Infrastructure Website (<http://www.trimble.com/infrastructure/>)
- Trimble Knowledge Network (<http://www.trimblelms.com/>)
- Trimble Infrastructure Training Materials
- Trimble 4D Control Software Manual

# Praćenje stabilnosti koordinata CROPOS stanica

Marko Pavasović<sup>1</sup>, Marijan Marjanović<sup>2</sup>, Tomislav Bašić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, marko.pavasovic@geof.hr

<sup>2</sup> Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb, marijan.marjanovic@dgu.hr

<sup>3</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, tomislav.basic@geof.hr

## Sažetak:

*Od uspostave CROPOS-a do danas prošlo je gotovo 5 godina. Zadnje izjednačenje CROPOS mreže obavljeno je 2008. godine u ITRF2005 za epohu 2008.83. U proteklom vremenskom razdoblju došlo je do značajnih promjena: prema naputku EUREF TWG-a uveden je ITRF2008 kao novi službeni referentni koordinatni okvir efemerida GNSS satelita, Državna geodetska uprava potpisala je sporazum o razmjeni podataka nacionalnih pozicijskih sustava susjednih zemalja - Slovenije (SIGNAL), Mađarske (GNSSnet.hu), Crne Gore (MontePOS) i Bosne i Hercegovine (FBiHPOS). U ovom radu prikazat će se praćenje stabilnosti koordinata CROPOS stanica kroz kombinaciju dnevnih rješenja koordinata CROPOS stanica za period od 4 godine, dobivenu naknadnom obradom podataka u ETRF2000 referentnom okviru kao službenoj realizaciji ETRS89.*

## Ključne riječi:

**ITRF2008,**  
**dnevna rješenja,**  
**kombinirano**  
**rješenje,**  
**ETRF2000.**

## 1. Uvod

U današnje vrijeme, nacionalni pozicijski sustavi (engl. POrtationing System), temeljeni na mreži GPS/GNSS permanentnih stanica doživljavaju procvat i postaju nezabilazni dio geodetske svakodnevnice pružajući svojim korisnicima pouzdane usluge 24 sata dnevno, 7 dana u tjednu, 365 dana u godini. Republika Hrvatska je imala takvu sreću da je uspostavila nacionalni pozicijski sustav CROPOS i kao prva u regiji, ali i u Europi, implementirala službeni transformacijski model (T7D; Bašić, 2009) i time omogućila svojim korisnicima moderan pristup rješavanja svakodnevne geodetske zadaće. Mogućnosti pozicijskih sustava su brojne, kako u stručnim tako i u znanstvenim izazovima. Kvaliteta nekog pozicijskog sustava mjerljiva je kvalitetom pružanja usluga svojim korisnicima no preuvjet

za to je, u prvom redu, stabilnost samog sustava.

## 2. Kratki „povijesni“ pregled razvoja CROPOS-a

Referentni koordinatni sustav jest onaj koordinatni sustav koji se prema stvarnom svijetu odnosi pomoću (geodetskog) datuma, odnosno datumom se definiraju položaj ishodišta koordinatnog sustava, mjerilo koordinatnog sustava i orientacija osi koordinatnog sustava te matematički model za Zemljino tijelo-elipsoid [ISO, 2002]. Republika Hrvatska povjesno je naslijedila položajni referentni koordinatni sustav iz doba Austro-Ugarske monarhije (1901. godina), kolokvijalnog naziva *Hrvatski državni koordinatni sustav* - HDKS (ili HR1901), koji je realiziran astro-geodetskim mjeranjima bivšeg Vojno-geografskog

instituta u triangulacijskoj mreži I. reda (nehomogeno izjednačenoj u 7 različitih blokova) s jednom fundamentalnom točkom (*Hermannskögel*). Kao matematički model za Zemljino tijelo odabran je tada *Bessel 1841* rotacijski elipsoid.

Praćenje europskih trendova, razvoj geodetskih mjernih sustava (prvenstveno GPS, danas GNSS), loša dokumentiranost te posebno jasna nehomogenost naslijedenog položajnog datuma (1-2 m na državnom nivou, nekoliko dm na županijskom nivou te 10tak cm na nivou gradova) [Bašić i dr., 2004] bili su i više nego dovoljan razlog za uvođenje promjena, odnosno redefiniranje nacionalnog položajnog (ujedno i visinskog i gravimetrijskog) datuma. Na prijedlog radne skupine Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu [Bašić i dr., 2000], Vlada Republike Hrvatske donosi *Odluku o utvrđivanju novih službenih geodetskih datumata i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske* od 4. kolovoza 2004. godine [NN, 110/2004], kojom se Europski terestrički referentni koordinatni sustav za epohu 1989.0 (engl. *European Terrestrial Reference System 1989 - ETRS89*) usvaja kao službeni, nepromjenjivi i o vremenu neovisni položajni referentni koordinatni sustav za teritorij Republike Hrvatske, odnosno njegovu praktičnu realizaciju (referentni koordinatni okvir) - Hrvatski terestrički referentni sustav u epohi 1995.55 ili skraćeno HTS96. Kao matematički model za Zemljino tijelo usvaja se GRS80 (engl. *Geodetic Reference System 1980*) nivo-elipsoid. Realizacija ETRS89 na teritoriju Republike Hrvatske temelji se na 78 trajno stabiliziranih točaka s koordinatama određenim u ETRS89 1996. godine (za epohu 1995.55) te mu se dodjeljuje naziv Hrvatski terestrički referentni sustav - HTS96.

U studenom 2007. godine, predstavnici Delegacije Europske unije u Zagrebu, Ministarstvo financija Republike Hrvatske i izvoditelj radova tvrtka *Trimble Europe* potpisuju ugovor o realizaciji nacionalnog poz-

cijskog sustava Republike Hrvatske s osiguranim finansijskim sredstvima iz PHARE-2005 programa Europske unije (75%) te državnog proračuna Republike Hrvatske (25%) [Marjanović i dr., 2009a].

Državna geodetska uprava (DGU) Republike Hrvatske 9. prosinca 2008. godine pušta u službenu uporabu *Hrvatski pozicijski sustav - CROPOS* (engl. *CROatian POsitioning System*), mrežu od 30 referentnih GNSS (engl. *Global Navigation Satellite System* - uključuje američki NAVSTAR GPS, europski GALILEO te ruski GLONASS satelitski sustav) CORS (engl. *Continuously Operating Reference Station*) stanica ravnomjerno raspoređenih teritorijem Republike Hrvatske na međusobnoj udaljenosti od oko 70 km. Sustav je operabilan 365 dana u godini, 7 dana u tjednu, 24 sata dnevno te omogućuje korisniku pozicioniranje u realnom vremenu u obliku DPS (diferencijalni pozicijski servis) i VPPS (visokoprecizni pozicijski servis) s deklariranim točnošću od 0.3 - 0.5 m odnosno 0.02 m u položajnom i 0.04 m u visinskom smislu. Pored pozicioniranja u realnom vremenu, CROPOS omogućuje korisnicima naknadnu obradu podataka mjerjenja (engl. *Post-Processing*) u vidu usluge geodetskog preciznog pozicijskog servisa (GPPS) preuzimanjem CROPOS CORS ili VRS (engl. *Virtual Reference Station*) datoteka u RINEX (engl. *Receiver INdependant EXchange*) formatu s mogućnošću ostvarivanja subcentimetarske točnosti.

Referentni okvir CROPOS-a definiran je obzirom na ETRF2000 (R05) naknadnom obradom podataka mjerjenja referentnih GNSS stanica u ITRF2005 [Altamimi i dr., 2007] za 24 satne sesije u GPS tjednu 1503 za epohu 2008.83 sa srednjim standardnim odstupanjem koordinata referentnih stanica od 1.2 mm u smjeru S-J (po geodetskoj širini), 1.1 mm u smjeru I-Z (po geodetskoj dužini) te 3.4 mm po elipsoidnoj visini [Marjanović, 2008; Marjanović i dr., 2009a].

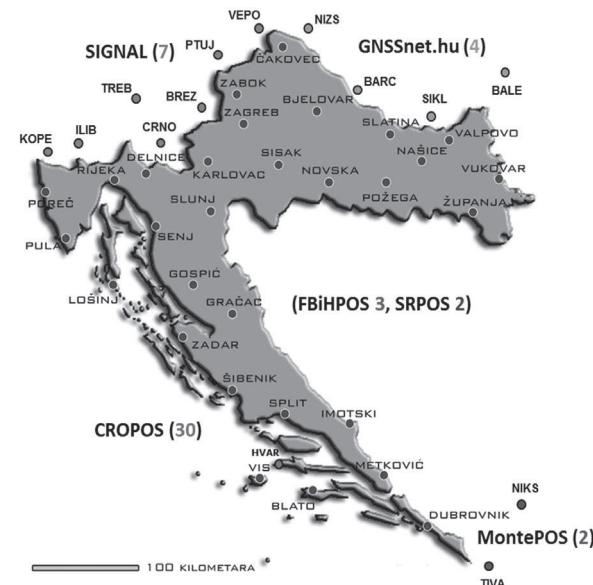
U lipnju 2009. godine na 1. CROPOS konferenciji održanoj u Zagrebu (8.-9. lipnja 2009.) potpisani je sporazum između Državne geodetske uprave Republike Hrvatske, Geodetske uprave Republike Slovenije, Mađarske i Crne Gore o razmjeni podataka pograničnih referentnih stanica pozicijskih sustava CROPOS-a, SIGNAL-a, GNSSnet.hu i MonePOS-a. Ovim sporazumom je CROPOS nadopunjen s još 13 referentnih GNSS stanica što čini ukupnu brojku od 43 stanice uključene u mrežno rješenje.

Uspostavom GNSS referentne mreže u susjednoj Bosni i Hercegovini, Državna geodetska uprava Republike Hrvatske potpisuje 2012. godine sporazum s Federalnom upravom za geodetske i imovinsko-pravne poslove Federacije Bosne i Hercegovine i Republičkom upravom za geodetske i imovinsko-pravne poslove Republike Srpske o razmjeni podataka 5 pograničnih GNSS stanica. U listopadu 2012. godine, Državna geodetska uprava uspostavlja novu CROPOS stanicu na otoku Hvaru (GPS tjedan 1712) u sklopu Opservatorija Hvar Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Danas je CROPOS, pri punoj „konstelaciji”, mreža od ukupno 43 (48) referentnih GNSS stanica te predstavlja ogroman potencijal za znanstvena istraživanja na teritoriju Republike Hrvatske i susjednih zemalja koji se zasigurno ne smije zanemariti (Slika 1).

### 3. Praćenje stabilnosti CROPOS okvira

Kao što je spomenuto, zadnje izjednačenje mreže CROPOS stanica obavljeno je za GPS tjedan 1503 temeljem 24 satnih sesija. Od dana uspostave CROPOS-a (16. studenog 2008. godine), odnosno puštanja u službenu upotrebu (9. prosinca 2008. godine) do danas prošlo je gotovo 5 godina. Obzirom na minulo vremensko razdoblje, postavlja se pitanje stabilnosti koordinata stanica CROPOS mreže. Da bi se odgovorilo na to pitanje, obavila se naknadna obrada GPS mjerena na CROPOS CORS-ovima za vremenski interval od 16. studenog 2008. (GPS tjedan 1506) do 31. prosinca 2012. godine



Slika 1: Umreženo rješenje CROPOS-a

Broj RINEX datoteka (15 sek):	69 894
Ukupan broj mjerena (30 sec; L1, L2, C/A, P):	3 633 733 829
Broj cycle slip-ova (1. prolaz):	1 570 933
Broj markiranih mjerena (1. prolaz):	20 979 500
GPSEST float rješenje (1. rješenje) - ukupan broj nepoznanica:	5 054 687
Računanje ambiguiteta	
ulaz (L1 + L2):	9 007 558
preostalo (L1 + L2):	2 892 870
riješeno:	68%
GPSEST fixed rješenje	
ukupan broj nepoznanica:	2 769 124
nepoznanice koordinata:	203 934
nepoznanice (ambiguiteti):	1 409 564
nepoznanica troposfera:	384 812
broj mjerena (L3):	547 408 235

Tablica 1: Prikaz ulaznih i izlaznih podataka obrade

(GPS tjedan 1721) s definiranom srednjom epohom za 9. prosinca 2010. godine (e2010.94). Obrada i izjednačenje GPS mjerjenja obavljena je Bernese 5.0 znanstvenim softverom uz korištenje softvera za pripremu ulaznih RINEX datoteka mjerenja u Bernese formatu te orbita satelita u autorstvu dr. sc. Marijana Marjanovića.

U obradu su uključene 44 stanice POS-ova i to: 31 CROPOS-a, 7 SIGNAL-a, 4 GNSSnet.hu te 2 MontePOS -a, 3 Hrvatske IGS stanice: DUB2, DUBI i OSJE, 2 kontrolne IGS stanice: GOPE i POTS te 5 IGS stanica fiksnih u izjednačenju: GRAZ, MATE, ZIMM, WTZR i PENC što ukupno iznosi 54 GNSS referentne stanice, odnosno 69 894 ulazne RINEX dato-

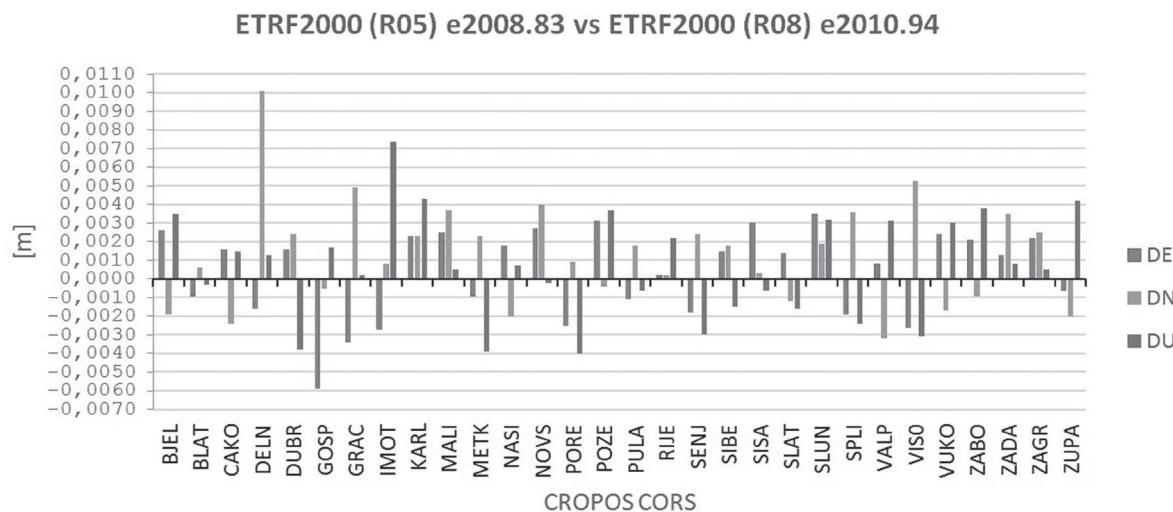
teke u 15 sekundnom intervalu registracije. U tablici 1 dan je prikaz obima ulaznih podataka za obradu i izjednačenje.

Uvidom u numeričke pokazatelje dane u tablici 1 vidljivo je da se radi o velikom obimu kako ulaznih podataka tako i izlaznih rezultata naknadne obrade GPS mjerjenja za navedeni vremenski interval. Ovakav obim podataka gotovo uvijek insinuirala moguće grube pogreške prilikom samog postupka obrade i izjednačenja te se upravo iz tog razloga obratila posebna pozornost prilikom sređivanja ulaznih podataka uz učestalu kontrolu izlaznih vrijednosti koordinata CROPOS stanica.

Na temelju 1463 dnevna rješenja sta-

ETRF2000 (R05) e2008.83 vs ETRF2000 (R08) e2010.94						
statistika	$\Delta X$ [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta Z$ [m]	$\Delta E$ [m]	$\Delta N$ [m]	$\Delta U$ [m]
min.	-0.0057	-0.0053	-0.0022	-0.0059	-0.0032	-0.0040
max.	0.0054	0.0038	0.0080	0.0035	<b>0.0101</b>	<b>0.0074</b>
sredina	-0.0005	0.0002	0.0014	0.0004	0.0013	0.0007
st.dev.	0.0030	0.0027	0.0023	<b>0.0024</b>	<b>0.0028</b>	<b>0.0028</b>

Tablica 2: Statistika apsolutnih razlika koordinata CROPOS mreže



Slika 2: Apsolutne razlike koordinata stanica CROPOS mreže

nica CROPOS mreže za vremenski interval obrade podataka u ITRF2005 (zaključno s 17. travnja 2011.), odnosno ITRF2008 te primjenom tzv. „14-parametarske transformacije“ (7 parametara Helmertove 3D transformacije + 7 vremenskih promjena svakog od transformacijskih parametara) u ETRF2000 [Altamimi i Boucher, 2011] i ETRF2000 koordinata CROPOS stanica za GPS tjedan 1503 izračunate su absolutne razlike koordinata CROPOS stanica. Pripadna statistika navedene razlike dana je u tablici 2 i prikazana na slici 2.

Iz tablice 2 i slike 2 vidljivo je da se maksimalne absolutne razlike pojavljuju na CROPOS stanicama DELNice, IMOTski i GOSPić za koje je u radovima Rezo i Bačić [2009] i Pavasović i dr. [2011] ustanovljeno da se nalaze u blizini reflektirajućih površina, odnosno da imaju povećanu pojavu višestruke putanje signala (engl. *Multipath Effect*) te smanjen postotak ukupne registracije podataka mjerena. Standardna

devijacija apsolutnih razlika od cca 2.5 mm (srednja vrijednost po svim komponentama) ukazuje za izrazitu stabilnost CROPOS okvira kroz kombinirano rješenje za vremenski period od 4 godine.

Nadalje, kao dodatna kontrola kvalitete dobivenih rezultata, odnosno svojevrsna potvrda istih, određeni su transformacijski parametri Helmertove 7-parametarske 3D transformacije između koordinata CROPOS stanica dobivenih izjednačenjem za GPS tjedan 1503 (ITRF2005, e2008.83) i kombiniranog rješenja iz 1463 dnevna rješenja (ITRF2008, e2010.94). Transformacijski parametri i ocjena točnosti računanja transformacijskih parametara dati su u tablici 3, statistika distorzijskih komponenti dana je u tablici 4, dok su razlike koordinata pojedinih stanica prikazane na slici 3.

Iako ova analiza navodi na usporedbu dvije različite realizacije ITRS-a, razlike koordinata između ITRF2005 i ITRF2008 su za

TX = -0.049000 m TY = 0.027600 m TZ = 0.066300 m dm = -0.003057 ppm RX = 0.001382" RY = -0.000870" RZ = 0.000722"	X = ± 0.003 m Y = ± 0.002 m Z = ± 0.002 m XYZ = ± 0.002 m	E = ± 0.002 m N = ± 0.002 m U = ± 0.002 m ENU = ± 0.002 m
---	--	--

Tablica 3: Transformacijski parametri i ocjena točnosti računanja transformacijskih parametara

<b>ITRF2005 (e2008.83) vs ITRF2008 (e2010.94)</b>						
<b>statistika</b>	<b>ΔX [m]</b>	<b>ΔY [m]</b>	<b>ΔZ [m]</b>	<b>ΔE [m]</b>	<b>ΔN [m]</b>	<b>ΔU [m]</b>
<b>Min.</b>	-0.0045	-0.0051	-0.0047	-0.0061	-0.0032	-0.0041
<b>Maks.</b>	0.0059	0.0031	0.0058	0.0039	0.0077	0.0079
<b>avg</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>stdev</b>	0.0026	0.0022	0.0023	0.0022	0.0024	0.0025

Tablica 4: Statistika distorzijskih komponenti nakon određivanja transformacijskih parametara

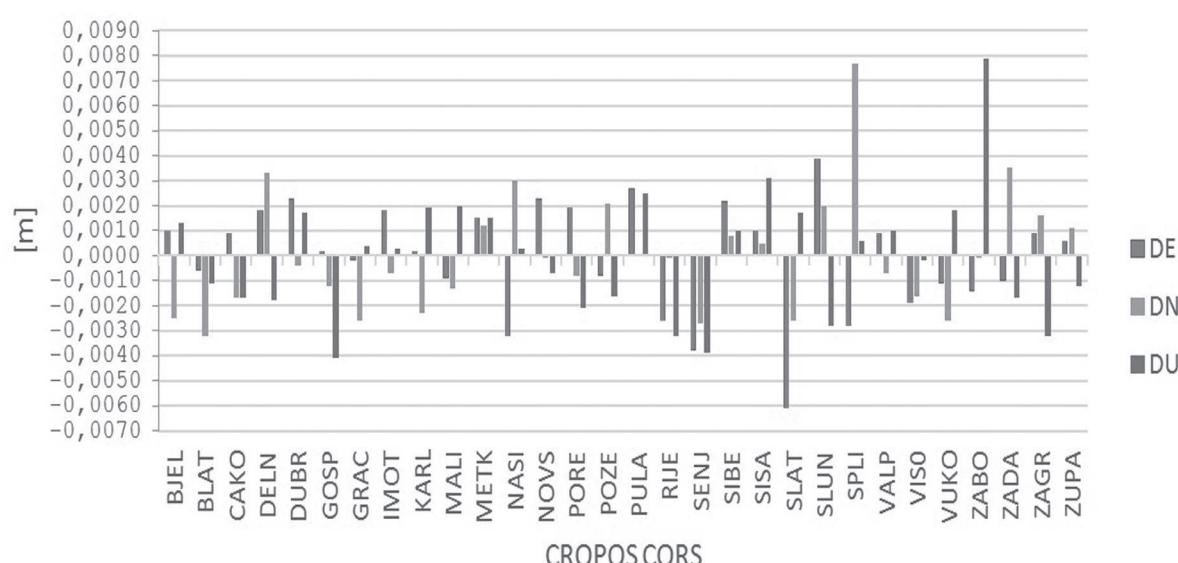
praktičnu primjenu zanemarive (reda veličine cca 2 mm) te time i relevantne za ovu usporedbu. Kao prilog navedenoj napomeni ide statistika distorzijaških komponenti u tablici 4 - standardna devijacija razlike (distorzija) po komponentama ne prelazi 2.5 mm.

#### 4. Zaključak

Provedena analiza stabilnosti koordinata CROPOS stanica kroz vremenski period od 4 godine, dobivena usporedbom kombinacije prvog izjednačenja CROPOS mreže na temelju 7-dnevnih opažanja u GPS tjednu 1503 i kombinacije 1463 dnevna rješe-

nja za period od 16. studenog 2008. (GPS tjedan 1506) do 31. prosinca 2012. godine (GPS tjedan 1721) ukazuje na visoki stupanj stabilnosti i pouzdanosti CROPOS okvira. Obzirom na rezultate provedene analize, nameće se pitanje možemo li CROPOS smatrati „novim“ Hrvatskim terestričkim referentnim okvirom?. Odgovor na ovo pitanje sigurno se naslućuje, no za definitivni odgovor potrebno je provesti analizu na dnevnoj bazi i vidjeti kakvo je „ponašanje“ koordinata. Potencijal koja nam pruža CROPOS (a kojeg možda nismo ni svjesni) zaista je neprocjenjiv i zasigurno je tema budućih stručnih, ali i znanstvenih istraživanja.

ITRF 2005 (e2008.83) vs ITRF2008 (e2010.94)



Slika 3: Razlike koordinata CROPOS stanica u ITRF2005 (GPSW 1503, e2008.83) i ITRF2008 (n = 1463, e2010.94)

**ZAHVALA.** Autori se najljepše zahvaljuju Državnoj geodetskoj upravi Republike Hrvatske na ustupljenim podatcima CROPOS mreže za potrebe znanstvenog istraživanja.

## Literatura

- Altamimi, Z., Boucher, C. (2011): Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. Version 8. EUREF TWG.
- Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand, J., Garayt, B., Boucher, C. (2007): ITRF2005 - A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, American Geophysical Union, Vol. 112 (B9).
- Bašić, T. (2009): Novi model geoida Republike Hrvatske i poboljšanje T7D modela transformacije. Elaborat za Državnu geodetsku upravu Republike Hrvatske, str. 1-68, Zagreb.
- Bašić, T., Feil, L., Lapaine, M. (2004): Znanstveno-stručno objašnjenje Odluke o utvrđivanju službenih geodetskih referentnih koordinatnih sustava Republike Hrvatske. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Bašić T., Markovinović D., Rezo M., Hećimović Ž., Šljivarić M., Špoljarić D. (2000): Prijedlog službenih geodetskih datuma Republike Hrvatske. Elaborat za Državnu geodetsku upravu Republike Hrvatske, str. 1-93, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- International Organizatio for Standardization - ISO (2003): ISO19111: Geographic information - Spatial referencing by coordinates. ISO copyright office, Geneva, pp. 1-43.
- Marjanović, M., Miletic, I., Vičić, V. (2009a): CROPOS - prvih šest mjeseci rada sustava. Zbornik radova 1.- CROPOS konferencije, 8. - 9. lipnja 2009. Marjanović, Marijan (ur.). Zagreb: Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Hrvatsko geodetsko društvo. str. 15-21.
- Marjanović, M. (2008): Primjena GPS mjeranja za određivanje horizontalnih i vertikalnih pomaka Jadranske mikroploče. Doktorska disertacija. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Narodne novine (110/2004): Odluka o utvđivanju novih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske.
- Pavasović, M., Bačić, Ž., Rezo, M., Bjelotomić, O., Markovinović, D., Bašić, T. (2011): Analiza vremenski nezavisnih signala u CROPOS mreži. Zbornik radova - z. CROPOS konferencije. Bašić, Tomislav (ur.). Zagreb: Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatsko geodetsko društvo, str. 25-135.
- Rezo, M., Bačić, Ž. (2009): CROPOS - kvaliteta sustava. Zbornik radova simpozija "Geodezija i geoinformatika u projektiranju, izgradnji i upravljanju državom i komunalnom infrastrukturom". Markovinović, Danko (ur.). Zagreb : Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, 2009, str. 162-170.

**Abstract:**

From establishment of CROPOS till nowadays, almost five years have passed. The last adjustment of CROPOS network was made in 2008 regarding to ITRF2005 for epoch 2008.83. In the meantime, several significant changes were made: according to EUREF TWG, ITRF2008 was introduced as a new reference frame for GNSS satellite ephemerides, State Geodetic Administration of Republic of Croatia had signed an agreement for data exchange with nearby positioning systems of Republic of Slovenia (SIGNAL), Hungary (GNSSnet.hu), Montenegro (MontePOS) and Federation of Bosnia and Herzegovina (FBiHPOS). In this work, coordinate stability monitoring of CROPOS stations through the combination of daily solutions for the period of 4 years, obtained from post-processing data adjustment in ETRF2000 (as the official realization of ETRS89), will be introduced.

**Coordinate Sta-  
bility Monitoring  
of CROPOS**

**Keywords:**

**ITRF2008, daily  
solutions, combined  
solution, ETRF2000.**

# Utjecaj pojačane aktivnosti ionosfere na preciznost i pouzdanost mjerjenja CROPOS sustavom

Margareta Premužić<sup>1</sup>, Davor Kršulović<sup>2</sup>, Ivan Malović<sup>3</sup>, Marijan Marjanović<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Hrvatska, margareta.premuzic@dgu.hr

<sup>2</sup>Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Hrvatska, davor.krsulovic@dgu.hr

<sup>3</sup>Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Hrvatska, ivan.malovic@dgu.hr

<sup>4</sup>Državna geodetska uprava, Gruška 20, Zagreb, Hrvatska, marijan.marjanovic@dgu.hr

## Sažetak:

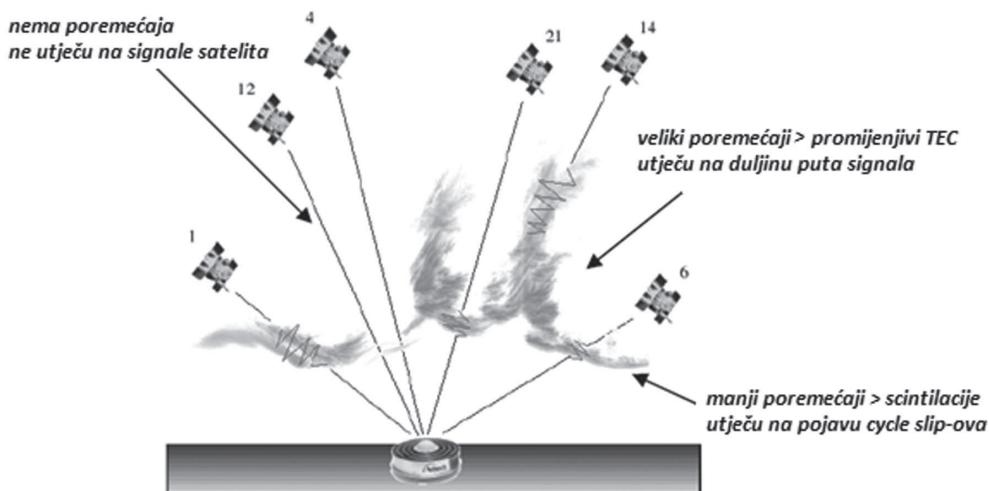
Primjenom CROPOS sustava omogućeno je visoko precizno pozicioniranje u realnom vremenu gdje se korekcije za prostorne pogreške modeliraju na mrežnom serveru. Ionosferski efekt je najteži za modeliranje i uzrokuje najveće pogreške kod pozicioniranja u mrežnom RTK rješenju u smislu pouzdanosti i dostupnosti mrežnih korekcija za rješenje rovera naročito kod perioda intenzivnih aktivnosti Sunca, a koje su predviđene za 2013 godinu. Mogućnost mrežnog RTK rješenja za modeliranje ionosferske pogreške ovisi o udaljenosti između referentnih stanica i trenutnom stanju ionosfere. Korisnički rover može imati problema s postizanjem inicijalizacije koja u kombinaciji s većim udaljenostima od referentnih stanica i lošoj konstelacijom satelita može uzrokovati smanjenu preciznost pozicioniranja što prvenstveno dolazi do izražaja kod pozicioniranja u realnom vremenu. Aktivnost ionosfere uobičajeno se izražava I95 indeksom koji je dostupan u CROPOS sustavu te pruža informaciju o očekivanoj ionosferskoj pogrešci. Ekstremne varijacije u ionosferi ne mogu biti pouzdano modelirane što dovodi do povećanja ionosferske pogreške koja utječe na pozicioniranje. U svrhu predviđanja preostalih pogrešaka u GNSS mjerenjima unutar CROPOS sustava računanju se IRIM vrijednosti koje se koriste u svrhu predviđanja performansi rovera. U radu će biti opisani primjenjeni modeli ionosfere unutar CROPOS sustava te rezultati ispitivanja preciznosti i pouzdanosti rješenja koordinata korištenjem CROPOS sustava (VPPS i GPPS) za vrijeme pojačanih aktivnosti ionosfere te korelacija s predviđenim vrijednostima iz modeliranja.

**Ključne riječi:**  
**ionosfera, I95,  
IRIM, CROPOS  
VPPS**

## 1. Ionosferski poremećaji i modeliranje ionosfere

Ionosfersko kašnjenje predstavlja najveći izvor pogrešaka kod preciznog relativnog pozicioniranja. Promjene u ionosferi složene su za modeliranje stoga se koriste alati za nadzor integriteta pozicioniranja u svrhu osiguranja pouzdanosti i dostupno-

sti rješenja posebno kod metoda u realnom vremenu. Varijacije gustoće elektrona (Total Electron Content - TEC) u ionosferi ovise o periodu sunčevog zračenja koji se ponavlja u periodu od 11 godina i u 2013. godini je na vrhu ciklusa. Prolaskom signala satelita kroz sloj ionosfere kada se javljaju veće varijacije u gustoći elektrona dolazi do kašnjenja signala odnosno promijene

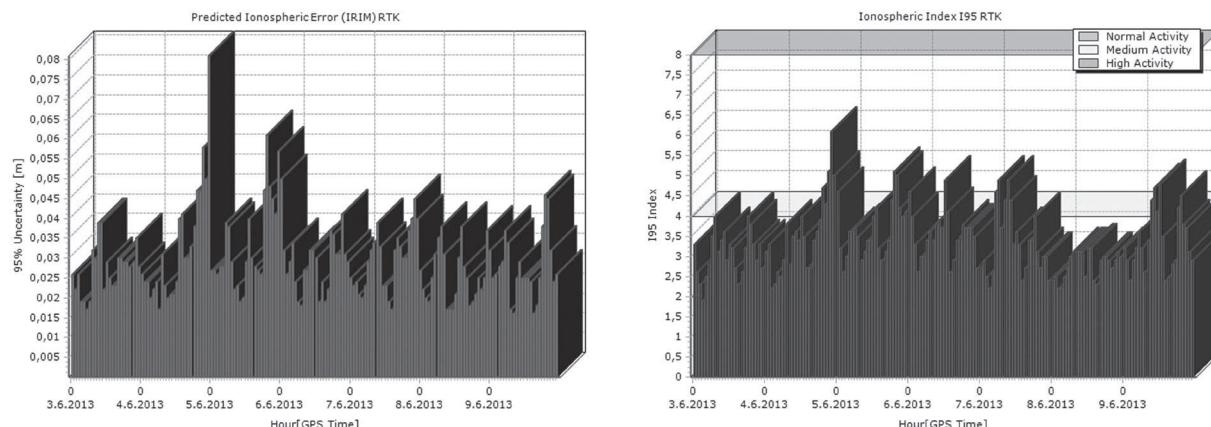


Slika 1: Utjecaj ionosfere na signale GNSS satelita (URL 2)

duljine puta signala. Ako se gustoća elektrona duž putanja signala jako brzo mijenja može doći do pojave cycle slipova u signalima satelita. Varijacije koje se javljaju u periodima kraćim od 15 sekundi poznate su kao ionosferske scintilacije koje mogu utjecati na netočno pozicioniranje odnosno nemogućnost određivanja položaja (Slika 1). Veće pogreške u pozicioniraju i degradacija prijema signala satelita nastaju uslijed sunčevih radijacijskih oluja i geomagnetskih oluja koje se mogu pratiti i predviđati putem NOAA servisa za predikciju svemirskog vremena (URL 1).

Uobičajena praksa eliminacije ionosferske pogreške je korištenje ionosferski slobodne kombinacije opažanja na dvije frekvencije L<sub>1</sub> i L<sub>2</sub> koja rješava gotovo sve ionosferske utjecaje 1. reda. Preostale rezidualne pogreške u GNSS opažanjima mogu se pojaviti kod ionosferskih utjecaja viših redova (2. i 3. red). Ti utjecaji vezani su uz djelovanje geomagnetskog polja na ionosferski refrakcijski indeks i promjenu puta signala uslijed veće gustoće elektrona u ionosferi. Pogreške višeg reda ne rješavaju se ionosferski slobodnom kombinacijom opažanja i ako se zanemare mogu smanjiti točnost GNSS pozicioniranja, ovisno o razini sunčeve aktivnosti i ionosferskim odnosno geomagnetskim uvjetima (Elmas, Z. G. et al., 2011). Stoga se moraju uzeti u obzir kod

zahtjeva za visokim točnostima posebno za vrijeme jačih sunčevih aktivnosti. Uz korištenje dvofrekvencijskih prijamnika kod RTK metode pozicioniranja eliminiranje odnosno smanjivanje utjecaja pogrešaka ovisnih o udaljenosti, prvenstveno ionosfere, podrazumijeva da se koriste kratke udaljenosti rovera od referentne stanice. Pogreške ovisne o udaljenosti mogu biti značajno smanjene zajedničkom obradom opažanih podataka mreže referentnih stanica, kao što je CROPOS sustav. Usporedba mjerjenih pseudoudaljenosti između referentnih stanica i GNSS satelita sa izračunatim udaljenostima koristeći njihove poznate koordinate omogućuje određivanje ionosferskih i geometrijskih (troposfera i orbita satelita) reziduala. Koristeći ovaj mrežni princip sistematske pogreške u podacima GNSS opažanja mogu se znatno umanjiti te se postižu najviši zahtjevi točnosti od 1-2 cm s udaljenostima između rovera i najbliže referentne stanice do 40-50 km, a povećana je i ukupna pouzdanost sustava (Landau H. et. al, 2002). Korekcije za prostorne pogreške modeliraju se na mrežnom serveru, a mogućnost mrežnog RTK za modeliranje ionosferske pogreške ovisi o udaljenosti između referentnih stanica i trenutnom stanju ionosfere. Gušće mreže s razmakom između referentnih stanica 35-50 km imaju manji utjecaj, dok šire mreže do 70 km razmaka između stanica imaju puno



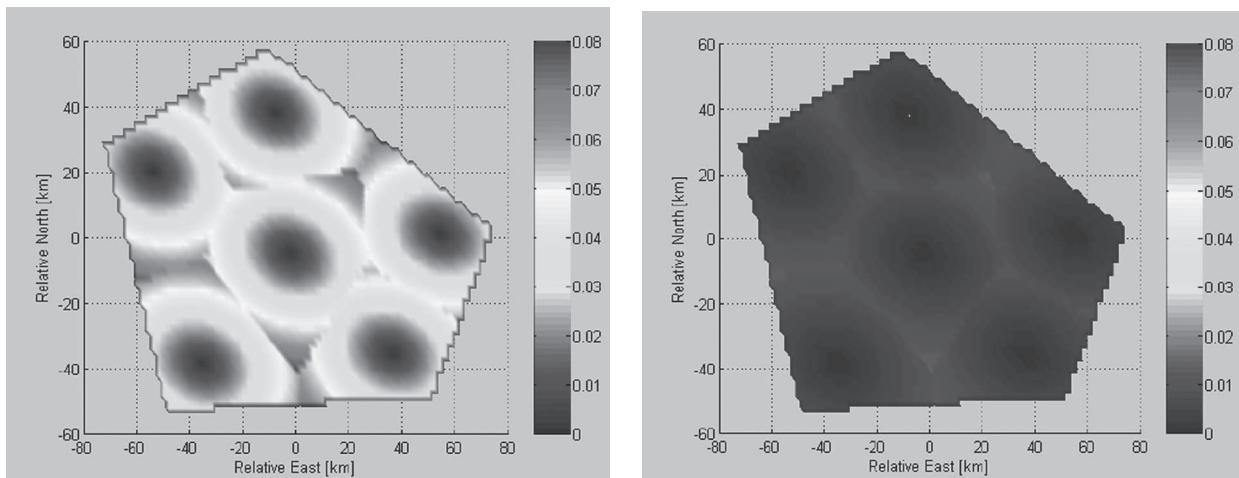
Slika 2: I95 indeks (lijevo) i IRIM (desno) za period 3. - 9. lipnja 2013. izračunat iz opažanja CROPOS-a

veći utjecaj na kvalitetu kao i dostupnost mrežnih korekcija. Kod većih razmaka referentnih stanica u mreži i pojačane ionosfere modeliranje ionosferskih pogrešaka ne odgovara u potpunosti stvarnosti odnosno smanjuje se preciznost određivanja koordinata, također teže je pouzdano utvrditi ambiguitete što uzrokuje duže vrijeme inicijalizacije odnosno manju dostupnost mrežnih korekcija.

## 2. Modeli za praćenje stanja ionosfere

U svrhu praćenja gustoće elektrona u ionosferi koja može degradirati kvalitetu signala ili dovesti do potpunog gubitka signala rutinski se generiraju različiti proizvodi u svrhu trenutnog određivanja i praćenja stanja ionosfere, kao npr. TEC karte ili I95 indeks. Intenzitet i prostorne varijacije ionosferskih pogrešaka unutar mreže permanentnih stanica CROPOS-a opisane su I95 indexom koji predstavlja očekivani utjecaj na relativno GNSS pozicioniranje. Vrijednosti se računaju iz ionosferskih korekcija za sve satelite na svim mrežnim stanicama svaki sat. U računanje ulazi 95% najboljih vrijednosti, a najveća od njih predstavlja I95 index (TPP manual, 2012). Općenita podjela I95 indexa prema jačini ionosferskih smetnji je: 0-2 zanemarive, 2-4 slabe smetnje, 4-8 jake smetnje te >8 vrlo jake smetnje. Iako se I95 vrijednosti računaju za cijelu mrežu i koriste u modeliranju pogrešaka,

za vrijeme povećane ionosferske aktivnosti modelirani mrežni korekcijski podaci mogu sadržavati veće (nelinearne) reziduale ionosfere. Unutar CROPOS-a računaju se reziduali ionosfere koji utvrđuju preostali utjecaj ionosfere na kvalitetu i pouzdanost pozicioniranja. Dva su indikatora koja se koriste za praćenje linearnosti ionosfere: IRIM (Ionospheric Residual Integrity Monitoring) i IRIU (Ionospheric Residual Interpolation Uncertainty). IRIM vrijednosti korištene su kao indikatori unutar CROPOS sustava i računaju se za svaki sat u danu kao RMS vrijednosti za sve satelite i sve mrežne stanice (osim rubnih) uz 95% nesigurnosti interpolacije (TPP manual, 2012). Mrežni procesor računa i otklanja linearni dio efekata primjenjujući ionosferske korekcije na raw podatke opažanja. Mrežni procesor predviđa i potencijalne nelinearne rezidualne pogreške u generiranim podacima za sve stanice (osim rubnih). Što je lineranija ionosfera bolja je točnost interpolacije i manje je pogrešaka koje rover „vidi“. Ionosferske korekcije odaslane su sa svakim setom podataka od strane CROPOS mreže (poruke 1015 i 1017) u korisnički rover. Korekcijski izrazi za prostorne pogreške dobiveni su na bazi satelit-površina i epoha-po-epoha te se računaju za sve referentne stanice na mrežnom serveru u intervalima od jedne sekunde. Ionosferske pogreške pokazuju mnogo veće varijacije u usporedbi sa drugim pogreškama



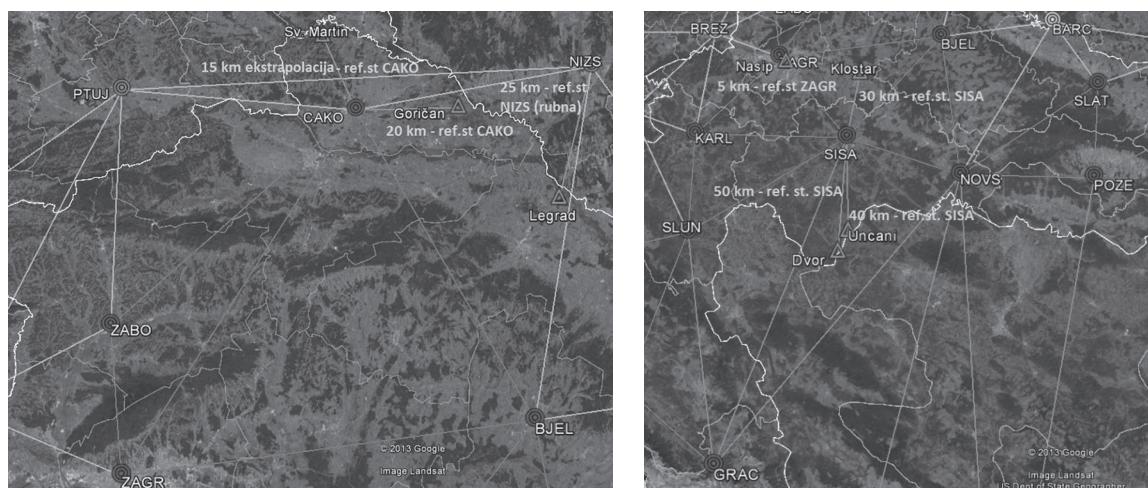
Slika 3: Izračunate IRIU vrijednosti za istu mrežu u različito doba dana (Chen, X. et al, 2003.)

ovisnim o udaljenosti. Stoga, ionosferske korekcije moraju biti obnovljene (odaslane korisniku) češće, u praksi svakih 10 sekundi. Uz to područje modeliranja ionosfere treba biti manje (3-4 okolne referentne stanice). Intenzivna aktivnost ionosfere jače utječe na kraća mjerena, što je značajno kod primjene metode u realnom vremenu. U slučaju jakih ionosferskih poremećaja preostali ionosferski reziduali u kratkim baznim linijama između virtualne referentne stanice i rovera ostaju u opažanjima. Tada je bolje koristiti opažanja dugih baznih linija (CORS stanice) (Kashani I. et al, 2004).

Iako IRIM indikatori daju generalnu sliku ionosferskih poremećaja preko mreže, za izračun nesigurnosti interpolacije unutar mreže koristi se metoda standardne devijacije težinske linearne interpolacije (WLIM). Metoda koristi reziduale referentnih stanica oko rovera (najmanje 4) u svrhu računanja mrežnih korekcija za rover sa težinama udaljenosti od rovera. Budući da je računanje standardne devijacije WLIM ovisno jedino o položaju rovera, reziduali referentnih stanica korištenih za računanja mogu biti prikazani kao grid ionosferske rezidualne interpolacijske nesigurnosti (IRIU), koji predstavlja očekivanu nesigurnost ionosferskih reziduala unutar mreže (Slika 3). (Chen, X. et al, 2003.).

### 3. Analiza utjecaja ionosfere na pozicioniranje CROPOS VPPS i GPPS uslugama

U svrhu ispitivanja utjecaja pojačane aktivnosti ionosfere na preciznost i pouzdanost mjerjenja CROPOS sustavom u periodu lipnja – rujna 2013. obavljena su testna GNSS mjerena korištenjem VPPS i GPPS usluga CROPOS sustava. U svrhu praćenja stanja ionosfere korištene su procjenjene vrijednosti utjecaja ionosfere iz CROPOS sustava, gdje su prosječne  $I_{95}$  vrijednosti za periode opažanja iznosile 2-4, dok su IRIM vrijednosti bile na razini 2-4 cm (GRIM vrijednosti većinom su bile niže: 1-3 cm). Potrebno je bilo utvrditi potencijalni utjecaj preostalih ionosferskih reziduala s obzirom na položaj rovera u mreži odnosno blizinu referentne stanice. Kako je prosječna udaljenost CROPOS stanica 70 km, maksimalna udaljenost rovera od referentne stanice iznosi cca 35 km. U svrhu ispitivanja mrežnog rješenja odnosno modeliranih ionosferskih korekcija i njihove korelacije sa udaljenosti od referentnih stanica, za testna GNSS opažanja su odabrane stalne točke referentne mreže 1. i 2. reda na udaljenostima 5 do 50 km od referentnih stanica. Odabrane su lokacije povoljne za GNSS opažanja sa dobrim DOP vrijednostima i čistim horizontom (velik broj satelita) te koje nisu pod utjecajem multipatha. Na taj način dobivena su opažanja ovisna isključivo o geometrijskim i pogreš-



Slika 4: Testne točke na području Međimurske (a) i Sisačko-moslavačke županije (b)

kama ionosfere. Na slikama 4a i 4b i u tablici 1. dan je pregledan prikaz opažanih točaka sa osnovnim parametrima opažanja i ocjenom točnosti. GNSS opažanja korištenjem VPPS usluge CROPOS sustava izvedena su na 2 testna područja, na ukupno 7 stalnih točaka koje su opažane u 9 – 18 neovisnih inicijalizacija odnosno sa što više nezavisnih rješenja ambiguiteta i sa različitom konstelacijom satelita kako bi se smanjila korelacija između opažanja. Sa svakom inicijalizacijom prikupljeno je 3-4 mjerena sa različitim intervalom registracije od 5, 10, 30 i 60 s u svrhu ispitivanja performansi VPPS metode. Opažane su točke i neposredno uz državnu granicu Republike Hrvatske kako bi se ispitalo modeliranje pogrešaka metodom interpolacije/ekstrapolacije i kod većih udaljenosti od referentne stanice. Državna geodetska uprava razmjenjuje podatke s permanentnim mrežama susjednih zemalja, gdje će se dodatno poboljšati pokrivenost mrežnim korekcijama uključivanjem GNSS stanica mreže Bosne i Hercegovine FBiHPOS i SRPOS (npr. poboljšanje na području Dvora). Također potrebno je uključiti i mrežu AGROS stanica Republike Srbije zbog područja Iloka koje se nalazi na ekstrapoliranom području mrežnih korekcija i na udaljenostima do 35 km od referentne stanice u Vukovaru.

Kod odabira testnih točaka potrebno je

bilo zadovoljiti i uvjet da je na točkama dostupan GPRS signal u svrhu nesmetanog korištenja VPPS usluge CROPOS sustava te ostvarivanja i ispitivanja inicijalizacije. Dugo vrijeme inicijalizacije utječe na lošiju točnost mjerena. Uzroci lošoj inicijalizaciji mogu biti loša geometrija satelita ili mali broj satelita te problemi sa uspostavom GPRS veze. Osim toga vidljiv je utjecaj određenih zapreka na horizontu na vrijeme inicijalizacije (Häkli P., 2004.). Budući da su prilikom odabira testnih točaka svi zahtijevani uvjeti zadovoljeni na testnim točkama ispitivano je vrijeme ostvarivanja inicijalizacije nakon uspostave GPRS veze. Na nekoliko rubnih točaka pojavila se duža inicijalizacija ili gubitak i ponovna uspostava inicijalizacije tijekom različitih sesija mjerena gdje se može zaključiti da je učestali gubitak inicijalizacije vezan za udaljenost rovera od referentne stanice odnosno mogućnosti modeliranja pogrešaka ovisnih o udaljenosti. Na slici 5. vidljivo je da je kod točke u Dvoru duža inicijalizacija utjecala i na preciznost rješenja koordinata. Kod višestrukih ponovljenih inicijalizacija uočene su položajne razlike do 7 cm i visinske razlike do 10 cm. Iako statistički pokazatelji horizontalne i vertikalne preciznosti nisu upućivali na lošiju preciznost pojedinih rješenja koordinata, gdje su za sve točke dobivene vrijednosti horizontalne preciznosti 1–3 cm i vertikalne preciznosti 2–4 cm ipak je za

Opažane točke	Udaljenost od ref. stанице	Razlike minimalne i maksimalne vrijednosti		I95 indeks IRIM reziduali	Horiz. / Vertik. preciznost / RMS	Br.sat./ DOP	Inicijalizacija – nakon uspostave GPRS veze
		Horiz. (m)	Vertik. (m)		RMS < 30	DOP < 6	
HP ZG 3786-Nasip	5 km ZAGR	0.05	0.07	I95 3 IRIM: 3 cm	1 / 2 cm / 30	9-13 / 2	
GPS II.r. 1-Sv.Martin	15 km CAKO	0.04	0.07	I95 3.5 IRIM: 4 cm	1 / 2 cm / 28	12 - 18 / 2	
GPS II.r 5-Goričan	20 km CAKO	0.04	0.06	I95 3 IRIM: 3 cm	1 / 2 cm / 36	11 - 15 / 1	Duža (do 2 min) često se gubi
GPS II.r 22-Legrad	25 km NIZS	0.06	0.07	I95 3.5 IRIM: 2 cm	3 / 4 cm / 28	10 - 16 / 4	često se gubi
TT 210/Z-Kloštar Iv.	30 km SISA	0.04	0.05	I95 4 IRIM: 3 cm	1 / 2 cm / 27	11 - 13 / 2	
GPS II.r 526-Unčani	40 km SISA	0.06	0.07	I95 3 IRIM: 3 cm	2 / 2 cm / 35	8 - 16 / 3	
GPS II.r 527-Dvor	50 km SISA	0.07	0.10	I95 3.5 IRIM: 4 cm	2 / 3 cm / 38	10 - 16 / 2	Duža (do 2 min) često se gubi

Tablica 1: Parametri opažanja na testnim točkama i ocjena točnosti

pouzdane rezultate potrebno mjeriti u više ponavljanja (više inicijalizacija) kako bi se postigla zahtjevana točnost CROPOS-a od 2 cm položajno i 4 cm visinski. Na primjeru točke u Dvoru razlike u visinskoj komponenti između 2 uzastopne inicijalizacije (pod istom konstelacijom satelita) iznose 10 cm, dok su maksimalne vrijednosti razlika unutar iste inicijalizacije do 4 cm. Varijacije u točnosti s obzirom na mogućnosti rješavanja ambigueta mogu biti unutar 10 cm u položajnom i visinskom smislu, što je dovoljno za određene primjene, ali ne i za visoko precizna mjerjenja (Häkli, P., 2004.). Preciznosti mjerjenja dodatno se pogoršava s lošijim DOP vrijednostima i utjecajem okolnog multipatha na mjernom području.

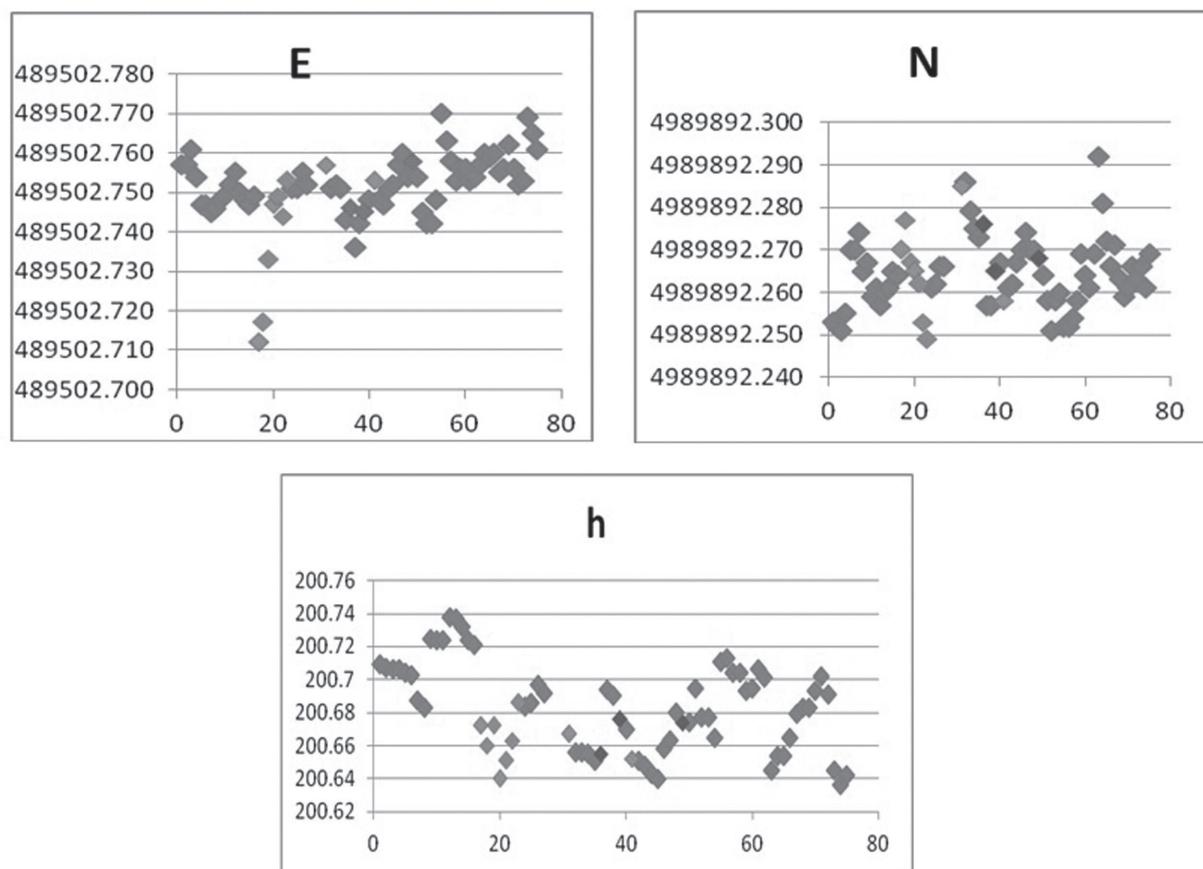
U takvim uvjetima inicijalizacija može trajati puno duže ili se uopće ne postiže pa rover ne može odrediti precizno koordinate položaja (Häkli P., 2004). Statistički pokazatelji za pojedina mjerena bili su dobri, DOP vrijednosti za sve točke bile su  $\leq 4$ , dok je broj satelita varirao između 8-18. Dobivene RMS (Root Mean Square) vrijednosti koje prikazuju veličinu šuma u mjerjenjima i neovisne su o geometriji satelita ovisne su o vremenu postizanja inicijalizacije. Za tri točke su dobivene nešto lošije RMS vrijednosti (Goričan, Unčani i Dvor na Uni), gdje je za te točke uočena duža inicijalizacija od 10 s do 2 min, odnosno česti gubitak i ponovna uspostava inicijalizacije. Rješenje pojedine inicijalizacije utječe na točnost svih mjer-

nja sa istom inicijalizacijom, stoga ukoliko želimo dobiti pouzdane rezultate pozicioniranja moraju se obavljati nezavisnih mjerenja (različite inicijalizacije) pod različitom geometrijom satelita.

Na slici 5. prikazani su rezultati mjerenja na točki u Dvoru na kojoj su dobivena najveća odstupanja između rješenja koordinata. Vidi se da je preciznost visinske komponente nešto lošija nego preciznost horizontalnih koordinata. Također kod položajne komponente istoka (E) pojavilo se veće odstupanje koordinata uslijed gubitka i ponovne uspostave inicijalizacije (narandžasto – duža inicijalizacija, crveno – prekid inicijalizacije). Gubitak inicijalizacije (fiksног rješenja) učestalije se javljao kod dužih mjerjenja (60 s). Razlog tome mogu biti različite prepreke u okolini te iznenadne promjene u atmosferi. Kad je signal sa satelita blokirana preprekom, mora se riješiti novi broj

ambiguiteta za taj satelit odnosno produžuje se vrijeme inicijalizacije. Broj epoha može imati veliki utjecaj na produktivnost VRS mjerjenja, no povećanjem optimalnog broja epoha na veći broj epoha nema utjecaja na točnost (nema bitne razlike u RMS-u) (Häkli P., 2004.). Kod opažanja na bazi 5 epoha (interval opažanja od 1 s) u usporedbi s 30 ili 60 epoha nisu vidljive razlike, tako da povećanje broja epoha od optimalne vrijednosti nema utjecaja na točnost. Na testnim točkama zamjetan je gubitak epoha opažanja kod 1 min opažanja gdje je na nekim točkama prikupljeno i do 40 s (epoha) manje (točka Dvor). Ipak, to nije imalo utjecaja na točnost mjerjenja budući da je prikupljen dovoljan broj epoha.

Na svakoj testnoj točki obavljeno je mjerjenje i brzom statičkom metodom u trajanju od 15 min. Točke su naknadno obrađene u softverskom paketu Trimble Business



Slika 5. Grafovi mjerena na točki u Dvoru

Center korištenjem preciznih efemerida. Za svaku testnu točku korištene su 3 VRS stanice (VRS RINEX opažanja) u okruženju od nekoliko metara koje su dobivene iz CROPOS GPPS servisa. Dobivene razlike između izračunatih srednjih vrijednosti opažanja VPPS uslugom i naknadnom obradom opažanja GPPS uslugom iznose  $\pm 2$  cm položajno i  $\pm 3$  cm visinski što pokazuje da je srednja vrijednost iz više mjerena najpouzdanija vrijednost opažanja i unutar je točnosti određivanja s CROPOS VPPS uslugom. Osim toga budući da se ionosfera brzo mijenja ponavljanjem mjerena dobiti će se najpouzdanija rješenja s obzirom na različite ionosferske uvjete prilikom opažanja.

#### 4. Zaključak

Praćenjem stanja I95 indexa i IRIM vrijednosti CROPOS sustava u periodu 1. lipnja – 1. rujna (prikljeno 2184 h opažanja) može se zaključiti da se uglavnom radi o slabim ionosferskim smetnjama, sa vrijednostima indexa 3-4, dok su periodi jakih ionosferskih aktivnosti vrlo rijetki. U 0.7% vrijednosti I95 indeks je bio oko 5 (16h/2184h), dok je 0.1% imalo vrijednost I95 indexa između 6-7 (2h/2184 h), a samo u jednom slučaju I95 indeks je bio oko 8 (1h/2184 h). Osim toga, veći poremećaji ionosfere su vrlo kratkog trajanja (nekoliko minuta, do unutar 1 h) i stoga se može zaključiti da ne predstavljaju veće probleme za pozicioniranje korisničkih rovera u mreži referentnih stanica CROPOS sustava. Prosječne vrijednosti procijenjenih ionosferskih reziduala (IRIM) bile su za period 1. lipnja – 1. rujna na razini 2-4 cm. Za 1% satnih vrijednosti od prikljeno 2184 h IRIM vrijednosti bile su 5-10 cm, dok je za 0.3% satnih vrijednosti IRIM bio na razini 10-15 cm. Uz te parametre, a s obzirom na područje mjerena u mreži potrebno je koristiti i procijenjene IRIU vrijednosti, koje za točke na udaljenostima od 50 km od referentnih stanica mogu biti i do desetak cm (Slika 4), pod uvjetom da nije bilo značajnih ionosferskih smetnji. Te vrijednosti u korelaciji su

sa razlikama dobivenim iz testnih mjerena sa više inicijalizacija. Također treba naglasiti da su GRIM vrijednosti reziduala geometrijskih pogrešaka u većini slučajeva na razini niže od IRIM vrijednosti i iznose do 4 cm. Stoga se može zaključiti da su prilikom testnih GNSS mjerena sve točke imale „iste“ ionosferske smetnje, bez značajnijih jačih perioda ili velikih oscilacija u ionosferi. Iz usporedbe opažanih točaka proizlazi da se nešto veće razlike u koordinatama (do 10 cm visinski), uz duži period i prekide u inicijalizaciji, pojavljuju kod ponovljenih mjerena s obzirom na udaljenost od referentne stanice (točka Dvor ima najveće vrijednosti razlika). Tu činjenicu treba uzeti u obzir ukoliko jedna od stanica CROPOS sustava ne radi pa se udaljenost rovera od najbliže referentne stanice povećava. Također, iako su horizontalna i vertikalna preciznost utvrđene iz pojedinih sesija mjerena (inicijalizacija) unutar točnosti CROPOS sustava, pouzdani rezultati se mogu dobiti samo višestrukim inicijalizacijama, o čemu posebno treba voditi računa za vrijeme pojačanih ionosferskih aktivnosti, kada korisnici mogu očekivati smanjenje preciznosti mjerena. U tu svrhu preporučeno je pratiti promjene I95 vrijednosti koje se računaju za svaki sat u CROPOS sustavu te pružaju informaciju o trenutnoj ionosferskoj pogrešci. Uz to potrebno je pratiti i predviđene ionosferske pogreške (IRIM) u svrhu predviđanja performansi rovera. Povezanost između točnosti i duljina baznih linija od korisničkog rovera do najbliže referentne stanice je mala, ako se radi o stabilnim ionosferskim uvjetima. Ipak, rover bi trebao biti što bliže referentnoj stanici u svrhu postizanja veće preciznosti za vrijeme većih ionosferskih aktivnosti, stoga je bitno umrežavanje sa susjednim zemljama u svrhu smanjenja duljine vektora i boljeg modeliranja pogrešaka ionosfere.

## Literatura

- Chen, X. et al. (2003): New Tools for Network RTK Integrity Monitoring, ION GPS/GNSS 2003.
- Elmas, Z. G. et al. (2011): Higher order ionospheric effects in GNSS positioning in the European region, Ann. Geophys., 29, 1383-1399, doi:10.5194/angeo-29-1383-2011.
- Häkli P. (2004): Practical Test on Accuracy and Usability of Virtual Reference Station Method in Finland, FIG Working Week Athens 2004
- Kashani I, Wielgosz P, Grejner-Brzezinska D (2004): Network-Derived Atmospheric Corrections for Instantaneous RTK, 2004, IAG Working Group 4.5.1: Network RTK
- Landau H, Vollath U, Chen X. (2002): Virtual Reference Station Systems, Journal of Global Positioning Systems (2002), Vol. 1, No. 2: 137-143
- Trimble Pivot Platform Manual (2012)
- URL 1: <http://www.swpc.noaa.gov/>
- URL 2: <http://sidc.oma.be/>

## **Abstract:**

With the implementation of CROPOS system it is enabled high precision positioning in real time where corrections for distance depended errors were modelled on network server. Ionospheric effect is most difficult for modelling and causes the highest errors in positioning in network RTK in the sense of reliability and availability of network corrections for rover solution especially in the period of intensive activity on Sun, and which are predicted for 2013 year. Possibility of network RTK for modelling of ionospheric errors depends on distance between reference stations and condition of the ionosphere at that moment. User rover can have problems in achieving of initialization which in combination with longer distance from reference station and bad satellite constellation could cause less precision in positioning what mainly have impact on real time positioning. Ionosphere activity is commonly presented with I95 index that is available in CROPOS system and gives information about expected ionospheric error. Extreme variations in ionosphere could not be reliably modelled and could cause higher ionospheric errors that have impact on positioning. In the aim of prediction of remaining errors in GNSS measurements, in CROPOS system are calculated IRIM values for the purpose of prediction of rover performance. In the paper will be described implemented models of ionosphere in the CROPOS system and results of testing precision and reliability of coordinate solution using CROPOS VPPS and GPPS services in the periods of increased ionospheric activities and correlation with predicted values from modelling.

**Influence  
of higher  
ionospheric  
activity on  
precision and  
reliability of  
measurements  
with CROPOS  
system**

**Key words:**  
**ionosphere, I95,  
IRIM, CROPOS  
VPPS**

# GNSS mreže u okruženju

**P. Braunmuller**

GNSSnet.hu, the Hungarian active network - the right choice

**K. Medved, S. Berk, K. Bajec**

Recent Developments of Spatial Reference System in Slovenia

**P. Femić**

Montepos i jedinstveni model horizontalne transformacije Crne Gore

**D. Tabučić**

FBiHPOS mreža permanentnih GNSS stanica i status njene primjene

**S. Naod, S. Grekulović, V. Vasilić, O. Odalović, D. Blagojević**

Terrestrial reference frame of Serbia and its temporal rate

**S. Trpeski, S. Dimeski, Z. Lekoski**

MAKPOS – Network of Permanent GNSS Stations in the Republic of Macedonia

**M. Meha, M. Čaka, R. Murati**

Analysis of KÖPOS in the Testing Phase

**A. Mihaljević, M. Kapustić, I. Kušan, I. Meštrović**

Usporedba poslovnih modela permanentnih GNSS mreža u okruženju Hrvatske (Austrija, Slovenija, Mađarska, Srbija, Crna Gora i Hrvatska)

**Z. Krejović, V. Milenković, S. Lazić**

Development of the permanent GNSS stations network of the Republic of Serbia - AGROS and analysis center for EPN network establishing in the RGA control center (samo prezentacija)

# GNSSnet.hu, the Hungarian active network - the right choice

Péter Braunmüller<sup>1</sup>

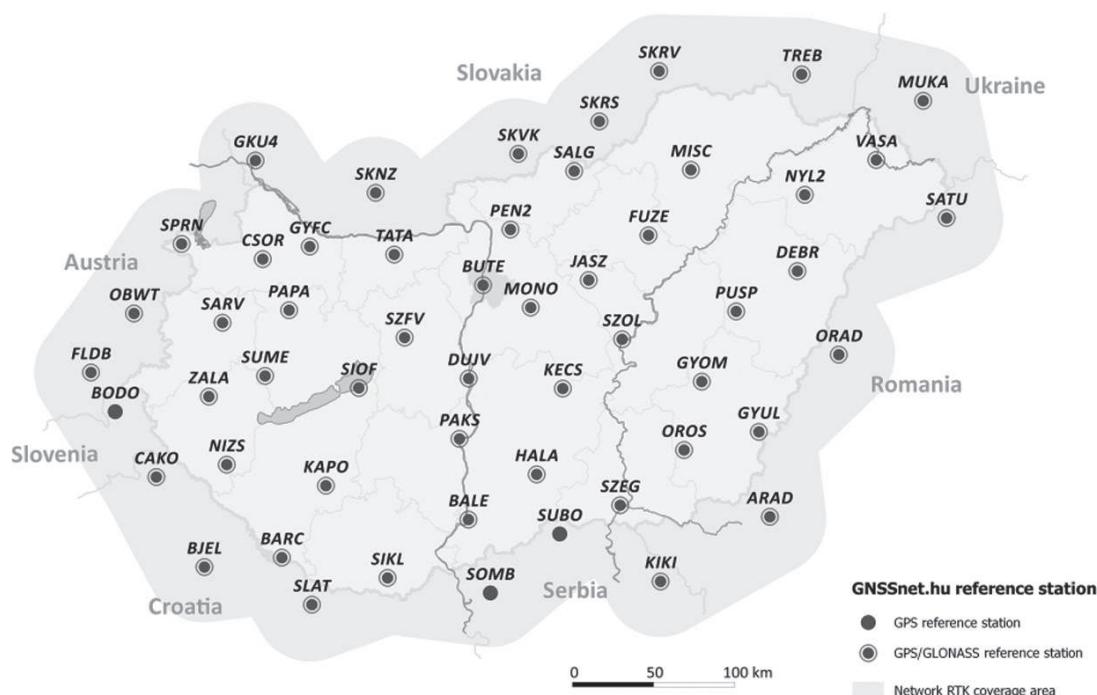
<sup>1</sup>FÖMI Satellite Geodetic Observatory, P.O. Box 585, H-1592 Budapest, Hungary, braunmuller@gnssnet.hu

The Hungarian Active GNSS Network consists of 54 permanent stations including 19 stations of the neighboring countries, 3 of them are part of CROPOS. All of the inland stations are GPS/GLONASS capable and the antennas are individually calibrated. Leased line connections ensure the low delay of the incoming data of the receivers, mainly located in Land Registry Offices.

Beyond the cross-border data exchanges with all neighboring countries, selected sites of GNSSnet.hu are part of the global IGS (PENC station) and regional EPN (5 stations) networks. We are also deeply invol-

ved in the activities of EUREF (TWG membership, operation of an EPN Local Analysis Centre, EPN Reference Frame Coordinator) and EUPOS (European Position Determination System). In EUPOS Hungary is represented in the ISC (International Steering Committee) and SGO operates the EUPOS Combination Centre and maintains the ESDB (EUPOS Station DataBase). ESDB contains the IGS-format site log files of all stations of the members. Additionally ESDB provides several user friendly solutions, like automatic e-mail notification if a site log has changed.

The services of the Active Hungarian GNSS



Reference stations of GNSSnet.hu network



Map of the EUPOS stations

Network, called GNSSnet.hu, covers all user needs, especially since a new post-processing solution is made available. We are not only providing real-time services, but reference station data for post-processing in RINEX format is accessible. Raw measurements of a virtual reference station at a freely selectable position in Hungary can also be generated for user demands. Registered users may access our real-time streams, which can either be DGNSS, RTK or Network RTK corrections. The streams are transmitted through Ntrip protocol in RTCM2.x, RTCM3.x or CMR message types. FÖMI is the only in Hungary who offers VRS, FKP and MAC concepts of the Network RTK solutions. Complementary – and partly free – services ensure coordinate transformation between the ETRS89 and the Hungarian Unified Projection (EOV) in either in real-time or post-processing mode. The fleet-tracking solution can also be activated, which is developed especially for companies with more receivers and working crews.

To ensure and further improve the high quality of the GNSSnet.hu services in the

last year we have implemented several developments. The first – and the utmost one – was the set up of a completely new **central data processing system**, implementing new servers and adding backup solutions, which makes possible the automatic reaction for any interruptions and failures. This way the service outages can be minimized and the 99,97 % availability rate of 2012 can still be improved.

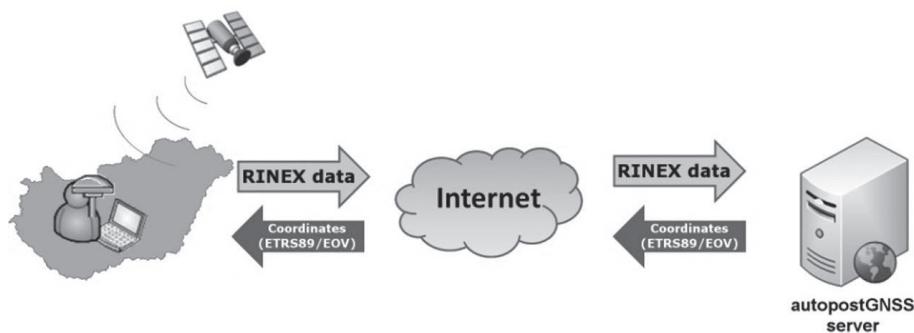
After long testing and two months of free trial period we introduced a new central post-processing system, called **autopostGNSS**. It carries out the automatic processing of the uploaded RINEX data and can transform the coordinates into EOV. Besides saving money, as the whole procedure takes just a few minutes, it also saves working time for the users. Static or kinematic measurements can be processed, which was especially useful during the flood of the Danube in June 2013.

After a long test period we integrated a **new reference station (PEN2)**, into the active network, the 1<sup>st</sup> equipment, which is capable to receive the Galileo signals. This

site has less obstacles and the multipath effect is smaller, as the antenna is installed on a higher place just a few meters away from the old one. The new station is part of the EPN since 11.06.2013. After certain parallel operation it will fully replace PENC station.

Our users are mainly land surveyors. However the most quickly growing user group

is from the precision agriculture. As more and more manufacturer equips autosteering and GPS/GNSS guidance solutions on their machinery, the ratio of the agricultural users raised over 10 % just in one year. All together the usage and the number of registered companies is still growing.



Flowchart of the autopostGNSS service

# Recent Developments of Spatial Reference System in Slovenia

Klemen Medved<sup>1</sup>, Sandi Berk<sup>2</sup>, Katja Bajec<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Zemljemerska ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenia, klemen.medved@gov.si

<sup>2</sup> Geodetic Institute of Slovenia, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenia, sandi.berk@gis.si

<sup>3</sup> Geodetic Institute of Slovenia, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenia, katja.bajec@gis.si

## Abstract:

Ongoing development of the SIGNAL Positioning Service is presented. The paper is focused on what is new since May 2011, i.e. after the 2<sup>nd</sup> CROPOS Conference. The main topics are network upgrades, usage statistics and ionosphere activity monitoring. In the second part of the paper, activities regarding height system and gravimetric surveys are discussed. One of the activities in 2013 intends to establish a national combined geodetic network.

**Keywords:**  
GNSS, levelling,  
national  
combined  
geodetic  
network,  
positioning,  
SIGNAL

## 1. Introduction

SIGNAL – the Slovenian permanent GNSS network and positioning service – was already presented at the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> CROPOS Conference (Radovan and Medved 2009; Berk et al. 2011a). The way of fixing network stations' coordinates was described there. Some important events regarding the network, development of its services, and transformation between the local coordinates and the Slovenian realization of ETRS89 was also presented.

In this paper, relevant changes regarding the SIGNAL network in the last two years are addressed. First results on the ionosphere activity monitoring using SIGNAL network data are presented. They refer to the peak of the 24<sup>th</sup> solar cycle. Some important activities regarding recent developments of the spatial reference system in Slovenia are also discussed.

## 2. The SIGNAL Positioning Service

The SIGNAL network of GNSS stations is

owned by the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia and operated by the Geodetic Institute of Slovenia. The network consists of 15 stations. Eight of them support GPS and GLONASS signal and the others GPS signal only. At the moment, 12 additional stations from the neighbouring countries are included into the network: five Austrian (APOS) stations, one Hungarian (GNSSnet.hu) station, and six Croatian (CROPOS) stations, see Figure

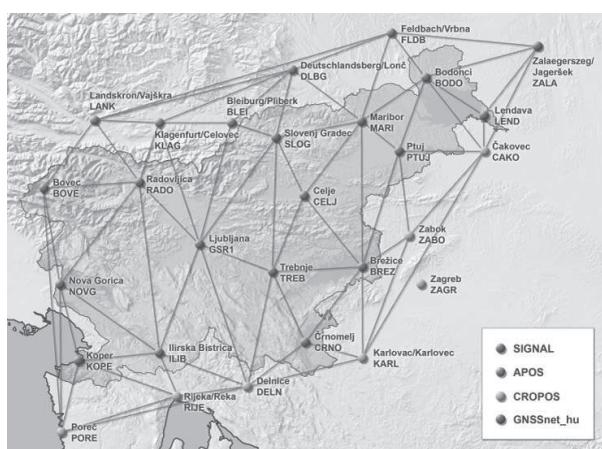


Figure 1: Current configuration of the SIGNAL network.

1. A total of 27 stations are actively included in the current network configuration. Croatian station (Zagreb) can also be used if needed, as a substitution in case of trouble with some of the neighbouring stations (Bajec et al. 2012, Medved et al. 2013).

## 2.1 Important Changes since Mid 2011

Velika Polana reference station was put out of operation in 2011 due to construction works on site. As there has also a high building been constructed close to it, it was decided to move the station to Lendava, which is less than 7 km away. Lendava station was operational in the SIGNAL network since April 2013.

Antenna upgrades from GPS only to GNSS were made at the Celje station (CELJ) in January 2012 and at the Nova Gorica (NOVG) and Trebnje (TREB) stations in May 2013. The auxiliary station equipment (UPS-devices, batteries, routers, and modems) on more than half of the network stations has been replaced. There was an interference problem at the Celje station on GLONASS frequencies in January 2012 and in October 2011 with Ljubljana station on all frequencies. The last remained unexplained and stopped within one month.

In 2011, there were two providers of real-time services: Mobitel (mobile network operator) and Economic Interest Association of Geodetic Service Providers (GIZ GI) in cooperation with Tušmobil (mobile network operator). Now only Mobitel is providing real-time services. RINEX data are still free of charge for registered users. In July 2011 we switched the system from Trimble RTKNet to the currently running VRS<sub>3</sub>Net software. Transition to the Trimble Pivot is planned for the beginning of the year 2014.

## 2.2 The Latest Usage Statistics

Number of active users by year is shown in Figure 2. We can see, that since 2010, the

number of real-time users has fallen to 250, which is very close to number of geodetic companies, registered at the Slovenian Chamber of Engineers. On the other hand, the number of RINEX data users has risen up since real-time services became paya-

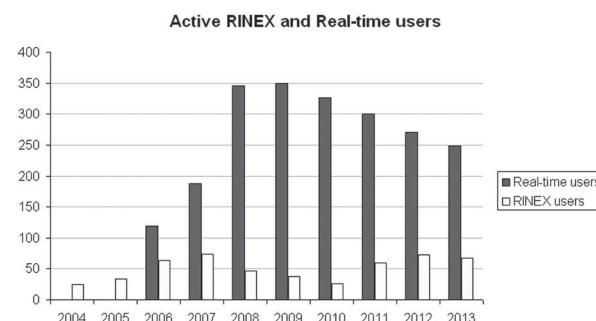


Figure 2: Number of active RINEX and real-time users by year

ble in April 2010.

SIGNAL users have been doing very little post-processing compared to real-time positioning and among all of the real-time services, network corrections services are most often used, see Figure 3.

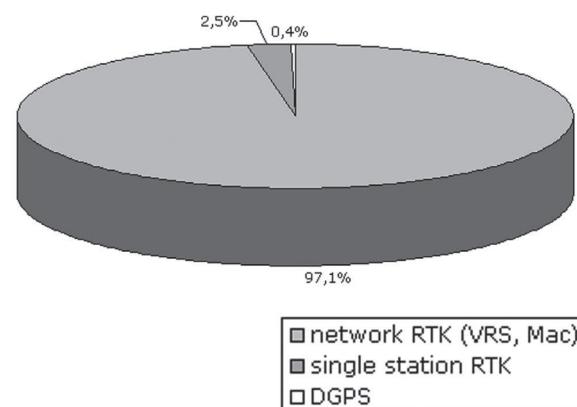


Figure 3: Usage of SIGNAL services in 2013

## 2.3 Ionosphere activity monitoring using reference stations network

As the solar activity is about to reach its maximum in the 24<sup>th</sup> solar cycle, the ionosphere disturbances were monitored using

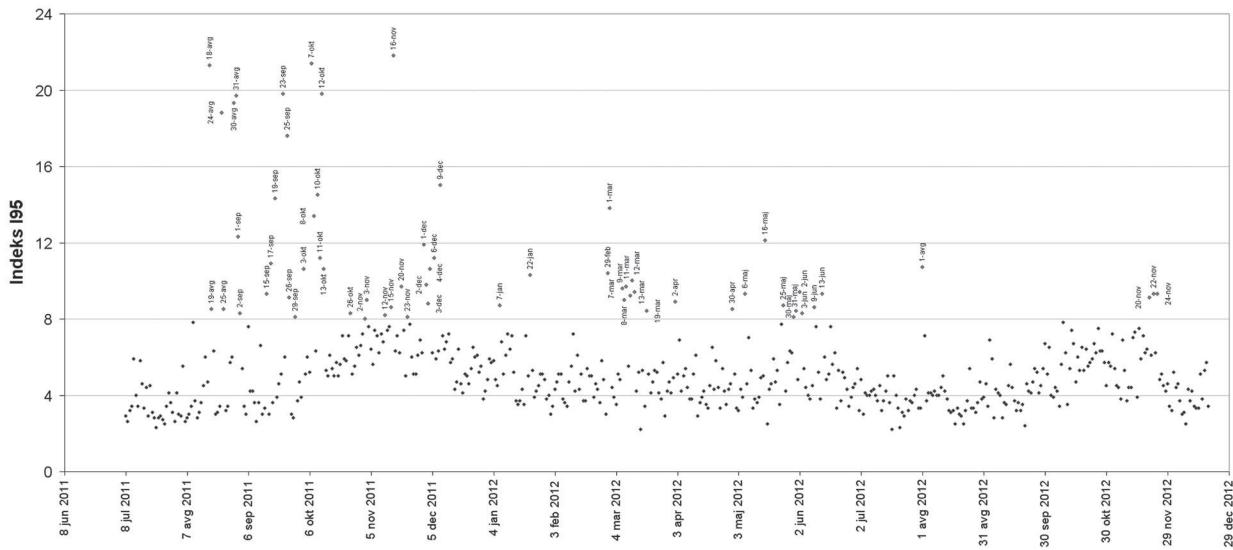


Figure 4: Highest hourly I95 index values by days in Slovenia between June 2011 and December 2012.

the SIGNAL network data (Berk et al. 2013). In the period from July 2011 till end of 2012, I95 index was observed. The purpose of the analyses was to evaluate the degradation of the location based services in periods of high solar activity.

The maximum hourly value of I95 index (21,8) was reached on 16<sup>th</sup> November 2011. For I95 index values up to 2, the ionosphere disturbances are interpreted as low, for the values between 2 and 4 as average, and above 4, as high. The hourly value of 20 was exceeded only two more times; on 18<sup>th</sup> August 2011 and on 7<sup>th</sup> October 2011. The solar activity was highest in months from August 2011 till December 2011, as seen in Figure 4.

### 3. Horizontal/Terrestrial System

The current realisation of ETRS89 is dated back to the 1996, which is a rounded mean epoch of the three GPS campaigns involved into computations. So, there is a need for a new realisation. Within the project of establishing a national combined geodetic network of Slovenia – see section 5, below – a new realisation of ETRS89 is planned. The five official EUREF sites in Slovenia shall be replaced with sites of the combined geodetic network. At these stations – among

others – permanent GNSS observations will be collected.

The quality of the country-wide triangle-based transformation model, version 3.0 (Berk and Komadina 2013), has been checked in the eastern part of the country (Berk et al. 2011b). The consistency analysis of D48/GK and D96/TM coordinates of more than 62,000 cadastral boundary points shows some deviations in the areas with low density of tie points used. Some of our activities in the last period were therefore focused into the realization of two important tasks: to define and realize the transformation procedure from D48 to ETRS89 for all official spatial data, and to establish the first geokinematic model for the territory of Slovenia.

### 4. Height and Gravimetric Systems

The implementation of the new height system is based on the new levelling network, which is being measured from 2006. Altogether, 1116 km of levelling lines were measured till the end of 2012, which is 59 % of all planned levelling lines. The new levelling network consists of 14 levelling loops, all closed on the theritory of Slovenia. Altogether, there are above 2,000 km of levelling lines. Some levelling

lines measured in the nineties will also be re-measured, see Figure 5. There are also planned some new connections to Croatia. The mean error of the two-sided levelling is 0.42 mm/km (Koler et al. 2012b).

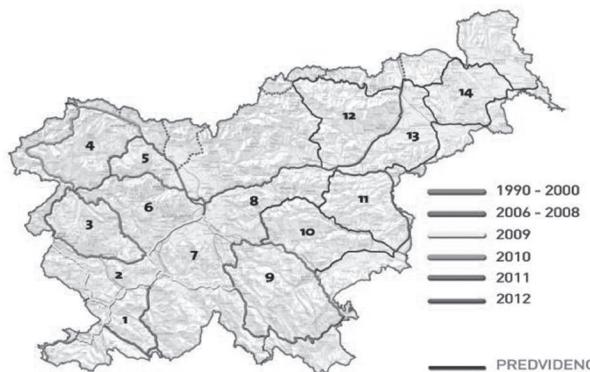


Figure 5: Epochs of the first order levelling lines (years of their last re-levelling)

Detailed gravimetric surveys, based on the new fundamental gravimetric network (Koler et al. 2012a), were performed along all measured levelling lines. In the last 6 years, more than 1,200 new points were observed, see Figure 6. Gravimetric surveys are performed with the purpose of determining geopotential numbers of benchmarks. These observations will also be used for computations of a new geoid model. Analyses have shown the need to densify the gravimetric data mainly in the western part of Slovenia (Koler et al. 2012b), so in the future we plan detailed regional gravimetric measurements.

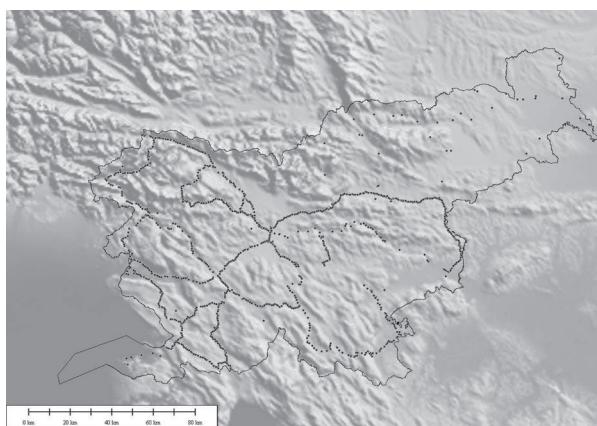


Figure 6: Measured gravity points in the period 2006-2012

For the purpose of improvement the height reference surface model, the GNSS measurements (min. 36 hrs) were carried out on homogeneously distributed points over the whole territory of Slovenia. At the moment, there are over 50 GPS/levelling points to be used for fitting a new (quasi-)geoid, plans are to thicken up 80 points, see Figure 7.

## 5. National Combined Geodetic Network

As already mentioned above, the newly started project of implementation of the vertical component of ESRS in Slovenia also intends to establish a national combined geodetic network (as a unified 'zero-order' horizontal and vertical networks). Its realization will connect the highest-order horizontal, vertical, and gravimetric networks, including the existing national permanent GNSS network.

A preliminary study was carried out in order to determine its concept (Berk et al. 2012). As an optimal number of network sites, six sites were chosen. Their macro-locations were also selected with the circles with radius of 25 km – see Figure 8. The average distance between the planned neighbouring sites in the network is about 100 km.

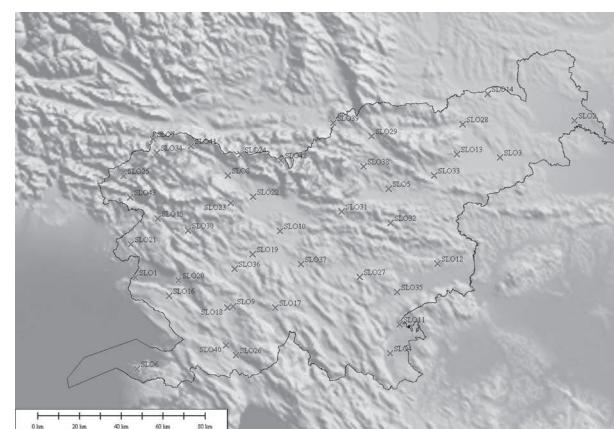


Figure 7: Measured GPS/levelling points for fitting a new (quasi-)geoid (years of their last re-levelling)

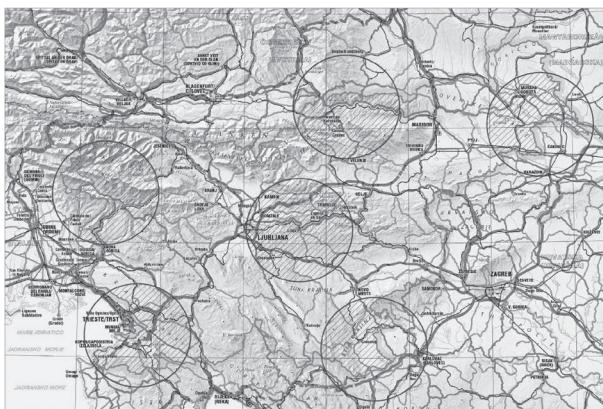


Figure 8: Macro-locations of the planned combined geodetic network of Slovenia

The combined geodetic network of Slovenia will serve as a:

- reference frame for the national horizontal/-terrestrial system,
- reference frame for the national height and gravi-metric systems,
- reference frame for the national permanent GNSS network, and
- multi-purpose calibration network.

On the other side, the national combined geodetic network will serve as the fundamental geodetic infrastructure for permanent monitoring of geodynamic processes on the territory of the country. It will assure the quality of georeferencing in long-term. All the sites of the network will be fixed in three dimensions, functioning as geometric (i.e. permanent GNSS stations) and gravity-referenced (levelling and gravime-

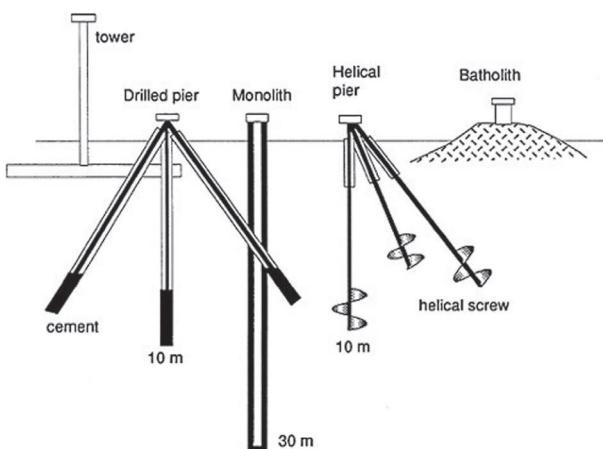


Figure 9: 'Zero-order' sites monumentation – some proposed variants

tric) network points. One of the six sites is placed at the coast and will be used as fundamental benchmark with the permanent tide gauge station. All the points will be monumented with concrete pillars, drilled-braced tripods, or rohn towers, see Figure 9.

It is planned to establish this network till the end of 2016.

## 6. Conclusions

Some changes regarding the SIGNAL network and some new activities in the last two years are presented. A small change of the network configuration was made and some station equipment upgrades were completed. Switch to the new software managing the network was also made. Some network usage statistics are given, showing a certain decrease of the real-time users since the real-time services became payable. First results of the monitoring of ionospheric disturbances over Slovenia through the SIGNAL network are presented. They show some periods with high hourly values of I<sub>95</sub> index, which could cause problems to the users of GNSS.

Some quality analyses of the local to ETRS89 datum transformation model for Slovenia were carried out. Other activities regarding the terrestrial reference system were focused on the realization of the national combined geodetic network. This network will integrate all geometric and gravity-related reference networks in Slovenia. The implementation of the new height system is based on the new levelling network, which is being measured since 2006. Detailed gravimetric surveys based on the new fundamental gravi-metric network were performed along all measured levelling lines. GNSS measurements were carried out on homogeneously distributed points over the whole territory of Slovenia. These GPS/levelling points will be used for fitting a new (quasi-)geoid.

## References

- BAJEC, K., N. FABIANI, S. BERK, and B. BARBORIČ (2012). SIGNAL GPS Service Annual Report (in Slovene). Geodetic Institute of Slovenia, Ljubljana.
- BERK, S., K. BAJEC, D. FAJDIGA, D. RADOVAN, Ž. KOMADINA, K. MEDVED, T. AMBROŽIČ, B. KOLER, M. KUHAR, P. PAVLOVČIČ PREŠEREN, S. SAVŠEK, O. STERLE, and B. STOPAR (2012). Preliminary Study on a Zero Order Combined Geo-detic Network (in Slovene). In: Raziskave s področja geo-dezije in geofizike 2011. Proceedings. Ljubljana, 26 January 2012, pp. 37-44.
- BERK, S., K. BAJEC, K. KOZMUS TRAJKOVSKI, and B. STOPAR (2011a). Status of the SIGNAL Positioning Service and Transformation between the Local and ETRS89 Coordinates in Slovenia, 2. CROPOS konferencija, Zagreb, Croatia, 8 April 2011, Zbornik radova, pp. 73-82.
- BERK, S., K. BAJEC, and D. RADOVAN (2013). Monitoring of Ionospheric Disturbances over Slovenia through the SIGNAL Permanent GNSS Network (in Slovene). In: Raziskave s področja geo-dezije in geofizike 2012. Proceedings. Ljubljana, 29 January 2013, pp. 95-103.
- BERK, S., and Ž. KOMADINA (2013). Local to ETRS89 Datum Transformation for Slovenia: Triangle-Based Transformation Using Virtual Tie Points. Survey Review, 45(328): 25-34.
- BERK, S., Ž. KOMADINA, and J. TRIGLAV (2011b). Consistency Analysis of D48/GK and D96/TM Coordinates of Cadastral Boundary Points in the Mura Region (in Slovene). Geodetski vestnik, 55(2): 269-283.
- KOLER, B., K. MEDVED, and M. KUHAR (2012a). The New Fundamental Gravimetric Network of Slovenia. Acta geodae-tica et geophysica Hungarica, 47(3): 271-286.
- KOLER, B., T. URBANČIČ, K. MEDVED, N. VARDJAN, S. BERK, O. C. D. OMANG, D. SOLHEIM, and M. KUHAR (2012b). The New Height System of Slovenia and the Test Geoid Computation (in Slovene). In: Raziskave s področja geodezije in geofizike 2011. Proceedings. Ljubljana, 26 January 2012, pp. 91-101.
- MEDVED, K., S. BERK, and B. STOPAR (2013). National Report of Slovenia to the EUREF 2013 Symposium in Budapest. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe – EUREF, Budapest, Hungary, 29–31 May 2013.
- RADOVAN, D., and K. MEDVED (2009). SIGNAL – Slovenian Permanent GNSS Stations Network, 1. CROPOS konferencija, Zagreb, Croatia, 8-9 June 2009, Zbornik radova, pp. 29-40.
- SIGNAL Positioning Service (in Slovene). Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia, Ljubljana. <http://www.gu-signal.si/>.

### Sažetak:

Predstavljen je razvoj pozicijskog sustava SIGNAL. Rad je posebice usredotočen na novosti, nastale od svibnja 2011, nakon 2. CROPOS konferencije. Glavne teme su mrežne nadogradnje, statistike o korištenju i praćenje aktivnosti ionosfere. U drugom dijelu slijedi diskusija o aktivnostima, koje se odnose na visinski sustav i gravimetrijska mjerjenja. Prikazane su i aktivnosti uspostave nacionalne kombinirane geodetske mreže u 2013 godini.

### Razvoj prostornog referentnog sustava u Sloveniji

**Ključne riječi:**  
**GNSS, nacionalna kombinirana geodetska mreža, nivелiranje, pozicioniranje, SIGNAL**

# Montepos i jedinstveni model horizontalne transformacije

Predrag Femić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uprava za nekretnine, Ul. Kralja Nikole 27/V PC „Čelebic”8, 1000 Podgorica, Crna Gora

Montepos odnosno mreža permanentnih stanica Crne Gore je razvijena 2005. godine kada je sa 9 stanica pokrivena cijela teritorija države. Krajem 2007. godine izvršena je nadogradnja sistema i funkcionalnost svih 9 stanica je proširena za prijem signala Globalnog satelita.

U periodu 2005-2008 godine sistem je zbog malog broja korisnika bio besplatan, a onda kreće komercijalna upotreba sa cijenom 2000 Eura za godinu dana. Usvajanjem nove uredbe o cijenama 2012. godine, koja je danas na snazi, usluge monteposa su značajno pojeftinile pa je cijena za dvije godine korišćenja sistema 1500 Eura.

Montepos danas ima registrovanih 40 naloga i to su pored Uprave za nekretnine uglavnom privatne geodetske organizacije pored manjeg broja građevinskih firmi i javnih preduzeća.

U cilju poboljšanja mreže, naročito u pograničnim područjima, vrši se razmjena podataka sa nadležnim Upravama iz Hrvatske, BiH i Srbije pa danas pored podataka sa naših permanentnih stanica sistem procesira podatke sa još 7 lokacija.

U martu 2012. godine pušten je u službenu upotrebu jedinstveni model horizontalne transformacije. Realizovani model čini kombinacija Helmertove transformacije i interpolacije u gridu rezidula ( $7P + GRID$ ) a dobi-jen je kao rezultat računanja transformacije i grida na osnovu 1076 zajedničkih tačaka (900 trigonometrijskih tačaka svih redova i 176 tačaka poligonske mreže).

Kontrola kvaliteta transformacionog modela podrazumijeva kvalitet kojim se pomoću njega mogu prognozirati popravke (reziduali) na zajedničkim tačkama, koje su inače poznate. Kao mjera kvaliteta usvojena je srednja vrijednost razlika između poznatih i dobijenih reziduala.

Srednje apsolutno odstupanje po horizontalnom položaju, na 1076 tačaka iznosi: 0.02m. Distribucija modela, u zavisnosti od potreba korisnika, vrši kroz sistem permanentnih stanica MONTEPOS, ili direktnom integracijom u korisničke prijemnike.



Zbog jednostavnosti prikaza, rezultirajući grid za područje čitava Crne Gore je prikazan sa gustom 10km

# FBIHPOS mreža permanentnih GNSS stanica i status njene primjene

Denis Tabučić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federalna uprava za geodetske i imovinsko – pravne poslove, Reisa Džemaludina Čauševića br. 6, Sarajevo, denis.tabucic@fgu.com.ba

## Sažetak:

*Bosna i Hercegovina se od septembra 2011. godine svrstala u red zemalja koje koriste tehnologiju permanentnih GNSS stanica. Projekat BiHPOS implementiran je na način da su izgrađene dvije komplementarne mreže za satelitsko pozicioniranje: SRPOS (za prostor Republike Srpske) i FBiHPOS (za prostor Federacije Bosne i Hercegovine). Projekat je svakako donio veliki napredak u području satelitskih mjerena na prostoru Federacije Bosne i Hercegovine ali i ostatka države. Najveći napredak pokazao se što je i bilo očekivano kod realizacije geodetskih poslova većeg obima, kao što je slučaj izgradnje velikih infrastrukturnih objekata ali također i u području mjerena za potrebe katastarskih ureda. FBIHPOS mreža se sastoji od 25 GNSS stanica, te kontrolnog centra u Sarajevu. Usluge koje mreža nudi svojim korisnicima prihvaćene su s velikim oduševljenjem te su veoma brzo prepoznate prednosti korištenja upravo ovih metoda određivanja pozicija tačaka. Promociji mreže doprinijele su aktivnosti Federalne uprave za geodetske i imovinsko pravne poslove koja je ovaj projekat realizirala te i identificirala kao nosioca budućeg napredka geodetske struke u FBiH. Također se je radilo i na daljem napredku i poboljšanju mreže gdje je Uprava pokrenula niz aktivnosti.*

**Ključne riječi:**  
**BIHPOS, FBIH,**  
**FBIHPOS, FGU,**  
**GNSS CORS**

## 1. FBIHPOS

Kako bi koristili prednosti tehnike diferenciranog GNSS-a, uspostavljene su mreže permanentnih stanica na području određenih regija ili država. Time se otklanja potreba za privremenim referentnim stanicama na terenu ili za uspostavljanjem lokalnih mreža na nekom području rada. Ovakav način rada vodi konceptu korištenja mrežnih korekcija koristeći GNSS opažanja sa stanicama koje su locirane u blizini samog korisnika te sa mrežnog servera putem radio ili GSM veze dolaze do rovera korisnika. Bosna i Hercegovina se od septembra 2011. godine svr-

stala u red zemalja koje koriste tehnologiju permanentnih GNSS stanica. Projekat BiHPOS implementiran je na način da su izgrađene dvije komplementarne mreže za satelitsko pozicioniranje:

- SRPOS mreža za prostor Republike Srpske koja broji 17 GNSS stanica,
- FBiHPOS mreža za prostor Federacije Bosne i Hercegovine koja također broji 17 GNSS stanica.

Projekat je donio veliki napredak u području satelitskih mjerena na prostoru Federacije Bosne i Hercegovine ali i ostatka države. Od bitnijih polja primjene projekta uspostave



Slika 1: Prikaz rasporeda stanica FBIHPOS mreže uz 8 stanica preuzetih iz SRPOS mreže

FBIHPOS mreže permanentnih stanica sva-kako su:

- projekti premjera svake vrste (inžinjerstvo, katastar i slično),
- naučna i geodinamička istraživanja,
- fotogrametrija i lasersko skeniranje,
- hidrografija, poljoprivreda i šumarstvo,
- službe sigurnosti i spašavanja, saobraćaj i telematika,
- upravljanje rizicima i zaštita životne sredine,
- statistika,
- upravljanje svim vrstama saobraćaja na raznim nivoima,
- klimatska istraživanja i vremenske prognoze,
- suhozemna, vodena i vazdušna navigacija.

Finansiranje ovog projekta je omogućeno iz predpristupnih fondova Evropske Unije. BIHPOS mreža se sastoji od 34 GNSS sta-

nice, te kontrolnih centara u Sarajevu i Banja Luci. Listu stanica ovih mreža moguće je pogledati na FBHPOS web servisu na internet adresi [fbihpos.fgu.com.ba/spiderweb](http://fbihpos.fgu.com.ba/spiderweb) kao i na oficijelnoj web stranici Federalne uprave za geodetske i imovinsko – pravne poslove. Kako bi se na cijelom području Bosne i Hercegovine mogli primjenjivati servisi mreže permanentnih stanica, dva sistema razmjenjuju podatke mjerjenja sa po 8 stanica u područjima granice dva BiH entiteta (Slika 1).

## 2. Referenti okvir u upotrebi

Obrada podataka mjerjenja i izjednače-nje koordinata referentnih GNSS stanica FBIHPOS mreže permanentnih GNSS stanica obavljeno je Bernese GPS Softwareom (Ver. 5.0.) od strane eminentnog "Institut Géographique National" (IGN France). Za računanje su korišteni podaci konačnih IGS

orbita i parametri Zemljine orbite. Svi podaci su preuzeti od IGS Global Data Centra koji se nalazi pri IGN-u. U obradu podataka mjeđenja uključeni su RINEX podaci opažanja u trajanju 16 dana, intervala 30 sekundi sa seta od 34 stanice koje su obavljale GPS C1/L1/P2/L2 mjerena. Raspon pomenutih opažanja je od 15. do 30. aprila 2011. godine što odgovara danima u godini od 105 do 120.



Slika 2: Određivanje koordinata GNSS permanentnih stanica

Koordinate su sračunate u standardnom Internacionalnom terestričkom referentnom okviru - ITRF2008 odnosno IGS08 (International GNSS servise). Također je izvršena transformacija ovih koordinata u ETRF2000 i u ITRF2005 ep.2005.o. Prema (Pašalić i Mišković, 2011) rezultati obrade podataka su veoma zadovoljavajući i pokazuju visoku tačnost određivanja koordinata svake od stanica (E RMS  $\leq$  1.5mm, N RMS  $\leq$  1.6mm, U RMS  $\leq$  3.5mm). Isti izvor navodi da su konačne koordinate za mreže SRPOS i FBiHPOS određene u sistemu ETRF2000 ep. 2011.307, odnosno koordinate u sistemu ETRS89.

### 3. Ponuđene usluge i registracija korisnika

Korisnicima mreže permanentnih GNSS stanica na prostoru na raspolaganju su sljedeći servisi:

- DSP (DGNSS) – diferencijalni servis pozicioniranja u realnom vremenu (tačnost 1-3 m),
- VPSP (PDGNSS) – visoko precizni servis pozicioniranja u realnom vremenu (tačnost 1-2 cm),
- GPSP – geodetski precizni servis pozicioniranja u bliskom realnom vremenu i postprocesing (tačnost 1 cm),
- Automatski sistem računanja koordinata,
- Servis za generisanje Virtualnih RINEX datoteka.

Za stručnjake geodetske struke vjerovatno najkorisniji i najzanimljivi servis jeste VPSP koji garantuje visoku tačnost u realnom vremenu koristeći samo jedan prijemnik – rover što svakako predstavlja revoluciju u korištenju GNSS tehnologije u našoj zemlji. Korištenje ovog servisa moguće je ostvariti biranjem jednog od tipova korekcije koje FBiHPOS server odašilje autorizovanim korisnicima putem NTRIP protokola. Dostupni su naredni tipovi korekcija: MAX, iMAX, VRS, FKP, Nearest.

Odlukom direktora Federalne uprave za geodetske i imovinsko – pravne poslove korištenje sistema je besplatno od njegove uspostave, jedini trošak za korisnike je predstavljala minimalna jednokratna uplata za registraciju. Ideja i motiv jeste bio da se korisnici upoznaju s prednostima te da u svoj svakodnevni rad prihvate ove nove metode pozicioniranja nakon čega bi se krenulo s naplatom realnih naknada za korištenje usluga mreže. U međuvremenu je Federalna uprava za geodetske i imovinsko – pravne poslove radila na promociji i popularizaciji mreže putem svoje web stranice, nabavkom opreme za katastarske urede i na razne druge načine, te time ojačala poziciju mreže kao prvog izbora za obavljanje terenskih mjerena. Korisnici se mogu za

korištenje prijaviti online putem web servisa ali i klasičnim putem, ispunjavanjem potrebne dokumentacije. Za sve korisnike je također obezbjeđena adekvatna podrška za sve eventualne probleme.

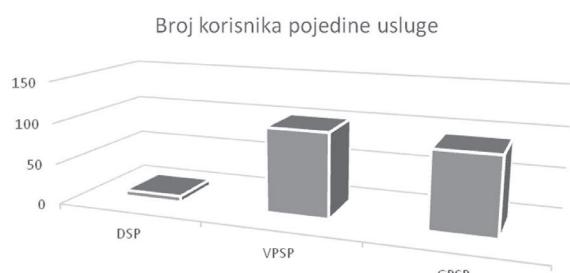
#### 4. Statistika korištenja usluga mreže

Od 27. septembra 2011. godine do 30. augusta 2013. godine ukupno je registrovano 105 firmi koje svoje poslove obavljaju s blizu 150 autorizovanih računa. Broj korisnika koji se prijavljuju i koji su zainteresirani za korištenje usluga mreže kontinuirano raste što je pokazatelj da je sistem odlično prihvaćen od strane geodetskih radnika u Federaciji Bosne i Hercegovine.

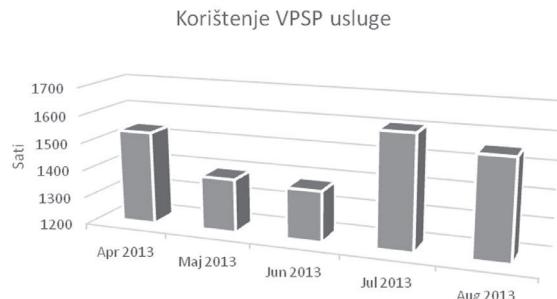


Slika 3: Broj registrovanih korisnika (2011-2013)

Razlozi su svakako prednosti koje nose ove metode pozicioniranja a između ostalog su ekonomičnost, smanjenje broja prijemnika potrebnih za obavljanje mjerjenja, skraćenje potrebnog vremena za obavljanje mjerjenja, odlična tačnost koju mreža svojim uslugama nudi, besplatno korištenje kao i mnogi drugi objektivni faktori.



Slika 4: Broj korisnika pojedine usluge



Slika 5: Korištenje VPSP usluge

#### 5. Planirane aktivnosti

Kako bi se osigurala što bolja pokrivenost graničnog područja te povećala pouzdanost rada FBIHPOS mreže permanentnih GNSS stanica u slučaju neplaniranog prekida rada pojedine permanentne stanice Federalna uprava za geodetske i imovinsko – pravne poslove je potpisala sporazum sa Državnom geodetskom upravom Republike Hrvatske o razmjeni podataka mjerjenja pograničnih referentnih stanica. Na taj način će su u FBIHPOS mrežu uključiti dodatne 2 permanentne stanice na temelju kojih će se računati korekcijski parametri. Za potrebe uključivanja pomenute dodatne dvije permanentne stanice u FBIHPOS mrežu, Federalna uprava za geodetske i imovinsko – pravne poslove je obezbjedila dodatne dvije softverske licence u suradnji s Ministarstvom civilnih poslova Bosne i Hercegovine.

Federalna uprava za geodetske i imovinsko pravne poslove je u plan svojih planiranih aktivnosti za 2013. godinu uvrstila i aktivnosti određivanja transformacionih parametara između državnog koordinatnog sistema i ETRS89 sistema u kojemu su određene koordinate stanica mreže permanentnih stanica. Projekat horizontalne transformacije na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine izrađuje se sa osnovnim ciljem formulacije, a zatim i implementacije optimalnog transformacionog modela kojim se ostvaruje matematička veza između postojećeg horizontalnog referentnog sistema Federacije BiH i rezultata određivanja koor-

dinata tačaka pomoću savremene satelitske GNSS tehnologije. Projektovani transformacioni model će da pruži mogućnost Federalnoj upravi za geodetske i imovinsko pravne poslove Federacije BiH da u višegodišnjem prijelaznom periodu koji slijedi kada je u pitanju koegzistencija postojećeg i novog državnog referentnog sistema donosi strateške, normativne i operativne odluke kada je u pitanju pozicioniranje za potrebe:

- Državnog premjera, katastra nekretnina, inženjersko-tehničkih radova i GIS aplikacija,
- Usaglašavanja državnog referentnog sistema sa evropskim referentnim sistemom, odnosno referentnim sistemima susjednih država i na nivou Bosne i Hercegovine, kao i učešća u evropskim projektima i regionalnoj geodetskoj saradnji,
- Efikasne i pouzdane kopnene, vazdušne i riječne navigacije na cijeloj teritoriji Federacije BiH, odnosno Bosne i Hercegovine, a u određenoj mjeri i vanjenih granica.

U okviru projekta „Izgradnja kapaciteta za unapređenje zemljije administracije i procedura u Bosni i Hercegovini“ (CILAP), partnerskog projekta između Federalne uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove, Republičke uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove Republike Srpke i Lantmäteriet, također su planirane aktivnosti koje će rezultirati bitnim napred-

cima i poboljšanjima mreže permanentnih stanica. Planirane aktivnosti su:

- Unaprijeđivanje komunikacije između kontrolnih centara i permanentnih stanica,
- Edukacija osoblja u svrhu pune operativnosti kontrolnih centara,
- Razvoj geodetskog referentnog okvira u svrhu korištenja mreže u širem spektru,
- Povezivanje FBHPOS mreže u Evropsku mrežu permanentnih stanica – EPN,
- Određivanje geoida za područje BiH.

U svrhu što učinkovitijeg korištenja FBHPOS mreže u svakodnevnom radu i punom iskoristavanju prednosti koje omogućavaju ponuđene usluge potrebno je nastaviti s informisanjem i edukacijom korisnika i javnosti te se u tu svrhu planiraju organizirati informativno-edukacijske radionice te izrada promotivnih materijala svih vrsta.

## 6. Zaključak

Uspostavljanje i implementacija mreže permanentnih stanica u kratkom vremenu u koje je operativna je pokazala svoju opravdanost te značajan doprinos najviše geodetskoj struci ali i drugim strukama. Svakodnevni rast broja korisnika svakako treba biti motivacija za dalje napredovanje i unaprijeđivanje usluga. BiH putem svoje mreže permanentnih stanica postaje dio evropske porodice u prikupljanju, obradi i distribuciji prostornih podataka te sastavni dio jedinstvenog Evropskog koordinatnog sistema.

## Literatura

- Bosnia and Herzegovina Continuously Operating Reference Stations Coordinates Computation Report, IGN France, 2011
- Mišković, D., Pašalić, N., (2011): Implementacija projekta BIHPOS - mreže permanentnih GNSS stanica u BiH (SRPOS/FBiHPOS), Zbornik radova – 2. CROPOS konferencija / Bašić, Tomislav (ur.). – Zagreb: Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Hrvatsko geodetsko društvo, 2011. str. 82-87.
- Projektni dokument: Capacity Building for Improvement of Land Administration and Procedures in Bosnia and Herzegovina CILAP, 2013

- Projektni dokument: PROJEKAT HORIZONTALNE TRANSFORMACIJE NA TERITORIJI FEDERACIJE BOSNE I HERCEGOVINE, 2013

Popis URL adresa:

- URL 1: FBIHPOS - GNSS mreža permanentnih stanica na prostoru Federacije BiH;  
<http://www.fgu.com.ba/index.php?>
- URL 2: FBIHPOS - GNSS mreža permanentnih stanica na prostoru Federacije BiH;  
<http://fbihpos.fgu.com.ba/spiderweb/frmlIndex.aspx>
- URL 3: SRPOS - GNSS mreža permanentnih stanica na prostoru Republike Srpske;  
<http://www.rgurs.org/sr/srpos>

---

---

**Abstract:**

*Since september 2011, Bosnia and Herzegovina has become one of the countries to use the technology of reference GNSS stations. The BiHPOS project was implemented in a way that two complementary networks where built: SRPOS (for the area of Republika Srpska) and FBiHPOS (for the area of Federation of Bosnia and Herzegovina). The project has certainly made great progress in the field of satellite measurements in the Federation of Bosnia and Herzegovina as well as the rest of the country. The greatest progress has proved to be, as was expected, the implementation of large scale surveying jobs as in the case of construction of major infrastructure facilities but also in the area of measurement for cadastral offices. FBIHPOS network consists of 25 GNSS stations, with the control center located in Sarajevo. Services offered by the network to its customers were accepted with great enthusiasm and the benefits of using these particular methods of determining coordinates of points were very quickly recognized. Activities of Federal Administration for Geodetic and Real Property, who implemented this project and identified it as the carrier of the future progress of geodesy in FBiH, contributed to the promotion of the network. Also, work has been done on further advancement and improvement of the network where series of activities have been launched.*

**FBIHPOS network of permanent GNSS stations and the status of its application**

**Keywords:**  
**BIHPOS, FBIH,**  
**FBIHPOS, FGA,**  
**GNSS CORS**

# Terrestrial reference frame of Serbia and its temporal rate

Sofija Naod<sup>1</sup>, Sanja Grekulović<sup>2</sup>, Violeta Vasilić<sup>2</sup>, Oleg Odalović<sup>2</sup>, Dragan Blagojević<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD Candidate, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade.

<sup>2</sup>Department of Geodesy and Geoinformatics, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade,  
sanjag@grf.bg.ac.rs; tatic@grf.bg.ac.rs; odalovic@grf.bg.ac.rs; bdragana@grf.bg.ac.rs

## Abstract:

National GPS permanent network of Serbia - Aktivna Geodetska Referentna Osnova Srbije (AGROS) was established in the end of 2005. referring to the ITRF96, where the official geodetic reference system of Serbia was Bessel ellipsoid and Gauss-Krüger projection. The new reference system ETRS89, through its realization ETRF2000 was introduced from 1th January 2011, according to the Law of the State Survey and Cadastre. This paper describes the main activities for the establishment of new Terrestrial Reference Frame, both from mathematical and practical point of views, and in particular station velocity of AGROS network.

## 1. Introduction

Organized application of GNSS in Serbia dates from 1998. In September of 1998 EUREF GPS measuring campaign was performed within the international GPS Campaign BALKAN98. Since 1998 and within 5 years by using GPS system a passive geodetic base was formed with the spatial resolution of 10 km in both directions. The works for creating the network of permanent stations of Serbia - AGROS was finished in December of 2005 and since then begins its use as a geodetic service (Odalović, Grekulović at al., 2011). The Law on the State Survey and the Real Estate Cadastre established a new geodetic reference system in the Republic of Serbia, whereas its official implementation started since 1<sup>st</sup> January, 2011. ETRS89 was adopted as a new reference system of Republic of Serbia.

Through the National EUREF densification

project, the GPS measurements campaign was realized in 2010 in order to be included in the EUREF Campaign Database and to realize new terrestrial reference system in Republic of Serbia. The campaign included 20 EPN (European Permanent Network) stations, 48 stations from national permanent networks (Serbia, Former Yugoslav Republic of Macedonia, Bulgaria and Hungary) and 19 field points.

Station coordinates covered by this campaign were computed and expressed as Local GPS network, and then aligned to ITRF2005 using EPN stations of high quality in the region of the Eurasian plate that were included in GPS processing. By applying of Memo transformation formulae, this network solution was transformed into ETRF2000. The minimum constraints approach has been applied which preserved original characteristic of the Local GPS solution, and in the same time, the Local

## Keywords:

**Station velocities,**  
**Terrestrial**  
**Reference System,**  
**Terrestrial**  
**Reference Frame**

GPS solution was expressed in Global Reference Frame.

To obtain the optimal estimate, criteria selection for ITRF stations (at the same time EPN stations) were applied as recommended by Z. Altamimi (Altamimi, 2003) for aligning a regional/local solution to the ITRF:

- A. A certain number of ITRF stations of high quality, surrounding the implied network, should be included in the GPS processing;
- B. The ITRF residuals should be less than 5 mm for positions and 3 mm/y for velocities for at least 3 different solutions contributed to ITRF generation;
- C. Criteria for long observing history (at least 3 years) could not be applied, so that for practical geo-referencing applications ETRF2000 as the basic frame of the ETRS89 realization was adopted as recommended by Z. Altamimi (Altamimi, 2009).

This Local TRF realization is "Quasi-Instantaneous" frame because its mean station positions are at "short" interval (~ 5 weeks). In addition to the above criteria, optimal estimate was carried out in accordance with the Guidelines for EUREF Densification (Bruyninx et al., 2010) and EPN station categorization (Kenyeres, 2009). To obtain insight in stations motion was performed analysis of station coordinates time series of AGROS network in the form of weekly solutions using Bernese Software v5.0. Keeping station SUBO fixed, coordinates were obtained referring to ITRF2005 for the time span of about 1.4 year starting on January 1<sup>st</sup> 2006. Time series with 74 coordinate solutions along north and east direction were then reduced to first week solution for 27 out of 32 stations (Blagojević and Vasilić 2013).

## 2. ETRS89 definition and realization

In the definition of the ETRS89 adopted by EUREF in 1990, (Boucher and Altamimi, 1992), two conditions are specified as

follows:

1. The ETRS89 should coincide with the ITRS at epoch 1989.0. This condition implies that (a) the ETRS89 is defined at epoch 1989.0 and (b) its 7 transformation parameters with respect to the ITRS are zeros at 1989.0 epoch.
2. The ETRS89 should be fixed to the stable part of the Eurasian tectonic plate. This conditions implies also two consequences: (a) the ETRS89 is co-moving with the Eurasian plate, defining so its time evolution, and (b) the time derivatives of the 7 parameters are zeros, except the three rotation rates. These rotation rates correspond in fact to the Eurasia angular velocity in the ITRFyy frames. The Eurasia angular velocity was first adopted from geophysical models which were used in the No-Net-Rotation condition implementation in the ITRF constructions.

It should be emphasized that the ETRS89 definition does not explicitly nor implicitly specify any condition regarding station vertical motion. Another important aspect of the ETRS89 definition is the fact that in terms of the system time evolution, only the rotation rate is considered. This means that any possible translation or scale rates between ITRF frames will inevitably be transferred to the ETRF frames.

The above ETRS89 definition indicates clearly that the ETRS89 is intimately and intrinsically linked to the International Terrestrial Reference System (ITRS) and allows to rigorously specify the mathematical transformation formulae between the two systems. These formulae are given in the so-called Memo of Boucher and Altamimi, 2009, first issued in 2001 and updated since then at each ITRF release. Consequently, the ETRS89 is only realized through following transformation formulae from ITRFyy to ETRFyy:

$$x^E(t_c) = x_{YY}^I(t_c) + T_{YY} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{R}_{3YY} & \dot{R}_{2YY} \\ \dot{R}_{3YY} & 0 & -\dot{R}_{1YY} \\ -\dot{R}_{2YY} & \dot{R}_{1YY} & 0 \end{bmatrix} \times x_{YY}^I(t_c) \cdot (t_c - 1989.0)$$

with  $X^E$  and  $X^I$  being the corresponding position vectors,  $T$  and  $R$  being translation and rotation parameters (dot indicating rate), and  $t_c$  being the computational epoch. Advantage of adoption of the ETRS2000 as a conventional frame of the ETRS89 realization is to minimize the coordinate shifts at epochs posterior to 1989.0 between different implementations of the ETRS89 in Europe (Bruyninx et all., 2009).

### 3. EUREF 2010 campaign and realization of ETRF2000 in Republic of Serbia

The campaign in Republic of Serbia, "EUREF Serbia 2010 Campaign", and some neighbouring countries was realized as an extension of EUREF by Republic Geodetic Authority (RGA). The campaign included 20 EPN stations, 48 stations from national permanent

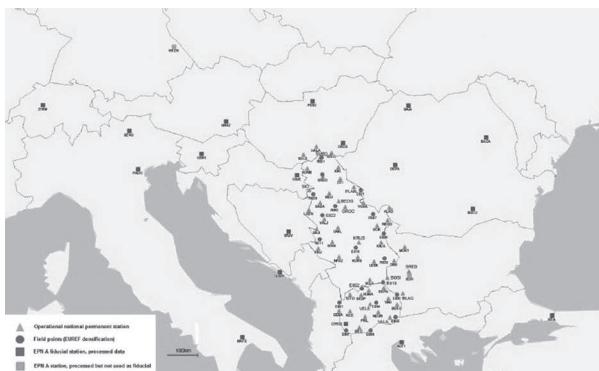


Figure 1: Disposition of sites in EUREF Serbia 2010 Campaign

networks (Serbia, FYRO Macedonia, Bulgaria and Hungary) and 19 field points, total 87 stations (Figure 1).

Local network is within a radius of about 600 km in the N-S direction for area Serbia and FYRO Macedonia (Figure 2). For a datum definition 18 EPN stations were used but due to the lack of EPN stations surrounding of network the stations BAIA, BUCU, DEVA, ISTA, SRJV were not excluded from processing, although they didn't satisfied above criteria. SOFI and WTZR have antenna replacements so they were processed but not used for a datum definition. Datum definition was provided in ITRF2005

with coordinates of the EPN stations at the time of the computing. The network processing was carried out with the Bernese Software v. 5.0 (Dach et al., 2007) following the Guidelines for EPN Analysis Centers.

For the final network solution the minimum constraints was applied to the translation parameters on the fiducial EPN stations. The EUREF campaign in Serbia 2010 was accepted as densification of EUREF, catego-



Figure 2: The main radius of the Local network

rized as class B (Veljković and Lazić, 2011).

For a datum definition only those EPN stations were used that have been declared as a stations of class A (with positions at the 1 cm precision and velocities at the 1mm/y precision in the system ETRS89 at all epochs), as mentioned above. Datum definition was provided in ITRF2005 with coordinates of the EPN stations taken from the latest available cumulative solutions in SINEX format at the time of the computing EPN\_A\_ITRF2005\_C1600.SNX. Transformation from the source system (ITRF2005) to the target system (ETRF2000) was carried out in two steps:

1. Transformation of ITRF2005 coordinates into ITRF2000 using the IERS/ITRF published values,
2. Application of the above mentioned formula to transform from ITRF2000 to

ETRF2000.

The datum realization depends on the quality and disposition of the EPN reference stations, so-called Network Effect, that is visible through the differences in all components. The differences in results along all components are up to 4 mm and the RMS of the differences are: North 0.9 mm, East 1.6 mm and Up 1.9 mm (Figure 3 and Figure 4).

#### 4. Station velocities

"Quasi-instantaneous" reference frame is sensitive to station linear and non-linear

motion as geophysical effects (Altamimi et al., 2013) and to provide Long-term solution RF in case of GPS, necessary minimum time-span is 2.5 years (Blewitt and Lavallée, 2002). Despite the fact that permanent GNSS station monumentation doesn't suit for precise geodynamical purposes, the research was conducted to estimate station velocities and hopefully discover trend and pattern in station movements. Isolating, detecting and further investigating all sorts of deformations could not be easily achieved without the availability of station position time series. For this purpose, station coordinates were determined in the form of weekly solutions using standard



Figure 3: Differences of reference EPN stations latitude and longitude



Figure 4: Differences of reference EPN stations height

procedure for processing GPS observations. Keeping station SUBO fixed, coordinates were obtained referring to ITRF2005 (Altamimi et al. (2007) and Altamimi (2006)) for the time span of about 1.4 year starting on January 1<sup>st</sup> 2006. Time series with 74 coordinate solutions along north and east direction were then reduced to first week solu-

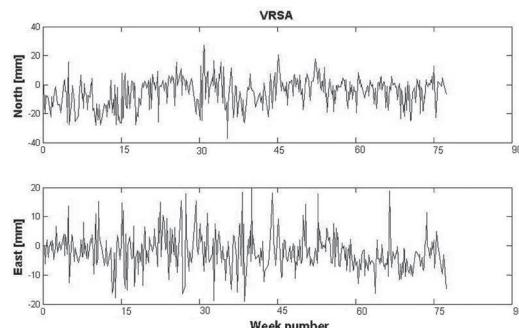


Figure 5: Example of coordinate time series for station VRSA

tion for 27 out of 32 stations. One of typical coordinate time series are presented for the station VRSA (Figure 5).

Following Williams and Teferle (2004) and Williams et al. (2004), time series were subject of several standard analysis steps. Firstly, the data series were detrended and outliers were removed using three sigma criterion. Secondly, Lomb periodograms were calculated based on clean data sets. Annual and semiannual periods could clearly be identified in every periodogram. Station movements along north and east direction,  $x(t)$ , were modeled relative to station SUBO situated in the northern part of Republic of Serbia, according to:

$$x(t) = x(t_0) + v(t - t_0)$$

where  $v$  denotes velocity,  $t_0$  is initial time. Unknown parameters  $x(t_0)$ ,  $v$  were estimated using least squares method because white noise dominates the noise content. Relative velocity vectors for every network

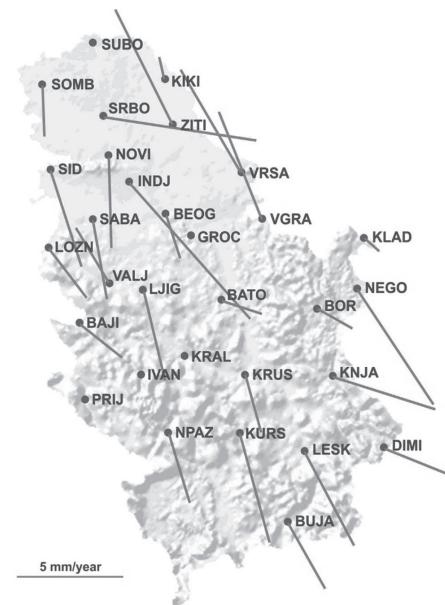


Figure 6: AGROS station relative velocities with respect to station SUBO

station are graphically depicted in Figure 6.

## 5. Discussion and further activities

For optimally expression a Local GPS solution in a Global Reference Frame ETRF2000, the minimum constraints approach was applied which at the same time to reduces the network effect.

EUREF Serbia 2010 Campaign was accepted by EUREF TWG as the European reference framework densifications in Class B. The quality of ETRF2000 realization depends on the quality and disposition of the EPN reference sites as well as observational history. To improve and assess the stability of Serbian RF, irregularities in GPS coordinate time series should be carefully investigated and causes of jumps, especially for Continuous Permanent Network of Serbia, should be determined.

From Figure 6 it can also be seen that velocity vectors mostly have north-east direction with very few exceptions. Explanation for quite different orientation of vectors in north-east region along the border with Romania was not found, but remaining vec-

tor in the western part of Serbia seems to fit into seismically interesting region. Velocity values of 3 – 6 mm/yr are also quite common, although there are two exceptionally large. Their magnitudes were attributed to stability of buildings and not of the Earth crust.

In order to get more reliable information on Long-term solution of Reference Frame, various activities are planned to be performed:

1. First of all, much longer data sets will be analyzed,
2. Station velocities will be additionally estimated by CATREF software (Altamimi Z., Sillard P., Boucher C., 2007b) with an option to remove all kinds of irregularities in GPS coordinate time series,
3. Finally, the velocities pattern will be correlated with available seismic, tec-

tonic, geologic and gravity data, and the impact on official Serbian reference frame stability will be assessed.

For the time being, we believe that a linear time evolution is the best suited approach allowing to insure the long-term stability of Serbian national reference frame. A condition for this is to correctly model the non-linear motions that cannot be achieved without combining (i.e. rigorously stacking by CATREF software) time series of station positions. Seasonal, transient and any kind of station non-linear motions are then left in the time series residuals for post processing analysis. This analysis should then determine the moment when station coordinates have to be updated in order to ensure continuity in permanent GNSS network exploitation.

## References

- Altamimi Z. (2003) Discussion on How to Express a Regional GPS Solution in the ITRF, EUREF Publication No. 12.
- Altamimi Z., (2006). Systèmes de référence terrestres: définition, réalisation, application à l'ITRF, état actuel et perspective. Dossier d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- Altamimi, Z., X. Collilieux, J. Legrand, B. Garayt, C. Boucher (2007). ITRF2005: a new release of the international terrestrial reference frame based on time series of station positions and earth orientation parameters 2007. In: Journal of geophysical research, Vol. 112. B09401.
- Altamimi, Z., P. Sillard, C. Boucher (2007b). CATREF Software: Combination and Analysis of Terrestrial Reference Frames. LAREG Technical, Institut Géographique National, Paris, France.
- Altamimi Z. (2009) ETRS89 realization: Current status, ETRF2005 and Future Development, Bulletin of Geodesy and Geomatics, Vol. LXVIII, No. 3.
- Altamimi Z. at al. (2013) ITRF Combination: Theoretical and Practical Considerations and Lessons from ITRF2008, Reference Frames for Applications in Geosciences, IAG Symposia 138.

- Blagojević D., V. Vasilić (2013) The first insight into station velocities in Republic of Serbia, Reference Frames for Applications in Geosciences, IAG Symposia 138.
- Blewit G., D. Lavallée (2002) Effect of annual signals on geodetic velocity, J Geophys Res 107:B7.
- Boucher C., Z. Altamimi (1992) The EUREF Terrestrial Reference System and its first realizations, EUREF Meeting, Bern, Switzerland, 1992.
- Bruyninx C. et al. (2010) Guidelines for EUREF Densifications, <ftp://epncb.oma.be/pub/general>.
- Dach R., U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl (2007). Bernese GPS Software Version 5.0. Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland.
- Kenyeres A. (2009) Maintenance of the EPN ETRS89 Coordinates, EUREF TWG Meeting, Budapest, Hungary, 2009.
- Odalović O., S. Grekulović et al. (2011) GNSS application aiming to establish a new reference system of Serbia for needs of real estate cadastre, Proceeding of the INGE02011, Brijuni, Croatia, 2011.
- Veljković Z., S. Lazić (2011) EUREF Serbia 2010 – Final report, XIX EUREF Symposium, Chisinau, Moldova, 2011.
- Williams S., N. Teferle (2004). CGPS Coordinate Time Series Analysis Strategy, EU-ESEAS-WP2-T2.2.
- Williams S., Y. Bock, P. Fang, et al. (2004). Error analysis of continuous GPS position time series. In: Journal of Geophysical Research, Vol. 109. B03412.

# MAKPOS – Network of Permanent GNSS Stations in the Republic of Macedonia

Slavche Trpeski<sup>1</sup>, Sasho Dimeski<sup>2</sup>, Zdravko Lekoski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Agency for Real Estate Cadastre, Trifun Hadzi Janev 4, 1000 Skopje, Macedonia, s.trpeski@katastar.gov.mk

<sup>2</sup> Agency for Real Estate Cadastre, Trifun Hadzi Janev 4, 1000 Skopje, Macedonia, s.dimeski@katastar.gov.mk

<sup>3</sup> Agency for Real Estate Cadastre, Trifun Hadzi Janev 4, 1000 Skopje, Macedonia, z.lekoski@katastar.gov.mk

## Abstract:

*MAKPOS (Macedonian Positioning System) is a network of permanent GNSS stations in the Republic of Macedonia, fully established and in effective use since 2009. The system is developed by the Agency for Real Estate Cadastre (AREC) according to the international standards, using the latest GNSS technology. MAKPOS is consisted of 14 permanent GNSS stations evenly distributed across the entire territory of the country at an average distance of 50–70 km with a control center located in the AREC head office in Skopje. At the moment, the system offers three standard services to the registered users: MAKPOS RTK, MAKPOS PP and MAKPOS DGPS, all of them available 24/7/365. This paper describes the process of the MAKPOS establishment, its technical components, services, pricing policy and plans for future development.*

**Keywords:**  
**GNSS, MAKPOS, network, positioning, services**

## 1. Introduction

The establishment of a network of permanent GNSS stations, as a terrestrial GNSS infrastructure, is a solution that will definitely allow the users of GNSS technology a fast and reliable way of obtaining geospatial data of high accuracy, at any place of the territory of a country, in real time, or with post processing.

The Agency for Real Estate Cadastre of Republic of Macedonia (AREC) has recognized the importance of establishment of a network of permanent GNSS stations on the territory of the Republic of Macedonia and as a responsible authority took all necessary steps for its implementation.

The network of permanent GNSS stations on the territory of Republic of Macedonia is called MAKPOS as an acronym for Macedonian Positioning System. The MAKPOS system is based on modern scientific achievements and it is developed in accordance with the EU recommendations and standards. It will speed up the application of the GNSS technology in Republic of Macedonia and it will support a wide spectrum of GNSS based applications connected with geo-positioning and navigation.

The MAKPOS should provide permanent services for geo-positioning and navigation, determination of spatial coordinates, in real time with accuracy of few centimeters at any place of the territory of the Republic of Macedonia.

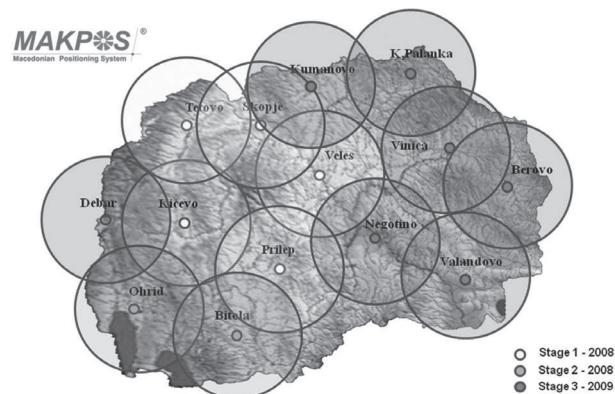
## 2. MAKPOS design

The implementation of the MAKPOS system was part of the AREC Strategic business plan for the period 2007–2010. Accordingly, in 2008 in cooperation with the Department of Geodesy at the Faculty for Civil Engineering in Skopje, "The Study for Development of Reference GNSS Basis in the Republic of Macedonia" was prepared. Authors of the Study are Prof. Dr. Stojanco Vuckov and Ass. Gjorgji Gjorgjiev. This Study was basis for further implementation of the MAKPOS system.

## 3. MAKPOS Implementation

The MAKPOS system is consisted of 14 permanent GNSS stations which are evenly distributed on the entire territory of R. Macedonia, at an average distance of 50–70 km, with a control center located in the AREC head office.

The permanent GNSS station located in Ohrid, besides being part of the MAKPOS system, serves as a point of the EPN/IGS networks. It is stabilized by BKG – Germany with a specially funded concrete pillar on a havy rock being operational as a single permanent station since 1998. The other 13

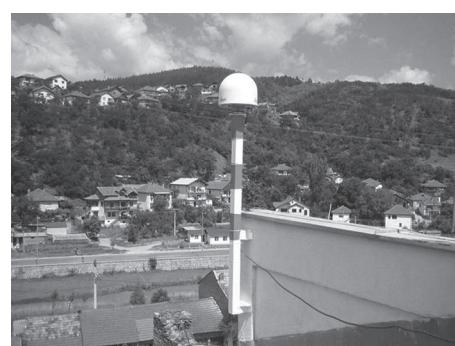


Picture 1: Distribution of the MAKPOS permanent stations

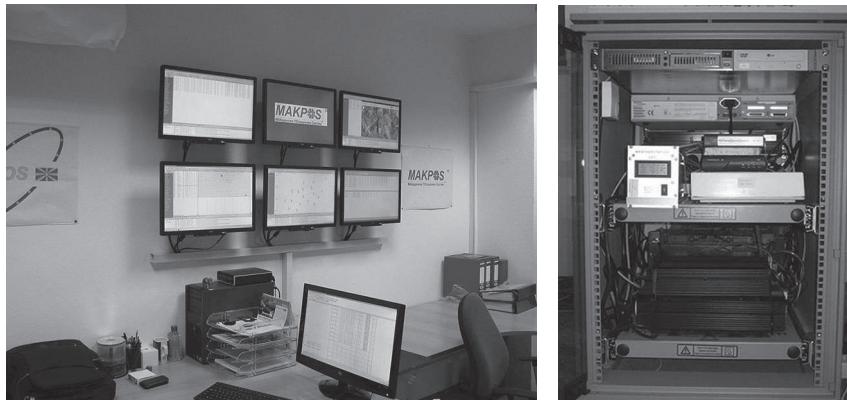
permanent GNSS stations are stabilized on top of the buildings of the AREC cadastre local offices and they are setup by special steel constructions. The system is fully implemented in three phases, during 2008 and 2009.

## 4. MAKPOS Technical characteristics

The MAKPOS permanent stations are equipped with cutting edge GNSS receivers and GNSS antennas from the manufacturer Leica, all of them with possibility to track the GPS and GLONASS signals. The receivers are Leica GRX1200+ and Leica GRX 1200GG Pro and the antennas are Leica AR25 3D and Leica AT504 GG chock ring.



Picture 2: MAKPOS reference stations



**Picture 3: MAKPOS control centre**

For control and management of the MAKPOS system, data processing from the permanent GNSS stations, creating network products, data distribution to the users and user management, the Leica GNSS Spider software is used (Spider NET, Spider Web and Spider QC).

The data transfer from the permanent GNSS stations to the control center in AREC is done through hired VPN and ADSL lines. The products created by the Leica GNSS Spider software, are distributed to the end users via GPRS or Internet, through the WEB server or the RTK proxy server.

## 5. MAKPOS services

Before the start of the official use of the MAKPOS system, AREC tested its functionality, accuracy and reliability on the entire territory of the country. The test results confirmed that the accuracy of geo-posi-

tioning provided by MAKPOS is in compliance with the standards for such a type of systems.

Based on the user needs, the MAKPOS services are divided in three groups:

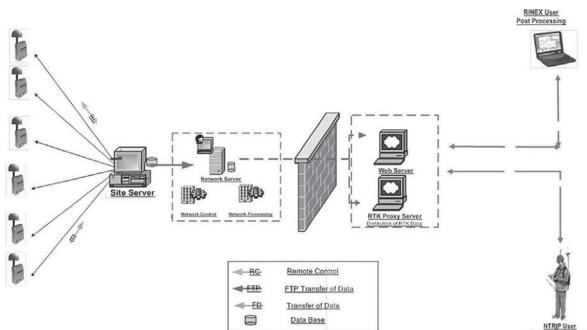
- MAKPOS DGNSS - positioning with applying a differential methods;
- MAKPOS RTK - positioning with applying real time kinematics;
- MAKPOS PP - positioning with applying static methods.

The availability of the MAKPOS services is 24 hours a day, 7 days a week, 365 days a year.

## 6. MAKPOS Users

The MAKPOS services are available only to registered users. The registration of the users is free of charge, by submitting an application to AREC and signing a contract. The registered users receive a User Name and a Password for accessing the service for which they have applied. So far, the number of companies registered as MAKPOS users is 127 with 155 rovers.

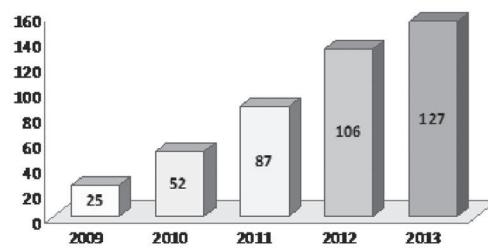
The MAKPOS system has its own web site (<http://makpos.katastar.gov.mk>) through which the users can register, see the status of the system and each individual permanent station in real time and download data for additional processing.



**Picture 4: MAKPOS architecture**

No.	Description	Service	Accuracy	Data format	Data transfer
1.	Positioning through applying differential methods (DGNS)	MAKPOS DGNSS	0.30 – 0.50 m	RTCM 2.x	Wireless Internet (GPRS) NTRIP protocol
2.	Positioning through applying real time kinematic (RTK) methods	MAKPOS RTK	0.02 – 0.04 m	RTCM 2.x and RTCM 3.x	Wireless Internet (GPRS) NTRIP protocol
3.	Positioning through applying static methods (DGNS)	MAKPOS PP (RINEX)	≤ 0.01 m	RINEX	Internet (FTP, e-mail)

Table 1: MAKPOS services



Picture 5: Number of MAKPOS RTK and RINEX users

## 7. MAKPOS prices

From the beginning of 2012, the MAKPOS system was launched in commercial use. Since this launch, all MAKPOS users need to pay for use of the MAKPOS services. The fees list was drafted on the bases of cost recovery, which means that the fees are covering only the operational costs.

## 8. Calculation of the MAKPOS coordinates

The coordinates of MAKPOS permanent stations are determined using Bernese 5.0 software based on the 35 daily survey data. In the process of calculation of data the final IGS orbits and pole movements were used. Data processing was performed in

the ITRF2005 referential framework, epoch 2010.631, and after that the coordinates were transformed into the ETRF00 (R05). The calculations are done in cooperation with Lantmateriet, Sweden.

The coordinates of MAKPOS permanent stations at the moment are set up in the ETRS89 coordinate system, epoch 1989.0.

No.	Service	Unit	Price
1.	MAKPOS DGNSS	per minute	0.11 €
		10 hours	71 €
		20 hours	114 €
		50 hours	285 €
2.	MAKPOS RTK	per minute	0.20 €
		10 hours	114 €
		20 hours	182 €
		50 hours	285 €
3.	MAKPOS PP (RINEX)	per minute	0.23 €

Table 2: MAKPOS prices

\* The prices for MAKPOS RTK and MAKPOS DGNSS services refer to one receiver

## 9. MAKPOS benefits

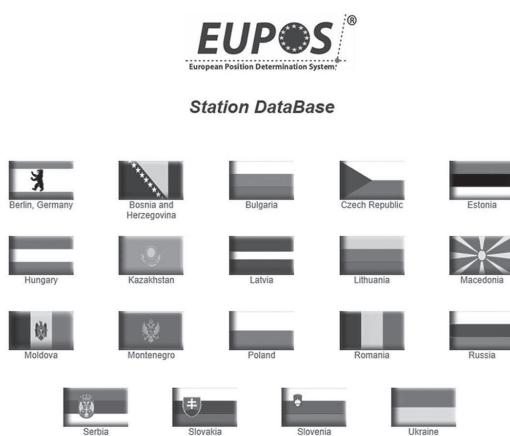
The MAKPOS system is used by wide range of users, especially from the field of: geodesy, civil engineering, infrastructure, transportation, mining, agriculture, ecology, crisis management, creation of GIS systems, scientific researches related to the determination and monitoring of the Earth dimension and shape etc.

There are many expected benefits from the establishment of the MAKPOS system, but as most important for the country and the users are:

- It enables a fast and reliable way of obtaining geospatial data on any position on the territory of the Republic of Macedonia;
- It enables an efficient project implementation in the field of land management, spatial planning and protection of the environment;
- It provides the prerequisites for a more efficient and cost effective work of the private geodetic companies;
- For the first time we have a unique and homogenous geodetic network on the whole territory of the Republic of Macedonia;
- It provides the prerequisites for introducing the European Coordinate System ETRS 89, in accordance with the EU recommendations.

## 10. International cooperation

Since 2002, Republic of Macedonia is a member of the EUPOS initiative that has the objective of establishing a networks of permanent GNSS stations in the countries of the region from Central and South-Eastern Europe following unique standards. During the establishment of the MAKPOS system, the technical standards were taken into account, as well as other recommendations provided by EUPOS.



Picture 6: EUPOS member countries

From the beginning of 2010, MAKPOS informally is connected with the neighboring GNSS networks of Republic of Serbia (AGROS) and Republic of Bulgaria (BULiPOS) and exchange of data started in test phase, and in near future, AREC plans to connect the MAKPOS with the other neighboring GNSS networks.

## References

- Strategic business plan of the State Authority for Geodetic Works – SAGW 2007-2010, SAGW and others, Skopje, 2007
- Study of development of the referent GNSS frame in the Republic of Macedonia, Prof. Dr. Stojan Vuckov and ass. Gjorgji Gjorgjiev, University "St. Cyril and Methodius" – Skopje, Faculty of Civil Engineering, Department of Geodesy, Skopje, February 2008
- Report: EUREF MAKPOS 2010 version 2.0, Christina Lilje, Lantmäteriet, Mile Varoshlieski, Swedesurvey and Sasho Dimeski, AREC, May 2011.
- URL: <http://makpos.katastar.gov.mk>

# Analysis of KOPOS in the Testing Phase

Murat Meha<sup>1</sup>, Muzafer Çaka<sup>1</sup>, Reshat Murati<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kosovo Cadastral Agency, Kosovo Archive Building IIInd floor, 10000 Prishtina, Republic of Kosovo,  
akk@rks-gov.net

## Abstract:

*Kosovo Cadastral Agency has given a careful consideration to the country's needs for establishment of the National GNSS Permanent Network. These sorts of the networks are being utilized, or their establishment is in progress in all countries within Europe and beyond.*

*The professional research and analysis on establishelement of KOsovo PPositioning System - KOPOS in the Republic of Kosovo started since 2005. From that time until launching of the system in November 2012, feasibility and other studies have been carried out to prepare the project for implementation. The "Leica Geosystems" company has been awarded the contract for implementing this project funded by World Bank. The system consists of 8 permanent stations that are monitored from the control centre within Kosovo Cadastral Agency. The future plans are to include additional stations from neighbouring networks. The testing phase is until end of the 2013 and during this time the service for users will be provided free of charge. KOPOS provides unified, highly accurate, efficient and long-term sustainable measurements. The system enables fast and easy update of Cadastral Information System, and provides options and facilitates the work in other fields such as infrastructure, construction industry, mapping etc.*

*The System leads towards tomorrow's vision regarding the Land Administration, and it is a significant step for the future of Cadastre and Surveying in Republic of Kosovo. This paper describes the overall system characteristics, technical specifications, analysis of the reference system Kosovaref01, effectiveness, support of users and system maintenance.*

## Keywords:

**GNSS, Cadastre, Kosovaref01, KOPOS**

## 1. INTRODUCTION

The Republic of Kosovo has gone through several phases for establishing a geodetic network and coordinate system. As part of Former Yugoslavia, Republic of Kosovo had the same state coordinate system. This geodetic network has been seriously damaged during the last war in Kosovo, which ended in June 1999.

The GPS measurements of First Order Referent Network as second phase started in 2000, and continued with measurements of Second Order Referent Network. Therefore in 2003 the coordinates of the first and second referent network have been defined. In total 32 points of the first order and 450 points of the second order have been established as part of the state refe-

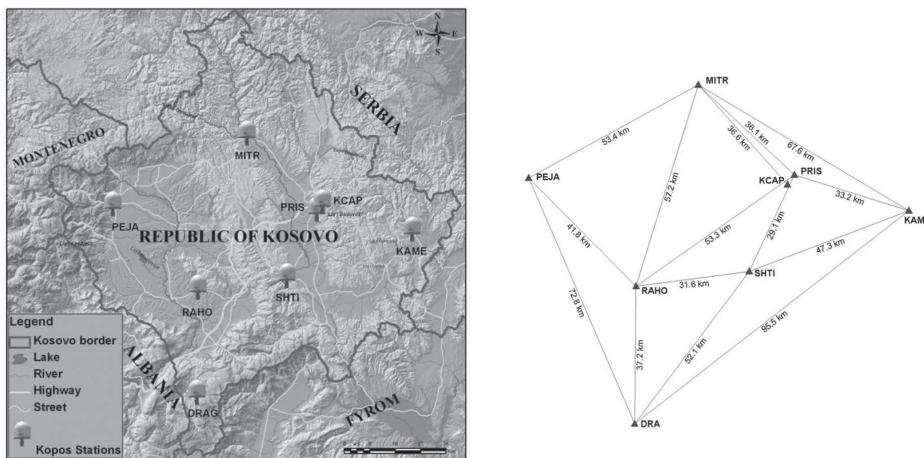


Figure 1: Positions of KOPOS permanent stations and network model

rence network "Kosovarefo1" for the territory of the Republic of Kosovo based on EUREF (Meha, 2006). In 2012 KOPOS project was implemented as a part of the GNSS satellite system as the third phase of geodetic network in Kosovo.

The process of these three phases for determining the coordinates, has significantly affected the transformation, as well as stabilization and the analysis of the geodetic network, for the land administration and other geodetic purposes. However, Kosovo Cadastral Agency has a clear vision for the development of cadastre and in general for the creation of the geospatial databases at national level. Hence, all the activities are carried out according to the Law on Cadastre (Law on Cadastre, 2011) and currently KCA is also looking forward to develop the NSDI. Therefore now a group of experts is preparing the Law on NSDI for Kosovo, which will definitely support the e-government and e-services.

## 2. ESTABLISHMENT OF KOPOS REFERENCE STATIONS

The most advanced technology has been used for the establishment of KOPOS system. KOPOS is one of first GNSS networks in the world that has used the newest receiver Leica GR25 presented for the first time in the equipment and geode-

tic instrument trade fair – INTERGEO, 2011 in Germany.

Kosovo Cadastral Agency has successfully managed to implement this project in close cooperation with LEICA and GIZ experts. The project implementation phases were:

- Feasibility study;
- Technical specifications;
- Detailed study of locations for permanent stations;
- Establishment of permanent stations and control centre;
- Testing and launching of KOPOS system.

In the figure (1) could be seen the positions of KOPOS permanent stations which cover the territory of the Republic of Kosovo and the network model.

The system is also designed to incorporate the reference stations from neighbor countries: ALBPOS Albania, MONTEPOS Montenegro, MAKPOS Macedonia and AGROS Serbia.

The monitoring and maintenance of permanent GNSS stations is done from the control centre located at the Kosovo Cadastral Agency.

### 2.1 Technical characteristics of KOPOS

The operation of the system includes per-

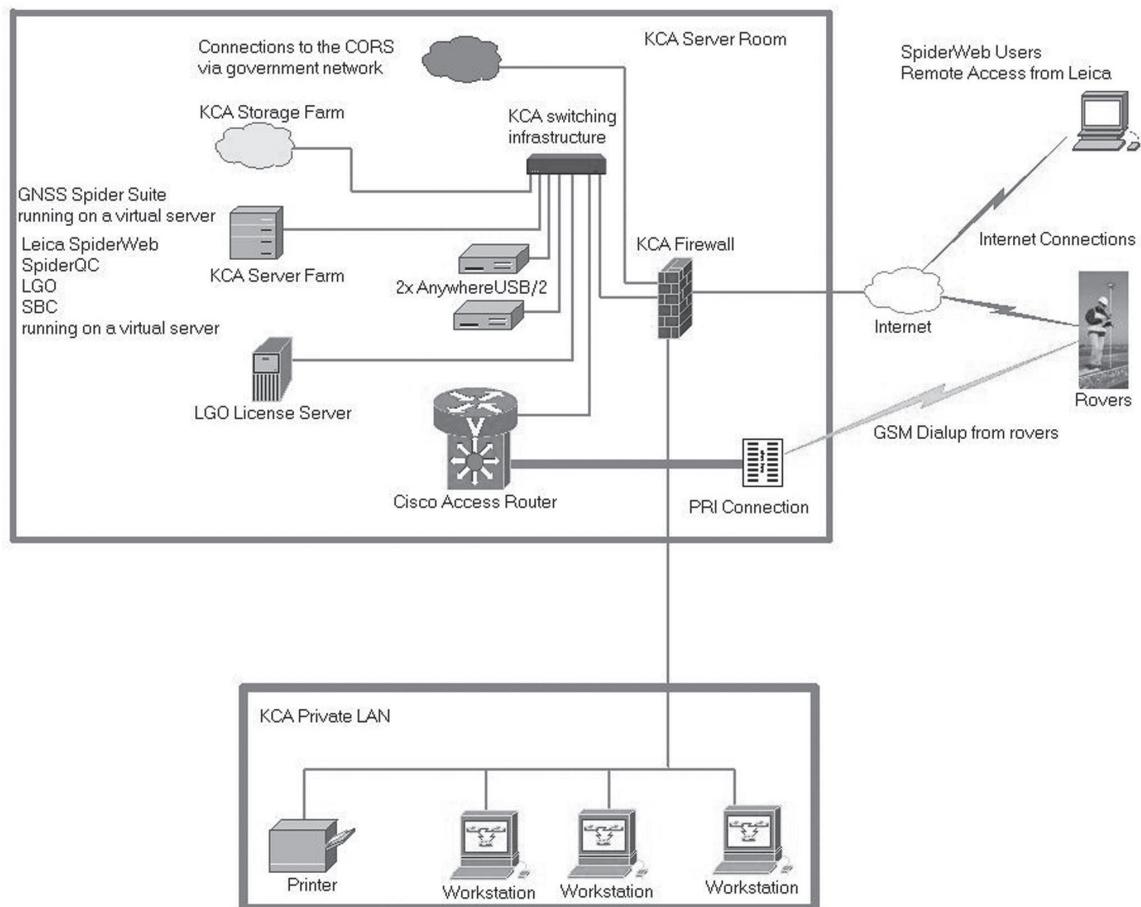


Figure 2: Installation diagram of KOPoS network

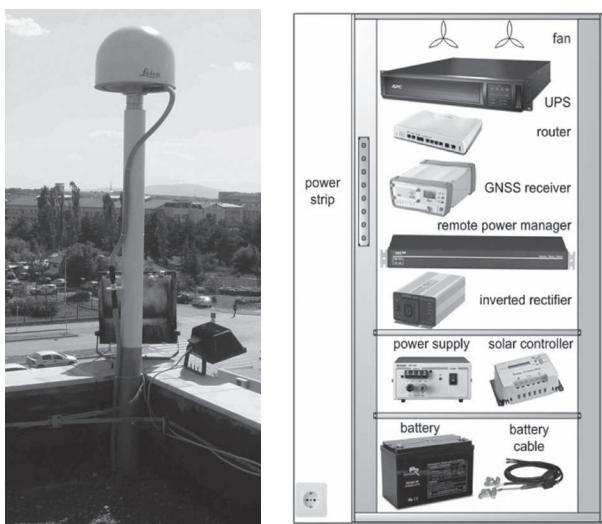


Figure 3: GNSS antenna and equipments in permanent station (Leica Geosystems 2012a)

manent stations, control centre and users which have been presented in the figure 2. The main equipments established in permanent stations are:

- GNSS antenna AR25 (choke ring antenna) protected from different atmospheric conditions, suitable for receiving all satellite signals currently in use, and those foreseen for later usage;
- The GR25 multi frequencies receiver with a sufficient number of channels, for accepting all signals currently available and those for the future;
- VPS network router, and the necessary connection with ADSL cable;
- Constant power supply (48 hours, backup); The equipments placed in one of the stations are shown in the figure 3. The antennas are established on a vertical stable pillar. Location is guaranteed by the negative effects of wind, vibration, shaking, lightning according

to required standards. Antenna phase center is determined through an individual absolute calibration. Antenna and the receiver are able to receive all available signals from GPS, GLONASS and GALILEO (after its functionality).

### **3. HARMONISATION OF KOSOVAREFO1 WITH KOPOS NETWORK**

#### **3.1 Characteristics of Kosovarefo1 and geodetic datum**

The stabilization and measurement of the new geodetic network points, using GPS technology, started in 2001 and it is the first time to change the Bessel ellipsoid and to use other ellipsoids in the plan [Meha, 1998].

KOSOVAREFO1 Coordinate System is based on the EUREF. Geodetic Datum is defined by Gauss-Krüger Projection in Terrestrial European System ETRS89 (GRS80 Ellipsoid). As a result, there is WGS84 Coordinate System, which is based on Ellipsoid dimension, in rotation angle of Earth rotation and in light speed as well as constant parameters defined by US Department of Defense (DoD), as a reference frame for establishment and maintenance of GPS System (DMA, 1991). Dimensions of Reference Ellipsoid WGS84 accepted for calculating the geodetic measurement by the Geodetic Reference System 1980 (GRS80) are:  $a = 6\ 378\ 137 + 2\ m$ ;  $1/f = 298.257223563$ . The Kosovo geodetic datum [Meha, 2005a, 2005b] [Meha, Çaka, 2011] is defined as follows: reference spheroid IUGG, ellipsoid GRS80 and reference system ETRS89. Origin of coordinate system is at the intersection point of projections of the central meridian 210 with Equator. Origin of height is Adriatic Sea Level. The Gauss-Krüger transversal cylindrical conform projection was accepted with Central meridian (210) and scale reduction 0.0001 (scale factor 0.9999).

#### **3.2 KOPOS Processing**

The whole network was processed in daily sessions together with the IGS (International GNSS Service) stations. Each day an independent set of positions has been estimated for all sites in the whole network. The phase ambiguities were estimated in two steps:

1. Estimating wide lane ambiguities
2. Introducing wide lane ambiguities and resolving narrow lane ambiguities together with troposphere estimation.

For the ambiguity resolution the IGS stations were tightly constrained. Daily solutions were combined into a final solution computed using a minimally constrained adjustment, realized by no net-translation conditions imposed on a given set of IGS stations.

GPS L1/L2 and GLONASS L1/L2 observations were provided in RINEX files with 30sec data rate, which were used for data processing of 8 KOPOS reference stations and 29 first order referent network points of Kosovarefo1.

Several stations of the IGS network have been used for the datum definition of KOPOS stations. The IGS sites were chosen based on the following criteria:

- Distance should be as short as possible
- Well known coordinates in IGS08
- High data availability
- Specially requested stations

Data processing is done by the Bernese GPS Software v5.0. This application is a sophisticated GNSS processing software that meets the highest quality standards for geodetic applications. Bernese is broadly used in the IGS and scientific community for estimation of station positions, orbits, ionosphere, troposphere, earth dynamics and various other parameters of interest.

### 3.3 Accuracy of KOPOS and Kosovarefo1

Determination of 8 KOPOS-stations have been done with simultaneous resurveying of the first order control points (29 existing points established in year 2001) and results are published by Leica on the Cross-check-report of August 31, 2012.

Repeatability accuracy of the 8 KOPOS reference stations is:

$$\begin{aligned} Y(\text{East}) &< 2,3 \text{ mm}, \\ X(\text{North}) &< 1,7 \text{ mm}, \\ Z(\text{Height}) &< 5,5 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Based on the analysis of the coordinates of 29 points of the First Order Referent Network Kosovarefo1 realized in 2001 and the same which have been surveyed during the determination of KOPOS (Kosovarefo1) in 2012 (with ETRS89; ETRF97) the following results have been ascertained (Leica Geosystems, 2012b).

$\Delta \leq 10 \text{ mm}$  – excellent matching of the 6 points,  
 $\Delta \leq 20 \text{ mm}$  – very good matching of the 14 points,  
 $\Delta \leq 30 \text{ mm}$  – good / sufficient matching of the 7 points,  
 $\Delta \geq 30 \text{ mm}$  – we consider not well matching for 2 points.

### 4. KOPOS SERVICES –RTK AND RINEX DATA

Acceptance of correction data in real time (RTK) and RINEX data (post-processing) from KOPOS system is done in different ways.

Users of (RTK) products in real time could accept the corrected data in real time through internet (GPRS), or if it is needed also through GSM since KOPOS offers this possibility as well. The format of the data flow should fulfill the RTCM specifications:

- RTCM 2.3 for FKP- and VRS data (guarantee for compatibility from the highest point to the lowest point for the

- oldest devices),
- RTCM 3.1 for FKP-, VRS and MAC.

Clients of RINEX products (post-processing) can download the data from selected referent stations in RINEX format (all formats up to the v 3.0) for a time period selected from the past. The interface page is available for users based on the web ([kopos.rks-gov.net](http://kopos.rks-gov.net)) in Albanian, English and Serbian language, through which the users can download all the requested data independently. Except downloading the RINEX data, the system enables also the post processing and adjustments of static measurements. The results of data post processing and adjustment could be taken electronically (e-mail).

Accuracies provided from KOPOS are:

Type of service	Description range	Accuracy
DGNSS	Low accuracy in real time (RTK -Code))	0.3 – 0.5 m
RTK	High accuracy in real time (RTK – Phase))	0.02 – 0.04 m
RINEX	High accuracy (Post processing – Phase)	<0.01 m

Spider Web SBC (Spider Business Centre) program is in use for administration of the registered users, prepaid services, to search on RTK usage and RINEX data, invoicing, informing of users on real time regarding the operation of the system etc. Clients of RINEX products (post-processing) can download the data from selected referent stations in RINEX format (all formats up to the v 3.0) for a time period selected from the past.

#### 4.1 Coverage of Kosovo territory with KOPOS services

KOPOS services cover the whole territory of the Republic of Kosovo with a high accuracy, as is shown on the map, figure 4. This is also proved when the Kosovo delega-

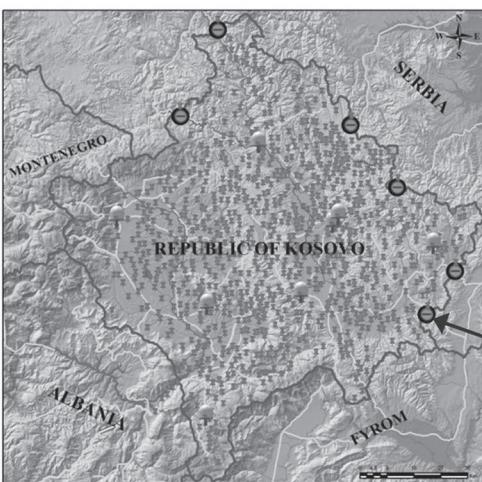


Figure 4: Locations of KOPOS use and state boundary determination

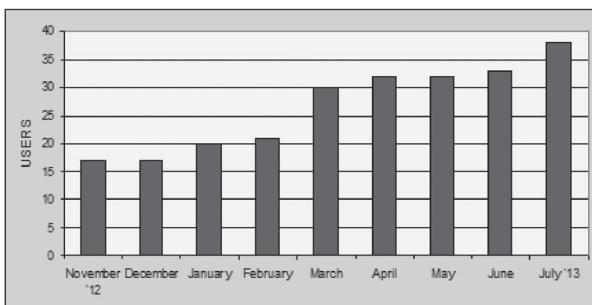


Chart 1: Number of RTK users by months determination

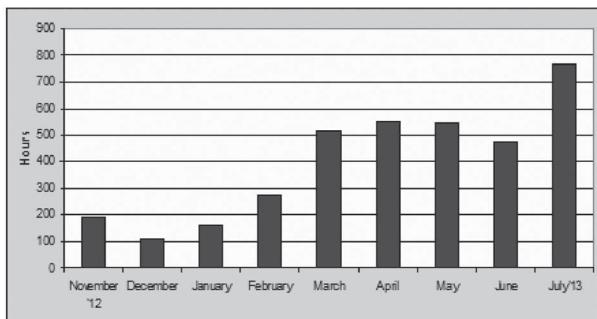


Chart 2: RTK usage by Months in hours

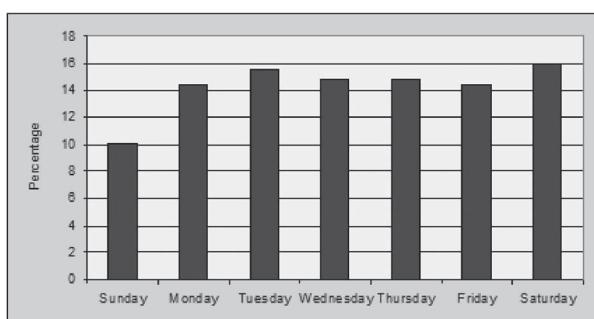


Chart 3: Summary of RTK usage by days in percentages

tion (supported from KCA experts) used the system for determining the boundary points as cross border gates between the Republic of Kosovo and Republic of Serbia. In the figure 4 is presented the map with Kosovo state border points and the group of experts that carried out the KOPOS measurements at those points.

#### 4.2. Statistics of RTK KOPOS usage

From the moment when KOPOS was functional and up to now there are 63 users registered. The majority is RTK users which until now have used the services for 245,000 minutes, and there were more than 20.000 connections with average time of 15 minutes usage.

The statistics of usage which have been presented in the charts below clarify the usage progress of KOPOS in Kosovo. The previous experience of GPS usage in Kosovo helped to have an easier transfer into KOPOS system. The increase of KOPOS usage provides a more stable development of coordinate cadastre.

#### 5. CONCLUSIONS

GNSS system started to be officially used in both public and private sectors in the Republic of Kosovo since November 2012. KOPOS services which are offered free of

charge are expected to continue to be provided for another year. The vision for the development of cadastre in Kosovo is to gradually move to coordinate cadastre, and therefore KOPOS helps and facilitates the collection and processing of the immovable property data. Through KOPOS network the general interest is raised for determining the location also for GIS users. KOPOS is mainly oriented in geodesy for harmonizing three components: measurement with high accuracy, full reliability in measurements and lowest costs for collection

of geo-information.

KOPOS is a unified state reference network which offers in the real-time positioning accuracy in horizontal plane  $\pm 2\text{cm}$  and in vertical plane  $\pm 4\text{ cm}$ . This system offers the possibility to use the latest technology for geodetic measurements for every surveyor in Republic of Kosovo. GNSS has raised the level of accuracy and reliability for geodetic measurements, because is globally extended, is secure and has the possibility of using the (American) GPS, (Russian) GLONASS and (European in the future) GALILEO.

## References

- DMA, (1991): Department of Defense World Geodetic System 1984, DMA.TR 8350. 2, second edition, 1 September.
- Leica Geosystems, (2012)a. Site Installation Report Version / Date: v.1 2012-09-19, Prishtina.
- Leica Geosystems, (2012)b. Processing Report Network Computation Leica Cross Check Leica.
- Law on Cadastre, Law No. 04/-L-013, Prishtinë (2011). Official Gazete 2011.
- Meha, M. (1998).: Analiza e aproksimit të elipsoidit ose sferës në rrafsh dhe saktësia e tyre. Buletini No 12. i FSHMN. Prishtinë.
- Meha, M. (2003): The future and development challenges of sustainable cadastre and digital cadastre of Kosovo. 2<sup>nd</sup> Cadastral Congress, September 19-21,2003. Krakow, Poland.
- Meha, M. (2005)a.: KOSOVAREF01, EUREF Symposium held in Vienna, Austria 1-4 June 2005.(euref2005 )
- Meha, M. (2005)b.: Analysis of permanent GPS reference station in Kosova. Symposium organized on the occasion of the 40 anniversary of the Faculty of Civil Engineering and Architecture. Pristine 2005.
- Meha, M. 2006.: KOSOVAREF01, Libër, Botues Agjencia Kadastrale e Kosovës.
- Meha, M., Çaka, M. (2011): Perspective of permanent referent network "KOPOS" in Kosovo. INGE02011, 5<sup>th</sup> International Conference on Engineering Surveying September 22-24, 2011, Brijuni, Croatia. FIG commission 6. reviewed published papers p.143-150 .  
<http://web.svf.stuba.sk/kat/GDE/Inge02011>
- Meha M, Çaka, M. Murati R. (2013): "KOPOS – Kosovo Positioning System". FIG Working Week 6 – 10 May, 2013, Abuja, Nigeria.  
[www.fig.net/pub/fig2013/papers/.../TS04C\\_meha\\_caka\\_et\\_al\\_6551.pdf](http://www.fig.net/pub/fig2013/papers/.../TS04C_meha_caka_et_al_6551.pdf)

# Usporedba poslovnih modela permanentnih GNSS mreža u okruženju Hrvatske (Austrija, Slovenija, Mađarska, Srbija, Crna Gora i Hrvatska)

Ana Mihaljević<sup>1</sup>, Maja Kapustić<sup>2</sup>, Ivan Kušan<sup>3</sup>, Ivor Meštrović<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, amihaljevic@geof.hr

<sup>2</sup> Diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, makapustic@geof.hr

<sup>3</sup> Diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, ikusan@geof.hr

<sup>4</sup> Diplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, ivor1.mestrovic@geof.hr

---

## Sažetak:

*Na gotovo cijelom prostoru Europe uspostavljene su nacionalne mreže permanentnih stanica Globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GNSS) za potrebe brzog, preciznog i pouzdanog pozicioniranja. Usprkos sve široj primjeni GNSS tehnologije razina korištenja permanentnih GNSS mreža povezana je s pitanjem kakav je odnos privatnog i javnog segmenta u poslovnom modelu geodetsko-katastarskog sustava u nekoj državi i uspostavljenim poslovnim i cjenovnim modelom upotrebe GNSS sustava, što ovisi od intencije i odluke vlasnika sustava. Obzirom da na poslovni model visok stupanj utjecaja ima razvijenost i veličina države, u ovom je radu sustav permanentnih mreža Hrvatske usporeden s istovjetnim sustavima država u okruženju (Slovenija, Mađarska, Austrija, Srbija i Crna Gora).*

## 1. Uvod

Permanentne GNSS mreže u regiji počele su se razvijati krajem devedesetih, nakon implementacija permanentnih stanica u sklopu International GNSS Service (IGS, generiranje preciznih GNSS proizvoda na međunarodnoj razini) i EUREF Permanent Network (EPN, precizno određivanje koordinata permanentnih stanica u ETRS89). Uspostavljanje mreže permanentnih GNSS stanica na lokalnoj razini i za lokalne potrebe činila se kao sljedeći logični korak, a povećanje pristupnosti suvremene tehnologije je taj korak i omogućilo.

## 2. Permanentne GNSS mreže u regiji

Aktivna geodetska referentna osnova Srbije (AGROS) broji 32 permanentne GNSS stanice, a uspostavljena je u fazama od 2002.

godine do zaključno 05.12.2005. godine, a 16.12.2005. godine počinje ekonomsko korištenje servisa AGROS.

APOS je austrijski sustav GNSS permanentnih stanica. O sustavu brine Federalni zavod za mjeriteljstvo i izmjere (BEV) u suradnji sa Zavodom za satelitsku geodiziju Austrijske akademije znanosti (ÖAW) i Leopold-Franzens sveučilištem u Innsbrucku (LFI). Također, APOS je sklopio javno-privatno partnerstvo s Koruškom elektroprivredom (KELAG). Mreža je uspostavljena 2005. godine, a sadrži 35 permanentnih GNSS stanica.

Državna geodetska uprava Republike Hrvatske uspostavila je CROatian Positioning System (CROPOS). Sustav je pušten u službenu uporabu 9. prosinca 2008., a čini ga 30 referentnih GNSS stanica.

**Ključne riječi:**  
**AGROS, APOS,**  
**CROPOS, GNSSnet.**  
**hu, MontePOS,**  
**SIGNAL, poslovni**  
**modeli, usporedba**

Mađarska permanentna GNSS mreža postoji još od 2002. godine kada je za registrirane klijente mađarskog Instituta za geodeziju, kartografiju i daljinska istraživanja postojala mogućnost dobivanja RINEX podataka s nekoliko permanentnih stanica, a servis u realnom vremenu predstavljen je 2004. godine i danas broji ukupno 35 permanentnih GNSS stanica.

MontePOS mrežu uspostavila je Uprave za nekretnine Crne Gore. Mreža se sastoji od 9 permanentnih GNSS stanica, a s radom je započela 2005. godine.

SIGNAL (Slovenija - Geodezija - Navigacija - Lokacija) je konstantno operabilna slovenska nacionalna mreža 15 referentnih GPS stanica koja je krenula s punim radom krajem 2006. godine. Post processing servis za sada je besplatan, dok za pristup Real Time podacima korisnicima je na usluzi Mobitel, slovenski mobilni operater koji nudi pretplatnički paket DGPS koji košta 100 € mješevno (URL6).

Poslovni modeli GNSS mreža u regiji, odnosno u konačnici cjenici pojedinih GNSS mreža razlikuju se u mnogočemu, modelu obračuna, jedinici obračuna, valutu, odnosno broju opcija stoga svođenje cjenika

na zajedničke nazivnike nije jednostavan zadatak. Obuhvaća preračunavanje valuta, preračunavanje vremenskih intervala i usklađivanje, odnosno iznalaženje ekvivalentnih ili približno ekvivalentnih modela. Iako se u istraživanju težilo maksimalnoj objektivnosti i usporedivosti cijena koštaja sustava, potrebno je zadržati određenu ogragu jer su spoznaje stečene temeljem javno publiciranih podataka (cjenika). Objedinjeni prikaz cjenika analizom obuhvaćenih GNSS sustava dan je na slici 1.

### 3. Usporedba poslovnih modela

Za usporedbu diferencijalnih servisa (DPS), koji uglavnom služe za potrebe geoinformacijskih sustava, navigacije, upravljanja prometom, zaštite okoliša, poljoprivrede, šumarstva, itd., odabrana su dva primjera iz svakodnevne geodetske prakse.

Za prvi primjer odabran je godišnji ciklus poljoprivrednih poslova, koji uključuju mehaniziranu pripremu oranica za sijetvu, prskanje te žetu poljoprivrednih kultura. Kao potrebno vrijeme za izvršenje navedenih poslova predviđeno je ukupno vrijeme od 4 mjeseca, s jednim neradnim danom po tjednu i prosječnom dnevnom vremenu rada od 12 sati.

AGROS (URL1)	po minuti		po satu			flat rate			AGROS PP po satu					
			10 sati	20 sati	50 sati	1 mjesec	6 mjeseci	12 mjeseci						
	DGPS	8,50 RSD	5.320,00 RSD	8.500,00 RSD	13.290,00 RSD	17.000,00 RSD	63.750,00 RSD	127.500,00 RSD	595,00 RSD					
RTK	13,60 RSD	8.500,00 RSD	13.600,00 RSD	21.250,00 RSD	27.200,00 RSD	142.800,00 RSD	255.000,00 RSD	1.020,00 RSD						
APOS (URL2)	po minuti				flat rate									
	1-sek podaci	5-sek podaci	10-sek podaci	30-sek podaci	jednokratno	po sekundi	dnnevni paušal	mjesecni paušal						
	PP	0,15 EUR	0,10 EUR	0,10 EUR	0,10 EUR	/	/	/	/					
	DGPS	/	/	/	/	/	0,00015 EUR	2,00 EUR	20,00 EUR					
RTK	/	/	/	/	/	50,00 EUR	0,0015 EUR	20,00 EUR	50,00 EUR					
CROPOS (URL3)	po minuti	flat rate 1 godina												
	DPS	/	1.000,00 kn											
	VPPS	0,35 kn	5.000,00 kn											
GPPS	0,50 kn	/												
GNSSnet. hu (URL4)	po minuti			flat rate										
				30 dana	60 dana	365 dana								
	DGNSS	3,00 HUF		40.000,00 HUF	120.000,00 HUF	360.000,00 HUF								
	RTK	12,00 HUF		10.000,00 HUF	40.000,00 HUF	90.000,00 HUF								
	interval snimanja	RINEX (po minuti)	Virtualna RINEX (po minuti)											
	PP	1-4 sec	20,00 HUF											
MontePOS (URL5)	5-14 sec	15,00 HUF	19,00 HUF											
	15 sec	10,00 HUF	12,00 HUF											
	24 sata	48 sati	1 mjesec	3 mjeseca	6 mjeseci	1 godina	2 godine							
DGPS	50,00 EUR	75,00 EUR	125,00 EUR	200,00 EUR	350,00 EUR	500,00 EUR	750,00 EUR							
RTK	100,00 EUR	150,00 EUR	250,00 EUR	400,00 EUR	700,00 EUR	1.000,00 EUR	1.500,00 EUR							
PP	1 sat po permanentnoj stanici = 30,00 EUR													

Slika 1. Pregled cijena korištenja servisa GNSS sustava u regiji

Drugi primjer obuhvaća strojno pročišćavanje terena za daljnje građevinske rade (izrada prometnica, plinovoda,...). Primjer je stroj koji će narednih 8 mjeseci raditi na tom projektu, uz 21 radni dan u mjesecu i prosječno dnevno radno vrijeme od 8 sati.

Kao što vidimo, u oba slučaja (Tablica 1.) AGROS sustav ispada najskuplji, ali zbog njegovog načina obračuna podataka nismo bili u mogućnosti napraviti direktniju (prikladniju) usporedbu. Sve ovdje dobivene vrijednosti treba uzeti s određenom dozom zadrške, jer u praksi bi se vjerojatno ispostavilo da se prilikom rada može uštedjeti

„koji sat“ korištenja sustava, čime se ova visoka cijena čini nerealna i time dovodi u pitanje isplativost, a time i održivost sustava.

Nadalje, uspoređujući ostale rezultate primjećujemo da je MONTEPOS nešto skuplji od GNSSNET.hu, a oba su skuplja od APOS-a i CROPOS-a. SIGNAL sustav nije moguće usporediti u ovom slučaju, jer taj sustav uopće ne nudi opciju diferencijalnog servisa, no ako bi ipak htjeli obaviti takav posao, morali bi koristiti servis veće točnosti, odnosno RTK servis, čija cijena koštanja na mjesecnoj bazi iznosi 100 € (753,04 kn),

DPS				
SUSTAV	CIJENA PO GODINI	CIJENA ZA 50 SATI	GODIŠNJI CIKLUS POLJOPRIVREDNIH POSLOVA	PRIPREMA TRASE CESTE
CROPOS	1.000,00 kn		1.000,00 kn	1.000,00 kn
AGROS		884,19 kn	9.500,51 kn	6.503,33 kn
APOS	1.807,30 kn		602,43 kn	1.204,87 kn
GNSSNET.hu	2.366,34 kn		2.366,34 kn	2.366,34 kn
MONTEPOS	3.765,21 kn		3.765,21 kn	3.765,21 kn
SIGNAL	/		/	/

Tablica 1. Troškovi korištenja DPS-a za definirane poslove preračunati u HRK

VPPS					
SUSTAV	CIJENA PO MINUTI	CIJENE ZA MJESEC KORIŠTENJA	GODIŠNJA CIJENA	GEODETSKI POSLOVI KOD IZGRADNJE PROMETNICA	KATASTAR IZMJERA
CROPOS	0,35 kn	496,89 kn	5.000,00 kn	1.512,00 kn	5.000,00 kn
AGROS	1,13 kn	1.605,69 kn	8.482,60 kn	1.809,62 kn	9.500,51 kn
APOS	0,68 kn	962,18 kn	18.073,01 kn	1.506,08 kn	9.036,50 kn
GNSSNET.hu	0,32 kn	447,93 kn	9.465,37 kn	1.051,71 kn	9.465,37 kn
MONTEPOS	31,38 kn	44.545,35 kn	7.530,42 kn	1.882,61 kn	5.271,29 kn
SIGNAL	0,02 kn	24,75 kn	9.036,50 kn	753,04 kn	4.518,25 kn

Tablica 2. Troškovi korištenja DPS-a za definirane poslove preračunati u HRK

GPPS			
SUSTAV	CIJENA	OBRAČUNSKA JEDINICA	PRAĆENJE POMAKA I DEFORMACIJA BRANE
CROPOS	1,00 kn	1 minuta	2.160,00 kn
AGROS	67,86 kn	1 sat	2.442,99 kn
APOS	0,75 kn	1 minuta	1.626,57 kn
GNSSNET.hu	0,39 kn	1 minuta	851,88 kn
MONTEPOS	225,91 kn	1 sat	8.132,85 kn
SIGNAL	besplatno	besplatno	0,00 kn

Tablica 3. Troškovi korištenja GPPS-a za definirane poslove preračunati u HRK

što bi u prvom primjeru dalo ukupan iznos od 4.518,24 kn, a u drugom primjeru iznos od 6.024,32 kn, čime bi SIGNAL sustav bio još uvijek jeftiniji od AGROS sustava, unatoč primjeni servisa više točnosti.

Za usporedbu RTK servisa (VPPS), koji se uobičajeno koriste za osnovne geodetske radove, katastar, inženjersku geodeziju, izmjeru državne granice, topografsku izmjeru, itd., odabrana su dva primjera iz geodetske prakse, pomoću kojih uspoređujemo cijene pojedinih sustava. Kao treći primjer odabrani su geodetski poslovi kod izgradnje prometnica (postavljanje operativnog poligona, iskolčavanje nivelete,...). Za taj primjer odabran je obujam geodetskih poslova u trajanju od 12 dana po 6 sati. U

četvrtom primjeru predviđena je katastarska izmjera u trajanju od 6 mjeseci, uz 6 sati rada dnevno (Tablica 2.).

Za usporedbu postprocesing servisa (GPPS) koji se uobičajeno koriste za potrebe geodetske osnove, referentne sustave, znanstvena i geodinamička istraživanja, visoko-precizne zadatke inženjerske geodezije, itd., uzeli smo jedan praktični primjer praćenja pomaka i deformacija brane, koji se radi dva puta godišnje po tri dana, s po 6 sati rada dnevno (Tablica 3.).

#### 4. Analiza usporedbe

U tablici koja slijedi (Tablica 4), prikazani su

SUSTAV	DPS (1. primjer)	DPS (2. primjer)	VPPS (3. primjer)	VPPS (4. primjer)	GPPS (5. primjer)	SREDNJA POZICIJA
CROPOS	2	1	4	2	4	2,6
AGROS	6	6	6	6	5	5,8
APOS	1	2	3	4	3	2,6
GNSSNET.hu	3	3	2	5	2	3
MONTEPOS	4	4	5	3	6	4,4
SIGNAL	5*	5*	1	1	1	2,6

Tablica 4. Rezultati usporedbe

\*pozicija dobivena primjenom RTK servisa

ukupni rezultati povoljnosti sustava iz prethodnih primjera, gdje je brojem 1 označen najpovoljniji sustav, a brojkom 6 je označen najskuplji sustav (stupci predstavljaju redom primjere, a redci predstavljaju pojedine servise).

Iz svega ukupno donosimo zaključak da je SIGNAL sustav najpovoljniji za krajnjeg korisnika, jer je u tri od pet primjera dao najpovojnije cijene, dok za prva dva primjera nije relevantan zbog primjene više točnosti, ali je uveden u tablicu ispod prva dva primjera zbog tog što i dalje nije najskuplji, unatoč servisu više točnosti.

Sljedeći po povoljnosti bio bi CROPOS, iako je ukupno gledano cjenovno jako blizu APOS sustavu, ipak je malo povoljniji u pogledu RTK servisa (VPPS), a to je ipak servis koji se najviše koristi. Odmah iza CROPOS-a smjestili smo APOS sustav jer je cjenovno jako blizu CROPOS-u, a ima i nešto manje cijene za postprocessing servis.

GNSSNET.hu smjestili smo na 4. mjesto, cjenovno je blizu CROPOS-u i APOS-u, a jeftiniji je sa podacima postprocessing servisa. Kod GNSSNET.hu je bitno za napomenuti da njihovi stalni korisnici dobivaju popuste za drugu i treću pretplatu od 10 i 20 posto, što dodatno snizuje cijene stalnim korisnicima. MONTEPOS spada u grupaciju skupljih sustava, ali i kod njega je bitno napome-

nuti da su cijene osjetno niže ako se kupuju paketi za godinu ili dvije godine za diferencijalni i RTK servis.

Ovom usporedbom je AGROS sustav ispaо svakako najskuplji sustav u regiji, jer je gotovo u svim primjerima bio osjetno skuplji od ostalih sustava, osim u postprocessing sustavu, gdje je bio povoljniji jedino od MONTEPOS-a. U realnim uvjetima bi taj sustav bio zasigurno nešto jeftiniji, ali takav izračun bi zahtijevao puno bolje poznavanje rada tim sustavom, gdje bi se moglo odrediti realno utrošeno vrijeme korištenja sustava na nekim specifičnim zadacima.

Zaključni kriterij je sljedeći: pri usporedbi poslovnih modela permanentnih GNSS mreža u regiji nije samo bitna cijena već i prilagođenost tržištu. Po tom kriteriju SIGNAL, osim što je najpovoljniji, istovremeno je i najpristupačniji korisnicima i to ne samo geodetskim stručnjacima već široj javnosti upravo zato što je korištenje njegove permanentne mreže unutar tarife mobilne telefonske kompanije pa time i puno više oglašavan i prepoznat potencijalnim korisnicima kao opcija.



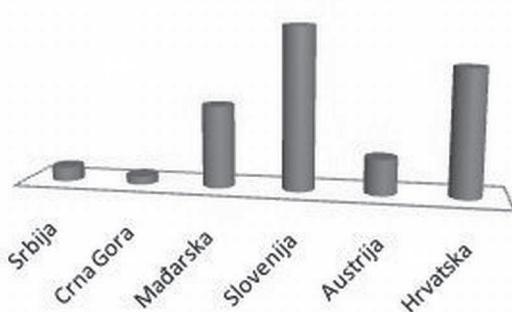
**Slika 2. Prikaz korištenja sustava**

## 5. Analiza vremena i broja korisnika sustava

Nakon provedenih analiza temeljenih na obrađenim primjerima, prikupljeni su podaci o broju korisnika i ukupnom vremenu korištenja pojedinih servisa za 2011. godinu, za sve obuhvaćene zemlje. Podaci su dobiveni od strane vlasnika svakog od sustava. Podaci o vremenu korištenja pojedinih servisa po regijama su objedinjeni i vizualizirani grafom (Slika 2.).

Iz grafa sa slike 2. jasno je uočljivo da se u svim obrađenim zemljama daleko najviše koristi RTK servis. To je i za očekivati, jer se tim sustavima najviše koriste geodeti, a najveći obim geodetskih radova zahtjeva točnost mjerjenja u okvirima koje osigurava RTK servis. Zanimljivo je usporediti ranije odradene primjere s prikazanim grafom (Slika 2.) te uočiti da prethodno doneseni zaključci o povoljnosti pojedinog sustava u regiji donekle prate trendove u korištenju istih.

Postoje određene razlike između uspoređenih država regije. Najvažnija razlika je veličina, odnosno površina pojedine države, koja bitno utječe na obim radova geodetske struke, a time i na količinu korištenja sustava, te na broj korisnika koji se nalaze na području pokrivanja pojedinim sustavom. Na slikama koje slijede vizualizirano je ukupno vrijeme korištenja svih sustava u odnosu na površinu države (Slika 3.), i



Slika 3. Ukupno korištenje u odnosu na površinu države

ukupan broj korisnika, također u odnosu na površinu države (Slika 4.).

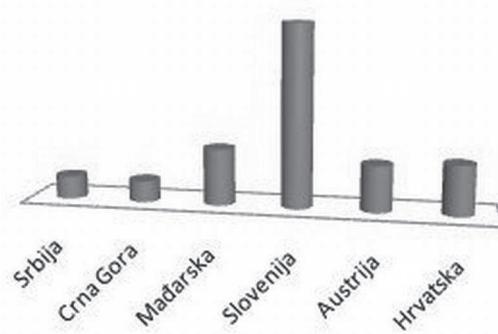
Na slikama (Slika 3. i Slika 4.) se uočava da se Slovenski SIGNAL ističe i po korištenju sustava i po broju korisnika u donosu na svoju površinu. CROPOS se ističe po vremenu korištenja sustava, dok se po broju korisnika podudara s većinom obrađenih sustava.

## 6. Zaključak

Značajka modernog upravljanja i donošenja odluka značajnim dijelom počiva na korištenju prostornih informacija. Prostorne informacije su dobine sasvim novu ulogu, ulogu proizvoda za koji je potreban marketing, osluškivanje tržišta i praćenja trendova.

Usporedbom poslovnih modela permanentnih GNSS mreža u regiji došli smo do zaključka da je izrazito bitno prilagoditi obračunske jedinice mogućim uporabama svakog od servisa i ponuditi što više opcija kod odabira obračunske jedinice koje bi potencijalnim korisnicima osigurale ekonomsku isplativost, a time i povećale broj korisnika same mreže. Osim toga potrebno je i informirati zajednicu potencijalnih korisnika o svim mogućnostima permanentnih GNSS mreža.

Poslovni modeli permanentnih GNSS mreža u vrijeme sve intenzivnijeg razvoja tehnologije i u očekivanju pada cijena GNSS uređaja postaju izrazito bitni. Širi se krug



Slika 4. Broj korisnika u odnosu na površinu države

potencijalnih korisnika i bitno je prepoznati mogućnosti i prilagoditi se tržištu. Jedino tako se uporaba, a time i isplativost odr-

žavanja permanentnih GNSS mreža može maksimizirati.

### **Literatura**

- URL1: <http://agros.rgz.gov.rs/>
- URL2: <http://www.bev.gv.at>.
- URL3: <http://www.cropos.hr>
- URL4: <http://www.gnssnet.hu>/
- URL5: <http://www.nekretnine.co.me/me/Montepos.asp>
- URL6: <http://www.gu.gov.si/en/>

---

---

#### ***Abstract:***

*This study focuses on similarities and differences in business models of permanent GNSS network services in region (Serbia, Austria, Croatia, Hungary, Montenegro, Slovenia). Business model of each country depends on development of geodetic-cadastral sector so the chosen countries are similar in that sense but also similar in size. Comparison is conducted by defining specific situations and time usage of permanent GNSS services and then calculating cost depending on the service and the price lists of countries in region.*

#### **Comparison of business models of permanent GNSS network services in region**

**Keywords:**  
**AGROS, APOS, business  
model, comparison,  
CROPOS, GNSSnet.hu,  
MontePOS, SIGNAL**

# Praktična primjena CROPOS sustava

**G. Toplek, D. Bilajbegović, M. Štimac, F. Ambroš**

Mobilni internet u funkciji CROPOS-a i povećanju geodetske produktivnosti

**M. Krkač, S. Mihalić Arbanas, Ž. Arbanas, N. Smolčak, K. Špehar, S. Bernat**

Primjena rezultata praćenja permanentne GNSS mreže u modeliranju klizišta na primjeru klizišta Kostanjevica u Zagrebu

**M. Baučić, S. Mihalić Arbanas, M. Krkač**

Geografski informacijski sustav klizišta Kostanjevica: integracija podataka GNSS sustava praćenja pomaka u stvarnom vremenu s mjeranjima drugih uređaja

**I. Grgić, M. Katavić, M. Pavasović, O. Bjelotomić, M. Pejaković, M. Varga, M. Grgić,  
T. Bašić**

Usporedba visina određenih CROPOS VPPS servisom i geometrijskim nivelmanom u realnom polju ubrzanja sile teže

**M. Grgić, M. Pavasović, O. Bjelotomić, M. Pejaković, M. Varga, T. Bašić**

Primjena Trimble xFill sustava za augmentaciju globalnih navigacijskih sustava

**Ž. Hećimović, M. Grgić, M. Pejaković**

Referentni sustavi s obzirom na usluge prostornih podataka

**I. Jakopec, D. Šugar, Ž. Bačić**

Ispitivanje točnosti VPPS usluge CROPOS-a

**D. Šantek**

Ispitivanje CROPOS sustava

**I. Šarić, Ž. Bačić**

Utjecaj udaljenosti permanentnih stanica BiHPOS i CROPOS mreža na točnost statičkog GNSS mjerjenja

**M. Zrinjski, Đ. Barković, L. Vulić**

Ispitivanje preciznosti GNSS RTK mjernih sustava prema normi ISO 17123-8:2007 primjenom CROPOS-a

# Mobilni Internet u funkciji CROPOS-a i povećanju geodetske produktivnosti

Goran Toplek<sup>1</sup>, Damir Bilajbegović<sup>2</sup>, Mario Štimac<sup>3</sup>, Franjo Ambroš<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Hrvatski Telekom d.d., Savska cesta 32, Zagreb, Hrvatska, goran.toplek@t.ht.hr

<sup>2</sup> Ericsson NT d.d. Zagreb, Krapinska 45, Zagreb, damir.bilajbegovic@ericsson.com

<sup>3</sup> GEOprem d.o.o. Osijek, Trg Lava Mirskog 1, mario.stimac@geoprem.hr

<sup>4</sup> GEOprem d.o.o. Osijek, Trg Lava Mirskog 1, franjo.ambros@geoprem.hr

---

## Sažetak:

Uspostavom servisa CROPOS-a predstavili smo geodetski, gospodarski, i informacijsko-komunikacijski iskorak u primjeni globalnih navigacijskih satelitskih sustava (GNSS). Nakon više od četiri godine dostupnosti servisa CROPOS-a postavlja se pitanje kako se u geodetskoj djelatnosti manifestiraju nedostaci ove usluge u svakodnevnom korištenju. Kako bismo u budućnosti izbjegli moguće zamke u razvoju usluge CROPOS, potrebno je ukazati i na razvoj telekomunikacijske komponente te iznijeti korisničke parametre na temelju kojih bi telekomunikacijski operateri našli svoj interes za uključivanje u servisiranje sličnih usluga. U radu se iznose aktivnosti vezane uz izbjegavanje poteškoća u svakodnevnom radu servisa VPPS.

## 1. Uvod

Državna geodetska uprava je 9.12.2008. godine u službenu upotrebu pustila servis CROPOS koji je trebao biti revolucija u pozicioniranju u realnom vremenu (točnost položajno/visinski 0,02/0,04 m). Osnovu ovog sustava čine 30 stacionarnih umreženih GPS stanica te pokretni GPS prijamnici (rover) koji korekcijske parametre dobivaju preko mobilne mreže.

Postoje 3 servisa koji CROPOS sustav nudi: diferencijalni servis pozicioniranja (DPS), visoko precizni servis pozicioniranja (VPPS) i geodetski precizni servis pozicioniranja (GPPS) od kojih je najinteresantniji onaj koji geodeti svakodnevno koriste, visoko precizni servis pozicioniranja. Kod načina spašanja GPS uređaja (server/rover) odabran je model mobilne telefonije, jer se u Nje-

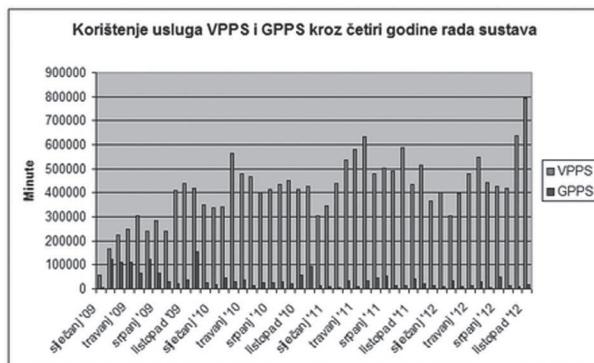
mačkoj to pokazalo najučinkovitije (Bilajbegović i dr., 2005.). U Njemačkoj je obveza mobilnih operatera pokrivanje cijelog teritorija države mobilnim signalom.

Masovnom primjenom sustava uvidjelo se da servis VPPS ima nedostatak, a to je dostupnost mobilnog podatkovnog signala, posebno u ruralnom području Hrvatske. Od puštanja u rad servisa do danas dogodile su se revolucionarne promjene u elektroničkoj komunikaciji. Broj usluga koje se koriste mobilnim mrežama naglo raste. Broj korisnika također je u stalnom porastu. Geodeti su 2012. godine koristili servis VPPS prosječno 8.750 sati/mjesečno (DGU, 2012).

Potrebe servisa VPPS prema prijenosu podataka nisu zahtjevne (min 6 kbit/s), a ipak imamo česte prekide veze server/rover, što rezultira smanjenom produktiv-

Ključne riječi:  
**CROPOS,**  
**ekonomičnost**  
**geodetske izmjere,**  
**GNSS, mobilni**  
**internet**

nosti terenskih mjerena. Na problem prijenosa podataka pri radu servisa CROPOS već su prije ukazivali i drugi autori. (Grgić i dr., 2009.)



Slika 1. Vrijeme korištenja usluga 2009 – 2012.

U radu je težište na multidisciplinarnom pristupu ovoj problematici. Telekomunikacije i metode geodetske izmjere svakim se danom razvijaju što direktno utječe na rast produktivnosti. Ukoliko se svi elementi sistema ne kontroliraju i svakodnevno usklađuju, rast produktivnosti neće se ostvariti. Rad predstavlja prikaz mogućeg rješenja, a o samom problemu održana je prezentacija članovima Udruge Osječko-baranjske županije (Ambroš, 2013.) 1. ožujka 2013. godine.

## 2. Mobilni Internet u funkciji prijenosa mjernih i korekcijskih podataka između mjerne postaje i kontrolnog centra DGU

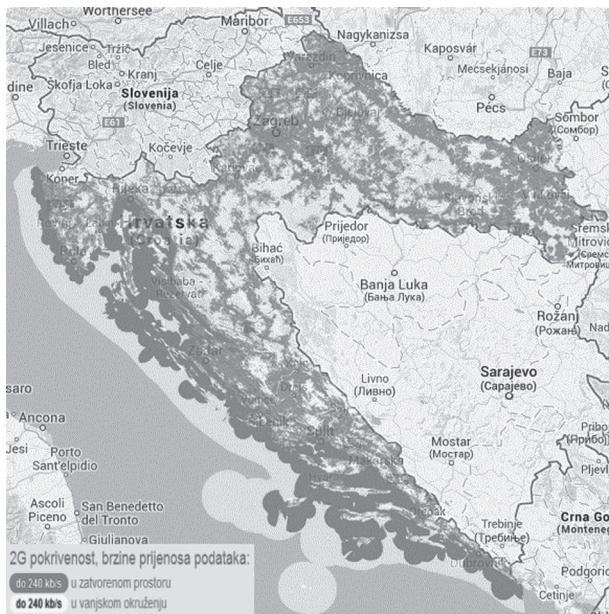
Razmjena podataka između GPS mjerne postaje i kontrolnog centra Državne geodetske uprave jedna je od ključnih funkcija korekcije mjerena u cilju preciznog određivanja položaja u CROPOS sustavu. U eri naprednih telekomunikacijskih rješenja i mreža, dostupnost podatkovnih bežičnih komunikacija podrazumijeva se uvijek i na cijelokupnom teritoriju.

### 2.1 Mobilni Internet općenito

Trenutno u Republici Hrvatskoj djeluju tri operatera pokretnih komunikacija, a dostu-

pnost osnovne usluge bežičnog prijenosa podataka uspostavljena je na skoro cijelokupnoj površini teritorija i akvatorija. Osnovni prijenos podataka ostvaruje se EDGE protokolom (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) koji predstavlja nadogradnju GPRS (General Packet Radio Service) protokola na GSM (Global System for Mobile Communications) (2G) mreži uz maksimalne brzine prijenosa podataka od 384 kbit/s. GSM je u implementiran na frekvencijskim pojasevima od 900 MHz i 1800 MHz. Napredne podatkovne usluge ostvaruju se na UMTS (3G) mreži (Universal Mobile Telecommunications System) protokolima R99 s brzinama od 384 kbit/s i HSPA (High Speed Packet Access) s brzinama do 42 Mbit/s. UMTS je implementiran na frekvencijskim pojasevima od 900 MHz te 2100 MHz. Najnaprednije usluge nude se pak preko mreža četvrte generacije (4G), takozvanom LTE tehnologijom (Long Term Evolution) na frekvencijama od 800 MHz (tzv. digitalna dividenda) i 1800 MHz. Ovdje se radi o brzinama do 75 Mbit/s u trenutnim uvjetima te o 150 MHz u kasnijoj fazi razvoja s proširenim spektrom. Navedene brzine prijenosa podataka važe da tzv. downlink – prijenos podataka od mreže prema terminalnom uređaju – dok za tzv. uplink – prijenos podataka od terminalnog uređaja prema mreži – vrijede manje brzine – obično od desetine do petine downlink brzine. Važno je napomenuti da su maksimalne brzine prijenosa definirane u laboratorijskim uvjetima te da ovise o mnogim faktorima - radijskim uvjetima na terenu, vrsti terminalnog uređaja, blizini bazne stanice, preprekama, smetajućem signalu, količini trenutnog prometa, širini implementiranog frekvencijskog pojasa, uz pravilo „best effort principle“. U rijetkim slučajevima od operatera je moguće dobiti jamčeni prioritet u prijenosu podataka, ukoliko operater pruža takvu uslugu. Danas se pojedina tehnologija bežične komunikacije može aplicirati na gotovo sve frekvencijske pojaseve, a to pak ima utjecaja na veličinu teritorija pokrivenog upotrebljivim signalom. Primjerice,

dan je još uvijek GPRS/EDGE na 900 MHz tehnologija koja ima najveće teritorijalno pokrivanje, UMTS na 900 MHz brzo napreduje u ostvarivanju sve većeg teritorijalnog i populacijskog pokrivanja, no u budućnosti se uvelike računa na LTE na 800 MHz kao dominantnu tehnologiju za pokrivanje teri-



Slika 2. Primjer karte pokrivanja Hrvatskog Telekoma za 2G mrežu (tamnija boja predstavlja pokrivenost u tzv. indoor uvjetima)



Slika 3. Primjer karte pokrivanja Hrvatskog telekoma za 3G mrežu (različite boje predstavljaju različite brzine prijenosa podataka)

torija podatkovnom uslugom.

## 2.2 Problemi pri korištenju mobilnog interneta u geodetskim mjerjenjima

Temeljem informacija nekoliko geodetskih tvrtki na području Slavonije o nemogućnosti uspostave podatkovnih veza između mjernih uređaja i servera DGU, a radi učinkovitog korištenja postojećih mreža mobilnih komunikacija za razmjenu diferencijalnih podataka o lokaciji, provedeno je nekoliko analiza unutar Hrvatskog Telekoma te je definirano nekoliko grupa problema.

### 2.2.1 Problemi pokrivanja i rješenja

U situacijama geodetskih mjerjenja u ruralnim područjima, unatoč trenutnoj pokrivenosti GSM mrežom od više od 96% teritorija te UMTS mrežom od više od 70%, može doći do nedostatka razine upotrebljivog signala za uređaje kojima se provode geodetska mjerjenja. Prilike na mikrolokaciji mogu se razlikovati od matematičkog makro modela pokrivanja. Testiranjem uređaja Topcon GR-3 utvrđeno je da se pojavljuju problemi u komunikaciji već kad se jačina signala spusti na -90 dBm do -100 dBm, što je granica postojanosti komunikacije. Na ovim razinama signala, gdje drugi uređaji normalo funkcioniraju, uzroci problema leže u smještaju i osjetljivosti modula za podatkovnu komunikaciju preko mobilnih mreža ugrađenog u geodetski uređaj. Smještaj podatkovnog modula u kućištu uređaja može dodatno unijeti gušenje signala. Također, kod modula koji podržava više podatkovnih tehnologija (EDGE, HSPA) neodgovarajuće postavke mreže mobilnih operatera mogu uzrokovati nestabilan rad. Kod geodetskih mjerjenja u ruralnim područjima moguće je imati situaciju nedovoljnog pokrivanja, što zahtijeva naknadnu obradu podataka. Preporuča se prijava svakog pojedinog problema u podatkovnoj komunikaciji odbaranom mrežnom operateru kako bi se zajednički otklonili problemi, te u slučaju većih kampanja mjerjenja najava operateru i provjera pokrivanja. Podatkovne modeme

(module) u geodetskim uređajima valjalo bi birati na način da podržavaju i EDGE i HSPA tehnologije, a u budućnosti i LTE, budući da operateri pokretnih komunikacija kombiniraju te tehnologije u osiguravanju potpune pokrivenosti teritorija podatkovnim uslugama. U situacijama nepostojanog signala na podatkovnom modulu, kod nekih je geodetskih uređaja moguće i bežično povezivanje (Bluetooth) s drugim bliskim uređajem (pametni mobilni telefon) koji u tom trenutku ima dobru povezanost. Konsultiranjem mapa pokrivanja i u kontaktu s mobilnim operaterima, a za potrebe pokrivanja podatkovnom uslugom nepokrivenih područja pri planiranju kampanja geodetskih mjerena, moguće je utvrditi potrebu i dogovoriti privremena i brza rješenja za osiguranje podatkovnih usluga.

### **2.2.2 Problemi u komunikaciji i rješenja**

Količina referentnih i korekcijskih podataka koji se prenose tijekom geodetskih mjerena u realnom vremenu relativno je mala s obzirom na mogućnosti mreža pokretnih komunikacija, pa ista ne predstavlja problem pri korištenju mobilnih mreža. Efektivna podatkovna komunikacija ostvaruje se već sa 6 kbit/s. Vrlo rijetko može se pojaviti problem preopterećenja baznih stanica mobilnih mreža, no ono varira u vremenu te će ponovnim pokušajem uspostava veze biti ostvarena. Velik problem predstavlja potreba ponovne inicijalizacije mernog uređaja pri nestabilnoj podatkovnoj vezi, a koja prekida mjerena i do 60 sekundi, što pak uzrokuje dramatično produljivanje postupaka mjerena. U ponekim slučajevima, prilikom provođenja analiza u Hrvatskom Telekomu, čak je bilo potrebno resetirati podatkovni modem.

### **2.2.3 Mogućnosti optimizacije mreže mobilnog operatera**

Podatkovni promet koje generiraju GPS mobilne stanice je mali ali zahtjeva brzi prijenos (mali delay) podataka te neprekinitu komunikaciju (mali jitter). Općenito,

mobilne mreže su dizajnirane da rijetko imaju velika i dugotrajna preopterećenja u mreži, no ona se ipak događaju. Kako bi se osjetljive GPS korekcijske informacije brzo i kvalitetno dostavile GPS korisnicima, mobilni operateri mogu optimizirati mrežu i uvesti različitu kvalitetu usluge za pojedine korisnike.

Dva glavna problema koja se mogu pojaviti prilikom prijenosa podataka su sljedeći:

- nemogućnost dohvata podataka uslijed zagušenja te velikog broja podatkovnih veza,
- nemogućnost dohvata podataka uslijed odbacivanja/zaustavljanja podatkovnih veza te davanje prioriteta glasovnim uslugama.

Prvi problem uzrokuje veliki broj pametnih mobilnih uređaja koji generiraju veliku količinu mobilnog prometa. Navedeni uređaji su veliki potrošači mobilnog podatkovnog prometa. Uređaji, čak i u stanju mirovanja, često izmjenjuju razne podatke putem mobilne mreže. S popularizacijom mobilnih aplikacija za pristup društvenim mrežama (Facebook, Twitter) te aplikacija za VoIP glasovni promet (Skype, WhatsUp), promet mobilnom mrežom je eksponencijalno porastao. Ukoliko operater nema opciju prioriteta pojedinih vrsta prometa, odnosno korisnika, mobilna mreža sav IP podatkovni prijenos jednako tretira bez obzira na vrstu prometa koji se prenosi. Tako će velika količina internetskog i ostalog prometa pametnih telefona biti jednak tretirana kao i prijenos GPS korekcijskih podataka. U trenucima kada su zahtijevani podaci veći od trenutnog kapaciteta mreže, svi podaci se jednak zadržavaju odnosno odbacuju. Tako će i osjetljivi GPS korekcijski podatci biti potisnuti ili odbačeni.

Drugi problem proizlazi iz osnovnog ponašanja mobilne mreže. Glasovni promet uvijek ima veći prioritet u odnosu na svaki drugi korisnički promet. U slučaju da se pojave veći zahtjevi za glasovnom uslu-

gom, ograničeni radio resursi se oslobođaju od podatkovnog i rezerviraju za glasovni prijenos. U tom slučaju podatkovni prijenos će imati manje raspoloživih radio resursa te će se u najgorem slučaju privremeno svi podatkovni prijenosi zaustaviti kako bi se oslobodilo dovoljno radio resursa za glasovni prijenos.

Kako bi se sprječilo odbacivanje tih podataka, operateri bi u mobilne mreže trebali uvesti, odnosno iskoristiti postojeće funkcije sustava, opcije prioriteta pojedinih vrsta prometa u mobilnoj mreži.

Uz uvjet da su kapaciteti sustavno praćeni i nadograđivani prema stvarnim potrebama prometa, radi prioriteta geodetske razmjene podataka nekoliko je tehnika na raspolaganju operaterima, a navodimo najčešćalije:

- kreiranje prioritetne grupe korisnika (Gold, Silver, Bronze koncept),
- kreiranje novog Access Point Name (APN),
- dubinsko snimanje paketa (Deep Packet Inspection (DPI)).

Svaka tehnika ima svoje prednosti i mane, a pri uporabi pojedinih tehnika valja paziti i na nediskriminaciju korisnika, regulatorne uvjete i princip neutralnosti mreže pri prijenosu podataka. Također, usluga prioritetskog prijenosa podataka mora biti jednostavna za uporabu pri geodetskim mjeranjima, bez intervencije u postavke podatkovnih modema.

Korištenjem ovih metoda operateri će stvoriti usluge koje će geodeti koristiti za kvantitetnu uslugu prijenosa podataka uz jednostavnu izmjenu postavki mreže mobilnog operatera. Pružanjem bolje usluge prijenosa podataka mobilni operater može razviti nove pretplatničke modele te jednako tako prioritetni prijenos podataka ponuditi i drugim korisnicima iz domene javnih službi, službi sigurnosti i zaštite imovine i života.

### 3. Zaključak

Dostupnost podatkovnih usluga mobilnih operatera danas je osigurana gotovo na cijelom teritoriju države te nema potrebe uspostavom infrastrukture drugih načina radijskog prijenosa podataka (VHS radio). Za posebne potrebe moguće je u suradnji s operaterima uspostaviti privremena ili trajna, ali brza, rješenja pokrivanja. Za pouzdan rad geodetskih uređaja u kontekstu razmjene korekcijskih podataka potrebno je osigurati dobru razinu signala (iznad -90 dBm), te nastojati da nabavljeni moduli podržavaju veći broj tehnologija na frekvencijskim područjima koje operateri koriste.

Budući da su geodetske kompanije u dosadašnjoj praksi iskusile probleme s prijenosom podataka u mobilnim mrežama, preporučuje se suradnja predstavnika geodetskih tvrtki i mobilnih operatera na razvoju prioritetskog prijenosa podataka u svrhu geodetskih izmjera, te korekciju pokrivanja na područjima zanimljivim za kampanje geodetskih mjerena.

Potrebe za pozicioniranjem u realnom vremenu s centimetarskom točnošću svakim danom se sve više artikuliraju. Precizna poljoprivreda (u preciznoj poljoprivredi korištenjem autopilota moguće je povećati kvalitetu obrade tla i značajno smanjiti obuku rukovaoca stroja), posebni oblici transporta, lociranje podzemnih objekata samo su neka područja koja će biti interesantna za automatizaciju procesa, a koje će koristiti stručnjaci raznih struka.

Utjecaj telekomunikacija na sve grane privredne djelatnosti je očit. Problem opisan u našem radu ujedno ukazuje da bismo brza rješenja ovog problema morali tražiti sukladno dokumentu vlade: Strategija razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2012. do 2015. godine i Provedbeni program strategije širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2012. do 2013. (NN /2011).

Kako je ekonomičnost ulaganja telekomunikacija u ruralna područja problematična (Mesarić i dr., 2013.) rješenja trebamo tražiti kandidiranjem Državne geodetske uprave za sredstva Europske unije za izgradnju dostupnosti širokopojasnom pristupu.

Nadamo se da će to omogućiti ravnomjeriji razvoj ruralnog područja i doprinijeti sustavnom prikupljanju podataka o prostornim resursima države, a u budućnosti omogućiti automatizaciju pojedinih procesa.

## Literatura

- Ambroš, F. (2013): Geodetska izmjera nekretnina – novi pristup, Stručno usavršavanje HKOIG 2012/2013, Udruga geodeta Osječko-baranjske županije, Osijek, 2013.
- Bilajbegović, A., Abicht, G., Bilajbegović, D., Ludwig, O. (2005): SAPOS i budući CROPOS servisi, točnost, pouzdanost i ekonomičnost, 3. Hrvatski kongres o katastru, Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb, 2005., rad u zborniku
- DGU (2012): Četiri godine rada CROPOS sustava, poslovne informacije, Zagreb, 2012.
- Grgić, I., Bjelotomić, O., Repanić, M., Lučić, M., Bašić, T. (2009): CROPOS u funkciji velikih geodetskih projekata, 1. CROPOS konferencija, HGD i DGU, Zagreb, 2009.
- Mesarić, D., Ambroš, F., Ivanović, M. (2013): DEVELOPMENT OF BROADBAND NETWORKING IN SLAVONIA AND BARANJA, 2. međunarodni znanstveni simpozij Gospodarstvo Istočne Hrvatske, jučer danas, sutra, Ekonomski fakultet Osijek, Osijek, 2013., rad u zborniku.
- Narodne novine (2011): Strategija razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2012. do 2015. godine i Provedbeni program strategije širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2012. do 2013., Narodne novine br. 144, Zagreb, 2011.
- <https://www.hrvatskitelekom.hr/karta-pokrivenosti>

## **Abstract:**

*CROatian Position System (CROPOS) was step forward in geodetic, economic and information – communication sense by using global navigating satellite systems (GNSS). After four years of CROPOS availability some questions have been raised about flaws of this service in everyday usage. In order to improve this service it is necessary to develop telecommunication components and to bring out user parameters so that the operators find their interest in comprehension of similar services. This paper contains list of activities which are taken to overcome everyday difficulties in VPPS measurement.*

**Mobile internet in service of cropos and increase of land surveying productivity**

**Keywords:**  
**CROPOS, GNSS, economic geodetic survey, mobile internet**

# Primjena rezultata praćenja permanentne GNSS mreže u modeliranju klizišta na primjeru klizišta Kostanjek u Zagrebu

Martin Krkač<sup>1</sup>, Snježana Mihalić Arbanas<sup>1</sup>, Željko Arbanas<sup>2</sup>, Nenad Smolčak<sup>3</sup>, Kristijan Špehar<sup>4</sup>, Sanja Bernat<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska, mkrkac@rgn.hr, smihalic@rgn.hr, sanja.bernat@rgn.hr

<sup>2</sup>Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, Rijeka, Hrvatska, zeljko.arbanas@gradri.hr

<sup>3</sup>Geomatika-Smolčak d.o.o., Gradek 2d, Gornji Stupnik, Hrvatska, nsmolcak@geomatika-smolcak.hr

<sup>4</sup>Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac 102a, Zagreb, Hrvatska, spehar.kristijan@gmail.com

---

## Sazetak:

Postavljanje lokalnih permanentnih GNSS (eng. Global Navigation Satellite Systems) mreža na klizišta je uobičajeno u slučajevima kada je to ekonomski opravданo s obzirom na razinu opasnosti (hazarda) i ugroze (rizika) od reaktiviranja klizišta. Permanentna GNSS mreža, koja se sastoji od 15 referentnih GNSS stanica, postavljena je na području klizišta Kostanjek u okviru znanstvenog bilateralnog hrvatsko-japanskog SATREPS FY2008 projekta tijekom 2012. godine, zajedno s drugim senzorima za mjerjenje pomaka (žičani ekstenzometri kratkog i dugačkog raspona, vertikalni ekstenzometri, inklinometar), senzorima za hidro-meteorološka i hidrogeološka mjerjenja (ombrograf, piezometri sa senzorima za mjerjenje pornog tlaka u bušotinama, senzori za mjerjenje hidrostatičkih pritisaka u bunarima/bušotinama, senzori za mjerjenje razine vode na preljevima) i senzorima za geofizička mjerjenja (akcelerometri). Ekstremne oborine tijekom zime 2012./2013. prouzročile su nove pokrete klizišta Kostanjek, ukazujući time na visok stupanj ugroze za građevine (obiteljske kuće, poslovne objekte, komunalnu infrastrukturu) i stanovnike na području klizišta. U radu se daje kratak prikaz senzorskih mreža i uređaja za praćenje klizišta i uzroka klizanja koji su postavljene na površini približne veličine  $1,2 \text{ km}^2$  u urbaniziranom dijelu Grada Zagreba u Podsusedu. Rezultati dugoročnog praćenja koristit će se za: i) implementaciju sustava ranog upozoravanja; ii) validaciju kinematičkog modela definiranog prije 17 godina (Ortolan, 1996); iii) proujeru učinkovitosti stabilizacije klizišta i drugih mjera sanacije, nakon i ako se one primijene.

**Ključne riječi:**  
**klizište Kostanjek,**  
**model klizišta,**  
**permanentna**  
**GNSS mreža,**  
**sustav praćenja**  
**klizišta, T4D**

## 1. Uvod

Klizište Kostanječek ili klizište Podsused obuhvaća nestabilno područje ukupne površine 1,2 km<sup>2</sup> koje se nalazi unutar posjeda i u naseljenom zaleđu bivše tvornice cementa 'Sloboda' u Podsusedu. Prve nestabilnosti na području klizišta Kostanječek primijenjene su u razdoblju 1963.-1964. godine, a intenzivirale su se tijekom 1966. godine, kada su se pojavila brojna oštećenja na industrijskim objektima bivše tvornice i na privatnim zgradama i to u obliku pukotina izazvanih usijedanjem ili izdizanjem terena. Uzrok ovakvih deformacija terena mogu biti volumne promjene tla i stijena na kojima su objekti temeljeni ili kretanje tla i stijena niz kosine (tzv. proces klizanja). Osim toga, oštećenja zgrada i ostalih građevina također su mogla nastati uslijed masovnih nekontroliranih miniranja, koja su se te godine počela primjenjivati za eksploataciju u otvorenom kopu lapora u zaleđu tvornice. Istraživanja deformacija terena i oštećenja objekata u krugu tvornice cementa započela su tijekom 1966. godine, a najopsežnija geotehnička istraživanja provedena su u razdoblju 1988. do 1989. godine. Na temelju rezultata svih istraživanja interpretiran je inženjersko-geološki model klizišta Kostanječek (Ortolan, 1996). Prema tom modelu procijenjene su sljedeće dimenzije klizišta: širina pokrenute mase i plohe sloma 1,116 km; ukupna duljina klizišta, duljina pokrenute mase i duljina plohe sloma 1,43 km; dubina pokrenute mase i dubina plohe sloma 90 m. Ukupni volumen mase klizišta u kretanju prema ovom modelu je 32,6x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Sastavni dio modela klizišta je i interpretacija kumulativnih pomaka horizontalne komponente za razdoblje od veljače 1963. do 1994. čiji rezultati su: 3,67 m ukupni pomak po najdubljoj kliznoj plohi i 6,54 m ukupni pomak na površini terena. U geotehničkom elaboratu za projektiranje sanacije klizišta iz 2008. godine naknadno su interpretirani ukupni pomaci za razdoblje 1963.-2001. za koje se navodi da ukupni pomak po najdubljoj kliznoj plohi iznosi 3,935 m. Horizontalna komponenta pomaka

uzeta je kao reprezentativna za prostornu komponentu pomaka.

Geodetska mjerena pomaka na području klizišta provedena u razdoblju od 33 godine, opisana u Ortolan (1996), sastojala su se od: mjerena vertikalnih pomaka pomoću 28 repera ugrađenih na industrijske građevine starog pogona tvornice u razdoblju 1966.-1970. i 1976. (dobivena konstantna brzina izdizanja; maksimalno izdizanje 0,678 m); mjerena horizontalnih i vertikalnih pomaka unutar kruga tvornice u razdoblju 1973.-1976. (maksimalni horizontalni pomak 1,559 m za razdoblje od 3,5 godine i maksimalni vertikalni pomak 0,56 m); mjerena vertikalnih pomaka na 105 repera postavljenih na privatnim i industrijskim zgradama sjeverno od posjeda tvornice u razdoblju od jeseni 1978. do proljeća 1979. (na nekim točkama zabilježen pomak od oko 0,5 m; generalni smjer pomaka prema jugu); fotogrametrijske interpretacije horizontalnih pomaka iz dvije generacije avionskih snimaka (stereoparovi avionskih snimaka mjerila 1:8.000 i 1:5.500) na 110 točaka na području površine 3,75 km<sup>2</sup> za razdoblje 1963.-1985. (vektori horizontalne komponente pomaka reda veličine 3-6 m); mjerena prostornih pomaka na 21 stabiliziranoj geodetskoj točki na području ukupne površine 3,75 km<sup>2</sup> (s tri bazne točke) pri čemu je 1988. provedeno nulto mjerjenje, 1994. prvo mjerjenje (bazna točka uništena do 1995.) i 1998. drugo mjerjenje (ukupni pomak za razdoblje od 4 godine i 5 mjeseci: horizontalni pomak 0,18-0,44 m; vertikalni pomak 0,4-0,2 cm); mjerjenje prostornih pomaka na osam stabiliziranih geodetskih točaka unutar posjeda bivše tvornice s nultim i prvim mjerjenjem provedenim 1998. i 1999. godine (na jednoj točki izmjerena horizontalni pomak od tri centimetra prema jugu; na nekim točkama nije zabilježen pomak; više točaka je uništeno ubrzo nakon što su postavljene).

Za interpretaciju modela klizišta najkorisnijim su se pokazale fotogrametrijske analize

pomaka objavljene u Ortolan i Pleško (1992) zbog toga što daju prikaz pomaka na površini cijelog klizišta. Nedostatak provedenih mjerena na stabiliziranim geodetskim točkama je taj što je na njima provedeno svega nekoliko mjerena unutar vrlo kratkih razdoblja (1988.-1999.), iz čega nije moguće dobiti podatke o ukupnim pomacima pojedinih dijelova klizišta od njegova aktiviranja do danas, kao niti o brzinama klizanja u pojedinim povijesnim razdobljima. Danas na području klizišta Kostanje postoji ukupno 35 stabiliziranih geodetskih točaka, od kojih svega četiri datiraju iz ranijih razdoblja, a ostale su postavljene 2009. godine. Međutim, izuzev navedene četiri točke, na ostalim točkama provedeno je samo nulto mjerenje, prvo mjerenje u veljači 2010. godine i drugo mjerenje u veljači 2012. godine. Na svim točkama potvrđeni su pomaci, a horizontalna komponenta pomaka za razdoblje od dvije godine (2010-2012) iznosila je 6 do 92 mm (Županović i dr., 2012), što ukazuje na to da je klizište i dalje aktivno.

Projekt sustava praćenja klizišta Kostanje sastavni je dio istraživanja u okviru hrvatsko-japanskog SATREPS FY2008 projekta "Identifikacija rizika i planiranje korištenja prostora za ublažavanje posljedica odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj". Ovaj sustav se sastoji od različitih vrsta brojnih senzora koji komuniciraju u približno-realnom vremenu i odašilju podatke u centar za pohranu i obradu podataka koji je smješten na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (UNIZG-RGNF). Senzorski sustav praćenja klizišta namijenjen je za povećanje sigurnosti stanovnika na području klizišta (Nagai i dr., 2011), edukaciju javnosti, unaprjeđenje znanstvenih istraživanja i visokoškolske edukacije. Sustav je koncipiran tako da mjeri promjene uvjeta koji utječu na potencijal za reaktiviranje klizišta na pokosima napuštenog površinskog kopa i na naseljenijim prirodnim padinama na području klizišta. Osim toga, ovaj sustav treba osigurati rano upozoravanje u slučaju ekstremnih uvjeta i obavještavanje grad-

skih službi koje su odgovorne za upravljanje u hitnim situacijama. Edukacija javnosti podrazumijeva povećanje informiranosti javnosti o opasnostima od aktiviranja klizišta Kostanje i potencijalno štetom učinku kretanja kliznih tijela klizišta. Uloga ovog sustava u unaprjeđenju znanstvenih istraživanja ostvarit će se time što će se osigurati dugotrajno pridobivanje niza različitih tipova podataka praćenja. Ovi podaci omogućit će znanstvena istraživanja usmjerena prema boljem razumijevanju mehanizma klizanja u tvrdim tlima-mekim stijenama (panonskim i sarmatskim laporima) i za unaprjeđenje razvoja tehnologije praćenja klizišta.

## 2. Opis senzorskog sustava

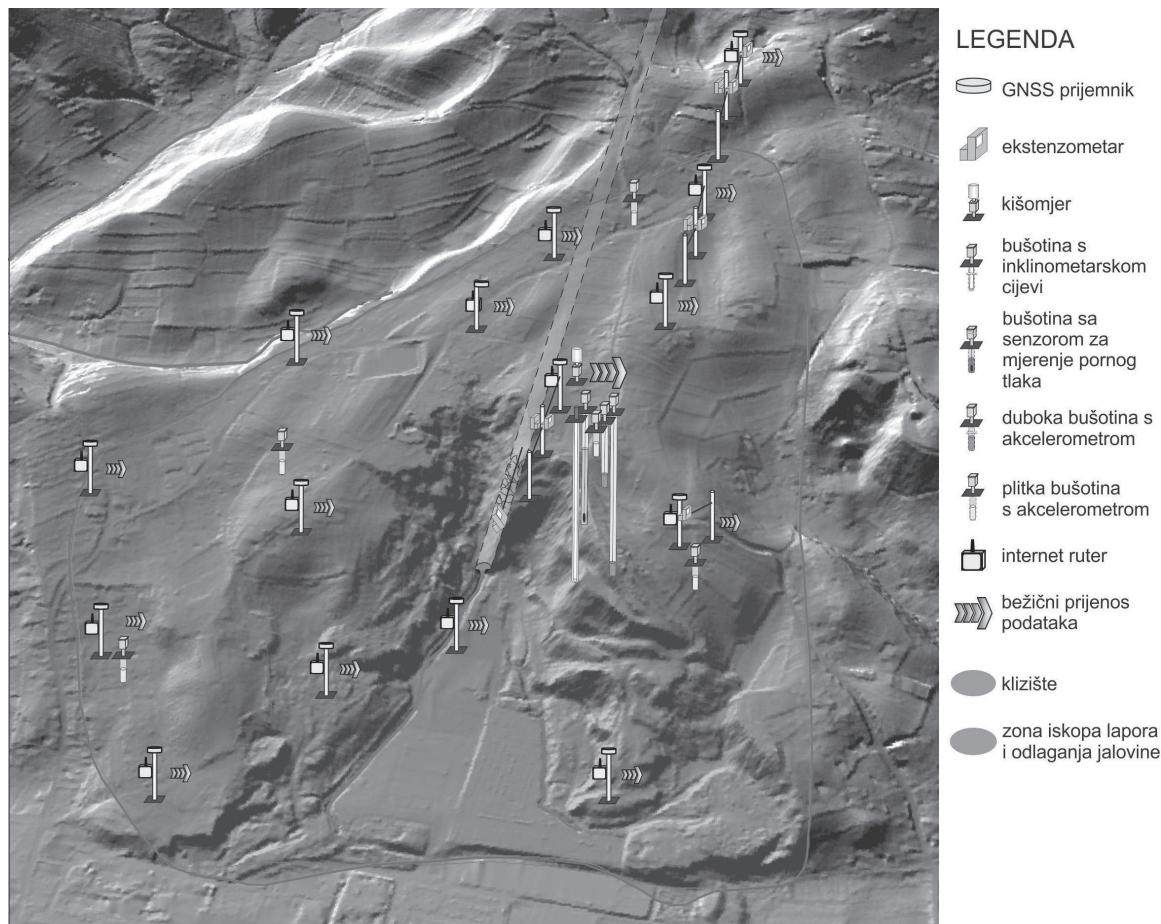
Proces projektiranja sustava uključivao je definiranje preliminarnih zahtjeva za podacima, razmatranje mogućnosti instalacije određenog tipa senzora s obzirom na konfiguraciju i izgrađenost terena, učestalost mjerena i opremu koja je nužna za prihvatanje podataka i rad s njima. Sustav praćenja treba se sastojati od kompletnih tipova instrumenata različite osjetljivosti na kretanje klizišta i klimatske utjecaje, a prikupljeni podatci moraju omogućiti interpretaciju različitih tipova pokreta. Konačni raspored senzora uvelike je ovisio o mogućnostima instalacije opreme, s obzirom da je veći dio ovog područja u vlasništvu privatnih vlasnika. Prilikom razmatranja tipova senzora koji su najpovoljniji za razvoj sustava ranog upozoravanja za kretanje klizišta, senzori su grupirani na sljedeći način: (1) senzori za mjerjenje pomaka (GNSS prijemnici, žičani ekstenzometri kratkog i dugačkog raspona, vertikalni ekstenzometri, inklinometar); (2) senzori za hidrometeorološka i hidro-geološka mjerjenja (ombrograf, meteorološka stanica, piezometri sa senzorima za mjerjenje pornog tlaka u buštinama, senzori za mjerjenje hidrostatickih pritisaka u bunarima/buštinama, senzori za mjerjenje razine vode na preljevima); (3) senzori za geofizička mjerjenja (akcelerometri). Senzorska mreža

instalirana na klizištu Kostanječ obuhvaća više od 40 senzora za praćenje pomaka klizišta i uzroka klizanja, potresa i oborina, kao što je prikazano na Slici 1 (Mihalić Arbanas i dr., 2013).

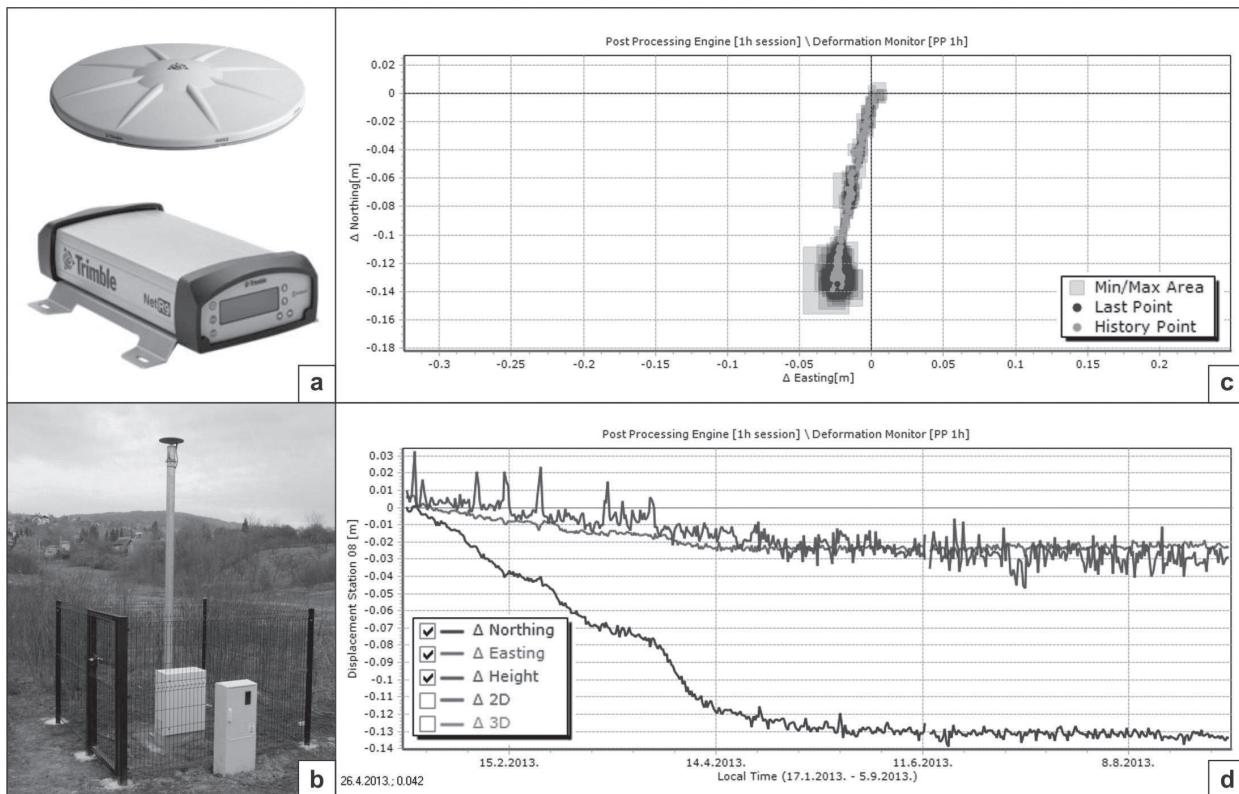
## 2.1 GNSS sustav

Senzori za mjerjenje pomaka odabrani su na način da osiguravaju pouzdano automatizirano kontinuirano prikupljanje podataka tijekom cijele godine. Trimblov GNSS (eng. Global Navigation Satellite System) sustav praćenja sastoji se od 15 dvofrekventnih referentnih stanica tipa NetR9 TI-2 GNSS s Zephyr Geodetic 2 GNSS antenama instaliranim na svakoj GNSS referentnoj točki (Slika 2a). GNSS antene su postavljene na četiri metra visoke stupove koji su pričvršćeni na armirano-betonske temelje dubine

jedan metar (Slika 2b). Oni prikupljaju GNSS sirove podatke i šalju ih u realnom vremenu, preko routera, u centar podataka na UNIZG-RGNF, gdje se nalazi server na kojem je instalirana aplikacija za obradu podataka Trimble 4D Control softver. Isti server koristi se i za pohranjivanje podataka. GNSS prijemnici generiraju podatke o apsolutnim položajima antena na površini terena s preciznošću mjerjenja u centimetarskom do milimetarskom rasponu (Slika 2c, d). Prema sadašnjim postavkama GNSS podsustava praćenja u realnom vremenu bilježe se sljedeća mjerjenja: RTK (eng. real time kinematic) metoda, nefiltrirani podaci; RTK metoda, filtrirani (težinska sredina iz 30 minuta i iz dva sata); post-procesirani podaci, jedan sat, 24 sata, 7 dana i 14 dana. GNSS podsustav praćenja u realnom vremenu omogućava promjenu vrsta mjerjenja



Slika 1: Mreža senzora na klizištu Kostanječ uspostavljena u okviru znanstvenog hrvatsko-japanskog SATREPS FY2008 projekta (Krkač i dr., 2013)



Slika 2: Trimblov GNSS sustav praćenja klizišta Kostanjek: (a) dvofrekventna referentna stаница tipa NetR9 TI-2 GNSS s Zephyr Geodetic 2 GNSS antenom; (b) mjerna postaja jedne GNSS referentne stанице; (c, d) prikaz postprocesiranih podataka (jedan sat) jedne GNSS referentne stанице pomoću softvera za obradu podataka Trimble 4D Control. Na dijagramima se vide povećani pomaci klizišta u razdoblju od sredine siječnja do sredine travnja 2013. godine sa smjerom kretanja prema jugu-jugoistoku

i dodavanja novih vrsta procesiranih GNSS podataka. Sve mjerne stанице na kojima se nalaze GNSS prijemnici i routeri opskrbljuju se električnom energijom iz javne mreže.

Lokacije GNSS prijemnika (Slika 1) moguće je grupirati na sljedeći način: iznad čela klizišta, tj. izvan područja klizišta, kako bi se provjerila pretpostavka da je ovaj dio područja stabilan (jedan GNSS prijemnik); iznad vrha napuštenih otkopnih fronti, odnosno zasječaka (četiri GNSS prijemnika); unutar pokosa eksploracije na kojima je teren zasijecan i nasipavan u istočnom dijelu klizišta (jedan GNSS prijemnik); unutar područja zasječanja u zapadnom dijelu klizišta (jedan GNSS prijemnik); unutar zaravnjenog dijela terena u središnjem dijelu napuštenog površinskog kopa gdje postoje pokazatelji izdizanja (jedan GNSS prijemnik); duž zapadne i sjeverozapadne

granice klizišta (pet GNSS prijemnika); i u sjeveroistočnom dijelu klizišta (dva GNSS prijemnika). U sustavu je također nužna najmanje jedna GNSS referentna stаница izvan zone klizišta, kako bi se mogle izračunati vrlo precizne koordinate 15 GNSS referentnih stаница smještenih na području klizišta. U tu svrhu ovaj sustav koristi podatke s permanentne GNSS referentne stанице u Gornjem Stupniku, koja je udaljena od klizišta Kostanjek približno sedam kilometara, a za T4DC monitoring softver to je 16-ta GNSS referentna stаница. T4DC monitoring softver instaliran je na server koji prikuplja sirove podatke i obrađuje ih. U komercijalni sustav T4DC monitoring softvera također je moguće ugraditi alarm za rano upozoravanje na temelju kriterija kritičnog pomaka.

## 2.2 Ostali senzori

Uz permanentnu GNSS mrežu na području klizišta Kostanjek za praćenje pomaka instalirano je 8 žičanih ekstenzometara na površini terena, a u podzemlju jedan inklinometar i 4 vertikalna žičana ekstenzometra u buštinama, te jedan ekstenzometar u napuštenom tunelu koji prolazi kroz tijelo klizišta. Inklinometarski senzor je jedini koji ne omogućava kontinuirano prikupljanje podataka, budući da se mjerjenja provode ručno, spuštanjem inklinometarske sonde u buštinu.

Žičani ekstenzometri kratkog i dugačkog raspona (tipa NetLG-501E Osasi) osiguravaju podatke o apsolutnim deformacijama sa submilimetarskom preciznošću. Osam ekstenzometara širokog raspona smješteno je okomito na izraženije pukotine klizišta. Jedan ekstenzometar kratkog raspona instaliran je u podzemlju, u tunelu koji presijeca kliznu plohu. Ekstenzometri su također pričvršćeni na četiri metra visoke stupove zajedno s uređajima za registriranje podataka. Stupovi ekstenzometara imaju armirano-betonske temelje dubine 1 metar. Neki od ekstenzometara nalaze se na istim stupovima kao i GNSS antene, radi omogućavanja interpretacije podataka. U tijeku je uspostavljanje automatiziranog prijenosa podataka u centar podataka na UNIZG-RGNF.

Jedno zacjevljenje za inklinometar instalirano je u 100 m duboku vertikalnu buštinu u središnjem dijelu klizišta, kako bi se mjerila inklinacija cijevi pomoću senzora visoke preciznosti, npr. svakih 50 cm. Ovim inklinometrom utvrđena je dubina klizne plohe na 62,5 m budući da je inklinometar presječen na toj dubini, što je utvrđeno tijekom mjerjenja 19. ožujka 2013. Prethodno su izvršena dva mjerjenja, u travnju 2012. godine, kad se već nazirao pomak na istoj dubini, i u veljači 2013. kada je izmjerena kumulativni pomak od približno četiri cm u prethodnih osam mjeseci. Također postoje naznake plitkog klizanja u istoj bušotini i to na pri-

bližnoj dubini od 30 m. Duboka klizna ploha smatra se najvažnijom za procjenu mogućih scenarija kretanja klizišta. Naknadno su ugrađena četiri vertikalna ekstenzometra u duboku buštinu smještenu blizu presječnog inklinometra radi omogućavanja praćenja dalnjih pomaka klizišta Kostanjek po registriranoj kliznoj plohi.

Senzori za hidro-meteorološka i hidrogeološka mjerjenja neophodni su da bi se osigurali podaci potrebni za interpretaciju pomaka klizišta u odnosu na meteorološki događaj koji inicira pokrete, odnosno za interpretaciju infiltracije oborinske vode. U ovom sustavu instaliran je ombrograf, a nužna je i instalacija meteorološke stanice koja mjeri više meteoroloških parametara od kojih su najvažniji podaci o snježnom pokrivaču, vjetru, temperaturi i barometarskom tlaku. Ombrograf je instaliran u središnjem dijelu klizišta 2011. godine. Podaci s ovih senzora koristit će se za korelaciju pomaka s meteorološkim uvjetima. Također su postavljena i dva preljeva na površinskim tokovima: na ulazu u napušteni tunel, koji drenira vodu iz klizišta; i na izvoru potoka Dolje izvan područja klizišta Kostanjek. Na ovim preljevima mjeri se razina vode pomoću digitalnih automatiziranih senzora, s kojih se preuzimaju podaci izravno na prijenosno računalno. Osim toga, instalirana su i tri senzora za mjerjenje hidrostatičkih pritisaka, dva u kopanim bunarima i jedan u bušotini, s kojih se preuzimaju podaci pomoću kontrolera. Svrha ovih mjerjenja je praćenje oscilacija razina podzemne vode u odnosu na oborine. U tijeku je instalacija tri piezometra za mjerjenje razine podzemne vode i pornih tlakova, koji su postavljeni u bušotini u središnjem dijelu klizišta, dva unutar kliznog tijela, na dubinama od 37,45 m (ispod pliće klizne plohe) i 50,10 m (u tijelu dubljeg klizišta) i jedan ispod najdublje klizne plohe na dubini od 62,80 m. Svi hidro-meteorološki i hidrogeološki senzori napajaju se energijom iz baterija, što je moguće prvenstveno radi male potrošnje. Planira se uspostavljanje automatiziranog prijenosa podataka na

server u centru podataka na UNIZG-RGNF.

Mreža senzora za geofizička mjerjenja obuhvaća 7 akcelerometara instaliranih unutar područja klizišta. Svrha ovih senzora je sljedeća: (i) praćenje lokalnih mikro-potresa na području klizišta; (ii) praćenje regionalne seizmološke aktivnosti; i (iii) praćenje svih nemira tla koji su povezani s aktivnošću klizišta, s mogućnošću mjerjenja nagiba tla. Ovo je ekonomični, visoko-precizni, višekanalni sustav opažanja koji se sastoji od trokomponentnog MEMS (eng. Micro-Electro-Mechanical Systems) akcelerometra i tro-kanalnog digitalnog rekordera s GPS-om (eng. Global Postion System) ugrađenim radi sinkronizacije podataka među senzorima. Uređaj za zapisivanje podataka tipa Seismic Source DAQ3-3 3CH visoke preciznosti omogućava kontinuirano registriranje podataka i preuzimanje podataka preko USB memoriskog uređaja svaka tri tjedna. Napajanje se provodi preko baterija koje se pune. Tri akcelerometra (JGI-SVAC-3C MEMS, Colibrys 1600) instalirana su u tri bušotine izbušene na mjernoj postaji u središnjem dijelu klizišta: ispod klizišta (na dubini od 90 m); unutar tijela klizišta (na dubini od 20 m); i plitko blizu površine (na dubini od cca 1,5 m). Četiri akcelerometra (tipa Colibrys SF3000L 3-C MEMS) instalirana su blizu površine, u plitkim bušotinama na dubinama od približno 1,5 m. Oni su raspoređeni u različitim dijelovima unutar područja klizišta definiranog inženjerskogeološkim modelom prema Ortolanu (1996), a za koje postoji pretpostavka da su zasebna klizna tijela, s kliznim plohama na bitno različitim dubinama, što uvjetuje specifične lokalne uvjete tla.

### 3. Zaključak

Izbor optimalne tehnologije za praćenje klizišta, između ostalog, ovisi o ciljevima praćenja klizišta, koji mogu biti različiti: otkrivanje klizišta, brzo određivanje značajki klizišta i kartiranje klizišta, te dugoročno praćenje klizišta i uzorka klizanja. Primarni cilj praćenja klizišta Kostanjek je dugoročno

praćenje koje će omogućiti interpretacije u svrhu utvrđivanja vremenski definiranih deformacija pokrenute mase. Dugoročno praćenje ovdje je neophodno zbog toga što je klizište aktivno posljednjih 50 godina (od 1963.), a također i zbog toga što će se njegova aktivnost nastaviti i u budućnosti, te je neizvjesno kada će se provesti mjere sanacije klizišta.

Praktična primjena rezultata dugoročnog praćenja klizišta Kostanjek je implementacija sustava ranog upozoravanja i validacija kinematickog modela klizišta koji je interpretiran prije 17 godina na temelju relativno malog broja geotehničkih istraživanja provedenih prije 25 godina, a koji je poslužio kao podloga za projektiranje mjera sanacije klizišta. Podaci praćenja klizišta Kostanjek, dobiveni kontinuiranim opažanjima na većem broju različitih tipova uređaja, raspoređenih u različitim dijelovima klizišta, osigurat će dodatne vrijedne podatke o brzinama, smjerovima i veličinama pomaka u pojedinim dijelovima klizišta, ovisno o uzročnim faktorima (oborinama i potresima, odnosno njihovom utjecaju na tlo/stijene u klizanju). Na temelju ovih podataka geološka i geotehnička struka će moći kvalitetnije interpretirati inženjerskogeološki i geotehnički model klizišta Kostanjek, pod čime se podrazumijeva pouzdanija procjena dubine klizne plohe i granica klizišta na površini terena. Ovaj sustav također je planiran tako da omogući i provjeru učinkovitosti stabilizacije klizišta i drugih mjera sanacije, nakon i ako se one primjene.

## Literatura

- Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Krkač, M. (2013) TXT-tool 2.385-1.2 A comprehensive landslide monitoring system: The Kostanjek landslide, Croatia, In Sassa K. et al (eds), ICL Landslide Teaching Tool, ICL, Kyoto, Japan, 2013.
- Nagai, O., Krkač, M., Mihalić, S. (2012): Introduction of one of methods to predict failure time of a slope widely used in Japan and application to the Kostanjek Landslide, Proceedings of 2<sup>nd</sup> Croatian-Japanese Project Workshop, 15-17. prosinac 2011, Sveučilište u Rijeci, 2012.
- Ortolan, Ž. (1996): Formiranje prostornog inženjersko-geološkog modela dubokog klizišta s više kliznih ploha (Primjer klizišta Kostanjek), doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska, 1996.
- Ortolan Ž., Pleško J. (1992): Opetovana fotogrametrijska mjerena pri oblikovanju geotehničkih modela višeslojnih ležišta, Rudarsko-geološko-naftni zbornik 4, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1992.
- Županović, Lj., Opatić K., Bernat S. (2012): Određivanje pomaka klizišta Kostanjek relativnom statičkom metodom, Ekscentar 15, Studentski Zbor Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 2012.

### **Abstract:**

*Establishment of local permanent GNSS (eng. Global Navigation Satellite Systems) networks at the landslide area can be economically acceptable only in cases of high hazard and risk related to landslide reactivation. Permanent GNSS network, consisting of 15 reference GNSS stations, was installed at the area of the Kostanjek landslide in the frame of scientific bilateral Croatian-Japanese SATREPS FY2008 project in 2012, together with other sensor networks for displacement measurement (wire short- and long-span extensometers, vertical extensometers, inclinometer), sensors for hydro-meteorological and hydrological measurements (ombrograph, piezometers with pore pressure gauges in boreholes, water level gauges for measurements in wells/boreholes, sensors for water levels and discharge measurement at outflow weirs) and sensors for geophysical monitoring (accelerometers). Extreme rainfall during winter period 2012/2013 caused movement of the Kostanjek landslide, thus indicating high level of risk for constructions (family houses, commercial building, and communal infrastructure) and citizens at the landslide area. This paper shortly presents sensor networks for monitoring of landslide and landslide causes installed at the area which size is approximately 1,2 km<sup>2</sup> in urbanized part of the City of Zagreb in Podsused. Results of the long-term monitoring will be applied to: i) implementation of early warning system; ii) validation of kinematical landslide model defined 17 ago (Ortolan, 1996); and iii) control of efficiency of landslide stabilization through application of remedial measure, once they will be performed.*

### **Application of the monitoring results of the permanent GNSS network modeling landslides in the case of landslides Kostanjek in Zagreb**

**Keywords:**  
**Kostanjek landslide, landslide model, landslide monitoring system, permanent GNSS network, T4D**

# Geografski informacijski sustav klizišta Kostanjek: integracija podataka GNSS sustava praćenja pomaka u stvarnom vremenu s podacima drugih mjernih uređaja

Martina Baučić<sup>1</sup>, Snježana Mihalić Arbanas<sup>2</sup>, Martin Krkač<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Ulica Matice hrvatske 15, Split; Geodata d.o.o., Kopilica 62, Split, Hrvatska, martina.baucic@geodata.hr

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska, smihalic@rgn.hr, mkrkac@rgn.hr

---

## Sažetak:

*Sustav praćenja klizišta Kostanjek sastoji se od preko 40 uređaja koji su trajno postavljeni na više od 20 lokacija klizišta. To su: i) uređaji za mjerjenje pomaka (prijemnici globalnog navigacijskog satelitskog sustava, GNSS; ekstenzometri kratkog i dugog raspona); ii) uređaji za hidro-meteorološka i hidrogeološka mjerjenja (ombrograf, senzori za mjerjenje hidrostatičkih pritisaka, piezometri sa senzorima za mjerjenje pornog tlaka u bušotinama); iii) uređaji za geofizička mjerjenja (akcelerometri). U radu se ukratko opisuje Geografski informacijski sustav (GIS) klizišta Kostanjek koji je razvijen s primarnim ciljem integracije podataka praćenja klizišta: GNSS podataka praćenja u realnom vremenu i podataka iz drugih mjernih uređaja. Da bi se GNSS podaci praćenja integrirali i vizualizirali, GIS je povezan na MS SQL bazu podataka i čita GNSS podatke koji se prenose na server putem komunikacijskih uređaja. Nova MS SQL baza podataka je kreirana za pohranu mjernih podataka s ostalih uređaja i novi softver je razvijen za unos i geolociranje podataka koji se na server prenose ručno. Da bi se podaci s drugih mjernih uređaja integrirali i vizualizirali, GIS je povezan na bazu mjerjenja u MS SQL bazi. ESRI ArcGIS softver se koristi za GIS funkcije. Kreirana je složena ArcGIS karta koja pokazuje topografske podatke, značajke klizišta, GNSS podatke praćenja u realnom vremenu i podatke mjernih uređaja. Korisnici mogu koristiti GIS funkcije za izradu svojih karata i analiziranje podataka. Glavna prednost integracije podataka u jedan GIS je da se time dobiva konzistentan i pouzdan sustav za dugoročno arhiviranje svih vrsta podataka koje će se koristiti u budućim analizama.*

**Ključne riječi:**  
**integracija  
podataka  
praćenja, GIS,  
GNSS, klizište  
Kostanjek,  
sustav praćenja  
klizišta**

## 1. Uvod

Klizište Kostanjek smješteno je na južnim padinama planine Medvednice u zapadnom dijelu grada Zagreba. Volumen klizišta procijenjen je na 32,6 milijuna m<sup>3</sup>, a s obzirom na brzinu kretanja, to je sporo klizište s maksimalnom brzinom klizanja

od 44 cm/godinu, koja je postignuta u razdoblju od 1974. do 1976. prema Ortolanu (1996). Katastrofalni slom klizišta ugrozio bi urbano područje veličine 1,2 km<sup>2</sup>. Zbog veličine i složenosti klizišta, mjere sanacije klizišta nisu provedene do danas, iako je od aktiviranja klizišta proteklo 50 godina (1963-2013). Upravljanje rizicima klizišta Kosta-

njek iziskuje uspostavljanje sustava ranog upozoravanja za čiji razvoj i funkcioniranje su nužni podaci dugoročnog i kontinuiranog praćenju klizišta (Bazin, 2012). Godine 2011. započela je instalacija opreme za praćenje klizišta Kostanjek u okviru znanstvenog, hrvatsko-japanskog bilateralnog projekta SATREPS FY2008 (Mihalić i Arbanas, 2012).

Sustav praćenja općenito se može definirati kao sustavno ponavljanje opažanja određenog objekta ili područja (Slika 1). Izbor optimalne tehnologije za praćenje klizišta ovisi o ciljevima praćenja klizišta, koji mogu biti različiti, a Strumpf i dr. (2011) grupirali su ih na sljedeći način: otkrivanje klizišta, brzo određivanje značajki klizišta i kartiranje klizišta, te dugoročno praćenje klizišta i uzorka klizanja. Primarni cilj praćenja klizišta Kostanjek je dugoročno praćenje koje će omogućiti interpretaciju u svrhu utvrđivanja vremenski definiranih deformacija pokrenute mase. Dugoročno praćenje klizišta Kostanjek je neophodno zbog toga što je klizište aktivno tijekom posljednjih 50 godina (od 1963.), a također i zbog toga što će se njegova aktivnost nastaviti i u budućnosti. Dugoročno praćenje klizišta Kostanjek je potrebno za:

- implementaciju sustava ranog upozoravanja;
- validaciju kinematičkog modela definiranog prije 17 godina (Ortolan, 1996);
- provjeru učinkovitosti stabilizacije klizišta i drugih mjera sanacije, nakon i ako se one primjene.

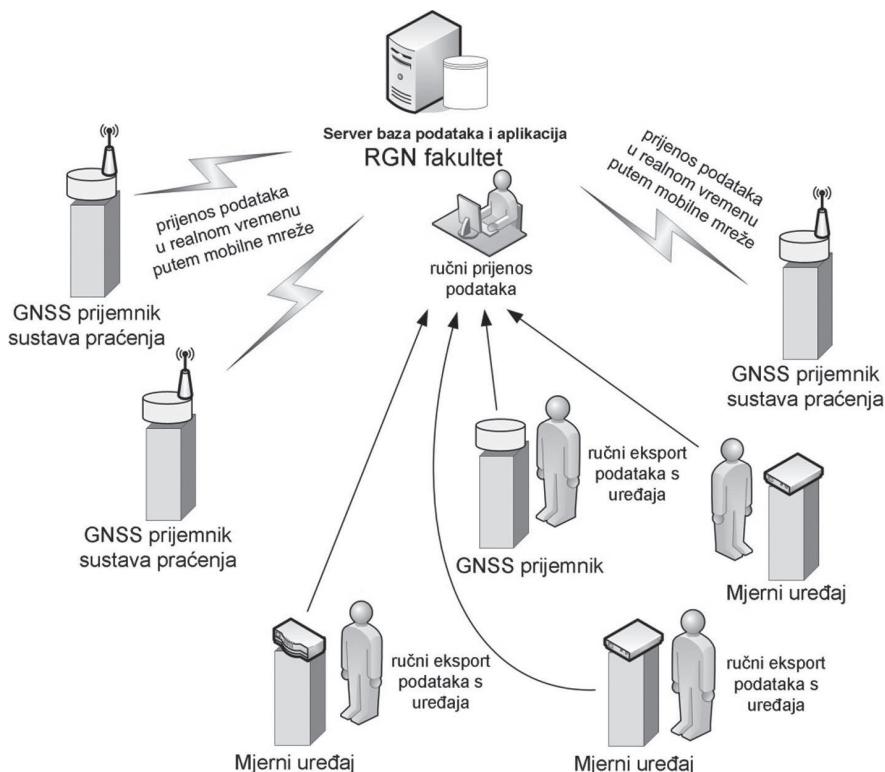


Slika 1: Definicija praćenja kao sustavnog ponavljanja opažanja (Stumpf i dr., 2011)

Sustav praćenja klizišta Kostanjek uspostavlja se od 2011. godine do danas. Da bi se jedno ovako veliko klizište moglo pratiti (površina klizišta Kostanjek je  $1,2 \text{ km}^2$ ), potrebno je uspostaviti mreže mnogobrojnih uređaja, te uz to obaviti mnoga tradici-

onalna terenska mjerena na više lokacija. Prema listi 15 europskih klizišta za koja je uspostavljeno prikupljanje i analiziranje podataka u realnom vremenu (objavljenoj u Baron i dr., 2012), ovo klizište spada među tri najveća. Jezgru sustava praćenja čine 15 GNSS prijemnika (dvostrukih frekvencija), devet ekstenzometara dugog i kratkog raspona, jedan inklinometar, četiri vertikalna žična ekstenzometra u bušotini, tri piezometra sa senzorima za mjerjenje pornog tlaka koji su postavljeni u jednoj bušotini do 70 m dubine, jedan omograf, tri uređaja za mjerjenje hidrostatičkih pritisaka u bunarima i na površinskim vodotocima i pet akcelerometara (Mihalić Arbanas i dr., 2013). Osim opažanja pomoću uređaja postavljenih na samom klizištu, tu su i mnoga periodična praćenja razine podzemnih voda u bunarima, protoke površinskih vodotoka i dr. (Krkač i dr., 2013). Stoga, troškovi i vrijeme potrebno za prikupljanje potrebnih količina podataka mogu značajno porasti. Još značajnija je mogućnost daljnje obrade i analize podataka koji daju informacije o aktivnosti klizišta (npr. mjesta većih pomaka ili porasta brzina i dr.) što je od kritične važnosti za praktičnu primjenu sustava.

U radu se ukratko opisuje koncept Geografskog informacijskog sustava klizišta Kostanjek koji je razvijen s primarnim ciljem integracije podataka praćenja klizišta: GNSS podataka praćenja u realnom vremenu i podataka iz drugih mjernih uređaja. Tu je 15 GNSS prijemnika s prijenosom podatka na server u realnom vremenu i više od 20 drugih mjernih uređaja s ručnim prijenosom podataka na server (Slika 2). Server baza podataka i aplikacija sustava praćenja klizišta smješteni su na Rudarsko-geološko-naftnom (RGN) fakultetu u Zagrebu. Da bi se podaci integrirali, potrebno je uspostaviti GIS vezu prema GNSS podacima praćenja, a podatke s ostalih mjernih uređaja prvo je potrebno geolocirati i pohraniti u bazu podataka, te uspostaviti GIS vezu prema njima.



Slika 2: Prijenos podataka na server s GNSS prijemnika iz sustava praćenja i s drugih mjernih uređaja (Baučić i dr., 2013)

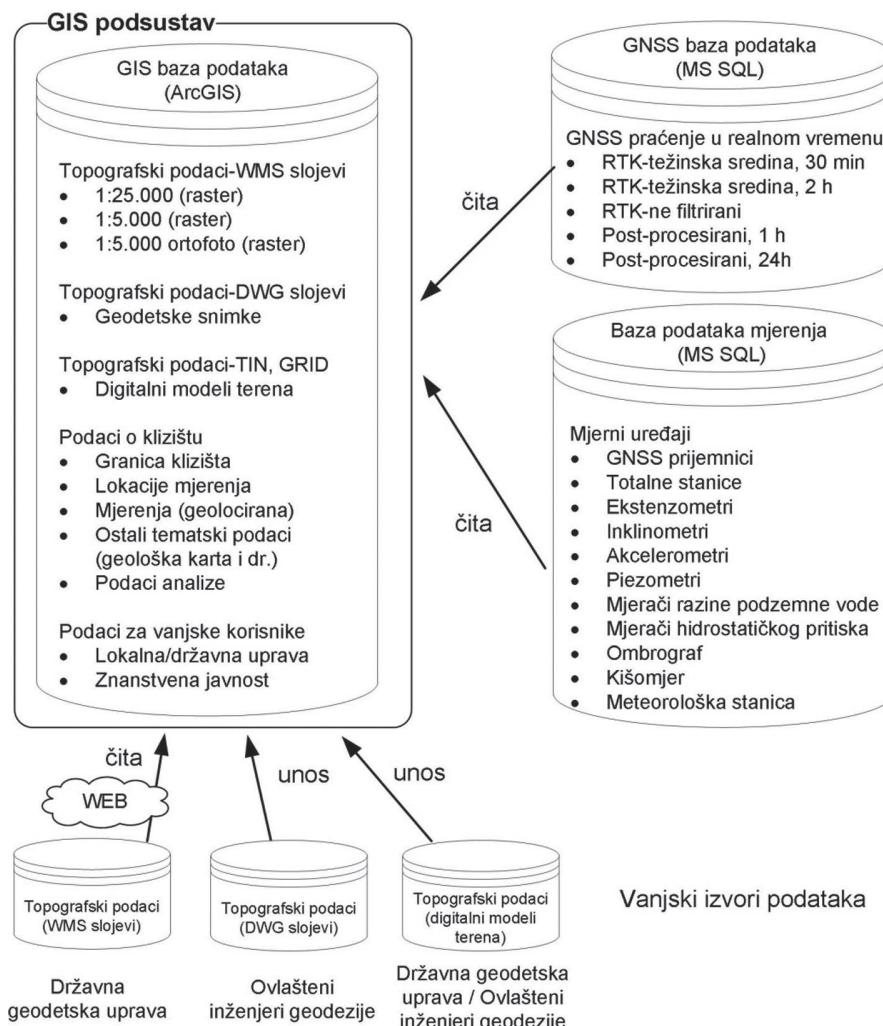
## 2. Geografski informacijski sustav klizišta Kostanječek

Kao prvi korak izgradnje GIS-a, napravljena je osnovna arhitektura cijelokupnog sustava praćenja. Identificirani su glavni korisnici sustava, njegove funkcije i podsustavi. Glavne grupe korisnika su: Rudarsko-geološko-naftni fakultet u Zagrebu; lokalna uprava (Ured za upravljanje u hitnim situacijama Grada Zagreba i Ured za prostorno uređenje, izgradnju grada, graditeljstvo, komunalne poslove i promet Grada Zagreba), državna uprava (Državna uprava za zaštitu i spašavanje Republike Hrvatske), ugovorne tvrtke i znanstvena javnost. Četiri podsustava su: GNSS podsustav praćenja u realnom vremenu, Podsustav ostalih mjernih uređaja, GIS podsustav i Podsustav ranog upozoravanja. Identificirane glavne funkcije GIS podsustava su: pohrana podataka, integracija i vizualizacija geoprostornih podataka iz ostalih podsustava, geoprostorne analize, izrada tematskih prikaza i karata, te priprema podataka za preuzim

anje preko e-usluga. U poglavljima koja slijede ukratko su opisani ovi podsustavi osim Podsustava ranog upozoravanja koji je zasad realiziran samo u dijelu GNSS podsustava tj. samo na osnovi GNSS podataka praćenja u realnom vremenu.

### 2.1 GNSS podsustav praćenja u realnom vremenu

GNSS podsustav praćenja u realnom vremenu se sastoji od 15 GNSS dvo-frekventnih prijemnika postavljenih na 15 stupova i pokriva cijelo područje klizišta Kostanječek veličine 1,2 km<sup>2</sup>. GNSS prijemnici su opremljeni komunikacijskom opremom za automatski prijenos podataka na server (Slika 2). Na serveru se nalaze MS SQL baza podataka i Trimble T4D softver za praćenje. T4D softver je vrlo složen softver koji upravlja s GNSS podacima u MS SQL bazi, te se pomoću njega upravlja s GNSS prijemnicima, a podaci mjerjenja se preuzimaju s uređaja putem mobilnih veza, pohranjuju i pregledavaju. T4D softver omogućava



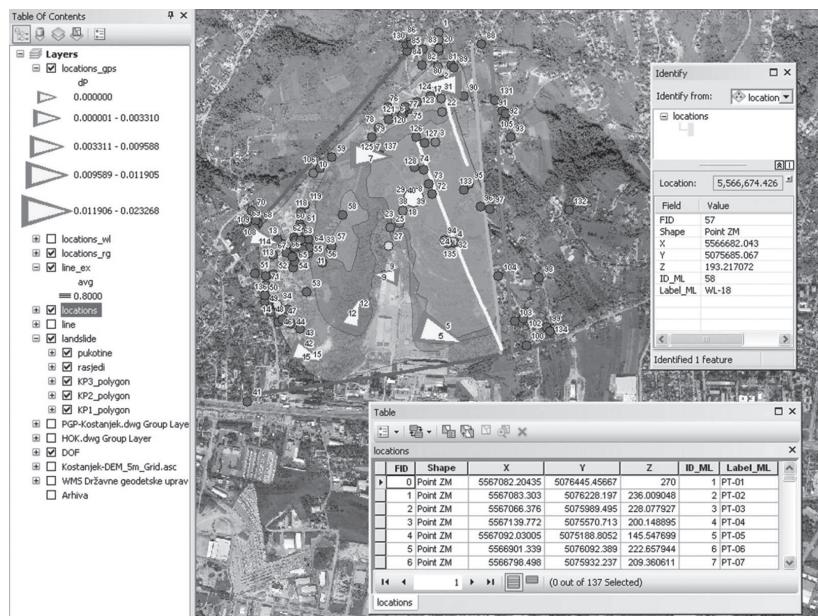
Slika 3: GIS slojevi (Baučić i dr., 2013)

različite obrade i analize podataka te alarimiranje.

Prema sadašnjim postavkama GNSS podsustava praćenja u realnom vremenu bilježe se sljedeća mjerjenja: i) RTK (eng. real time kinematic) metoda, nefiltrirani podaci; ii) RTK metoda, filtrirani (težinska sredina iz 30 minuta); iii) RTK metoda, filtrirani (težinska sredina iz dva sata); iv) post-procesirani podaci, jedan sat, v) post-procesirani podaci, četiri sata. GNSS podsustav praćenja u realnom vremenu ostavlja mogućnost promjena vrsta mjerjenja i dodavanja novih vrsta procesiranih GNSS podataka. Da bi se GNSS podaci integrirali i vizualizirali, GIS je povezan na MS SQL bazu i čita GNSS podatke (Slika 3).

## 2.2 Podsustav praćenja pomoću ostalih mjernih uređaja

Ovaj podsustav sadrži različite tipove mjernih podataka koji dolaze iz geodetskih, geotehničkih, hidro-meteoroloških, hidrogeoloških i geofizičkih mjernih uređaja s više od 100 lokacija na klizištu Kostanjek: 37 trajno stabiliziranih geodetskih točaka se periodično mjere GNSS uređajima; više od 60 zdenaca u kojima se periodično mjere razine podzemne vode; devet ekstenzometara s kontinuiranim mjerjenjem; četiri vertikalna žična ekstenzometra s kontinuiranim mjerjenjem; jedan inklinometar s periodičnim mjerjenjem; tri piezometra sa senzorima za mjerjenje pornog tlaka s kontinuiranim mjerjenjem; tri uređaja za mjere-



Slika 4: ArcGIS prikaz podataka klizišta Kostanjevka (Baučić i dr., 2013)

nje hidrostatickih pritisaka s kontinuiranim mjerjenjem; sedam akcelerometara s kontinuiranim mjerjenjem; i jedan ombrograf s kontinuiranim mjerjenjem. Podaci ovih mjerena se pohranjuju na različite načine, ovisno o pojedinom mjernom uređaju (npr. memorijска kartica uređaja; zapisivač podataka, eng. data logger i dr.) i imaju različitu strukturu i format (npr. CSV format podataka). Podaci mjerena se sada preuzimaju iz mjernih uređaja ručno, kopiranjem sa zapisivača podataka ili memorijске kartice na server.

Da bi se ostvarila integracija podataka i GIS veza prema ovim podacima, ovi različiti modeli podataka iz mjernih uređaja se moraju prevesti u jedan model podataka i pohraniti u relacijsku bazu. Tri su osnovna entiteta modela podataka mjerena: uređaji, lokacije i mjerena. Tako je kreirana nova MS SQL baza podataka za pohranu podataka mjerena koja dolaze s ovih mjernih uređaja. Razvijena je softverska aplikacija za unos podataka mjerena u bazu i njihovog geolociranja. Da bi se podaci mjerena ovih uređaja integrirali i vizualizirali, GIS je povezan na bazu podataka mjerena u MS SQL bazi (Slika 3).

### 2.3 Geografski informacijski podsustav

Osnovne funkcije ovog podsustava su: i) pohrana geoprostornih podataka o klizištu; ii) integracija i vizualizacija topografskih podataka, ostalih podataka o značajkama klizišta, GNSS podataka praćenja u realnom vremenu i podataka ostalih mjernih uređaja; iii) izrada tematskih karata; iv) geoprostorne analize klizišta; v) priprema podataka za preuzimanje preko e-usluga.

Početna GIS baza je izrađena i pohranjena na serveru. GIS slojevi su prikazani na Slici 3. ESRI ArcGIS softver se koristi za GIS funkcije. Kreiran je složen ArcGIS prikaz koji pokazuje topografske podatke, značajke klizišta, GNSS podatke praćenja u realnom vremenu i mjerne podatke s ostalih mjernih uređaja (Slika 4). Korisnici mogu koristiti GIS funkcije za kreiranje svojih tematskih karata i prikaza i za geoprostorne analize klizišta.

### 3. Zaključak

U radu je opisan razvoj GIS sustava klizišta Kostanjevka. GNSS podaci praćenja u realnom vremenu i podaci drugih mjernih uređaja su integrirani i vizualizirani. Podaci iz različitih mjernih uređaja sa svojim posebnim

strukturama podataka sada su pohranjeni u jednom modelu podataka u MS SQL bazi na serveru RGN fakulteta.

Jedno od planiranih unapređenja sadašnjeg sustava je uspostava automatskog prijenosu podataka s mjernih uređaja na server. Da bi se to postiglo, na svaki mjerni uređaj je potrebno dodati komunikacijsku opremu, a na server je potrebno instalirati softver koji će podatke mjerena prikupljati i pohranjivati u bazu podataka.

Ovdje opisana nastojanja pokazuju svu složenost prikupljanja različitih vrsta podataka potrebnih za karakterizaciju i praćenje klizišta. Postoje još i drugi podaci koji se povremeno (npr. sezonski) prikupljaju uzimanjem uzoraka na terenu (npr. mjerenja razine vode, kemijski i mineralni sastav vode, stijena/tala i dr.). Težište našeg rada je prvenstveno bilo na podacima i njihovoj heterogenosti. Kako Kandawasvika (2009) navodi „Glavni problem je kako integrirati ili simultano upravljati s različitim, heterogenim senzorima unutar jednog područja primjene“.

Glavna prednost integracije podataka u GIS-u je da se time dobiva konzistentan i pouzdan sustav za dugoročno arhiviranje svih vrsta podataka koje će se koristiti u budućim analizama. Većina parametara iz

sustava praćenja klizišta Kostanjek mogu se grupirati u sljedeće skupine: kretanje klizišta / deformacija / aktivnost (pomak); hidrološke i hidrogeološke značajke (razina podzemne vode/porni tlak, protok; sastav površinske i podzemne vode); inicijatori klizanja (meteorološki uvjeti i seizmičnost/potres).

U nastavku istraživanja planiraju se analizirati podaci koji se sada prikupljaju i pohranjuju u ovdje opisanom GIS podstavu. Klizišta su dinamičke pojave i zahtijevaju napredne geoprostorno-vremenske modele podataka, analize i interpretaciju.

#### 4. Zahvala

Ovdje opisani rezultati postignuti su uz finansijsku podršku projekta JST/JICA SATREPS Programa FY2008 (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development), na čemu se posebno zahvaljujemo. Zahvaljujemo se tvrtkama Geomatika-Smolčak d.o.o., Trimble Njemačka i GEOdata d.o.o. za konzultacije tijekom planiranja i razvoja sustava, te našim kolegama gosp. Nenadu Smolčaku, gdј Danieli Staničić i gdј Danieli Koch za njihovu podršku tijekom rada.

---

#### Literatura

- Baroň, I., Supper, R., Ottowitz, D. (2012): Report on evaluation of mass movement indicators. SafeLand deliverable D4.6. Geological Survey of Austria, Beč, Austrija, 2012.
- Baučić, M., Mihalić Arbanas, S., Krkač, M. (2013): Geographic Information System of the Kostanjek Landslide: Integration of Real-time GNSS Monitoring Data with other Sensor Data. Proceedings of 1<sup>st</sup> ICL ABN Regional Symposium on Landslides, 6-9 March 2013. Emergency Management Office of the City of Zagreb, Hrvatska, u tisku.
- Bazin, S. (2012): SafeLand guidelines for landslide monitoring and early warning systems in Europe - Design and required technology. Geophysical Research Abstracts, Vol 14, EGU General Assembly, 2012.
- Kandawasvika, A. (2009): On Interoperable Management of Multi-Sensors in Landslide Monitoring Applications. PhD thesis, The Universität der Bundeswehr München, Njemačka, 2009.

- Mihalić, S., Arbanas, Ž. (2012): The Croatian–Japanese Joint Research Project on Landslides: Activities and Public Benefits. In Sassa K. et al (eds). *Landslides: Global Risk Preparedness*, Springer-Verlag, 2012.
- Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Krkač, M. (2013) TXT-tool 2.385-1.2 A comprehensive landslide monitoring system: The Kostanjek landslide, Croatia. In Sassa K. et al (eds). *ICL Landslide Teaching Tool*, ICL, Kyoto, Japan, 2013.
- Krkač, M., Rubinić, J., Kalajžić, J. (2013): Analysis of water fluctuation dynamics in the wider area of the Kostanjek landslide. Proceedings of 1<sup>st</sup> ICL ABN Regional Symposium on Landslides, 6–9 March 2013, Emergency Management Office of the City of Zagreb, Hrvatska, u tisku.
- Ortolan, Ž. (1996): Formiranje prostornog inženjersko-geološkog modela dubokog klizišta s više kliznih ploha (Primjer klizišta Kostanjek), doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska, 1996.
- Stumpf, A., Kerle, N., Malet, J.P. (2011): Guidelines for the selection of appropriate remote sensing technologies for monitoring different types of landslides. SafeLand deliverable D4.4. Faculty for Geo-information Science and Earth Observation – ITC and University of Twente, United Nations University, Nizozemska, 2011.

---

**Abstract:**

The Kostanjek landslide monitoring system consists of more than 40 sensors permanently installed at the more than 20 locations in the field: i) sensors for displacement measurement (GNSS receivers, short- and long-span extensometers); ii) sensors for hydrological measurements (rain gauge, outflow weirs, water level sensors, piezometers); iii) sensors for geophysical measurements (accelerometers). This paper shortly presents concept of the Geographic information system (GIS) of Kostanjek landslide which has been developing with the primary objective: integration of real-time GNSS monitoring data with other sensor data. To integrate and visualize GNSS monitoring data, GIS is connected to MS SQL database and it reads GNSS data, transferred to server via communication devices. A new MS SQL database has been created for storing measurement data, and new application has been developed for import and geolocating data which are transferred to server manually. To integrate and visualize sensor data, GIS is connected to sensor database in MS SQL database. The GIS functions are realized using ESRI ArcGIS software. An ArcGIS comprehensive map is created and it shows topographic data, landslide features, GNSS monitoring data and sensor data. The users can use all the ArcGIS functions for creating their own maps and analyze data. The main advantage of data integration into one GIS system is to enable consistent and reliable framework for long-term archiving of all types of data which will be used in further analyses.

**Geographic Information System  
landslides Kostanjek: Data Integration GNSS system monitoring progress in real time with data from other measuring devices**

**Keywords:**  
**GIS, GNSS, Kostanjek landslide, landslide monitoring system, monitoring data integration**

# Usporedba visina određenih CROPOS VPPS servisom i geometrijskim nivelmanom u realnom polju ubrzanja sile teže

Igor Grgac<sup>1</sup>, Maja Katavić<sup>1</sup>, Marko Pavasović<sup>1</sup>, Olga Bjelotomić<sup>1</sup>, Marija Pejaković<sup>1</sup>, Matej Varga<sup>1</sup>, Marijan Grgić<sup>1</sup>, Tomislav Bašić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26, Hrvatska, igrgac@geof.hr, tbasic@geof.hr

## Sažetak:

*U radu će biti prikazan utjecaj ubrzanja sile teže na geometrijski nivelman, uz poseban osvrt na usporedbu normalnih-ortometrijskih visina dobivenih CROPOS VPPS servisom i ortometrijskih visina dobivenih izjednačenjem nivelmanskih mjerena u realnom polju ubrzanja sile teže. Testiranje je obavljeno na nivelmanском vlaku koji je uspostavljen na području Sljemena. Ukupna duljina vlaka je 12.3 km, a visinska razlika između početne i završne točke 634 m. Nivelmanски vlak uspostavljen je istovremenim niveliranjem s dva Leica DNA03 nivelira i invarskim letvama u dva smjera sa zatvaranjem figura. Relativna gravimetrijska mjerena obavljena su na točkama nivelmanског vlaka relativnim gravimetrom SCINTREX CG-5. Položaj veznih točaka nivelmanског vlaka određen je CROPOS VPPS servisom gdje je to bilo moguće, dok je položaj ostalih veznih točaka, zbog zaklonjenog horizonta, očitan s topografske karte. Zajedničko izjednačenje nivelmanskih i gravimetrijskih mjerena obavljeno je u sustavu geopotencijalnih kota. Analiza usporebe visina dobivenih CROPOS VPPS servisom s visinama iz geometrijskog nivelmana u realnom polju ubrzanja sile teže ujedno će ukazati na točnost HRG2009 modela geoida na području većih visinskih razlika.*

## Ključne riječi:

CROPOS  
VPPS servis,  
geometrijski  
nivelman,  
ubrzanje sile teže

## 1. Uvod

Određivanje visina točaka se primjenjuje u mnogim inženjerskim radovima (uspostavljanje globalnih i lokalnih mreža, mjerjenje pomaka i deformacija, izgradnja prometnica i dr.). Visinske razlike mogu se odrediti geometrijskim, trigonometrijskim, hidrostatiskim, barometrijskim i GNSS nivelmanom. Metoda određivanja visina, se osim u ovinsnosti o zahtijevanoj točnosti, odabire i na temelju načela ekonomičnosti. U ovom radu analiziraju se ortometrijske visine dobivene obradom mjerena izmjerena preciznim nivelmanom uz mjereno ubrzanje sile teže

i mjerena GNSS nivelmana koristeći CROPOS VPPS servis.

## 2. Geometrijski nivelman u realnom polju ubrzanja sile teže

Geometrijski nivelman dijeli se na generalni i detaljni nivelman, a generalni se prema točnosti dijeli na: precizni nivelman visoke točnosti, precizni nivelman, tehnički nivelman povećane točnosti i tehnički nivelman. U ovom radu će se uspostaviti nivelmanski vlak prema zahtjevima preciznog nivelmana. Kod preciznog nivelmana, obavezno je mjerjenje kratkih vizura te korištenje

Dionica	Duljina [m]	Visinska razlika [m]	Nesuglasica zatvaranja figure ( $\omega$ ) [mm]
630_II_309L - R01	293	8,7375	0,4
R01 - R02	330	16,3454	0,4
R02 - R03	196	3,9096	0,3
R03 - R04	264	-7,4952	0,4
R04 - R05	330	16,3375	0,8
R05 - R06	325	18,8732	0,7
R06 - R07	373	21,6959	0,6
R07 - R08	350	15,5393	0,4
R08 - R09	188	9,5109	0,3
R09 - R10	330	16,0446	0,1
R10 - R11	356	20,4076	0,9
R11 - R12	355	18,7053	0,6
R12 - R13	336	16,5018	0,2
R13 - R14	259	14,5335	0,1
R14 - R15	408	20,0855	0,5
R15 - R16	288	16,4947	0,2
R16 - R17	361	19,2832	0,3
R17 - R18	283	15,8915	0,2
R18 - R19	364	21,8988	0,3
R19 - R20	3010	18,1484	0,9
R20 - R21	342	19,6010	0,5
R21 - R22	233	13,6632	0,5
R22 - R23	223	12,1123	0,4
R23 - R24	198	9,3193	0,4
R24 - R25	361	18,4379	0,3
R25 - R26	378	21,1978	0,5
R26 - R27	270	16,5581	0,2
R27 - R28	368	21,9624	0,7
R28 - R29	434	26,7074	0,2
R29 - R30	346	18,2027	0,5
R30 - R31	346	15,0212	0,7
R31 - R32	304	17,8907	1,1
R32 - R33	315	18,9262	0,6
R33 - R34	253	13,3266	0,2
R34 - R35	245	14,5388	-0,1
R35 - R36	238	13,7969	0,5
R36 - R37	333	17,4937	1,0
R37 - R38	372	18,5431	0,2
R38 - R39	349	17,3277	-1,1
R39 - 626_II_24	44,2	7,3242	-0,7
SUM	12249	633,4001	15,02

Tablica 1: Podaci o mjerjenim visinskim razlikama i nesuglasicama zatvaranja nivelmanskih figura između stabiliziranih veznih točaka

invarskega letava in željezne papuče. Veće promjene u konfiguraciji terena impliciraju veće promjene ubrzanja sile teže, a samim time i veći utjecaj ubrzanja sile teže na geometrijski nivelman, stoga je za ispitivanje izabrano područje Sljeme.

Definirane visine repera u službenom visinskem sustavu visina Republike Hrvatske HVRS71 (Hrvatski visinski referentni sustav 1971), preduvjet su za odabir početne i završne točke nivelmanskog vlaka, zbog kasnije usporedbe visina dobivenih CROPOS VPPS servisom s visinama dobivenih iz geometrijskog nivelmana.

## 2.1 Uspostava i izmjera nivelmanskog vlaka

Mjerenja nivelmanskog vlaka obavljena

su niveliranjem s dva Leica DNA03 nivellira in varskim trometarskim letvama s digitalnom podjelom, te korištenjem nivelmanskih papuča. Mjerenja su obavljena paralelno s dva nivellira istovremenim očitanjem na nivelmanske letve, redoslijednom očitavanja „zadnja – prednja – prednja – zadnja“, radi eliminiranja utjecaja slijeganja stativa i letve. Niveliranje je obavljeno u dva smjera, prilikom čega je vjak podijeljen u više segmenata radi kontrole i detekcije grubih pogrešaka mjerenja u svrhu čega je svakih 200–400 m vezna točka nivelmanског vlaka stabilizirana čeličnom bolcnom. Ukupna duljina nivelmanskog vlaka je 12,3 km uz visinsku razliku između početne i završne točke od približno 634 m (Slika 1). Mjerenje nivelmanskog vlaka obavljeno je unutar 10 radnih dana tokom svibnja 2013.

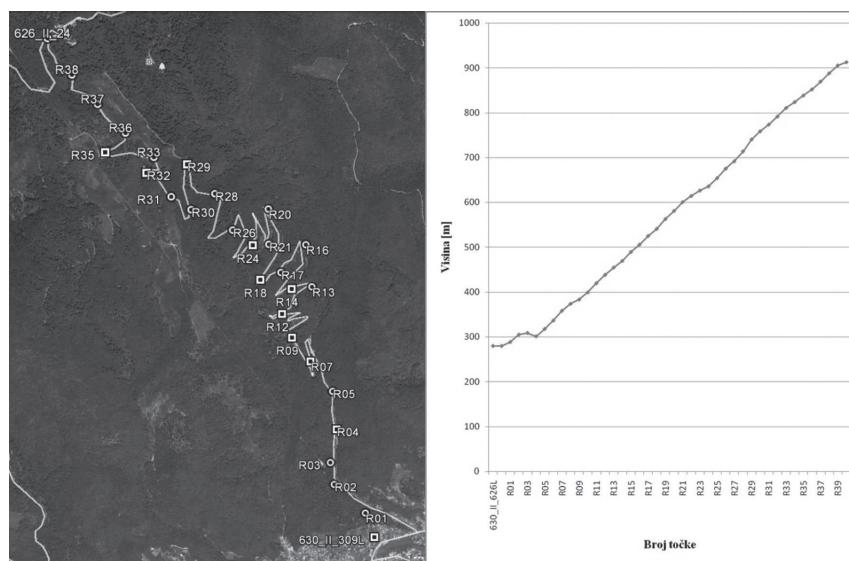
godine. Cjelokupan nivelmanski vlak realiziran je u 40 dionica duljina od 200 do 450 m u jednom smjeru i pritom je uspostavljeno 39 veznih točaka (Tablica 1). Točnost niza mjerjenja u geodeziji izražava se srednjom pogreškom (Macarol 1977). Vjerojatna pogreška jednaka je  $2/3$  srednje pogreške (Feil 1989). Srednja pogreška dvostrukog niveliranja stranice iznosi 0.53 mm, a vjerojatna pogreška iznosi 0.35 mm. Ukupna nesuglasica zatvaranja figure od repera 630\_ll\_309L do repera 626\_ll\_24 iznosi 15.02 mm.

Nivelmanska mjerjenja izjednačena su metodom najmanjih kvadrata (Feil 1989), koristeći algoritam izjednačenja posrednih mjerjenja, pri čemu je datum definiran visinama početne (630\_ll\_309L) i završne (626\_ll\_24) točke nivelmanskog vlaka. Kao mjerjenja su uvedene visinske razlike između stabiliziranih veznih točaka nivelmanskog vlaka izračunate na temelju aritmetičke sredine mjerjenih visinskih razlika u oba smjera s oba nivela. Težine mjerjenja definirane su kao recipročne vrijednosti duljine pojedine nivelmanske strane (Rožić 2007). Izjednačenjem posrednih mjerjenja su dobivene normalno-ortometrijske visine veznih točaka.

## 2.2 Relativna gravimetrijska izmjera nivelmanskog vlaka

Za određivanje ubrzanja sile teže korišten je relativni gravimetar SCINTREX CG-5. Kalibracija gravimetra obavljena je 13. lipnja 2013., višestrukim mjerjenjima na apsolutnim gravimetrijskim točkama AGTo3 (Sljeme) i AGTo2 (Maksimir). Gravimetrijska izmjera na veznim točkama uspostavljenog nivelmanskog vlaka obavljena je 17. i 19. lipnja 2013. Izmjera je obavljena metodom profila, koja obuhvaća mjerjenje u dva smjera (naprijed i natrag) čime se na svakoj točci dobiju dva neovisna mjerena (Torge 1991). Za početnu točku izmjere izabran je gravimetrijski ekscentar AGTo2-E1 u neposrednoj blizini zgrade Geodetskog fakulteta. Položaji mjerjenih točaka određeni su GNSS mjerjenjima uz korištenje CROPOS VPPS servisa. Gdje, zbog izrazito lošeg horizonta (točke u šumi), nije bilo moguće određivanje točaka pomoću GNSS-a njihov približni položaj očitan je s topografske karte.

Tijekom mjerjenja bilježili su se podaci o visini instrumenta, tlaku zraka i temperaturi na svakom stajalištu. Prilikom obrade gravimetrijskih mjerjenja uvedene su korekcije za visinu instrumenta, promjenu tlaka i promjenu Zemljina pola, te korekcija



Slika 1: Položajni prikaz nivelmanskog vlaka (lijevo) i prikaz profila nivelmanskog vlaka (desno)

zbog hoda gravimetra (Bašić 2011). Podaci o položaju Zemljina pola preuzeti su sa Internet stranice Međunarodnog centra za Zemljinu rotaciju i referentne sustave (IERS – International Earth Rotation and Reference System Service) (URL 1).

Srednje vrijednosti gravimetrijskog mjerjenja na pojedinoj točci računate su običnom aritmetičkom sredinom dva ciklusa, dok su pripadna standardna odstupanja izračunata primjenom zakona o prirastu varijanci (Feil 1989). Nadalje su računate gravimetrijske razlike između dvije susjedne točke, te je zakonom o prirastu varijanci određena pripadna matrica varijanci, odvojeno za mjerjenja prvog i drugog dana.

Gravimetrijska mjerjenja izjednačena su po algoritmu izjednačenja posrednih koreliranih mjerjenja, po metodi najmanjih kvadrata (Feil 1990). Gravimetrijski datum u izjednačenju definiran je poznatim ubrzanjem sile teže na gravimetrijskom ekscentru AGToz-E1. Izjednačenjem su dobivene definitivne vrijednosti ubrzanja sile teže na početnoj točci nivelmaninskog vlaka (630\_ll\_309L), te na 32 vezne stabilizirane točke nivelmaninskog vlaka, na kojima je bilo obavljeno gravimetrijsko mjerjenje. Vrijednosti ubrzanja sile teže na ostalim veznim točkama, te na završnoj točci nivelmaninskog vlaka (626\_ll\_24) dobivene su interpolacijom.

### 2.3 Određivanje ortometrijskih visina

U svrhu određivanja ortometrijskih visina nivelmanski vlak je prvo izjednačen u sustavu geopotencijalnih kota. Pošto geopotencijalne kote početne i završne točke nisu poznate, njihove „približne“ vrijednosti definirane su kao umnožak kvazi-ortometrijske visine i ubrzanja sile teže u toj točci. Geopotencijalne visinske razlike dobivene su umnoškom nivelirane visinske razlike sa srednjom vrijednošću ubrzanja sile teže duž mjerene nivelmanске strane. Srednja vrijednost ubrzanja sile teže duž nivelmanске strane izračunata je kao aritmetička sredina ubrzanja sile teže na njezinim krajnjim toč-

kama, pošto podaci o ubrzanju sile teže duž pojedine nivelmane strane nisu poznati, odnosno nisu mjereni.

Geopotencijalne visinske razlike izjednačene su metodom posrednog izjednačenja pri čemu je datum definiran „približnim“ geopotencijalnim kotama početne i završne točke nivelmaninskog vlaka, a težine mjerena su, kao i u prethodnom slučaju, definirane kao recipročne vrijednosti duljine nivelmane strane. Izjednačenjem su dobivene geopotencijalne kote stabiliziranih veznih točaka nivelmaninskog vlaka.

Ortometrijska visina definirana je kao (Hofmann-Wellenhof, Moritz 2005):

$$H_P^{ort} = \frac{C_p}{\bar{g}_P}, \quad (1)$$

gdje je  $C_p$  geopotencijalna kota točke P, a  $\bar{g}_P$  srednja integralna vrijednost ubrzanja sile teže od točke P do plohe geoida duž težišnice. Srednju integralnu vrijednost ubrzanja sile teže nije moguće egzaktno odrediti zbog nepoznavanja rasporeda masa između fizičke površine Zemlje i geoida, ona je izračunata s pretpostavkom konstantne gustoće Zemlje od  $2670 \text{ kg/m}^3$ , te da je vertikalni gradijent realnog polja ubrzanja sile teže jednak normalnom vertikalnom gradijentu. Korištenjem prethodnih pretpostavki, te uvrštavanjem u prethodni izraz, dobiju se tzv. Helmert-ove ortometrijske visine (ibid):

$$H_P^{ort} = \frac{C_p}{g + 0,0424 \cdot H_P}, \quad (2)$$

gdje je  $g$  vrijednost ubrzanja sile teže u točci P, a  $H_P$  je približna ortometrijska visina točke P.

Na prethodno opisan način, na temelju izračunatih geopotencijalnih kota i vrijednosti ubrzanja sile teže izračunate su Helmert-ove ortometrijske visine krajnjih i stabiliziranih veznih točaka nivelmaninskog vlaka.

### 3. Izmjera nivelmanskog vlaka CROPOS VPPS servisom

Zbog izrazito nepovoljnih mjernih uvjeta duž nivelmanskog vlaka (šumsko područje), nije bilo moguće obaviti GNSS mjerena na svim stabiliziranim veznim točkama. Iz tog je razloga od ukupno 39 veznih točaka izmjereno svega 8.

Na veznim točkama R29, R33 i R39 bio je povoljan horizont, pa su mjerena obavljena direktno na njima, dok su ostale točke mjerene ekscentrično, a visina od ekscentra je prenesena trigonometrijskim nivelmanom. GNSS mjerena obavljena su Trimble R8 GNSS uređajem. Svaka točka opažana je u 120 ponavljanja u intervalu od jedne sekunde i elevacijskom maskom od  $10^\circ$ , opažanjem GPS i GLONASS satelita. Mjerenja su obavljena korištenjem CROPOS\_VRS\_RTCM31 usluge, koja koristi plohu HRG2009 geoida za konverziju elipsoidnih visina u ortometrijske visine u HVRS71. Definitivne vrijednosti visina određenih GNSS opažanjima ( $H_{GNSS/geoid}^E$ ) izračunate su običnom aritmetičkom sredinom, te su dobivene pripadne ocjene točnosti ( $s_H$ ). Visine točaka nivelmanskog vlaka pomoću GNSS mjerena ( $H_{GNSS/geoid}^E$ ) dobivene su dodavanjem visinske razlike između ekscentra i same

točke ( $\Delta H^E$ ) na visinu mjerenu na ekscentru ( $H_{GNSS/geoid}^E$ ). (Tablica 2).

### 4. Analiza i usporedba rezultata

Razlika između visina određenih geometrijskim nivelmanom bez uporabe ubrzanja sile teže ( $H$ ) i Helmert-ovih ortometrijskih visina ( $H^{ort}$ ) kreće se u rasponu od 3.4 mm na početnoj točci vlaka do 36.0 mm na završnoj točci vlaka, dok je najveća razlika od 38.4 mm u točci R34 (Tablica 3). Iz grafičkog prikaza vidljivo je da uglavnom porastom visine dolazi do veće razlike između te dvije visine (Slika 1 – plavo). Koeficijent korelacije između visine točke i razlike ove dvije visine iznosi 0.908. Pad razlike ove dvije visine na kraju nivelmanskog vlaka može se pripisati „približno“ određenim geopotencijalnim kotama početne i krajnje točke vlaka.

Razlike visina određenih CROPOS VPPS servisom ( $H_{GNSS/geoid}^E$ ) i Helmert-ovih ortometrijskih visina ( $H^{ort}$ ) sve su jednakog predznaka, što može biti posljedica pomaka geoida na ovom području (Tablica 3). Da bi se geoid na ovom području prilagodio Helmert-ovim ortometrijskim visinama od  $H_{GNSS/geoid}^E$  visina oduzeta je srednja vrijednost razlika u odnosu na Helmert-ove visine (39.9 mm).

Oznaka točke	$H_{GNSS/geoid}^E$ [m]	$s_H$ [mm]	Udaljenost ekscentra [m]	$\Delta H^E$ [m]	$H_{GNSS/geoid}$ [m]
630_ll_309L	277,443	7,3	45,15	2,011	279,454
Ro8	367,599	35,6	110,67	5,778	373,377
R12	437,286	11,7	30,32	0,736	438,022
R18	539,815	12,7	24,76	1,010	540,826
R20	581,989	18,5	15,76	-1,118	580,871
R24	634,393	27,1	21,16	1,210	635,603
R29	740,414	6,5	-	-	740,414
R33	810,482	10,3	-	-	810,482
R36	852,106	7,2	-	-	852,106
626_ll_24	913,730	20,6	110,45	-0,875	912,855

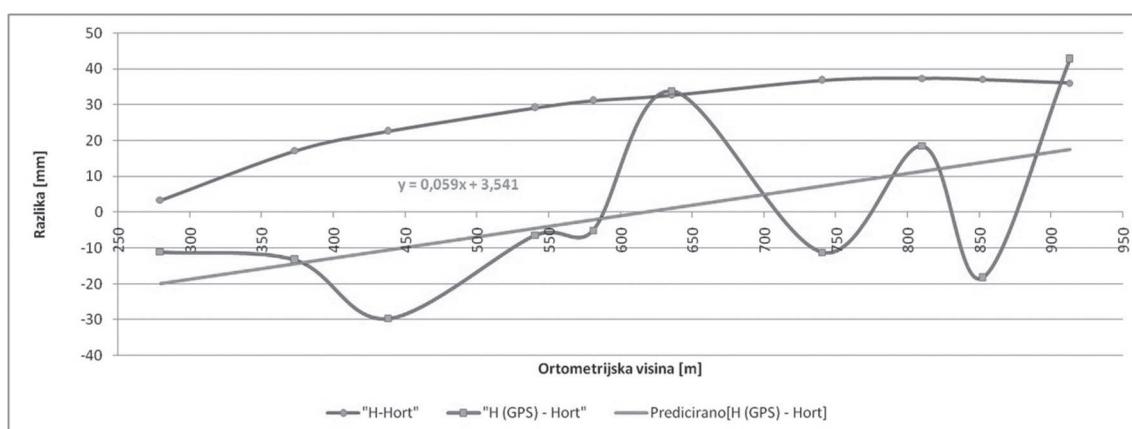
Tablica 2: Pregled rezultata GNSS mjerena

Oznaka točke	$H$ [m]	$H^{\text{ort}}$ [m]	$H_{\text{GNSS/geoid}}$ [m]	$H - H^{\text{ort}}$ [mm]	$H_{\text{GNSS/geoid}} - H^{\text{ort}}$ [mm]	$H^R_{\text{GNSS/geoid}} - H^{\text{ort}}$ [mm]
630_ll_309L	279,4281	279,4247	279,4536	3,38	28,9	-11,0
Ro8	373,3675	373,3503	373,3769	17,18	26,6	-13,3
R12	438,0340	438,0114	438,0217	22,55	10,2	-29,7
R18	540,8212	540,7920	540,8255	29,15	33,5	-6,4
R20	580,8673	580,8362	580,8710	31,13	34,8	-5,1
R24	635,5615	635,5288	635,6025	32,69	73,7	33,8
R29	740,4223	740,3855	740,4141	36,78	28,6	-11,3
R33	810,4608	810,4235	810,4819	37,35	58,4	18,5
R36	852,1220	852,0849	852,1065	37,08	21,6	-18,3
626_ll_24	912,8089	912,7729	912,8555	36,03	82,6	42,7
MIN.	279,4281	279,4247	279,4536	3,4	10,2	-29,7
MAKS.	912,8089	912,7729	912,8555	37,4	82,6	42,7
SREDINA	616,3893	616,3610	616,4009	28,3	39,9	0,0
ST. ODST.	212,9777	212,9677	212,9802	11,04	23,6	23,6

Tablica 3: Razlike visina u odnosu na Helmert-ove ortometrijske visine

Nepravilnost razlika između prilagođenih GNSS visina i Helmert-ovih ortometrijskih visina ( $H^R_{\text{GNSS/geoid}} - H^{\text{ort}}$ ) može se očitovati u ograničenoj točnosti GNSS mjerjenja visina. Međutim i iz takvih razlika može se uočiti prosječan porast razlike u nivelmanском vlaku s porastom visine od 5.9 mm/100 m (Slika 1 – zeleno).

GNSS mjerjenje na svakoj točci obavljeno je u približno 120 epoha čime je dobiveno ukupno 1197 mjerjenja (Tablica 4.4). Visina svake točke određena je kao obična aritmetička sredina iz svih mjerjenja te točke. Na temelju izračunatih visina točaka i svih mjerjenih visina dobivene su popravke mjerjenja (v), kao razlike visine svakog mjerjenja od pripadne aritmetičke sredine. Ana-



Slika 2: Analiza visina

	Broj mje-renja	Postotak
Ukupan broj mje-renja:	1197	
$v < \pm 10 \text{ mm}$	719	60,07%
$v < \pm 20 \text{ mm}$	996	83,21%
$v < \pm 40 \text{ mm}$	1143	95,49%
$v < \pm 50 \text{ mm}$	1162	97,08%
$v < \pm 60 \text{ mm}$	1174	98,08%
$v < \pm 80 \text{ mm}$	1192	99,58%

Tablica 4: Analiza popravaka (v) GNSS mjerena

liza popravaka prikazana je u Tablici 4.4, od čega je najzanimljivija granica od  $\pm 40 \text{ mm}$ , što je deklarirana visinska točnost CROPOS VPPS servisa (URL 2) unutar koje se nalazi nešto više od 95% mjerjenih visina.

## 5. Zaključak

Utjecaj ubrzanja sile teže na precizni geometrijski nivelman na pokazanom primjeru iznosi do 37.4 mm, što predstavlja značajan utjecaj pošto se standardna odstupanja izjednačenih vrijednosti visina kreću do 5.5 mm. Za napomenuti je da veliku ulogu za

ovako značajan utjecaj ima velika visinska razlika što implicira veliku korelaciju (0.908) između ortometrijske visine i razlike između visina određenih bez uporabe plohe geoida i Helmert-ove ortometrijske visine. Prilikom prilagodbe HRG2009 geoida na Helmert-ove ortometrijske visine za prikazani nivellmanski vlak uočljiva je razlika od 39.9 mm, što je unutar granice točnosti određivanja HRG2009 modela geoida (Bašić 2009). Trend rasta razlika visina određenih GNSS mjerjenjima i ortometrijskih visina od 5.9 mm/100 m visine točke ukazuje na utjecaj visine terena na određivanje geoidnih undulacija.

Standardna odstupanja određivanja visina pomoću CROPOS VPPS servisa kreću se od 6.5 do 35.6 mm prilikom mjerena u 120 ponavljanja. Analiza popravaka GNSS mjerena visina ukazuje na preciznost mjerena visina pomoću CROPOS VPPS servisa, pri čemu se vidi da se nešto više od 95% mjerena nalazi unutar granice od  $\pm 40 \text{ mm}$ . Na temelju navedenog možemo zaključiti da je postignuta relativno dobra točnost određivanja visina s obzirom na nepovoljne horizonte prilikom mjerena.

*Zahvaljujemo se Državnoj geodetskoj upravi na ustupljenom instrumentaru i podacima o reperima.*

## Literatura

- Bašić, Tomislav (2009): Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006. – 2008. godina, Državna geodetska uprava, Zagreb
- Bašić, Tomislav (2011): Fizikalna geodezija, Predavanja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Feil, Ladislav (1989): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja 1. dio, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Feil, Ladislav (1990): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja 2. dio, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

- Hofmann-Wellenhof, Bernard; Moritz, Helmut (2005): PhysicalGeodesy, Springer, Wien, NewYork.
- Macarol, Slavko (1977): Praktična geodezija, Tehnička knjiga, 1977.
- Rožić, N. (2007): Računska obrada geodetskih mjerjenja. Sveučilište u Zagrebu. ManualiaUniversitatisStudiorumZagrabiensis, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, ISBN 978-953-6082-10-0, Zagreb.
- Torge, Wolfgang (1991): Geodesy<sup>2nd</sup> Edition, Walter de Gruyter.
- URL 1: InternationalEarthRotationand Reference Systems Service, <http://www.iers.org>, (12.07.2013.)
- URL 2: CROPOS – CROatianPOsitioningSystem,<http://www.cropos.hr/>, (24.08.2013.)

---

---

**Abstract:**

This paper will show influence of gravity on geometric leveling with focus on comparison of orthometric heights determined with CROPOS VPPS service and heights of geometric leveling in Earth gravity field. For test field is chosen leveling line in Sljeme hill area from height benchmark 630-II\_309L to height benchmark 626-II\_24, with approximately 12 kilometers length and approximately 620 meters height difference. Leveling measurements are done with two different Leica DNA03 leveling instruments and 3-meters invar staff in boat directions with figure closures. Every 250 – 400 meters staff position is stabilized with steel bolt, while other staff position is sprayed. Relative gravimetric measurements are done with relative gravimeter SCINTREX CG-5. Where it was possible position of midpoints in leveling line is determined with CROPOS VPPS service, while the position of other points is determined from topographic map. Adjustment of leveling and gravity measurements are made in geopotential numbers height system. Analyze and comparison of heights determined with CROPOS VPPS service and heights of geometric leveling in Earth gravity field will also indicate on accuracy of HRG2009 geoid model in greater height differences.

**Comparison of heights determined with CROPOS VPPS service and geometric leveling in Earth gravity field**

**Keywords:**  
CROPOS VPPS service, geometric leveling, gravity

# Primjena Trimble xFill sustava za augmentaciju globalnih navigacijskih sustava

Marijan Grgić<sup>1</sup>, Marko Pavasović<sup>1</sup>, Olga Bjelotomić<sup>1</sup>, Marija Pejaković<sup>1</sup>, Matej Varga<sup>1</sup>, Tomislav Bašić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska, mrgvic@geof.hr, mpavasovic@geof.hr, objelotomic@geof.hr, mpejakovic@geof.hr, mvarga@geof.hr, tbasic@geof.hr

## Sažetak:

*Određivanje položaja korištenjem CROPOS sustava na području Republike Hrvatske ograničeno je teritorijalnom pokrivenošću signalom mobilnih operatera. Uvođenjem tehnologija za augmentaciju globalnih navigacijskih sustava poboljšava se točnost pozicioniranja te povećava dostupnost i primjenjivost uređaja za globalno pozicioniranje. Trimble xFill sustav sastoји se od mreže referentnih stanica na svim kontinentima koje prikupljaju navigacijske podatke, računaju korekcije te ih putem Trimble RTX geostacioniranih satelita šalju GNSS prijemnicima na terenu. Sustav omogućuje da se uslijed prekida prijema navigacijskih korekcija s primarnog sustava (npr. CROPOS sustav) u prijamniku, određivanje položaja tijekom kraćeg perioda može nastaviti uz visoku točnost. U radu je prikazano testiranje određivanja položaja pomoću Trimble xFill sustava te je analizirana promjena točnosti određivanja položaja u odnosu na točnost postignutu korištenjem CROPOS korekcijskog sustava. Uredaj za globalno pozicioniranje opremljen Trimble xFill tehnologijom testiran je na više lokacija RTK (eng. real time kinematic) metodom uz primarno korištenje CROPOS sustava. Obrađom prikupljenih podataka određen je vremenski interval u kojem se nakon prekida prijema korekcija s primarnog sustava može postići visoka točnost pozicioniranja te je ocijenjena degradacija točnosti određivanja položaja kroz vrijeme nakon prekida prijema korekcija s primarnog sustava.*

## Ključne riječi:

**augmentacija  
GNSS-a, GBAS, RTX  
geostacionirani  
sateliti, SBAS,  
Trimble xFil**

## 1. Uvod

Razvojem sustava umreženih referentnih stanica globalnih navigacijskih satelitskih sustava (GNSS) u svrhu računanja navigacijskih korekcijskih parametara, jedina prepreka preciznom pozicioniranju visoke točnosti postala je dostupnost mobilnog signala koji omogućuje pristup izračunatim korekcijskim parametrima.

Trimble xFill je augmentacijski sustav GNSS-a koji nadopunjuje kratkotrajne prekide (do pet minuta) u prijemu korekcijskih parametara s primarnog izvora (npr. CROPOS sustav) emitiranjem korekcijskih parametara izračunatih iz globalne mreže referentnih stanica raspoređenih na svim kontinentima. Korekcijski parametri augmentacijskog sustava korisnicima Trimble GNSS uređaja najnovije generacije šalju se putem

Trimble RTX geostacioniranih satelita.

U ovom radu prikazano je testiranje Trimble xFill sustava te je analizirana promjena točnosti određivanja položaja u odnosu na točnost postignutu korištenjem primarnog sustava. Uredaj za globalno pozicioniranje opremljen Trimble xFill tehnologijom testiran je na više novo uspostavljenih točaka uz korištenje CROPOS sustava.

## 2. Sustavi za augmentaciju globalnih navigacijskih satelitskih sustava

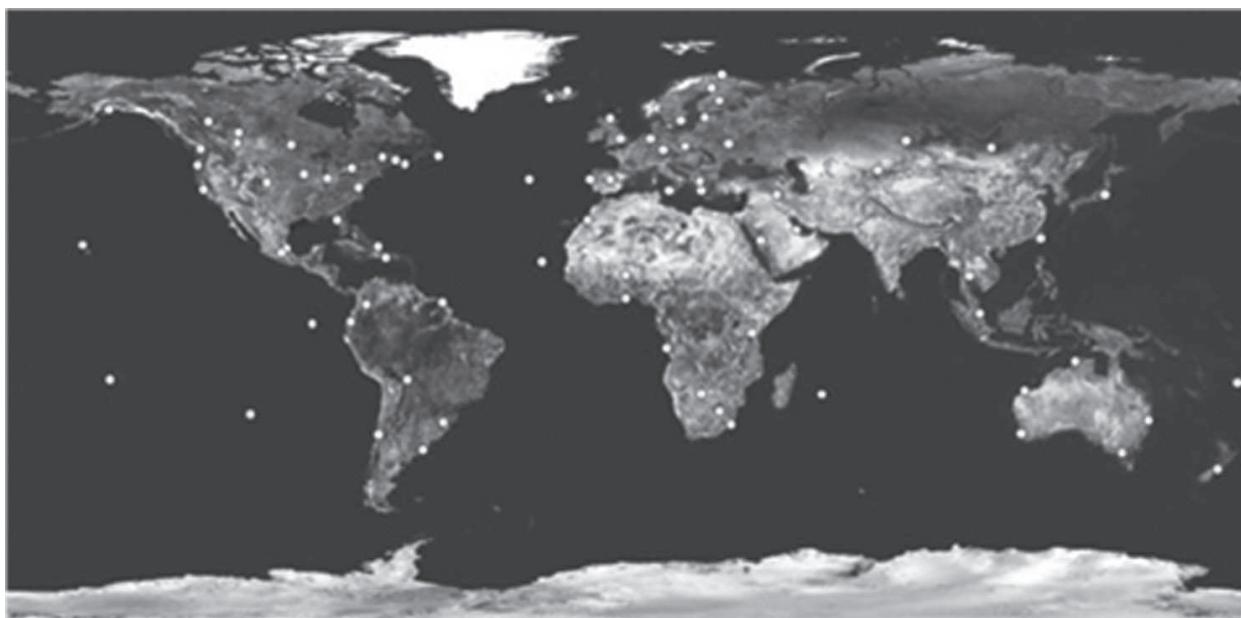
Augmentacija GNSS-a uključuje različite metode poboljšavanja navigacijskih poruka koje prijamnici navigacijskih sustava kontinuirano primaju s GNSS satelita s ciljem dobivanja kvalitetnijih rezultata te povećavanja dostupnosti i primjenjivosti uređaja za globalno pozicioniranje (Schaad, 2012). Sustavi za augmentaciju GNSS-a dijele se prema području koje pokrivaju odnosno načinu na koji odašilju dopunu navigacijskim porukama na širokopojasne (globalne) satelitske sustave za augmentaciju (eng. Satellite-based augmentation system, SBAS) te uskopojasne (regionalne) zemaljske augmentacijske sustave (eng. Ground-based augmentation system, GBAS; Gro-

und-based regional augmentation system, GRAS) (Schaad, 2012).

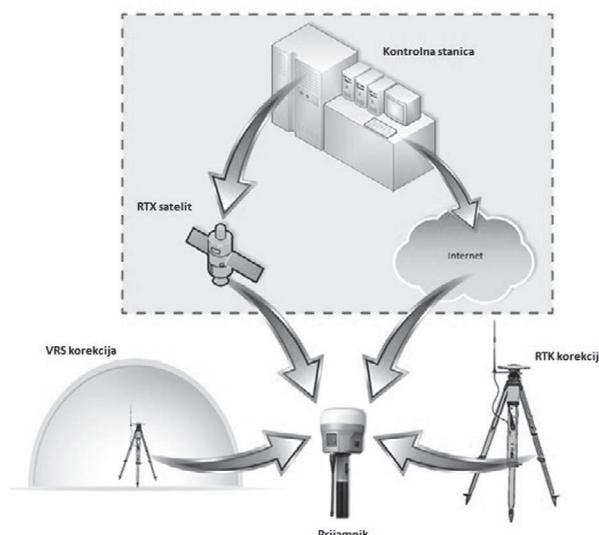
Razvoj globalnih augmentacijskih sustava započeo je krajem 20. stoljeća razvojem Wide Area Augmentation System (WAAS), European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) te Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS) (Grewal i dr., 2001). Danas je dostupno više augmentacijskih sustava od kojih su uz spomenute značajniji japanski Quasi-Zenith Satellite System, indijski GPS Aided GEO Augmented Navigation (GAGAN) sustav, kineski Satellite Navigation Augmentation System (SNAS), američki vojni sustav Wide Area GPS Enhancement (WAGE) te komercijalni sustavi StarFire Navigation System te OmniStar tvrtki John Deere i Fugro (Gorski i Gerten, 2007).

### 2.1 Trimble xFill sustav za augmentaciju globalnih navigacijskih satelitskih sustava

Trimble xFill je širokopojasni (globalni) satelitski sustav za augmentaciju koji osigurava mogućnost RTK (eng. real time kinematic) pozicioniranja neposredno nakon prekida prijema navigacijskih korekcija s VRS (eng. virtual reference station) sustava



Slika 1: Raspored zemaljskih kontrolnih stanica Trimble RTX xFill tehnologije (Trimble, 2012)



Slika 2: Shematski prikaz funkciranja prijamnika osposobljenog za prijem Trimble RTX xFill korekcija (Trimble, 2012)

(npr. CROPOS sustav) ili prijema radijskih signala s drugog prijamnika (klasični RTK). Tako xFill tehnologija proširuje mogućnosti pozicioniranja uz visoku točnost računanja pozicija do pet minuta od prekida internet-ske ili radijske veze (Trimble, 2012).

Sustav se uobičajeno sastoji od više zemaljskih kontrolnih stanica koje primaju GNSS (GPS i GLONASS) satelitske signale te koristeći zaštićene algoritme za pozicioniranje generiraju korekcijske poruke koje se korisniku šalju u CMRx formatu putem satelitskog segmenta augmentacijskog sustava ili internetskom vezom. Satelitski segment sastoji se od RTX (Trimble Real-time eXtended) geostacioniranih satelita koji poruku emitiraju u L elektromagnetnom pojasu u kojem se emitiraju i navigacijske poruke s GNSS satelita. Trenutno je u zemaljski kontrolni segment xFill tehnologije uključeno oko 100 stanica (Slika 1).

Pokretanje xFill tehnologije odvija se automatski po gubitku navigacijskih korekcija s primarnog izvora. To je moguće zbog kontinuiranog opažanja korekcija u prijamniku s RTX satelita koje se odvija i za vrijeme prijema korekcija primarnog izvora (Slika 2).

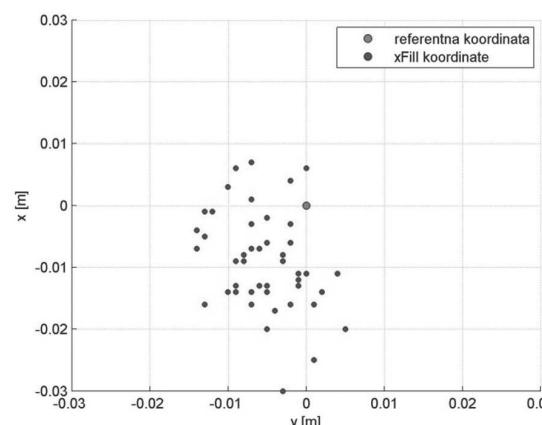
### 3. Testiranje Trimble xFill tehnologije

Testiranje Trimble xFill tehnologije izvršeno je korištenjem Trimble R10 GNSS uređaja za precizno pozicioniranje – jedinog uređaja za koji je trenutno xFill tehnologija omogućena. Za neovisnu kontrolu mjerena korišten je i Trimble R8 GNSS uređaj. Za potrebe testiranja uspostavljena je nova mreža od šest točaka stabiliziranih bolcnama nasuprot Geodetskog fakulteta te su korištene dvije stare mreže – jedna nasuprot Geodetskom fakultetu u Zagrebu, a druga na Sljemeškoj cesti.

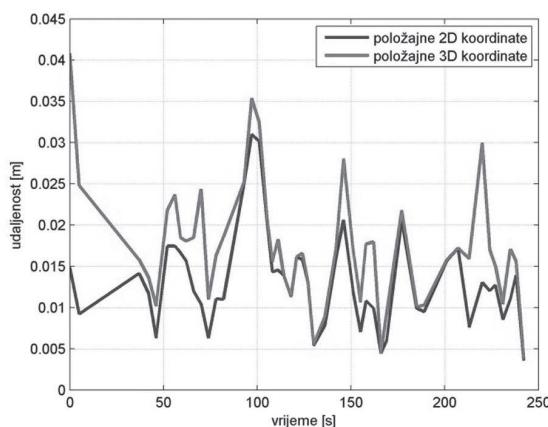
Početnim testiranjem utvrđeno je da za vrijeme korištenja xFill tehnologije za precizna mjerena gubitkom prijema signala s RTX satelita dolazi do prekida primanja navigacijskih korekcija te pozicioniranje više nije moguće. Kako bi se utvrdila degradacija točnosti pozicioniranja kroz vrijeme korišteći xFill tehnologiju od gubitka prijema korekcija s primarnog izvora (u konkretnom slučaju to je bio CROPOS VRS sustav), uređaj je testiran u različitim uvjetima na više načina.

#### 3.1 Testiranje xFill tehnologije u povoljnim uvjetima

Prva testiranja xFill tehnologije provedena su u uvjetima čistog horizonta na poznatim



Slika 3: Odstupanje položajnih 2D koordinata dobivenih xFill tehnologijom (plava boja) u odnosu na referentni položaj (crvena boja)



Slika 4: Promjena odstupanja položajnih 2D i 3D koordinata dobivenih xFill tehnologijom na referentnoj točki kroz vrijeme

točkama na koje je instrument Trimble R10 centriran dvonošcem za centriranje u svakoj od sesija. Time je dobiven uvid u promjenu točnosti pozicioniranja od gubitka navigacijskih korekcija s primarnog uređaja do isteka dopuštenog vremena za korištenje xFill tehnologije (pet minuta). Obradom prikupljenih podataka dobivena su položajna 2D odstupanja koordinata u HTRS96/TM projekcijskom koordinatnom sustavu prikazana na slici 3.

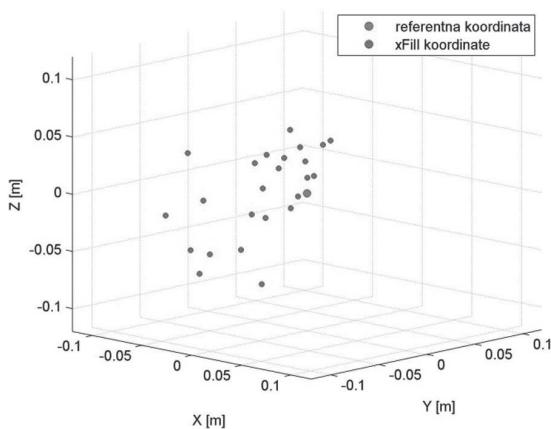
Njima pripadajuća promjena apsolutnog odstupanja koordinata kroz vrijeme prikazana je na slici 4. Iz prikaza je moguće zaključiti da u ovom slučaju položajno

odstupanje mjerjenih podataka nije ovisno o vremenu proteklom od početka korištenja xFill tehnologije. Mjerenja u ovim uvjetima izvršena su s najvećim položajnim odstupanjima do 4 cm.

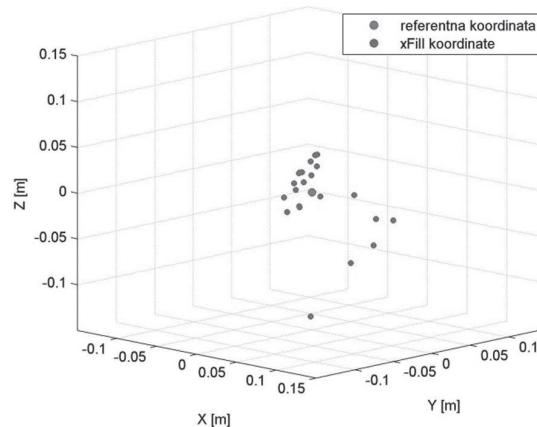
U istim uvjetima otvorenog horizonta izvršena su i druga testiranja xFill tehnologije na mreži poznatih točaka pri čemu je instrument po uključivanju xFill tehnologije, u okviru perioda od pet minuta, prenošen te je svaka točka mreže izmjerena više puta. Odstupanje koordinata dobivenih u jednom periodu mjerenja xFill tehnologijom od referentnih koordinata čiji je položaj dobiven mjerenjem uz korištenje CROPOS korekcija prikazano je na slici 5.

### 3.2 Testiranje xFill tehnologije u nepovoljnim uvjetima

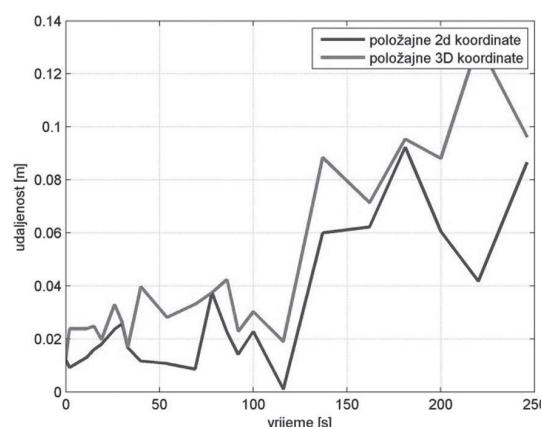
Trimble xFill tehnologija testirana je i u uvjetima nepovoljnije konstelacije satelita pri zaklonjenom većem dijelu horizonta na Sljemenskoj cesti od Zagreba prema Sljemeni na ranije definiranoj mreži poznatih točaka. Testiranje je izvršeno centriranjem instrumenta na točkama, a kao relevantan primjer dobivene položajne točnosti koordinata izdvojeni su rezultati mjerenja za vrijeme jednog xFill perioda koji ukazuju na značajno odstupanje dijela opažanih koor-



Slika 5: Odstupanje položajnih 3D koordinata dobivenih xFill tehnologijom (zelena boja) u odnosu na referentni položaj (crvena boja), mjerenje izvršeno na više točaka



Slika 6: Odstupanje položajnih 3D koordinata dobivenih xFill tehnologijom (zelena boja) na jednoj točki u odnosu na referentni položaj (crvena boja)



Slika 7: Promjena odstupanja položajnih 2D i 3D koordinata dobivenih xFill tehnologijom na referentnoj točki kroz vrijeme

dinata (više od 10 cm), ali i veći broj koordinata s manjim odstupanjem (do oko 4 cm). Za razliku od mjerena u uvjetima preglednog horizonta, u ovom slučaju može se primijetiti značajna degradacija točnosti mjerena kroz vrijeme. Tako se prema prikazu na slici 7 može uočiti skok u položajnom odstupanju nakon dvije minute korištenja xFill tehnologije kojim se točnost s 4 cm spustila ispod 10 cm.

### 3.3 Analiza rezultata testiranja xFill tehnologije

Pregled apsolutnih iznosa odstupanja koordinata pokazuje ovisnost točnosti pozicioniranja xFill tehnologijom o uvjetima mjerena (konstelacija satelita, preglednost horizonta) te načinu na koji se mjerene vrši (mjerenjem jedne ili više točaka mreže u jednom xFill periodu i dr.). Sažeti rezultati pregledno su prikazani u tablici 1.

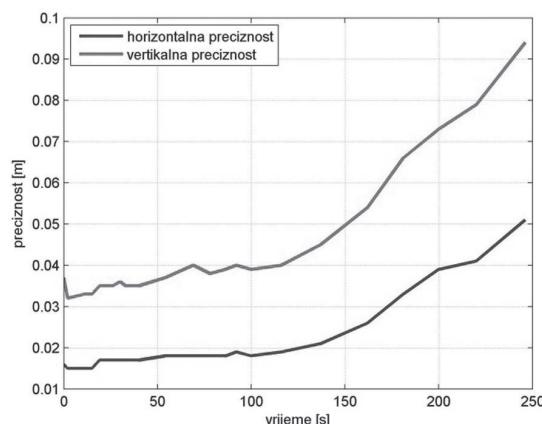
U prvom slučaju, uz instrument centriran na jednoj točki te u uvjetima preglednog horizonta, xFill tehnologijom u cijelom periodu opažanja postignuta su precizna rješenja točnosti unutar 4 cm od referentnih vrijednosti (slika 5) uz standardno odstupanje koordinata u iznosu ispod 2.5 cm. Ta točnost odgovara zahtjevima točnosti za obavljanje osnovnih inženjerskih i katastarskih radova (Narodne novine, 2008).

Nasuprot tome, opažanja provedena u područjima lošije konstelacije satelita i zaklonjenog horizonta ukazuju na to da nakon određenog perioda opažanja xFill tehnologijom – najčešće oko dvije minute (Slike 7 i 8) – dolazi do značajnije degradacije točnosti (s 2 - 4 cm na 10 - 13 cm) koja tako pada ispod zahtjeva točnosti za obav-

	Maksimalno položajno odstupanje [m]	Maksimalno položajno odstupanje u prvih 120 sekundi [m]	Maksimalno položajno odstupanje nakon 120 sekundi [m]	Maksimalno standardno odstupanje [m]
Povoljni uvjeti – fiksno na jednoj točki	0.041	0.041	0.030	0.023
Povoljni uvjeti – više točaka mreže	0.110	0.068	0.110	0.071
Nepovoljni uvjeti – fiksno na jednoj točki	0.132	0.042	0.132	0.094

Tablica 1: Sažeti podaci mjerena xFill tehnologijom u različitim uvjetima

Ijanje osnovnih inženjerskih te katastarskih radova unutar granica građevinskih područja naselja (Narodne novine, 2008). Na isti skok u degradaciji mjerena ukazuju i podaci standardnih odstupanja dobivenih rješenja (Slika 8).



Slika 8: Promjena standardnog odstupanja položajnih 2D i 3D koordinata dobivenih xFill tehnologijom mjerjenjem na jednoj točki mreže

Slično rezultatima testiranja tehnologije u nepovoljnijim uvjetima, rezultati mjerena xFill tehnologijom u povoljnim uvjetima na više točaka u jednom petominutnom periodu premještanjem Trimble R10 instrumenta ukazuju na značajnu degradaciju točnosti pozicijskih rješenja nakon perioda od dvije minute kada je u prosjeku razina točnosti pala s oko 4 cm (uz jedan ekstrem od 6.8 cm) na oko 10 cm.

#### 4. Zaključak

Uvođenjem tehnologija za augmentaciju GNSS-a, povećava se točnost pozicioniranja i/ili se proširuje primjenjivost uređaja za globalno pozicioniranje (Gorski i Gerten, 2007). U ovom radu prikazana je tehnologija Trimble xFill koja uspješno proširuje mogućnosti pozicioniranja u uvjetima slabog prijema mobilnog signala odnosno omogućuje pozicioniranje neposredno nakon prekida prijema navigacijskih korekcijskih parametara s primarnih izvora korekcija (CROPOS sustava).

Analizom prikupljenih rezultata testiranja utvrđeno je kako točnost pozicioniranja uz Trimble xFill sustav uvelike ovisi o vanjskim čimbenicima, ponajviše o zaklonjenosti horizonta odnosno konstelaciji GNSS satelita s kojih prijamnik prima navigacijske poruke. Tako je u povoljnim uvjetima koristeći xFill tehnologiju postignuta visoka apsolutna točnost pozicioniranja – ispod 4 cm u petominutnom periodu korištenja xFill tehnologije – dok je u nepovoljnijim uvjetima viša razina točnosti postignuta u prve dvije minute petominutnog perioda. Zato Trimble xFill tehnologija predstavlja korisno poboljšanje uporabe GNSS uređaja za geodetska mjerena.

Za očekivati je da će se u budućnosti vremenski interval u kojem se nakon prekida prijema korekcija s primarnog sustava može postići visoka točnost pozicioniranja produžiti te će se primjena xFill tehnologije proširiti i na ostale uređaje za pozicioniranje primjenjive u poljoprivredi, prometu, razvoju geoinformacijskih sustava i dr.

Autori rada ljubazno zahvaljuju tvrtki Geomatika-Smolčak d.o.o. na ustupljenom instrumentaru i stručnoj podršci.

## Literatura

- Gorski, Adam, Gerten, Greg (2007): Do We Need Augmentation Systems? European Journal of Navigation, Vol. 5, No. 4, 2007.
- Grewal, Mohinder S., Weill, Lawrence R., Andrews, Angus P. (2001): Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration. A John Wiley & Sons, Inc. Publication, 2001.
- Narodne novine (2008): Pravilnik o katastarskoj izmjeri i tehničkoj reambulaciji. Narodne novine d.d., broj 147/08, Zagreb, 2008.
- Schaad, Daniel (2012): EGNOS and WAAS – missing their potential in remote regions? The example of Greenland. Research in Transportation Business & Management, Vol. 4, 29-36., Beč, Austrija, 2012.
- Trimble (2012): Trimble xFill RTK – White Paper. Trimble Survey Division, Westminster, Colorado, SAD, 2012.

### **Abstract:**

*High precision positioning using CROPOS system in the Croatian territory is limited only by the mobile phone signal coverage. By introducing technologies for augmentation of global navigation systems, the accuracy and reliability of positioning is improved and applicability of global positioning devices is increased. Such system is the Trimble xFill global system that includes a network of reference stations distributed on all continents that collect navigational data, calculate xFill navigation corrections, and broadcast it by Trimble RTX geostationary satellites. During periods of correction data outage when the primary correction stream is unavailable (for example CROPOS system), Trimble xFill provides the technology that enables point measurements to continue for short periods with survey-level precisions. This paper describes testing of the Trimble xFill system and analyzes changes of the positioning accuracy in relation to the accuracy achieved using the primary correction stream. The GNSS device equipped with the Trimble xFill technology has been tested at several locations using RTK (real time kinematic) method, supported with CROPOS system. Using the collected terrain data analysis, the period of the high precision measurements ensured by the xFill technology is determined and the degradation of the positioning accuracy over time is evaluated.*

### **Application of the Trimble xFill system for Augmentation of Global Navigation Systems**

**Keywords:**  
**GNSS**  
**Augmentation,**  
**GBAS, RTX**  
**Geostationary**  
**Satellites, SBAS,**  
**Trimble xFill**

# Referentni sustavi s obzirom na usluge prostornih podataka

Željko Hećimović<sup>1</sup>, Marijan Grgić<sup>2</sup>, Marija Pejaković<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Državna geodetska uprava, Gruška 20, HR-10000 Zagreb, zeljko.hecimovic@dgu.hr

<sup>2</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačiceva 26, HR-10000 Zagreb, mgргic@geof.hr, mpejakovic@geof.hr

## Sažetak:

*INfrastructure for SPatial Information (INSPIRE) i Nacionalna infrastruktura prostornih podataka (NIPP) normiraju korištenje usluga prostornih podataka u Hrvatskoj i EU. INSPIRE i NIPP koriste Open Geospatial Consortium (OGC) i ISO/TC211 norme za razmjenu prostornih podataka putem mrežnih usluga, a one su vezane na European Petroleum Survey Group (EPSG) strukturirane podatke o referentnim sustavima i transformacijama koordinata. U Hrvatskoj su osnovni koordinatni referentni sustavi HDKS1901/GK, HTRS96/TM, WGS84/UTM, HVRS1875 te HVRS71. Korišti se još cijeli niz povijesnih referentnih sustava te referentnih sustava za lokalna područja. Također se prostorni podaci na teritoriju Hrvatske izražavaju u pan-europskim položajnim (ETRS89-LatLonh, ETRS89-LCC, ETRS89-XYZ, ETRS89-TMzn) i visinskim (EVRF\_AMST/NH, EVRF\_AMST/CP, EVRF2007\_AMST/NH, EVRF2007\_AMST/CP) te međunarodnim (WGS84, ITRFYY) referentnim sustavima. Pored ovih osnovnih skupova referentnih sustava, treba uzeti u obzir da se podaci vrlo često koriste u složenim referentnim sustavima. Tako su na primjer podaci karte TK25 položajno predstavljeni u HTRS96/TM, a visinska predstava je u HVRS71 sustavu. Ovim radom želi se dati pregled i moguća rješenja primjene referentnih koordinatnih sustava za potrebe razmjene prostornih podataka s obzirom na INSPIRE, NIPP, OGC, ISO/TC211 i EPSG kriterije na teritoriju Hrvatske, a to je jedan od temeljnih uvjeta interoperabilnosti prostornih podataka.*

**Ključne riječi:**  
**INSPIRE, NIPP,**  
**referentni sustavi,**  
**usluge**

## 1. Uvod

Koordinatni referentni sustavi, njihova definicija te transformacije koordinata između njih čine osnovu korištenja prostornih podataka. Također infrastrukture prostornih podataka (IPP) kao što su *INfrastructure for SPatial Information (INSPIRE)* i *Nacionalna infrastruktura prostornih podataka (NIPP)* daju punu pažnju ovom problemu. Zato koordinatni referentni sustavi u INSPIRE-u

i NIPP-u predstavljaju jednu od osnovnih tema prostornih podataka.

*ISO/TC211 i Open Geospatial Consortium (OGC) norme za razmjenu prostornih podataka jednoznačno normiraju zadavanje koordinatnih referentnih sustava i operacije s njima. Korištenje prostornih podataka putem mrežnih usluga vezano je za zadavanje koordinatnih referentnih sustava i transformacija koordinata pomoću European*

Petroleum Survey Group (EPSG) strukturi- ranih podataka o referentnim sustavima i transformacijama koordinata. OGC mrežne usluge (npr. WMS, WFS i dr.) podržavaju EPSG zadavanje koordinatnih referentnih sustava (OGC, 2001).

NIPP definira način prijavljivanja, transfor- macije i korištenja koordinatnih referentnih sustava, a što je osnova za razmjenu i kori- štenje prostornih podataka. NIPP definira ove odnose u skladu s INSPIRE, OGC, ISO/ TC211 i EPSG zahtjevima, a to je jedan od temeljnih uvjeta interoperabilnosti prostor- nih podataka.

Prostorni podaci u Hrvatskoj koriste cijeli niz koordinatnih referentnih sustava; kao što su HDKS1901/GK (stari), HTRS96/TM (novi), WGS84/UTM (za potrebe vojske) te visinski sustavi HVRS1875 (stari) i HVRS71 (novi). Pored ovih osnovnih referentnih sustava postoji još cijeli niz povijesnih referentnih sustava te referentnih sustava za lokalna područja. Nakon ulaska Hrvatske u EU pan- europski koordinatni referentni sustavi su postali još važniji jer će sve više služiti za prikazivanje prostornih podataka (npr. ETRS89-LatLonh, ETRS89-LCC, ETRS89-XYZ, ETRS89-TMzn) te visinskim (EVRF\_AMST/ NH, EVRF\_AMST/CP, EVRF2007\_AMST/NH, EVRF2007\_AMST/CP). Međunarodni koordi- natni i referentni sustavi (npr. WGS84, ITRFYY) su također od velike važnosti zbog globalnih navigacijskih satelitskih sustava te prikazivanja prostornih podataka u glo- balnim preglednicima (npr. Google Earth i dr.).

Osim ovih osnovnih referentnih sustava vrlo često se koriste složeni referentni sustavi za prikazivanje službenih kartografskih proizvoda; podaci na službenim kartama su položajno predstavljeni u HTRS96/ TM, a visinski u HVRS71 sustavu. Da bi se podaci mogli automatski pozivati primje- nom mrežnih usluga, potrebno je definirati koordinatne referentne sustave i operacije s njima sukladno zahtjevima NIPP-a koji je

u skladu s međunarodnim normama.

*The European Petroleum Survey Group (EPSG)* (URL 2) razvija od 1985. godine sustav geodetskih parametara. Godine 1993. su objavili podatke o koordinatnim referentnim sustavima, a 2005. godine je EPSG restrukturirana u *The Surveying and Positioning Committee of the International Association of Oil and Gas Producers (OGP)*. Danas nadležnost nad održavanjem i ažuriranjem baze podataka *EPSG Geodetic Parameter Dataset* ima *OGP Surveying and Positioning Committee's Geodetic Subcommittee* (OGP, 2012). EPSG baza podataka (URL 1) usklađena je s ISO/TC211 19111 nor- mom (ISO 19111, 2004) te OGC normama o korištenju i razmjeni prostornih podataka. Korištenje baze podržava INSPIRE i NIPP koji normiraju korištenje usluga prostor- nih podataka u EU i Hrvatskoj (Hećimović, 2013). Informacije o više tisuća referentnih sustava i transformacija koordinata s pri- padajućim metapodacima korisnicima su dostupne u obliku web repozitorija, Micro- soft Access baze podataka te SQL skripta koja proširuju korištenje EPSG baze na sve sustave za upravljanje relacijskim bazama podataka (Oracle, MySQL, PostgreSQL i dr.) (OGP, 2012).

## 2. INSPIRE i NIPP tema prostornih podataka za koordinatne referentne sustave

Da bi se prostorni podaci mogli objediniti u infrastrukturu prostornih podataka moramo znati u kojem su koordinatnom referen-tnom sustavu te prilikom korištenja više izvora prostornih podataka moći ih prika- zati u konzistentnom koordinatnom refe- rentnom sustavu.

INSPIRE definira 34 teme prostornih poda- taka u 3 skupine, a NIPP je taj skup proširi- ćio za još jednu temu prostornih podataka. Zbog svoje važnosti koordinatni referen- ti sustavi se nalaze u prvoj skupini tema prostornih podataka. Prema definiciji tema prostornih podataka koordinatni referentni sustavi su sustavi za jednoznačno referen-

ciranje prostornih informacija u prostoru u obliku skupa koordinata (x,y,z) i/ili širine, dužine i visine, a koji se temelje na horizontalnom i vertikalnom geodetskom datumu.

Dokument *INSPIRE Specification on Coordinate Reference Systems* (INSPIRE, 2009) specificira osim uobičajenih koordinata za vrste koordinata i: LAT - dubina dna mora, kada su prisutne znatnije plimne amplitude (D), MSL - dubina dna mora u morskim područjima bez znatnijih plimnih amplituda (D), u otvorenim oceanima i u vodama s dubinama većim od 200 m (D), ISA - koordinate pritiska u slobodnoj atmosferi (P) i PFO - koordinate pritiska u oceanima (P).

INSPIRE preporučuje korištenje sljedećih koordinatnih referentnih sustava za uslugu pregledavanja (INSPIRE, 2011): ETRS89 geographic (EPSG:4258) - za kontinentalnu Europu, WGS 84 (World) (EPSG:4326) - za podatke male rezolucije i WGS 84 (CRS:84) - za podatke izvan kontinentalne Europe.

### 3. Koordinatni referentni sustavi definirani metapodacima NIPP-a

Prilikom korištenja prostornih podataka, na primjer karata u rasterskom ili vektorskog formatu u GIS okruženju ili prostornih baza podataka ili preuzimanjem podataka putem usluga, često ne znamo ili nismo sigurni u kojem koordinatnom referentnom sustavu su podaci ili koja je verzija formata podataka i druge informacije o podacima koje omogućuju njihovo korištenje i interpretaciju. Da bi se izbjegli ovakvi problemi prikupljaju se metapodaci. Metapodaci NIPP-a definiraju koordinatni referentni sustav u kojem su prostorni podaci da bi podatke mogle koristiti razne grupe korisnika. To omogućuje katalog metapodataka na osnovu kojeg se izrađuje usluga pretraživanja (eng. discovery service) te usluga pregledavanja i druge usluge NIPP-a.

INSPIRE ne traži da se zadaju elementi metapodataka koordinatnih referentnih sustava izvora prostornih podataka. NIPP

je proširio INSPIRE profil metapodataka za koordinatne referentne sustave. ISO norme za metapodatke, a koji je osnova za INSPIRE metapodatke, propisuje kako se trebaju zadavati metapodaci koordinatnih referentnih sustava te je NIPP preuzeo ISO normiranje koordinatnih referentnih sustava. U tablici 1 je dana usporedba ISO 19115, INSPIRE i NIPP referenci za metapodatke koordinatnih referentnih sustava.

ISO 19115	INSPIRE	NIPP	Napomene
Reference system	Ne propisuje	Koordinatni referentni sustav	Proširenje metapodataka NIPP-a u odnosu na INSPIRE, a u skladu s ISO-om.

Tablica 1: Usporedba ISO 19115, INSPIRE i NIPP referenci za metapodatke koordinatnih referentnih sustava

Prema ISO normama, metapodaci za koordinatni referentni sustav se daju kroz UML paket MD\_ReferenceSystem. Ovaj UML paket sadrži opis prostornih i vremenskih referentnih sustava korištenih u skupu podataka. MD\_ReferenceSystem sadrži element za identifikaciju korištenog referentnog sustava. MD\_ReferenceSystem može biti podklasa koja je agregat od MD\_ProjectionParameters i MD\_EllipsoidParameters. MD\_ProjectionParameters je agregat od MD\_ObliqueLineAzimuth i MD\_ObliqueLinePoint.

#### 3.1 Metapodaci za koordinatne referentne sustave NIPP-a

Svaki izvor prostornih podataka (skup, niz ili usluga) koji se prijavljuje u sustav NIPP-a mora pored ostalih elemenata metapodataka dokumentirati i element metapodataka koordinatni referentni sustav. On je definiran kao oznaka koordinatnog (prostornog) referentnog sustava izvora podataka. Ovaj element metapodataka je obvezan i za skupove i za nizove i za usluge prostornih podataka. Prostorni podaci mogu biti prikazani u više koordinatnih referentnih sustava.

Naziv	Opis
HTRS96 / Croatia TM	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 poprečne Mercatorove projekcije
HTRS96 / Croatia LCC	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 Lambertove konusne komforne projekcije
HTRS96 / UTM zone 33N	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 univerzalne Mercatorove projekcije, zona 33 sjever
HTRS96 / UTM zone 34N	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 univerzalne Mercatorove projekcije, zona 34 sjever
HTRS96	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996, geodetske 2D koordinate
HTRS96	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996, geodetske 3D koordinate
HVRS71 height	Hrvatski visinski referentni sustav 1971
MGI / Balkans zone 5	Hrvatski državni koordinatni sustav u Gauss-Krügerovoj projekciji, 5. zona
MGI / Balkans zone 6	Hrvatski državni koordinatni sustav u Gauss-Krügerovoj projekciji, 6. zona

Tablica 2: Najvažniji koordinatni referentni sustavi NIPP-a u Hrvatskoj

Koordinatni referenti sustav specificira u kojem koordinatnom sustavu su zadani podaci. Izvor podataka može koristiti dva ili više koordinatna referentna sustava. Na primjer, topografska karta 1:25 000 koristi za predstavljanje položaja u ravnini projekcije Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 u poprečnoj Merkatorovoј projekciji (HTRS96/TM), a visine predstavlja u Hrvatskom visinskom referentnom sustavu 1971 (HVRS71).

Prilikom zadavanja metapodataka koordinatnog referentnog sustava NIPP-a može se zadavati kod ili kod, prostor koda i verzija prostora koda. Kod jedinstveno označava koordinatni referentni sustav, a prostor koda i njegova verzija specificiraju domenu u kojoj je definiran kod. U slučaju da za koordinatni referentni sustav nije zadan kod, prostor koda i verzija, za kod se zadaje slobodan tekst kojim se definira referentni sustav podataka. Ukoliko su zadani kod, prostor koda i njegova verzija koristiti će se *RS\_Identifier* umjesto *MD\_Identifier*. Zadaje se klasa *MD\_Identifier<<DataType>>* kod

ili *RS\_Identifier<<DataType>>* kod, prostor koda i verzija. Prilikom zadavanja metapodataka NIPP-a za koordinatni referentni sustav zadaje se: kod (npr. 001), prostor koda (hr:nipp:crs) i verzija prostora koda (1.0). U Hećimović (2013) je dan inicijalni popis koordinatnih referentnih sustava NIPP-a. Prilikom dokumentiranja koordinatnog referentnog sustava NIPP-a koriste se kodovi iz Specifikacije metapodataka NIPP-a (Hećimović 2013). Međutim, ukoliko se koordinatni referentni sustav u kojem su prostorni podaci ne nalazi na popisu, urednik metapodataka unosi novu vrijednost kao slobodan tekst prilikom specificiranja metapodataka za svoj izvor prostornih podataka.

Da bi se metapodaci NIPP-a mogli povezati s ISO metapodacima napravljeno je mapiranje između ISO i NIPP metapodataka. ISO ima element metapodataka za koordinatne referente sustave “[187] referenceSystemIdentifier” i on je ekvivalentan s NIPP elementom metapodataka.

Oznaka složenog referentnog sustava	Položajni referentni sustav	Visinski referentni sustav
HTRS96/GRS80 2D + HVRS71	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 na GRS80 elipsoidu	Hrvatski visinski referentni sustav 1971
HTRS96/TM + HVRS71	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 poprečne Mercatorove projekcije	Hrvatski visinski referentni sustav 1971
HTRS96/TM + HVRS1875	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 poprečne Mercatorove projekcije	Hrvatski visinski referentni sustav 1875
HTRS96/TM + HTRS96/GRS80 1D	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 poprečne Mercatorove projekcije	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 na GRS80 elipsoidu
HDKS1901/Bessel1841 2D + HVRS71	Hrvatski državni koordinatni sustav u Gauss-Krügerovoj projekciji	Hrvatski visinski referentni sustav 1971
HDKS1901/Bessel1841 2D + HVRS1875	Hrvatski državni koordinatni sustav u Gauss-Krügerovoj projekciji	Hrvatski visinski referentni sustav 1875
HDKS1901/GK + HVRS1875	Hrvatski državni koordinatni sustav u Gauss-Krügerovoj projekciji	Hrvatski visinski referentni sustav 1875
HDKS1901/GK + HVRS71	Hrvatski državni koordinatni sustav u Gauss-Krügerovoj projekciji	Hrvatski visinski referentni sustav 1971
HDKS1901/GK + HDKS1901/Bessel1841 1D	Hrvatski državni koordinatni sustav u Gauss-Krügerovoj projekciji	Hrvatski državni koordinatni sustav na Besselovom elipsoidu

Tablica 3: Složeni koordinatni referentni sustavi NIPP-a (Hećimović, 2013)

#### 4. Popis koordinatnih referentnih sustava NIPP-a

U Specifikaciji metapodataka NIPP-a (Hećimović 2013) dan je popis koordinatnih referentnih sustava koji sadrži ukupno 70 koordinatnih referentnih sustava. Dani su referentni sustavi koji se koriste na teritoriju Hrvatske, EU-a i međunarodni. U tablici 2 su dani najvažniji koordinatni referentni sustavi u Hrvatskoj.

Osim navedenih referentnih sustava, u praksi se vrlo često koriste složeni referentni sustavi. Tako su na primjer podaci službenih topografskih karata Republike Hrvatske u mjerilu 1:25 000 (TK25) polo-

žajno predstavljeni u HTRS96/TM, a visinski u HVRS71 sustavu (Bosiljevac, 2009). Također, INSPIRE preporuke za prikaz prostornih podataka putem mrežnih usluga ekološke mreže Natura 2000 (Grgić i Varga, 2013).

Složeni referentni sustavi samo su djelomično zastupljeni u EPSG-u, a isti nisu razrađeni ni za druge države svijeta. Kako bi se postigla interoperabilnost te omogućila veća upotrebljivost već prikupljenih podataka od velikog je značaja jednoznačno definiranje takvih sustava. Stoga je za definiranje u okviru EPSG-a potrebno predložiti više hrvatskih složenih referentnih sustava. Tablica 3 prikazuje složene referentne sustave koje je potrebno defini-

rati za Republiku Hrvatsku.

### 5. Zadavanje složenog koordinatnog referentnog sustava HTRS96-TM / HVRS71

Složeni položajni i visinski novi koordinatni referentni sustav HTRS96-TM/HVRS71 definira osnovu u kojoj trebaju biti prikazani službeni prostorni podaci Hrvatske. Složeni HTRS96-TM/HVRS71 koordinatni referentni sustav je definiran u *Well-Known Text* (WKT) formatu s obzirom na EPSG zahtjeve.

Definiranje složenih koordinatnih referentnih sustava u sklopu EPSG sustava se gotovo ne provodi. U EPSG bazi koordinatnih referentnih sustava definirano je svega nekoliko složenih koordinatnih referentnih sustava; npr. EPSG:7409 složeni referentni sustav koji objedinjuje Europski terestrički referentni sustav 1989 i Europski visinski referentni okvir. Razlog je što transformacije složenih koordinatnih referentnih sustava nisu podržane kroz razvojna okruženja kao što je GeoServer i dr.

```

COMPD_CS["HTRS96 / Croatia TM + HVRS71 height",
  GEOGCS["HTRS96",
    DATUM["ETRS89",
      SPHEROID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
        AUTHORITY["EPSG","7019"]],
      TOWGS84[0,0,0,0,0,0],
        AUTHORITY["EPSG","6761"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.01745329251994328,
      AUTHORITY["EPSG","9122"]],
    AUTHORITY["EPSG","4761"]],
    UNIT["metre",1,
      AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    PROJECTION["Transverse_Mercator"],
    PARAMETER["latitude_of_origin",0],
    PARAMETER["central_meridian",16.5],
    PARAMETER["scale_factor",0.9999],
    PARAMETER["false_easting",500000],
    PARAMETER["false_northing",0],
    AUTHORITY["EPSG","3765"]],
    AXIS["Easting",EAST],
    AXIS["Northing",NORTH],
    VERT_CS["HVRS71 height",
      VERT_DATUM["Croatian Vertical Reference System 1971",2005,
        AUTHORITY["EPSG","5207"]],
        UNIT["m",1.0],
        AXIS["Gravity-related height",UP],
        AUTHORITY["EPSG","5610"]],
      AUTHORITY["GRO","10001"]]
```

Slika 1: Definicija složenog referentnog sustava HTRS96-TM/HVRS71

## 6. Zaključak

Za korištenje prostornih podataka od fundamentalne je važnosti deklariranje korištenih koordinatnih referentnih sustava te operacija s njima. Da bi se taj problem mogao uspješno rješavati provodi se ISO, OGC te EPSG normiranje koje su usvojili i INSPIRE i NIPP.

U Hrvatskoj se koristi cijeli niz koordinatnih referentnih sustava te je ovoj problematici u sustavu NIPP-a posvećena posebna pažnja. Nacionalni profil metapodataka je proširen, u odnosu na INSPIRE, za element metapodataka koordinatni referentni sustav u skladu s ISO normama.

U složenim koordinatnim referentnim sustavima su dani geoprostorni podaci kako na pan-europskoj tako i na nacionalnim razinama. U ovom radu definirani složeni koordinatni referenti sustav HTRS96-TM/HVRS71 s obzirom na EPSG zahtjeve daje uvid kako definirati složeni koordinatni sustav. Iako EPSG podržava mrežne usluge i dalje se javlja problem automatske transformacije između složenih koordinatnih sustava jer razvojna okruženja kao što je GeoServer ne podržavaju transformacije između složenih koordinatnih referentnih sustava.

## Literatura

- Bosiljevac, M. (2009): Implementacija novih službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija RH. 1. CROPOS konferencija, Zbornik radova, 139-152, Hrvatsko geodetsko društvo, Državna geodetska uprava, Zagreb, 2009.
- Grgić, M., Varga, M. (2013): Uspostava ekološke mreže Natura 2000 i uloga INSPIRE direktive. Ekscentar, br. 16, pp. 54-57, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb, 2013.
- Hećimović, Ž. (2013): Specifikacija metapodataka Nacionalne infrastrukture prostornih podataka Hrvatske, verzija 2.0. Državna geodetska uprava, Zagreb, 2013.
- INSPIRE (2009): INSPIRE Specification on Coordinate Reference Systems – Guidelines, D2.8.I.1, INSPIRE Thematic Working Group Coordinate Reference Systems and Geographical Grid Systems, 2009.
- INSPIRE (2011): Technical Guidance for the implementation of INSPIRE View Services, v.3.0. Initial Operating Capability Task Force Network Services, 2011.
- ISO/TC 211 19111 (2004): Geographic information – Spatial referencing by coordinates, ISO/DIS 19111.
- OGP (2012): Using the EPSG Geodetic Parameter Dataset, Surveying and Positioning Guidance Note Number 7, part 1. OGP Publication 373-7-1, London, UK, 2012.
- OGC (2001): Coordinate Transformation Services, Revision 1.00, OpenGIS Project Document 01-009
- URL 1: <http://www.epsg-registry.org/>
- URL 2: <http://www.epsg.org>

**Abstract:**

*Infrastructure for Spatial Information (INSPIRE) and the National Spatial Data Infrastructure (NSDI) norm the use of spatial data services in Croatia and the EU. INSPIRE and NSDI using Open Geospatial Consortium (OGC) and ISO/TC211 standards for the exchange of spatial data through network services. They are related to the European Petroleum Survey Group (EPSG) structured data on reference systems and coordinate transformation. In Croatia, the main terrestrial reference systems HDKS1901/GK, HTRS96/TM, WGS84/UTM, HVRS1875 and HVRS71. In addition to these basic reference systems there are a number of historical reference systems and reference systems for local areas. Also spatial data on Croatian territory express the pan-European positional (ETRS89-LatLonh, ETRS89-CC, ETRS89-XYZ, ETRS89-TMzn) and height (EVRF\_AMST/NH, EVRF\_AMST/CP, EVRF2007\_AMST/NH, EVRF2007\_AMST/CP) and international (WGS84, ITRFYY) reference systems. In addition to these basic sets of reference systems, we should take into account that the data is very often used in compound coordinate reference systems. Thus, for example map data of the TK25 are positionally represented in HTRS96/TM and heights in HVRS71 system. With this paper authors wanted to give an overview of possible solutions and the use of reference coordinate system for the exchange of spatial data with regard to INSPIRE, NSDI, OGC, ISO/TC211 and EPSG criteria on Croatian territory. It is one of the basic requirements of interoperability of spatial data.*

**Referent systems considering spatial data services**

**Keywords:**  
**INSPIRE, NSDI, referent systems, service**

# Ispitivanje točnosti VPPS usluge CROPOS-a

Ivan Jakopec<sup>1</sup>, Danijel Šugar<sup>2</sup>, Željko Bačić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, ijakopec@geof.hr

<sup>2</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, dsugar@geof.hr

<sup>3</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, zbacic@geof.hr

## Sažetak:

Danas najkorištenija GNSS metoda određivanja položaja točaka u Hrvatskoj je kinematika u realnom vremenu (Real Time Kinematik – RTK) uz korištenje VPPS CROPOS usluge. Poznato je da je ta metoda manje točna od metode naknadne statičke obrade podataka opažanja uz korištenje GPPS CROPOS usluge. Ovim radom želi se potvrditi jesu li koordinate točaka određene VPPS CROPOS uslugom uistinu unutar deklariranih granica točnosti CROPOS sustava za korištenju uslugu te s kojom pouzdanošću se to postiže. U tome kontekstu provedena su testiranja CROPOS sustava usporednom koordinata točaka određenih opažanjem samo GPS satelita i određenih kombiniranim opažanjem GPS i GLONASS satelita pomoću VPPS CROPOS usluge s koordinatama točaka određenih pomoću GPPS CROPOS usluge, koje su korištene kao referentne (kontrolne) točke. Za potrebe testiranja utjecaja promjene elevacijske maske i testiranja promjene broja korištenih GPS ili GPS i GLONASS satelita za dobivanje koordinata točaka, provedena je usporedba koordinata točaka dobivenih naknadnom kinematičkom obradom (Post Processed Kinematic – PPK) s koordinatama točaka određenih statičkom relativnom metodom pomoću GPPS CROPOS usluge, koje su također korištene kao referentne (kontrolne) točke.

## Ključne riječi:

CROPOS GPPS,

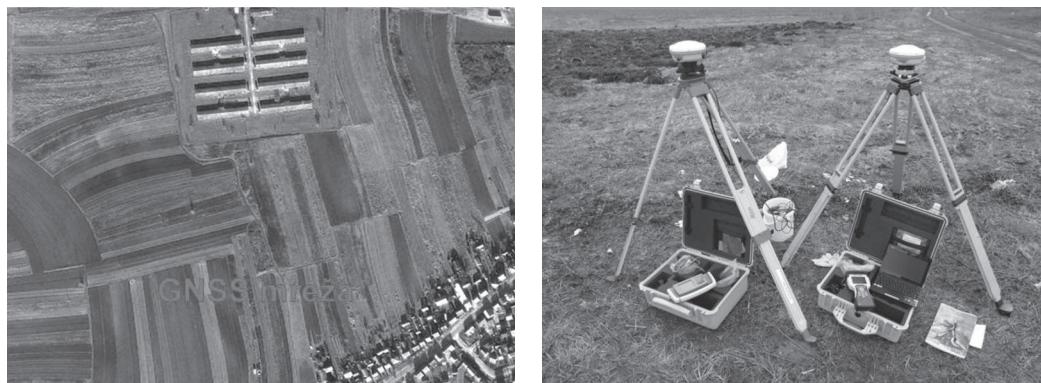
CROPOS VPPS, GPS,

GLONASS, PPK, RTK

## 1. Uvod

Od uspostave CROPOS-a 9. prosinca 2008. godine broj njegovih korisnika konstantno raste. Tako je danas, nakon četiri i pol godine rada sustava registrirano 568 tvrtki unutar kojih broj korisničkih imena iznosi 1413, od čega njih 778 koriste VPPS CROPOS uslugu, njih 20 koristi DPS CROPOS uslugu te njih 615 GPPS CROPOS uslugu (URL 1). Neupitno je da se u Hrvatskoj većina ovlaštenih geodetskih tvrtki odlučuje na određivanje položaja pomoću usluga koje nudi CROPOS. Međutim, još uvijek su otvorena brojna pitanja vezana za GNSS izmjeru: koliko vre-

menski treba opažati, kako treba opažati te u koliko ponavljanja treba opažati ne bi li se dobili zadovoljavajući rezultati. Da bi se moglo odgovoriti na postavljena pitanja, potrebno je kontinuirano pratiti performanse GNSS-a, jer su vremenski promjenjive s obzirom na čitav niz faktora kao što su konstelacija satelita (elevacija i azimut signala satelita), broj korištenih sustava (GPS, GLONASS, Galileo, ...), stanje interferencija i smetnji elektromagnetskih valova, itd. Metoda opažanja koja je najzastupljenija je kinematika u realnom vremenu (Real Time Kinematik – RTK) uz korištenje VPPS CROPOS usluge. Poznato je da je ta metoda



Slika 1: Lokacija GNSS mreže (lijevo) i GNSS uređaji na točkama mreže (desno).

manje točna od metode naknadne statičke obrade podataka opažanja uz korištenje GPPS CROPOS usluge. S aspekta točnosti mjerena, za katastarske i druge precizne primjene, nije važno samo postići li se pokazateljima točnosti položajna i visinska točnost unutar  $\pm$  centimetra, odnosno  $\pm$  4 centimetra, što su ujedno i deklarirane točnosti VPPS CROPOS usluge, već je jednako važno koliko je pouzdano određivanje položaja, odnosno visine tom metodom. Drugim riječima, postavlja se pitanje jesu li koordinate točaka određene VPPS CROPOS uslугom uistinu unutar deklariranih granica točnosti te s kojom pouzdanošću se to postiže. U tome kontekstu provedena su testiranja CROPOS-a usporedbom koordinata točaka određenih opažanjem samo GPS satelita odnosno kombiniranim opažanjem GPS i GLONASS satelita pomoću VPPS CROPOS usluge s koordinatama točaka određenih pomoću GPPS CROPOS usluge, koje su korištene kao referentne (kontrolne) točke. Za potrebe testiranja utjecaja promjene elevacijske maske i testiranja promjene broja korištenih GPS ili GPS i GLONASS satelita na dobivanje koordinata točaka, provedena je usporedba točaka dobivenih naknadnom kinematickom obradom podataka opažanja (*Post Processed Kinematic – PPK*) s koordinatama točaka određenih statičkom relativnom metodom pomoću GPPS CROPOS usluge, koje su također korištene kao referentne (kontrolne) točke.

## 2. Izvođenje GNSS mjerena

Za provedbu praktičnog dijela testiranja, na području Grada Varaždina uspostavljena je mreža GNSS točaka na kojoj su 6., 7. i 8. travnja 2013. godine obavljena terenska mjerena. Prilikom odabira lokacije novo-uspostavljene mreže pazilo se da se u blizini mreže ne nalaze objekti koji bi mogli uzrokovati smetnje prilikom opažanja (npr. reflektirajuće površine koje bi mogle uzrokovati *multipath* ili objekti koji zaklanjavaju signal satelita), odnosno tražila se lokacija sa što čšćim horizontom kako bi se moglo postići opažanje u kvazi-idealnim uvjetima. Tako uspostavljena mreža na kojoj je obavljeno opažanje sastojala se od već postojeće točke GPS mreže grada Varaždina te nove točke koja je stabilizirana plastičnom oznakom sa željeznom jezgrom neposredno u blizini GPS točke grada Varaždina (Slika 2).

Opažanja su obavljena s dva kompleta Trimble R8 GNSS uređaja posuđenih za tu svrhu od Središnjeg ureda Državne geodetske uprave. Da bi se rezultati dobiveni opažanjem samo GPS satelita na stajalištu „GPS“, odnosno GPS i GLONASS satelita na stajalištu „GPS+GLONASS“ mogli međusobno uspoređivati, vodilo se računa o tome da uvjeti opažanja budu isti (istovremeno opažanje istih satelita). To je postignuto postavljanjem dvaju prijemnika na dvije bliske točke (Slika 1, desno), na kojima je podešeno istovremeno pohranjivanje podataka opažanja za naknadnu sta-

Dat.	Trajanje sesije	Opažani sateliti		Elevacijska maska		Intervali registracije		RTCM korekcija	
		STAT	VPPS	STAT	VPPS	STAT	VPPS	STAT	VPPS
6. tra.	6:30	GPS+GLONASS		10°	15 s	1 s	-	RTCM 3.1	
7. tra.	8:30			10°	15 s	1 s	-	RTCM 3.1	
8. tra.	8:30			10°	15 s	1 s	-	RTCM 3.1	
6. tra.	6:30	GPS		10°	15 s	1 s	-	RTCM 3.1	
7. tra.	8:30			10°	15 s	1 s	-	RTCM 3.1	
8. tra.	8:30			10°	15 s	1 s	-	RTCM 3.1	

Tablica 1: Parametri opažanja GNSS uređaja na obje točke za sva tri dana mjerena

Dat.	GNSS točka	HTRS96/TM					GRS80	
		E [m]	s <sub>E</sub> [m]	N [m]	s <sub>N</sub> [m]	h [m]	s <sub>h</sub> [m]	
6. tra.	GPS+GLONAS	485589,282	0,000	5129057,027	0,000	218,458	0,000	
	GPS	485589,983	0,000	5129057,901	0,000	218,366	0,000	
7. tra.	GPS+GLONAS	485589,282	0,000	5129057,027	0,000	218,456	0,000	
	GPS	485589,980	0,000	5129057,903	0,000	218,364	0,000	
8. tra.	GPS+GLONAS	485589,283	0,000	5129057,026	0,000	218,459	0,000	
	GPS	485589,979	0,000	5129057,899	0,000	218,365	0,000	

Tablica 2: Referentne koordinate (kontrolnih) točaka po danima opažanja s pripadnim standardnim odstupanjima (HTRS96/TM, GRS80)

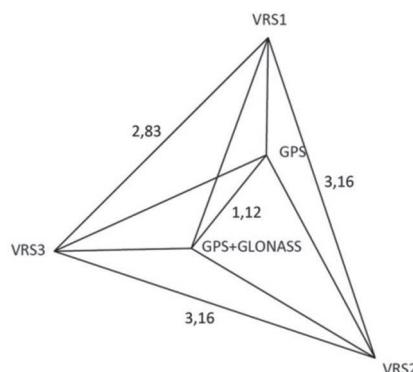
tičku obradu s ciljem dobivanja referentnih (kontrolnih) točaka pomoću GPPS CROPOS usluge i za naknadnu kinematičku obradu (PPK) te pohranjivanje koordinata točaka određenih metodom RTK korištenjem VPPS CROPOS usluge u realnome vremenu. Istovremenim opažanjem navedenih podataka na pojedinom GNSS uređaju postignuta je simulacija tzv. „antena splittera“.

### 3. Obrada GNSS podataka opažanja

Početna radnja pri obradi GNSS podataka opažanja bilo je određivanje referentnih koordinata (kontronih) točaka. Za naknadnu statičku relativnu obradu podataka opažanja pomoću GPPS CROPOS usluge preuzete

su sa stranice CROPOS GNSS SERVER (URL 2) generirane datoteke opažanja u RINEX 2.11 formatu za tri VRS (*Virtual Reference Station*) stanice u okolini točaka na kojima su obavljena opažanja dana 6., 7. i 8. travnja 2013. (Slika 2). Navedene VRS stanice korištene su kao fiksne točke prilikom izjednačenja, odnosno dobivanja referentnih (kontrolnih) točaka. Program korišten za naknadnu obradu podataka opažanja (*post-processing*) bio je „Trimble Business Center v2.20“. U obradi su korištene precizne efemeride koje su preuzete s ruske web stranice (URL 3), čime je postignuta maksimalna točnost određivanja položaja točaka u svrhu konačnog dobivanja referentnih koordinata točaka.

Na temelju dobivenih referentnih koordinata točaka određene su vanjske ocjene točnosti točaka dobivenih metodom RTK korištenjem VPPS CROPOS usluge i točaka određenih naknadnom kinematičkom obradom podataka opažanja (PPK). Vremensko trajanje sesija opažanja uz upotrebu dvofrekventnih GNSS prijemnika iznosi 20 min + 2 min/km (Hofmann-Wellenhof i dr., 2007), što znači da je za računanje baznih vektora duljine oko 3 metra bilo potrebno 22 minute opažanja. Kako se radi o vrlo dugim sesijama opažanja (iznad 6 sati), standardna odstupanja koordinata točaka nakon izjednačenja bila su jednaka nuli, što potvrđuje da se korištenjem GPPS CROPOS usluge uistinu može postići deklarirana subcentimetarska točnost navedenog servisa. U razlikama dnevnih rješenja koordinate pojedinih točaka vjerojatno je sadržana pogreška centriranja i mjerena visine antene GNSS uređaja. Prema navedenim rezultatima, može se zaključiti da se točke određene GPPS CROPOS uslugom mogu koristiti kao referentne (kontrolne) točke za daljnja testiranja.



Slika 2: GNSS mreža s generiranim VRS stanicama i točkama na kojima su obavljena opažanja (duljine stranica prikazane su u metrima)

## 4. Rezultati testiranja i analiza

### 4.1 Računanje odstupanja točaka

Razlika koordinata mjerjenih točaka dobivenih korištenjem VPPS CROPOS usluge (**IMA**) te metodom PPK (**IMA**) s referentnim koordinatama (kontrolnih) točaka dobivenih korištenjem GPPS CROPOS usluge (**TREBA**) dobivena su odstupanja ( $\Delta E$ ,  $\Delta N$  i  $\Delta h$ ), odnosno vanjske točnosti mjerjenih točaka:

$$\text{ODSTUPANJE } (\Delta E, \Delta N, \Delta h) = \text{IMA } (E, N, h) - \text{TREBA } (E, N, h)$$

Na temelju izračunatih koordinatnih razlika  $\Delta E$ ,  $\Delta N$  i  $\Delta h$ , izračunata su ukupna položajna ( $\Delta EN$ ) i visinska ( $\Delta h$ ) odstupanja mjerjenih točaka na temelju sljedećih izraza:

$$\text{POL. ODSTUPANJE } (\Delta EN) = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2} ;$$

$$\text{VIS. ODSTUPANJE } (\Delta h) = \sqrt{\Delta h^2} .$$

### 4.2 Testiranje VPPS usluge CROPOS-a

Deklarirane točnosti VPPS CROPOS usluge u realnom vremenu su 2 centimetra položajno i 4 centimetra visinski. Budući da nije poznato s kojom pouzdanošću se navедena pozicioniranja ostvaruju, provedena su testiranja u svrhu određivanja postotka točaka koje ulaze unutar deklariranih granica točnosti korištenjem VPPS CROPOS usluge. Skupovi točaka koje su dobivene unutar dnevnih sesija opažanja na pojedinom stajalištu prikazani su u sljedećoj tablici.

Dat.	Broj točaka na pojedinom stajalištu	
	GPS+GLONASS	GPS
6. tra.	22636	22171
7. tra.	28702	28048
8. tra.	26766	28595

Tablica 3: Broj dobivenih koordinata točaka (GPS, GPS+GLONASS) korištenjem VPPS CROPOS usluge za sva tri dana opažanja

#### 4.2.1 Rezultati obrade koordinata točaka određenih VPPS CROPOS uslugom

Postoci položajnih i visinskih odstupanja više puta mjerene iste točke na GPS, odnosno GPS+GLONASS stajalištu koje su ušle unutar deklariranih granica točnosti za sva tri dana opažanja prikazani su u tablici 4.

Prema rezultatima iz tablice 4 može se uočiti da se kombiniranim opažanjem GPS i GLONASS satelita postiže bolja položajna i visinska točnost nego li prilikom opažanja samo GPS satelita. Od ukupnog broja točaka za sva tri dana opažanja na GPS i GPS+GLONASS stajalištu postotak točaka koje su ušle unutar deklarirane položajne

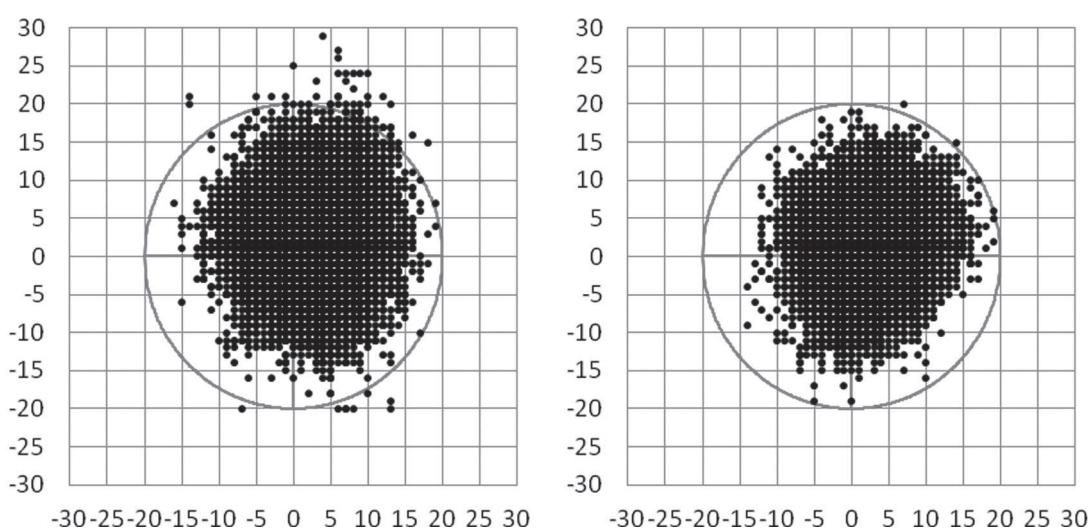
točnosti iznosi više od 99,8 % i više od 99,7 % koje su ušle unutar deklarirane visinske točnosti.

#### 4.2.2 Testiranje utjecaja DOP vrijednosti na odstupanja koordinata točaka određenih VPPS CROPOS uslugom

Kako se stalno postavlja pitanje što uzrokuje razlike u koordinatama iste mjerene točke, izračunali su se koeficijenti korelacije između DOP vrijednosti (HDOP, VDOP i PDOP), opažanog broja satelita i odstupanja koordinata ( $\Delta EN$ ,  $\Delta h$ ,  $\Delta ENh$ ) točaka na GPS i GPS+GLONASS stajalištima za sva tri dana opažanja. Općenito, može se reći da je

Dat.	Stajalište	< 2 cm (EN) [%]	< 4 cm (h) [%]	
6. tra.	GPS+GLONASS (22636)	99,99 %	Zajedno (78104): 99,92 %	99,84 %
7. tra.	GPS+GLONASS (28702)	99,98 %		99,84 %
8. tra.	GPS+GLONASS (26766)	99,80 %		99,64 %
6. tra.	GPS (22171)	99,69 %	Zajedno (78814): 99,82 %	99,99 %
7. tra.	GPS (28048)	99,98 %		99,83 %
8. tra.	GPS (28595)	99,76 %		99,41 %

Tablica 4: Pouzdanost određivanja položaja i visina točaka korištenjem VPPS CROPOS usluge



Slika 3: Položajna odstupanja [mm] više puta mjerene iste točke dobivena korištenjem VPPS CROPOS usluge od referentnih (kontrolnih) točka opažanjem samo GPS satelita (lijevo) i kombiniranim opažanjem GPS i GLONASS satelita (desno) za sva tri dana opažanja

Stajalište		$\Delta EN$	$\Delta h$	$\Delta ENh$	Br. satelita
GPS	<b>HDOP</b>	-0,09 - 0,01	-	-	-0,80 - -0,71
	<b>VDOP</b>	-	0,01 - 0,27	-	-0,66 - -0,61
	<b>PDOP</b>	-	-	-0,04 - 0,25	-0,72 - -0,70
	<b>Br. satelita</b>	0,01 - 0,11	-0,12 - -0,05	-0,11 - -0,01	-
GPS+ GLONASS	<b>HDOP</b>	-0,10 - 0,16	-	-	-0,95 - -0,90
	<b>VDOP</b>	-	-0,12 - 0,02	-	-0,75 - -0,51
	<b>PDOP</b>	-	-	-0,13 - 0,11	-0,85 - -0,74
	<b>Br. satelita</b>	-0,21 - 0,08	-0,15 - 0,05	-0,20 - 0,05	-
Korelacija	DOP $\leftrightarrow \Delta(EN, h, ENh)$	Br. satelita $\leftrightarrow \Delta(EN, h, ENh)$		DOP $\leftrightarrow$ Br.	
<b>r</b>	<b>-0,13 - 0,27</b>		<b>-0,21 - 0,11</b>		<b>-0,95 - -0,51</b>

Tablica 5: Koeficijenti korelacije ( $r$ ) između DOP vrijednosti, broja satelita i odstupanja točaka

korelacija dobra ako je koeficijent korelacije ( $r$ ) po apsolutnoj vrijednosti veći ili jednak 0.5, a slaba ako je koeficijent po apsolutnoj vrijednosti manji od 0.5 (Klak, 1982).

Prema rezultatima iz tablice 5 može se uočiti da postoji značajna korelacija između DOP vrijednosti i broja opažanih satelita, dok je korelacija između DOP vrijednosti i položajnih odnosno visinskih odstupanja vrlo slaba.

#### 4.3 Testiranje utjecaja promjene elevacijske maske na koordinate točaka

Danas je, prema podacima almanaha, u idealnim uvjetima u svakom trenutku na području Hrvatske vidljivo od 8 do 15 GPS i 7 do 11 GLONASS satelita, odnosno 16 do 25 satelita oba sustava. Međutim zbog prirodnih i umjetnih zapreka, odnosno optimiranja količine podataka koje treba obraditi, nije svejedno koja će se elevacijska maska koristiti pri izmjeri, jer postavljanje elevacijske maske prilikom GNSS izmjere ima značajan utjecaj na kvalitetu određivanja koordinata točaka. Testiranje utjecaja ele-

vacijske maske provedeno je naknadnom kinematičkom obradom opažanja (PPK) uz upotrebu *broadcast* efemerida te su svakih 15 sekundi (interval registracije) dobivena rješenja na stajalištima GPS i GPS+GLONASS za sva tri dana opažanja (Tablica 6). Za referentne točke odabrane su tri VRS stanice generirane GPPS CROPOS uslugom.

Prema rezultatima iz tablice 7 ukupan broj „float“ rješenja konstantno je manji u slučaju kombiniranog opažanja GPS i GLONASS satelita u odnosu na opažanje samo GPS satelita. Kako nam konfiguracija terena ne dopušta uvijek korištenje niskih elevacijskih maska, najčešće zbog mogućeg utje-

Dat.	Broj točaka na pojedinom stajalištu	
	GPS+GLONASS	GPS
6. tra.	1521	1442
7. tra.	2887	1906
8. tra.	1981	1990

Tablica 6: Ukupan broj koordinata točaka dobivenih metodom PPK

Elevacijska maska	„Float“ rješenja [%]		Rješenja izvan deklariranih granica točnosti [%]			
			< 2 cm (EN)		< 4 cm (h)	
	GPS	GPS+GLONASS	GPS	GPS+GLONASS	GPS	GPS+GLONASS
10°	0	0	0	0	0	0
15°	0	0	0 - 1	0	0	0
20°	0	0	1 - 3	0 - 2	0 - 1	0
25°	0 - 3	0	2 - 6	0 - 3	0 - 2	0 - 1
30°	8 - 20	0	5 - 12	0 - 5	4 - 8	1 - 5
35°	57 - 64	14 - 24	8 - 10	9 - 21	6 - 16	8 - 17
40°	82 - 88	35 - 66	1 - 5	4 - 15	12 - 21	10 - 16
45°	94 - 96	74 - 80	1 - 11	1 - 27	15 - 37	18 - 25
50°	100	98 - 99	0	0	0	0 - 15
55°	100	100	0	0	0	0

Tablica 7: Rasponi postotaka „float (plivajućih)“ rješenja te rješenja izvan deklariranih granica točnosti prilikom podizanja elevacijske maske za sva tri dana opažanja

caja multipatha, može se zaključiti da je gornja granica podizanja elevacijske maske 25° budući da je još uvijek moguće odrediti položaj svih točaka sa zadovoljavajućim kriterijima položajne i visinske točnosti.

#### 4.4 Testiranje utjecaja promjene broja opažanih satelita na koordinate točaka

Ovim testiranjem željelo se provjeriti kako ukupan broj opažanih satelita (neovisno od elevacijske maske) utječe na točnost određenih koordinata mjerjenih točaka. Testiranje je provedeno pomoću naknadne kinematičke obrade podataka opažanja (PPK) uz upotrebu *broadcast* efemerida te su svakih 15 sekundi (interval registracije) dobivena rješenja na stajalištima GPS i GPS+GLONASS za sva tri dana opažanja (Tablica 8). Za referentne (bazne) točke odabrane su tri VRS stanice generirane korištenjem GPPS CROPOS usluge. U svakom koraku iteracije provodilo se računanje rješenja isključivanjem po jednog GPS i jednog GLONASS satelita prema kriteriju duljine trajanja njihove vidljivosti. Iteracije su se provodile toliko dugo dok nije počelo

dolaziti do gubitka rješenja.

Prema rezultatima iz tablice 9 mogu se uočiti smanjena položajna i visinska standardna odstupanja pri zajedničkom opažanju GPS i GLONASS satelita. Prvenstveni razlog tome je veći broj mjerjenih pseudoudaljenosti, tj. veći broj prekobrojnih mjerena.

Dat.	Broj točaka na pojedinom stajalištu	
	GPS+GLONASS	GPS
6. tra.	1521	1442
7. tra.	1933	1906
8. tra.	1981	1990

Tablica 8: Ukupan broj koordinata točaka dobivenih metodom PPK

		6. travanj						7. travanj						8. travanj							
Iteracija		I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	VII	I	II	III	IV	V	VI	VII
GPS		20	19	18	17	16	15	21	20	19	18	17	16	15	21	20	19	18	17	16	15
GLONASS		18	17	16	15	14	13	20	19	18	17	16	15	14	18	17	16	15	14	13	12
$\sigma_{\text{EN}}$ [mm]	G	4	5	5	5	6	6	3	4	4	4	5	5	6	4	4	5	5	5	5	6
	G+GL	3	4	4	4	5	5	3	3	3	4	4	4	4	2	2	2	2	3	3	3
$\sigma_h$ [mm]	G	6	8	9	10	12	12	7	7	7	7	8	7	8	7	8	9	10	10	12	13
	G+GL	6	8	8	11	11	11	6	7	7	7	7	7	7	4	4	4	5	5	5	5

Tablica 9: Standardna odstupanja skupa točaka prilikom promjene korištenog broja satelita

NAPOMENA: Navedeni brojevi korištenih satelita ne odnose se na trenutnu epohu opažanja, već se oni odnose na ukupan broj opažanih satelita tijekom cijele sesije

## 5. Zaključak

Opažanjem GPS satelita postotak koordinata točaka koje su ušle unutar 2 centimetra položajne točnosti iznosi više od 99,6% te više od 99,4% koje su ušle unutar 4 centimetra visinske točnosti. Kombiniranim opažanjem GPS i GLONASS satelita postotak točaka koje su ušle unutar 2 centimetra položajne točnosti iznosi više od 99,8% te više od 99,6% koje su ušle unutar 4 centimetra visinske točnosti. Stoga se može tvrditi da je opažanjem GPS ili GPS i GLONASS satelita moguće odrediti 3D položaj točke u svakom trenutku unutar 5 centimetara. Rezultati su dobiveni na temelju opažanja u kvazi-idealnim uvjetima što nije uvijek slučaj kod uobičajene primjene VPPS CROPOS usluge u geodetskoj praksi prilikom snimanja detaljnih točaka. Dobivene varijacije koordinata prilikom više puta mjerene iste točke nisu prvenstveno uzrokovane geometrijom satelita, što se može potvrditi na temelju izrazito malenih koeficijenata korelacije s DOP vrijednostima. Vjerojatno do varijacija koordinata dolazi zbog varijacija faznog centra antene uređaja te utje-

caja atmosfere (ovisni o elevaciji i azimutu opažanog satelita). Povećavanjem elevacijske maske iznad  $25^\circ$  uz opažanje isključivo GPS satelita dolazi do nemogućnosti određivanja položaja nekolicine točaka. Kombiniranim opažanjem GPS i GLONASS satelita gornja granica do koje se podigla elevacijska maska, bez da dođe do nemogućnosti određivanja položaja točaka, iznosi  $30^\circ$ . Testiranje je također pokazalo da je uz GPS satelite poželjno opažati i GLONASS satelite ne bi li se postigao veći broj prekobrojnih mjerena što dovodi do veće preciznosti i točnosti određivanja položaja točaka. U konačnici, može se zaključiti da je moguće postići visoku točnost i preciznost, kako položajnog, tako i visinskog pozicioniranja točaka metodom RTK uz upotrebu VPPS CROPOS usluge, prvenstveno zbog velikog broja vidljivih GPS i GLONASS satelita i sve većeg broja odašiljanih signala sa satelita (civilni kodovi i frekvencije). U skoroj budućnosti, prilikom uspostave 3G GNSS sustava, još će se točnije i preciznije, uz znatno kraće vrijeme inicijalizacije, moći odrediti položaji točaka nego li je to moguće danas.

ZAHVALA. Autori zahvaljuju Državnoj geodetskoj upravi na posudbi GNSS uređaja i omogućavanju korištenja VPPS i GPPS usluga CROPOS-a.

---

## Literatura

- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. (2007): GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more, Springer, Wien, New York.
  - Klak, S. (1982): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja. Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Zagreb.
  - URL 1: [http://www.cropos.hr/images/3.\\_CROPOS\\_konferencija\\_-\\_Prva\\_obavijest.pdf](http://www.cropos.hr/images/3._CROPOS_konferencija_-_Prva_obavijest.pdf)
  - URL 2: <http://195.29.118.122/default.aspx>
  - URL 3: <http://glonass-iac.ru/en/>
- 

**Abstract:**

Today, the most used GNSS method for positioning in Croatia is the Real Time Kinematic within the VPPS CROPOS services. It is known that this method is less accurate than the post-processed static relative method within the GPPS CROPOS service. The aim of this article was to confirm whether the point coordinates determined by the VPPS CROPOS service were indeed within the declared accuracy limits and which was the achieved reliability. In that context the testing of CROPOS system was carried out by comparing the point coordinates determined by the observation of the GPS satellites only and determined by observation of the GPS and GLONASS satellites within the VPPS CROPOS service with the point coordinates determined by means of GPPS CROPOS service, which were used as referent (control) points. The influence of the elevation mask change and change of the number of used GPS or GPS and GLONASS satellites on the determination of the stations coordinates was tested by the comparison of the coordinates obtained by the Post Processed Kinematic method and those obtained by static relative positioning within the GPPS CROPOS service.

**Testing  
accuracy of  
CROPOS VPPS  
service**

**Keywords:**  
**CROPOS GPPS,  
CROPOS VPPS, GPS,  
GLONASS, PPK, RTK**

# Ispitivanje CROPOS sustava

Damir Šantek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Državna geodetska uprava, Područni ured za katastar Sisak, Odjel za katastar nekretnina Glina, 44400 Glina, Trg bana Josipa Jelačića 3, damir.santek@dgu.hr

## Sažetak:

*U radu je opisano ispitivanje CROPOS sustava s obzirom na točnost sustava u „idealnim uvjetima“, vremenski interval potrebnog pro-sječnog mjerjenja, vremenski razmak između dva mjerena te indi-kator kvalitete koordinata (RMS). Analiza je pokazala da „standar-dni“ pokazatelji kvalitete i kvantitete opažanja (broj satelita, PDOP i RMS) sami nisu dostatni za izvođenje zaključka da li su rezultati mjerena unutar proklamirane točnosti, odnosno da postoje situacije u kojima su ti pokazatelji zadovoljavajući, a rezultat nije. Stoga su provedene daljnje analize pri čemu je ispitivan vremenski interval fiksiranja rješenja u odnosu na zadano vrijeme opažanja. Analiza je pokazala da je postotak rješenja koja ne zadovoljavaju postavljeni kriterij točnosti u korelaciji s razlikom vremena fiksiranja rje-šenja u odnosu na zadani interval opažanja. Ukoliko su navedene razlike manje od 5 sekundi postotak rješenja koja ne zadovoljavaju postavljeni kriterij točnosti kreće se oko 5%. Također je vidljivo da je moguće smanjiti potrebu za obavljanje duplih (ponovnih) mjerena ako se uzmu u obzir svi parametri koji definiraju kvalitetu točnosti mjerena (PDOP, RMS, broj satelita, vremenski interval opažanja i dr.). Rezultati ukazuju da je u ovisnosti od karaktera mjerena, uz prihvaćanje praga signifikantnosti od 5%, moguće izbaciti ponov-ljena mjerena na istoj točki nakon određenog vremenskog razmaka ukoliko su kriteriji prihvaćanja navedena četiri pokazatelja zado-voljena. Navedene hipoteze dodatno će se ispitati kako bi se moglo dokazati.*

## Ključne riječi:

CROPOS, PDOP,  
pouzdanost, RMS,  
točnost

## 1. Uvod

CROPOS (Hrvatski pozicijski sustav) je državna mreža referentnih GNSS stanica Republike Hrvatske. Svrha sustava CROPOS je omogućiti određivanje položaja u realnom vremenu s točnošću od  $\pm 2$  cm u hori-zontalnom smislu te  $\pm 4$  cm u vertikalnom smislu na čitavom području države uz 95% točnost. CROPOS sustav čini 30 referentnih GNSS stanica na prosječnoj međusobnoj udaljenosti od 70 km raspoređenih tako da

prekrivaju cijelo područje Republike Hrvat-ske u svrhu prikupljanja podataka satelit-skih mjerena i računanja korekcijskih para-metara. Korekcijski parametri su dostupni korisnicima na terenu putem mobilnog Interneta (GPRS/GSM). Koordinate referen-tnih stanica izračunate su u ITRF2005 koor-dinatnom sustavu, epoha mjerena 2008.83 (GPS tjedan 1503) te zatim transformirane u ETRFOO (R05) sustav (ETRS89). Koordi-nate točaka određene pomoću CROPOS sustava u realnom vremenu ili naknadnom

obradom podataka mjerena iskazane su u ETRFoo (Ro5) sustavu (ETRS89).

Korisnicima su na raspolaganju tri servisa CROPOS sustava (DSP, VPPS i GPPS) koji se međusobno razlikuju po metodi rješenja, načinu prijenosa podataka i vremenu dostupnosti te točnosti određivanja položaja i formatu podataka (DGU 2009). Servise CROPOS sustava mogu koristiti svi registrirani korisnici koji su na temelju ugovora s Državnom geodetskom upravom dobili korisničko ime i lozinku za pristup sustavu. Za korištenje podataka korisnik plaća stvarne troškove pojedinih servisa CROPOS sustava sukladno Pravilniku o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka dokumentacije državne izmjere i katastra nekretnina (Republika Hrvatska 2008 i 2009).

## 2. CROPOS sustav

Svrha primjene VPPS-a (visokoprecizni servis pozicioniranja u realnom vremenu) je primjena u katastru, odnosno zadovoljavanje postavljenog kriterija točnosti za određivanje međnih/detaljnih točaka. Poznat je kriterij iz članka 23. Pravilnika o katastarskoj izmjeri i tehničkoj reambulaciji (Republika Hrvatska 2008) koji kaže da je dopušteno maksimalno odstupanje izmjerjenih položajnih koordinata lomnih točaka međa i drugih granica između dva neovisna mjerena od 0.2 m na zemljишtu u građevinskom području i građevinskom zemljишtu izvan građevinskog područja, odnosno 0.4 m za ostalo zemljишte. Unutar granica građevinskog područja naselja koja su sjedišta velikih gradova, kao i unutar građevinskog područja naselja koja su u zaštićenom obalnom području, dopušteno maksimalno odstupanje izmjerjenih položajnih koordinata lomnih točaka međa i drugih granica između dva neovisna mjerena je 0.1 m. U tom kontekstu je neupitno da uz 95% ( $\gamma_0$ ) vjerojatnost, kriteriji točnosti koji su postavljeni za CROPOS sustav za određivanje položaja u realnom vremenu s točnošću od  $\pm 2$  cm u horizontalnom smislu te  $\pm 4$  cm

u vertikalnom smislu na čitavom području države, trebaju zadovoljiti taj zahtjev.

Obzirom da je pitanje specifikacija primjene GNSS tehnologije putem CROPOS sustava ključno za pravilnu implementaciju GNSS u katastarskom sustavu to je u proteklom razdoblju učinjen poseban napor da se izrade Tehničke specifikacije za određivanje koordinata točaka u koordinatnom sustavu RH. Tehničke specifikacije su objavljene na službenim stranicama Državne geodetske uprave i stavljene u uporabu Odlukom ravnatelja Državne geodetske uprave od 10. listopada 2011. godine. Kasnije je odgođena primjena Tehničkih specifikacija za određivanje koordinata točaka u koordinatnom sustavu RH (odлуka ravnatelja Državne geodetske uprave od 10. veljače 2012. godine). Navedeno je kao takvo izazvalo značajne polemike pri čemu je jedan od temeljnih pitanja da li je potrebno provoditi dupla mjerena pri korištenju ove tehnologije u katastarske svrhe.

Temeljeno na iskustvima prethodnih radova provedena su daljnja sveobuhvatna istraživanja s ciljem ovisnosti ulaznih parametara i izlaznih pokazatelja rezultata mjerena u odnosu na postizanje zadane točnosti i iznalaženju kriterija prihvatljivosti odnosno odbacivanja rezultata s konačnim ciljem utvrđivanja da li je potrebno provoditi dupla mjerena ili ne.

## 3. Točnost sustava u idealnim uvjetima

U ovom poglavlju obavljeno je ispitivanje CROPOS sustava s obzirom na točnost sustava u „idealnim uvjetima”, vremenski interval potrebnog prosječnog mjerena, vremenski razmak između dva mjerena te utjecaj indikatora kvalitete koordinata (RMS).

Uređaj Trimble R8-2 (s/n:4831156151) bio je postavljen na stalnu točku geodetske osnove 48 sati. Ukupno je mjereno četiri dana u vremenskom razdoblju od 7.00 sati do 23.00 sata svakog dana. Svaki puni sat

obavljene su četiri vrste mjerena: mjerjenje u trajanju 5 sekundi, mjerjenje u trajanju 30 sekundi, mjerjenje u trajanju 90 sekundi i mjerjenje u trajanju 150 sekundi. Prilikom mjerjenja korišten je CROPOS servis VPPS za koji DGU jamči centimetarsku točnost (GNSS RTK metoda). Spomenuti servis je dovoljan za: katastarsku izmjeru, dio inženjerske geodezije, izmjeru državne granice, aerofotogrametriju i hidrografiju. Vremenski uvjeti su bili različiti (sunčano, kišno s vremenskom amplitudom od  $10^{\circ}$  C tijekom dana). Horizont je gotovo čist, reflektirajućih površina kao ni komunikacijskih vodova nema. Sva opažanja su obavljena u HTRS96 koordinatnom sustavu.

Prilikom mjerjenja prikazana su odstupanja po koordinatnim osima u centimetrima, vrijednost PDOP-a, broj satelita i vrijednost RMS-a. Sva mjerena obavljena su u sljedeće dane u tjednu:

- u nedjelju, 15. travnja 2012. godine, obavljano je mjerjenje u vremenskom razdoblju od 11.05 sati do 23.06 sati, svaki puni sat, u trajanju intervala od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi
- u ponedjeljak, 16. travnja 2012. godine, obavljano je mjerjenje u vremenskom

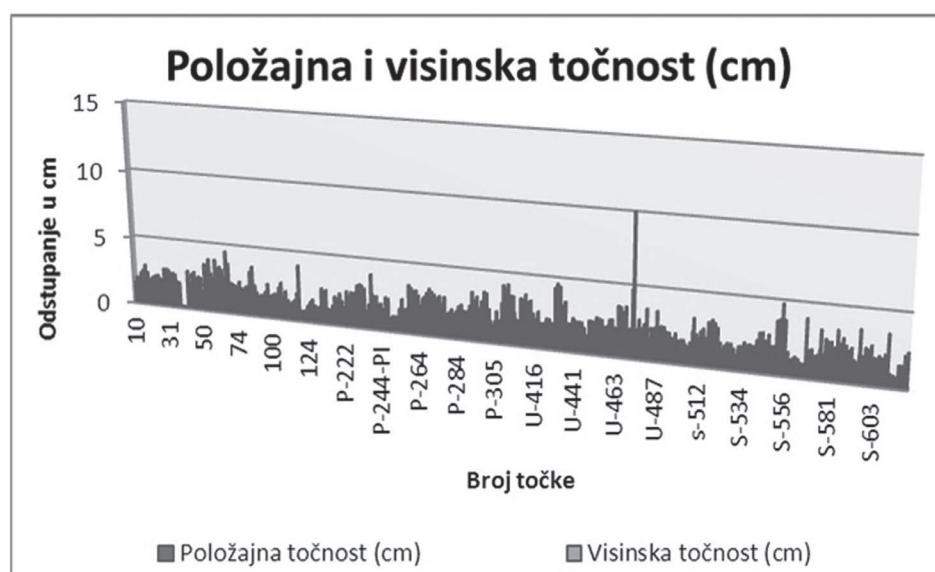
razdoblju od 07.04 sati do 19.22 sati, svaki puni sat, u trajanju intervala od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi

- u utorak, 17. travnja 2012. godine, obavljano je mjerjenje u vremenskom razdoblju od 07.01 sati do 19.38 sati, svaki puni sat, u trajanju intervala od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi
- u srijedu, 18.04.2012. godine, obavljano je mjerjenje u vremenskom razdoblju od 07.37 sati do 19.18 sati, svaki puni sat, u trajanju intervala od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi.

Točke koje su mjerene nedjeljom nemaju oznaku dana ispred imena točke, dok točke koje su mjerene ponedjeljkom imaju oznaku P ispred imena točke (npr. P-205), utorkom imaju oznaku U ispred imena točke (npr. U-400) te srijedom imaju oznaku S ispred imena točke (npr. S-513).

#### 4. Analiza rezultata ispitivanja CROPOS sustava

Na temelju podataka mjerjenja i izvršene ocjene točnosti uočene su primjetne razlike u rezultatima (koordinatama) tijekom mje-



Slika 1. Položajna i visinska točnost koordinata na pojedinoj točki

renja. Na slici 1 prikazano je kako se podaci referentnih standardnih odstupanja mjerenja mijenjaju tijekom proteka vremena. Važno je istaknuti nepouzdanost koordinata koja je najviše izražena u „h“ komponenti te se stoga može zaključiti kako GNSS RTK metoda, CROPOS sustavom (VPPS servis), nije pogodna za precizna visinska mjerena ili iskolčenja točaka.

Evidentno je da je daleko najveći raspon između minimalne i maksimalne vrijednosti popravke izražen u vertikalnoj komponenti (48,20 cm).

S obzirom na vremenski interval potrebnog prosječnog mjerena u ispitivanju su korištena četiri različite vrste mjerena: mjerenje u intervalu od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi. Iz prakse je poznato da svi vremenski intervali koji su duži od 30 sekundi na terenu prilikom RTK mjerenja izgledaju kao „vječnost“, usprkos tome što je kod „klasičnog“ mjerena potrebno centrirati instrument, upisati metapodatke i dr. Također, poznato je da dva mjerena s vremenskim razmakom od 30 sekundi za geometriju znače isto što i deset mjerena s vremenskim razmakom od 3 sekunde. Kod GPS-a sateliti se kreću brzinom od 4 km-s<sup>-1</sup>. Oni se svake 3 sekunde nalaze dalje 12 km, ali i 120 km između dva mjerena s vremenskim razmakom od 30 sekundi. Iz prevedenih ispitivanja u prethodnom poglavljiju

zaključuje se da vremenski interval mjerenja na točkama od 5 sekundi i 30 sekundi daju lošije rezultate.

Ako izuzmemo „h“ komponentu kod vremenskog intervala većeg od 30 sekundi vidi se „ujednačenost“ položajnih koordinata, nema velikih skokova i položajna točnost je unutar tri (3) cm. Dakle, možemo zaključiti s obzirom na provedena ispitivanja da mjerena koja imaju vremenski interval duži od 30 sekundi imaju ravnomjerniju krivulju položajnih koordinata, tj. mjerena su točnija.

Kako je prije navedeno, mjerena su obavljana u vremenskim intervalima u trajanju od 5 sekundi, 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi. Ukupno je obavljeno 317 mjerena tijekom četiri dana. Obzirom da su u uređaju bili zadani vremenski intervali mjerena, u tablici 1 su prikazana vremena potrebna za fiksiranje rješenja, grupirana u nekoliko grupe. Odstupanja su podijeljena u pet grupa. Prva grupa odstupanja obuhvaća ona mjerena u kojima je odstupanje od zadanog intervala bilo između -5 sekundi do -43 sekunde. Druga grupa odstupanja obuhvaća ona mjerena u kojima je odstupanje od zadanog intervala bilo između 0 sekundi do -5 sekundi. Treća grupa odstupanja obuhvaća ona mjerena u kojima nije bilo odstupanja u sekundama od zadanog vremenskog intervala. Četvrta

Ukupno opažanja	Ukupan broj opažanja	Postotak	Broj opažanja u grupi koji ne zadovoljavaju točnost	Postotak
Interval od -5 sekundi do -43 sekunde	7	2,21%	4	57,14%
Interval od 0 sekundi do -5 sekundi	230	72,56%	13	5,65%
Interval od 0 sekundi	31	9,78%	1	3,23%
Interval od 0 sekundi do 5 sekundi	41	12,93%	1	2,44%
Interval od 5 sekundi do 20 sekundi	8	2,52%	0	0,00%

Tablica 1. Grupiranje odstupanja pojedinih mjerena obzirom na zadani vremenski interval

Broj točke	Odstupanje (sekunde)	Položajna točnost (cm)	RMS
40	-23	11,66	54,583
41	-7	13,93	142,661
42	-10	11,05	98,405
P-260	-1	3,49	14,780
P-261	-1	3,29	15,369
P-262	-1	3,07	15,941
P-263	-1	3,13	23,946
U-403	-1	3,11	33,667
U-404	-1	3,04	24,893
U-475_PI	-15	4,79	?
S-516	0	3,07	21,733
S-570	-1	4,02	13,213

Tablica 2. Položajna točnost koordinata s obzirom na vremensko odstupanje od zadanog intervala mjerenja

grupa odstupanja obuhvaća ona mjerena u kojima je odstupanje od zadanog intervala bilo između o sekundi do 5 sekundi. Peta grupa odstupanja obuhvaća ona mjerena u kojima je odstupanje od zadanog intervala bilo između 5 sekundi do 20 sekundi. Dobiveni su podaci da se u odstupanjima u intervalu od -5 sekundi do 5 sekundi nalazi 95.27% svih mjerena. Najveće odstupanje od zadanog vremenskog intervala je -43 sekunde što znači da je mjerenje trajalo duže 43 sekunde u odnosu na zadani interval, dok kod odstupanja od 20 sekundi mjereno trajalo kraće 20 sekundi nego što je bio zadani interval.

Statistički gledajući iz uzorka u tablici 1 je vidljivo da se u intervalu od -5 sekundi do 5 sekundi nalazi 95.27% svih mjerena i iz te grupe mjerena 11.32% ne zadovoljavaju zadalu točnost. U ostalim intervalima koji su veći od 5 sekundi nalazi se 4.73% svih mjerena i iz te grupe mjerena 57.14% ne zadovoljavaju zadalu točnost.

Iz ovog se daje zaključiti da fokus treba

biti na onim mjerjenjima koja traju duže od zadano. S aspekta mjerena jednoznačno se na terenu može ovom posvetiti posebna pažnja i u tom kontekstu potrebno je razraditi upute za korištenje GNSS tehnologije. Također, možemo zaključiti, da ona mjerena koja zadovoljavaju kriterije anticipiramo kao točna s određenim pragom signifikantnosti. Ovakvim pristupom bilo bi moguće ponavljanje (dupla mjerena) mjerena drastično smanjiti, ali ne i eliminirati.

Vezano na položajnu točnost koordinata proizlazi da sva mjerena koja su imala odstupanja u intervalu veća od  $\pm 5$  sekundi imaju položajnu točnost manju od 3 cm (točke: 40 (-23 sekunde), 41 (-7 sekundi), 42 (-10 sekundi), U-475-PI (-15 sekundi)). Ove točke su imale povećanu vrijednost RMS-a (Tablica 2).

Za točke koje su imale odstupanja u intervalu unutar  $\pm 5$  sekundi, a imaju položajnu točnost manju od 3 cm (točke: P-260 (-1 sekunda) i S-570 (-1 sekunda)) karakterističan je broj satelita (broj satelita je 10). Za ove dvije točke došao je nagli pad satalita sa broja 15 na broj 10 što je u konačnici imalo utjecaj na kvalitetu koordinata.

Vezano na visinsku točnost koordinata proizlazi da sva mjerena koja su imala odstupanja u intervalu većem od  $\pm 5$  sekundi imaju visinsku točnost manju od 4 cm (točke: 40 (-23 sekunde), 41 (-7 sekundi), 42 (-10 sekundi), U-475-PI (-15 sekundi)). Ove točke su imale povećanu vrijednost RMS-a (Tablica 3).

Točke 64 (-1 sekunda) i S-555 (1 sekunda) nalazi se u grupi točaka sa odstupanjem unutar  $\pm 5$  sekundi te iz podataka mjerena promatranog uzorka nije vidljiv razlog visinske točnosti manji od 4 cm. Točke U-430 (-1 sekunda), U431 (-1 sekunda) i U-432 (-2 sekunde) nalazi se u grupi točaka sa odstupanjem unutar  $\pm 5$  sekundi te iz podataka mjerena promatranog uzorka razlog visinske točnosti manji od 4 cm je taj što vre-

Broj točke	Odstupanje (sekunde)	Visinska točnost (cm)	RMS
40	-23	34,67	54,583
41	-7	44,77	142,661
42	-10	33,67	98,405
64	-1	4,47	22,829
U-400	-2	4,07	32,579
U-402	-2	4,17	35,822
U-430	-1	4,27	45,690
U-431	-1	4,57	44,142
U-432	-2	4,37	42,948
U-475_Pl	-15	9,97	?
S-555	1	4,77	18,108

Tablica 3. Visinska točnost koordinata s obzirom na vremensko odstupanje od zadanog intervala

menski interval opažanja je bio 5 sekundi. Na ostalim vremenskim intervalima od 30 sekundi, 90 sekundi i 150 sekundi visinska točnost je unutar postavljene granice od 4 cm.

„Duplo mjerjenje“ (mjerjenje iste točke u dva različita vremenska intervala) je u geodetskoj praksi uobičajena procedura. Registriraju se grube pogreške, krivi odabir točke koja se mjeri, kontrolira se izmjerena visina antene, multipath i dr. Može se zaključiti da nije potrebno drugo kontrolno mjerjenje uz uvjet da su ispunjeni uvjeti iz teorije (PDOP, RMS, broj satelita i dr.). Iz rezultata mjerenja vidljivo je da broj satelita ni u jednom trenutku tijekom četiri dana nije bio manji od deset. Posebnu pažnju treba posvetiti RMS-u (Root Mean Square) koji daje grube procjene kvalitete koordinata. Manja vrijednost RMS-a daje bolju vrijednost koordinate. RMS ne isključuje vanjske utjecaje kao što su multipath, krivo centriranje i sl. Na temelju promatranog uzorka vidljivo je da je vrijednost RMS-a koja je bila veća od 80 imala utjecaj na položajnu točnost. Dalje, kod povećane vrijednosti PDOP-a (u promatranom uzorku maksimalna vrijednost je 2.9) vrijednost RMS-a je bila izrazito povećana. Iz promatranog je uzorka

također vidljivo da je kod minimalnog broja satelita (minimalna vrijednost u promatranom uzorku je 10) vrijednost RMS-a maksimalna. Vrijednost RMS daje grubu procjenu određivanja položaja i kao takav je dobar indikator za „izbacivanje“ loših mjerjenja.

Poznato je da je točnost određivanja koordinata točaka pomoću GNSS sustava ovisi o točnosti elemenata putanje satelita i mjernih veličina, ali isto tako i od konfiguracije satelita. Geometrijsko mjerilo za kvalitetu konfiguracije satelita je volumen tijela kojeg formiraju jedinični vektori sa stanice prema opažanim satelitima. Što je veći volumen, bolja je geometrija. Kriterij je PDOP (manji PDOP – bolja geometrija – veća točnost). Vrijednost PDOP-a je jako dobra ako se vrijednost kreće u intervalu od 1-3, dobra u intervalu 4-5, granična ako je 6 i nezadovoljavajuća veća od 6. Iz rezultata koji su prikazani vidljivo je da PDOP nije prelazio vrijednost 3 bez obzira što je mjerjenje trajalo ukupno četiri dana. Iz prikazanih rezultata mjerjenja daje se zaključiti da se kao granična vrijednost PDOP-a može uzeti vrijednost 3.

Umjesto zaključka proizlazi nekoliko činjenica. Na položajnu i visinsku točnost koor-

Broj točke	Odstupa-nje epohe (sekunde)	PDOP	RMS	Broj sate-lita	Položajna točnost (cm)	Visinska točnost (cm)
40	-23	2,9	54,583	10	11,66	34,67
41	-7	2,9	142,661	10	13,93	44,77
42	-10	2,9	98,405	10	11,05	33,67
U-400	-2	1,6	32,579	12	2,91	4,07
U-402	-2	1,6	35,822	12	2,92	4,17
U-475_PI	-15	1,7	?	14	4,79	9,97

Tablica 4. Položajna točnost manja od 3 cm i visinska točnost manja od 4 cm

dinata ima utjecaj vrijednost PDOP-a, broj satelita, broj epoha opažanja i RMS. Kao osnovni indikator kvalitete mjerena vrijednost RMS-a je bila najveća kod najveće vrijednosti PDOP-a, najmanjeg broja satelita i kod najmanjeg broja epoha mjerena. Stoga je potrebno prilikom mjerena kod korištenja GNSS uređaja (mjerena na terenu) sve ove parametre uzeti u obzir. Ako je vrijednost svih parametara u optimalnim (propisanim) teorijskim uvjetima možemo zaključiti da nije potrebno obavljati ponovno (duplo) kontrolno mjerena. Usprkos tome što GNSS uređaji pohranjuju podatke o točki, ako je neki od parametara van dozvoljene (teorijske) vrijednosti, potrebno je posebnu pažnju posvetiti kvaliteti dobivenih koordinata. Kao jedino moguće rješenje nameće se obvezno ponovna inicijalizacija i ponovno mjerena točke ako je neki od gore navedenih parametara tijekom mjerena „izašao“ van dozvoljenog odstupanja što je u konačnici jednostavnije, brže i efikasnije nego točku mjeriti nakon proteka dva sata ili na neki drugi način (Tablica 4).

Tablica 4 pokazuje da ako uzmemo u obzir sva četiri navedena pokazatelja kvalitete točnosti (epoha mjerena, PDOP, RMS i broj satelita) te usporedimo položajnu i visinsku točnost koordinata (usporedimo zajedno iz razloga što GNSS uređaji daju 3D koordinatu) vidljivo je iz promatranog uzorka da je ili položajna ili visinska točnost van dozvoljenog odstupanja ako je neki od navedena

četiri pokazatelja bio „van“ svojih teorijskih ili prije zadanih vrijednosti. Od ukupno 317 točaka koje su mjerene tijekom četiri dana svaki sat vremena u vremenskim razdobljima od 12 sati kao rezultat proizašlo je da jedna točka (U-475\_PI) nije imala vrijednost RMS-a, tri točke (40, 42, 42) su imale duže mjerena od zadanog (do -23 sekunde) te dvije točke su imale duže mjerena od 2 sekunde i povećani RMS i one se nalaze na granici dozvoljenog odstupanja.

## 5. Zaključak

Možemo zaključiti da samo kvalitetnom analizom podataka mjerena prilikom mjerena na terenu možemo sa sigurnošću reći koje se točke nalaze unutar dozvoljenih odstupanja i za koje nije potrebno ponovno mjerena te tako možemo postići efikasno i kvalitetno korištenje GNSS uređaja. Također, ovakvim pristupom bilo bi moguće ponavljanje (dupla mjerena) mjerena drastično smanjiti, ali ne i eliminirati. U doktorskoj disertaciji pod nazivom: „Primjena GNSS RTK u katastarskoj izmjeri uz povećanu preciznost i pouzdanost mjerena“ dati će se cjeloviti prikaz dobivenih rezultata sa zaključcima.

## Literatura

- Državna geodetska uprava (2009): CROPOS priručnik za korisnike, Državna geodetska uprava, Zagreb, 2009.
- Republika Hrvatska (2008): Pravilnik o katastarskoj izmjeri i tehničkoj reambulaciji, Narodne novine broj 147/08, Zagreb, 2008.
- Republika Hrvatska (2008 i 2009): Pravilnik o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka dokumentacije državne izmjere i katastra nekretnina, Narodne novine broj 148/08, 75/09, Zagreb, 2008 i 2009.

## **Abstract:**

The paper describes testing CROPOS system with considering to the accuracy of the "ideal conditions", the time interval required average measurement, span between two measurements and quality indicator coordinates (RMS). The analysis showed that the "standard" indicators of quality and quantity of observations (number of satellites, PDOP and RMS) alone are not sufficient for the conclusion that the results of measurements within proclaimed accuracy, that there are situations in which the data is satisfactory, and the result is not. Therefore, further analyzes were conducted with the studied time interval fixing solutions in relation to the specified time observations. The analysis showed that the percentage of solutions that do not meet the criterion of accuracy correlated with the difference of time fixing solutions in relation to the default interval observations. If these differences are less than 5 seconds, the percentage of solutions that do not meet the criterion of accuracy is around 5%. It is also evident that it is possible to reduce the need to perform double (repeated) measurements if we take into account all the parameters that define the quality of the measurement accuracy (PDOP, RMS, number of satellites, the time interval of observations, etc.). The results indicate that, depending on the nature of measurement, the acceptance threshold of significance of 5%, you can throw out repeated measurements at the same point after a period of time if the acceptance criteria listed four indicators met. This hypothesis will be further examined in order to be able to prove it.

## **Testing CROPOS system**

### **Keywords:**

**CROPOS, PDOP, reliability, RMS, accuracy**

# Utjecaj udaljenosti permanentnih stanica BiHPOS i CROPOS mreža na točnost statičkog GNSS mjerjenja

Igor Šarić<sup>1</sup>, Željko Bačić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> GeoModeling, Ilica 191 F, HR-10000 Zagreb, igors.zd@gmail.com

<sup>2</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, zbacic@geof.hr

## Sažetak:

*Uspostavom mreža permanentnih GNSS stanica u susjednoj Bosni i Hercegovini, zbog specifičnog oblika hrvatske mreže permanentnih GNSS stanica CROPOS, korisnicima CROPOS-a otvaraju se nove mogućnosti primjene GNSS tehnologije za sve vrste geodetskih mjerjenja. Udvostručeni broj permanentnih stanica, zajedno s rubnim stanicama slovenske, mađarske i crnogorske permanentne mreže predstavlja respektabilni sustav s više od 70 uređaja koji pružaju visoko kvalitetne servise korisnicima. U cilju sagledavanja mogućnosti zajedničkog korištenja CROPOS, SRPOS i FBiHPOS (dvije entitetske mreže u BiH) mreža provedeno je povezivanje (transformacija) i zajedničko izjednačenje permanentnih stanica te su dobiveni rezultati analizirani. Za testiranje su korišteni 24-satni podaci opažanja permanentnih stanica dana 7. travnja 2013. g. Ostvareni rezultati pokazali su visoku suglasnost rezultata izjednačenja s fiksnim koordinatama BiH mreža koje je izračunao IGN. Nastavno se, obzirom na veliki broj raspoloživih satelita GPS i GLONASS sustava koji omogućuju čitav niz kombinacija i pristupa obradi statičkih opažanja uz kvalitetne modele eliminacije utjecaja ionosfere i troposfere, otvara pitanje koliki je razmak permanentnih referentnih stanica danas optimalan. U tu surhu su, istovremeno na dvije testne točke 10-km GPS mreže RH, Crno pored Zadra i pored Varaždina, obavljena 12-satna opažanja s Trimble R8 GNSS uređajima. Navedena mjerjenja zajedno s opažanjima CROPOS i BiHPOS korištena su za testiranje CROPOS Geodetskog preciznog servisa pozicioniranja odnosno utjecaja udaljenosti referentnih stanica na ostvarivu preciznost i pouzdanost mjerjenja. Rezultati navedenih istraživanja prikazani su u ovom radu.*

**Ključne riječi:**  
**CROPOS, FBiHPOS,**  
**SRPOS, statičko**  
**opažanje**

## 1. Uvod

U cilju povećanja kvalitete pokrivenosti teritorija Hrvatske permanentnim stanicama CROPOS izmjenjuje podatke s mrežama u regiji, sa Slovenijom, Mađarskom i Crnom Gorom. U pripremi je također i razmjena podataka referentnih stanica s „najmlađom“ mrežom u regiji, BiHPOS stani-

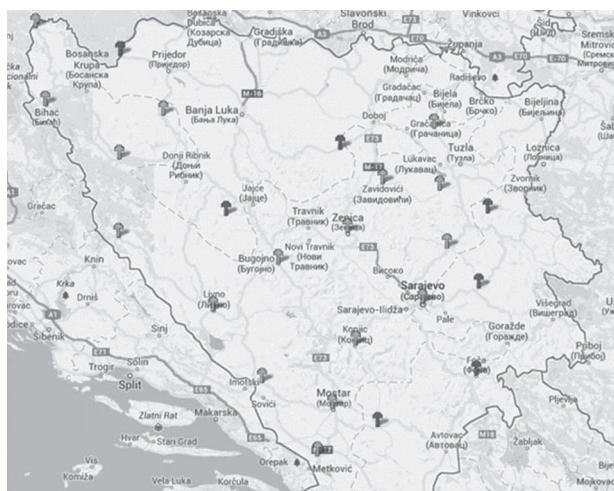
cama iz Bosne i Hercegovine, FBiHPOS-om i SRPOS-om.

CROPOS osigurava, kao i većina drugih nacionalnih permanentnih GNSS mreža tri servisa: Diferencijalni servis pozicioniranja u realnom vremenu (DSP), Visokoprecizni servis pozicioniranja u realnom vremenu (VPPS) i Geodetski precizni servis pozicio-

niranja (GPPS). Unatoč tome što se uspostavom CROPOS-a najviše koristi VPPS servis koji se temelji na metodi kinematičkog određivanja u realnom vremenu (RTK) za najpreciznije rade mora se koristiti GPPS servis, odnosno statička metoda pozicioniranja. Točnost statičke metode pozicioniranja, među ostalim, najviše ovisi o udaljenosti uređaja, odnosno referentnih stanica, kvaliteti uređaja i zbog specifičnog geografskog oblika Hrvatske dostupnosti pravilno raspoređenih referentnih stanica. U svrhu ispitivanja utjecaja navedenih faktora na točnost statičke metode pozicioniranja, u kontekstu skorog povezivanja CROPOS i BiHPOS permanentnih GNSS mreža, provedene su dvije vrste testiranja, ispitivanje povezivanja CROPOS-a i BiHPOS-a, te ispitivanje utjecaja udaljenosti CROPOS stanica na statička opažanja na temelju podataka referentnih stanica i 12h statičkog opažanja na dvije kontrolne točke. Obrada podataka i izjednačenje obavljeno je u Trimble Business Center-u (TBC).

## 2. BiHPOS mreža

U rujnu 2009. g. u okviru projekta „BiHPOS“ službeno su u rad puštene dvije permanentne GNSS mreže na području Bosne i Hercegovine, FBiHPOS na području Federacije BiH i SRPOS na području Republike Srpske. FBiHPOS je u nadležnosti Federalne uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove



Slika 1: FBiHPOS i SRPOS

sa sjedištem u Sarajevu, a SRPOS je u nadležnosti Republičke uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove sa sjedištem u Banja Luci. Svaka mreža se sastoji od 17 GNSS stanica koje su raspoređene tako da prekrivaju cijeli teritorij BiH. Mreže razmjenjuju podatke s 8 stanica radi geometrijski optimalnog oblika (Slika 1).

Stanice su opremljene najnovijom tehnologijom, spremnom za prijem signala svih sadašnjih i budućih satelitskih sustava, prijamnicima Leica GRX1200+GNSS (120 kanala, signali L<sub>1</sub>/L<sub>2</sub>/L<sub>5</sub> GPS, L<sub>1</sub>/L<sub>2</sub> GLONASS, E<sub>1</sub>/E<sub>5a</sub>/ E<sub>5b</sub>/ Alt-BOC – Galileo, Compass, 4 SBAS) i antenama Leica AR25 (Dorne-Margolin - 3D choke ring ground plane, GPS: L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>2c</sub>, L<sub>5</sub>, GLONASS: L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, Galileo: E<sub>2</sub>-L<sub>1</sub>-E<sub>1</sub>, E<sub>5a</sub>, E<sub>5b</sub>, E<sub>6</sub>, AltBOC, Compass: B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, L<sub>5</sub>, L-Band (SBAS, OmniSTAR and CDGPS)) (URL 1).

Korisnicima se pružaju tri servisa, u realnom vremenu RTK i DGPS te RINEX podaci za naknadnu obradu. Za kontrolu sustava, obradu podataka i distribuciju korekcija zadužena je tvrtka Leica Geosystems sa svojom „Spider“ tehnologijom.

### **3. Ispitivanje povezivanja CROPOS i BiHPOS mreža**

Uspostavom BiHPOS mreža i imajući u vidu potpisani Sporazum o suradnji na području



razmjene podataka stalnih GNSS stanica između Republike Hrvatske i Bosne i Hercegovine, odnosno zajedničkog korištenja CROPOS stanica sa stanicama FBiHPOS i SRPOS mreže provedeno je povezivanje i zajedničko izjednačenje permanentnih mreža te su dobiveni rezultati analizirani.

### 3.1 Prikupljanje podataka

Testiranje povezivanja CROPOS, FBiHPOS i SRPOS mreža provedeno je na temelju 24-satnih opažanja stanica za dan 7. travnja 2013. godine, 1735. GPS tjedan, odnosno 97. dan u godini. Podaci su preuzeti s web servera CROPOS-a, FBiHPOS-a, SRPOS-a (Šarić 2013) u RINEX (Receiver Independent Exchange Format) v2.11 formatu koji sadrži tri datoteke, GPS navigacijsku poruku (\*.n), GLONASS navigacijsku poruku (\*.g) i mjerene veličine (\*.o). Za CROPOS su prikupljeni podaci s 41 stanice, 30 CROPOS stanica i 11 susjednih stanica (SIGNAL 5, GNSSnet.hu 4 i MONTEPOS z stanice) koje nisu korištene u računanjima. Za FBiHPOS mrežu preuzeti su podaci svih 17 stanica,

dok su za SRPOS mrežu preuzeti podaci 16 stanica, bez stanice u Štekovićima koja iz nepoznatog razloga nije imala dovoljan broj registracija za navedeni dan. Podaci svih stanica preuzeti su s intervalom registracije od 15 sekundi.

### 3.2 Transformacije koordinata referentnih GNSS stanica

Nakon kontrole pojave cycle slip-ova, prije samog računanja vektora u TBC programskom paketu za obradu GNSS mjerjenja bilo je potrebno transformirati koordinate prema preporukama Tehničke radne grupe EUREF-a u najnoviju realizaciju ITRF okvira i u epohu opažanja, odnosno u ITRF2008 u epohi 2013,27. Koordinate stanica CROPOS mreže prikazane su u ETRFOO(R05) okviru, epohi 2008,83 (1503. GPS tjedan) (URL 2), a stanice FBiHPOS i SRPOS-a su prikazane u ETRFOO(R05) okviru, epohi 2011,31 (1631. GPS tjedan) (URL 1). Transformacije su izvršene uz pomoć EUREF-ovog ETRS89/ITRS transformacijskog on-line modula. Brzine gibanja točaka izračunate su iz modela

Stanica	Velika poluos [m]	Mala poluos [m]	Kut	Stanica	Velika poluos [m]	Mala poluos [m]	Kut
BJEL	0,003	0,002	166°	RIJE	0,003	0,003	9°
BLAT	0,002	0,002	170°	SENJ	0,002	0,002	174°
DELN	0,002	0,002	180°	SIBE	0,003	0,003	171°
GOSP	0,002	0,002	5°	SISA	0,002	0,002	2°
GRAC	0,002	0,002	7°	SLAT	0,002	0,002	2°
IMOT	0,002	0,002	176°	SLUN	0,002	0,002	5°
KARL	0,002	0,002	1°	SPLI	0,002	0,002	173°
MALI	0,002	0,002	173°	VALP	0,002	0,002	179°
METK	0,003	0,003	175°	VISO	0,002	0,002	174°
NASI	0,002	0,002	175°	ZABO	0,002	0,002	2°
NOVS	0,002	0,002	1°	ZADA	0,002	0,002	2°
POZE	0,002	0,002	172°	ZAGR	0,002	0,002	180°
PULA	0,003	0,002	174°	ZUPA	0,002	0,002	177°

Tablica 1: Elementi elipse, velika i mala poluos, kut rotacije - CROPOS

Stanica	Velika poluos	Mala poluos	Kut	Stanica	Velika poluos	Mala poluos	Kut
BANO	0,006	0,006	4°	OLOV	0,006	0,006	1°
BIHA	0,006	0,006	172°	POSU	0,006	0,006	4°
BOSG	0,006	0,006	171°	SANM	0,006	0,006	173°
BOSP	0,006	0,006	172°	SARA	0,006	0,006	4°
BUGO	0,006	0,006	175°	SREB	0,005	0,005	1°
CAPL	0,006	0,006	3°	VELK	0,005	0,005	176°
KONJ	0,006	0,006	179°	ZAVI	0,005	0,005	2°
LIVN	0,006	0,005	177°	ZENI	0,005	0,005	180°
MOST	0,006	0,006	1°				

Tablica 2: Elementi elipse, velika i mala poluos, kut rotacije

Stanica	$\Delta X$ [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta Z$ [m]	Stanica	$\Delta X$ [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta Z$ [m]
BANO	-0,004	-0,015	0,003	OLOV	0,003	-0,009	0,002
BIHA	-0,002	-0,001	-0,001	POSU	-0,030	-0,008	-0,008
BOSG	-0,009	0,004	0,001	SANM	-0,002	-0,003	-0,001
BOSP	-0,005	-0,006	0,002	SARA	-0,003	-0,013	0,004
BUGO	-0,003	-0,012	0,001	SREB	-0,004	-0,014	-0,001
CAPL	-0,016	-0,012	0,002	VELK	-0,001	0,002	-0,004
KONJ	-0,014	-0,015	-0,005	ZAVI	-0,007	-0,013	-0,002
LIVN	-0,008	-0,009	0,002	ZENI	-0,005	-0,012	-0,001
MOST	-0,015	-0,019	0,004				

Tablica 3: Razlika kartezijevih koordinata (IGN – TBC), FBiHPOS

gibanja litosfernih ploča „ITRF2000“ (Altamimi, Boucher i Sillard 2002) preko web stranice UNAVCO-a (University NAVstar COnsortium). Prilikom unošenja RINEX datoteka s podacima stanica trebalo je obratiti posebnu pozornost na tipove antena koje se nalaze na stanicama i koje je program prepoznao, kako ne bi došlo do krivih računanja korekcija do faznog centra antene. Nakon toga trebalo je promijeniti koordinate stanica u transformirane koordinate u ITRF2008, epohi 2013,27. Nakon toga preuzete su precizne efemeride s IGS-ove web stranice te se pristupilo obradi baznih linija i računanju vektora pri čemu su isključene sve zavisne (trivijalne) bazne linije. Prvo

je obrađena i izjednačena CROPOS mreža s 4 fiksne rubne stanice, Čakovec, Vukovar, Dubrovnik i Poreč. Provedenim izjednačenjem dobiveni su elementi elipse položajne nesigurnosti koje pokazuju unutarnju preciznost mreže, koja je, kako se vidi iz priloženog, na milimetarskoj razini (Tablica 1), odnosno znači da mreža posjeduje vrlo visoku preciznost.

Zatim je izračunata FBiHPOS mreža preko 3 fiksne CROPOS točke (Karlovac, Županja, Metković), bez zavisnih baznih linija te su izjednačenjem dobiveni sljedeći elementi elipse položajne nesigurnosti (Tablica 2), te su koordinate uspoređene s koordinatama

Stanica	Velika poluos [m]	Mala poluos [m]	Kut	Stanica	Velika poluos [m]	Mala poluos [m]	Kut
BALU	0,004	0,004	170°	NOVI	0,004	0,004	162°
BIJE	0,005	0,005	177°	RUDO	0,005	0,005	178°
BRAT	0,005	0,005	179°	SAMA	0,004	0,004	1°
BROD	0,005	0,005	179°	SIVO	0,005	0,005	178°
FOCA	0,006	0,005	177°	SOKO	0,005	0,005	176°
GACK	0,005	0,005	1°	SRBA	0,005	0,005	172°
KOZD	0,005	0,005	169°	TESL	0,004	0,004	174°
NEVE	0,006	0,005	177°	TREB	0,005	0,005	2°

Tablica 4: Elementi elipse, velika i mala poluos, kut rotacije

Stanica	$\Delta X$ [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta Z$ [m]	Stanica	$\Delta X$ [m]	$\Delta Y$ [m]	$\Delta Z$ [m]
BALU	-0,005	-0,006	-0,004	NOVI	-0,002	-0,007	-0,005
BIJE	-0,009	-0,015	0,002	RUDO	-0,011	-0,015	-0,002
BRAT	0,005	-0,018	0,017	SAMA	-0,003	-0,013	-0,001
BROD	-0,006	-0,011	-0,003	SIVO	-0,006	-0,008	-0,007
FOCA	-0,012	-0,013	0,000	SOKO	-0,013	-0,013	-0,001
GACK	-0,021	-0,013	-0,011	SRBA	-0,006	-0,009	-0,002
KOZD	-0,006	-0,008	-0,003	TESL	-0,013	-0,009	-0,002
NEVE	-0,032	-0,006	-0,009	TREB	-0,021	-0,018	0,001

Tablica 5: Razlike kartezijevih koordinata (IGN – TBC), SRPOS

iz IGN-ove studije o BiHPOS iz 2011. g. radi određivanja apsolutne točnosti izjednačenja mreže (Tablica 3).

Identičan postupak kao kod FBiHPOS mreže primjenjen je i na SRPOS mrežu, osim što je umjesto stanice Metković korištena stanica Dubrovnik. Unutarnja preciznost mreže je također visoka, kao i kod FBiHPOS mreže, što se vidi iz elemenata elipsi položajne nesigurnosti (Tablica 4). U sljedećoj tablici prikazane su razlike s koordinatama u odnosu na studiju o BiHPOS-u IGN-a. (Tablica 5).

Do razlike u koordinatama je došlo prvenstveno vjerojatno zbog upotrebe dva različita softvera, TBC-a koji je komercijalan

softver i nema puno parametara na koje se može utjecati, pogotovo kod obrade baznih linija, dok je IGN koristio standard za velike rade, Bernese GNSS 5.0 softver, koji je znanstveni softver i omogućuje utjecaj na svaki korak pri računanju.

#### 4. Ispitivanje optimiranja udaljenosti referentnih CROPOS stanica

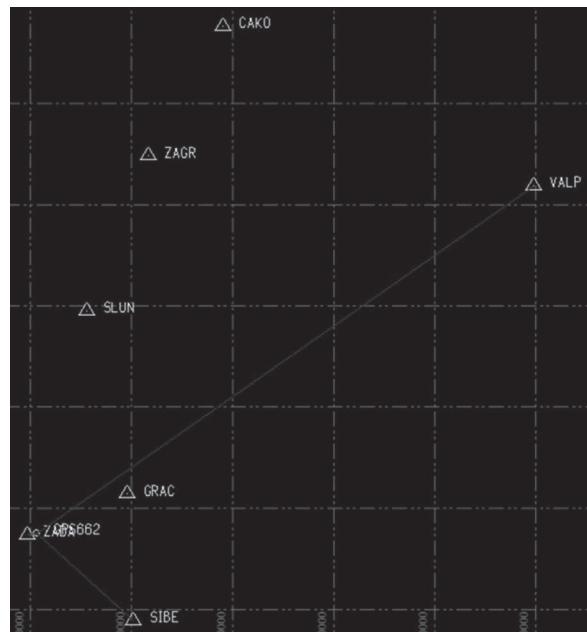
U svrhu ispitivanja točnosti statičkog opažanja s obzirom na udaljenost od referentnih CROPOS stanica kao kontrolne točke koristile su dvije točke 10-km GPS mreže Republike Hrvatske. Podaci za testiranje su bili podaci opažanja na kontrolnim točkama i RINEX podaci stanica.

#### 4.1 Statičko opažanje na kontrolnim točkama

Opažanja su obavljena dana 7. travnja 2013. godine na dvije točke simultano, na točki „Šljakici“ GPS662 10 km mreže RH u mjestu Crno kod Zadra, te kod Varaždina na točki 1332 GPS mreže grada Varaždina. Točke su stabilizirane betonskim stupićima 15x15x60 cm s prokrom reperom. Korišteni su uređaji Trimble R8 GNSS, koji su posuđeni od Državne geodetske uprave. Trajanje sesije je bilo 12 sati, od 7 sati ujutro do 19 sati, interval registracije 15 s što je s obzirom na duljinu sesije bilo dovoljno te elevacijska maska od  $10^\circ$ . Tokom opažanja i prijenosa podataka nije bilo nikakvih problema, pa se stoga moglo pristupiti obradi podataka.

#### 4.2 Obrada podataka

Obrada podataka obavljena je u TBC v2.2 programu. Korišteni su 12-satni podaci s kontrolnih točaka, precizne efemeride te podaci stanica CROPOS-a, varirajući udaljenosti od opažane točke. Sama obrada je izvršena u dva navrata, posebno za svaku kontrolnu točku, te su dobivene konačne koordinate uspoređene s koordinatama iz položajaca. Prvo izjednačenje provedeno je u odnosu na tri najbliže stanice točci u Crnom GPS662, Zadar, Gračac i Šibenik. Mijenjala se zatim samo jedna stanica, umjesto stanice u Gračacu koristila se stanica u Slunju, a stanice Zadar i Šibenik su



Slika 2: Prikaz korištenih stanica CROPOS-a u izjednačenjima na točci kod Zadra

bile uključene u svako izjednačenje. Nakon slunske stanice koristila se stanica Zagreb, Čakovec i na kraju Valpovo stanica koja je bila najdalja od kontrolne točke, povećavajući tako samo jednu udaljenost od kontrolne točke (Slika 2).

Na drugoj kontrolnoj točci, jednoj od točaka GPS mreže grada Varaždina primijenjen je isti postupak izjednačenja, prvo koristeći tri najbliže stanice CROPOS-a, Čakovec, Zabok i Bjelovar pa potom mijenjajući stanicu Bjelovar s daljim stanicama, Slatina, Našice, Županja te kao najudaljenija stanica u

ITRF2008	2013,27									
GPS662	$\varphi$			$\lambda$			h	Poluosi elipsi [m]		Kut
	°	'	"	°	'	"	m	a [m]	b [m]	°
ZD, ŠI, GR	44	7	17,837904	15	17	17,277344	107,484	0,022	0,022	177
ZD, ŠI, SL	44	7	17,837816	15	17	17,277357	107,484	0,015	0,015	167
ZD, ŠI, ZG	44	7	17,837858	15	17	17,277369	107,484	0,017	0,016	166
ZD, ŠI, ČA	44	7	17,837851	15	17	17,277331	107,485	0,016	0,016	165
ZD, ŠI, VA	44	7	17,837834	15	17	17,277292	107,486	0,016	0,016	167

Tablica 6: Izjednačene elipsoidne koordinate i elementi elipsi položajne nesigurnosti

ITRF2008	2013,27									
Varaždin	φ			λ			h m	Poluosi elipsi [m]		Kut °
	°	'	"	°	'	"		a [m]	b [m]	
ČK, ZA, BJ	46	18	3,925872	16	18	46,575932	218,431	0,007	0,007	1
ČK, ZA, SL	46	18	3,925842	16	18	46,575923	218,431	0,009	0,009	3
ČK, ZA, NA	46	18	3,925834	16	18	46,575917	218,431	0,010	0,010	2
ČK, ZA, ŽU	46	18	3,925837	16	18	46,575937	218,431	0,009	0,009	1
ČK, ZA, DU	46	18	3,925821	16	18	46,575945	218,431	0,011	0,010	179

Tablica 7: Izjednačene elipsoidne koordinate i elementi elipsi položajne nesigurnosti

Dubrovniku. Rezultati su prikazani u donjoj tablici (Tablica 7).

Dobiveni rezultati na obje kontrolne točke pokazuju da povećavajući udaljenost CROPOS stanica od pozicije korisnika ne utječe na točnost, pošto su sva izjednačenja na svakoj točci dala skoro identične rezultate. Utjecaj udaljenosti ne utječe na 12 satnu sesiju, pa bi daljnja istraživanja trebalo provesti na kraćim sesijama.

## 5. Zaključak

Permanentne mreže GNSS uređaja (stanica) uspostavljaju se u svrhu povećanja točnosti i pouzdanosti, odnosno lakošeg i bržeg pozicioniranja s GNSS tehnologijom. U Hrvatskoj je tako uspostavljen CROPOS, koji izmjenjuje podatke stanica sa svim mrežama u regiji, osim s mrežama iz Bosne i Hercegovine, s kojima bi trebali do kraja 2013. g. realizirati suradnju na tom području. Iz tog razloga testirano je povezivanje CROPOS-a i mreža iz BiH-a, FBiHPOS i SRPOS. Na temelju 24 satnih podataka stanica obavljena su izjednačenja svake mreže posebno, te se iz rezultata vidi da su mreže

vrlo kvalitetno i pouzdano izvedene, što pokazuju elipse položajne nesigurnosti na milimetarskoj razini. Izjednačenja BiHPOS mreža s obzirom na CROPOS stanice pokazuju relativno „male“ razlike u odnosu na referentne koordinate koje je izračunao IGN, do najviše nekoliko centimetara što se može pripisati upotrebi različitih programa za računanje, TBC-a u ovom slučaju i Bernese GNSS program v5.0. Nakon potvrde da je CROPOS mreža vrlo pouzdana i visoke preciznosti provedeno je testiranje ispitivanja utjecaja udaljenosti referentnih stanica CROPOS-a na temelju 12 satnih opažanja na dvije kontrolne točke te podacima stanica varirajući udaljenost stanica od kontrolne točke, od nekoliko kilometara do 400-tinjak kilometara. Dobiveni rezultati su pokazali kako udaljenost nema praktično nikakvog utjecaja na sam rezultat izjednačenja, koordinate su identične na milimetarskoj razini što ukazuje na mogućnost povećanja razmaka referentnih stanica za statička GNSS mjerjenja. Rezultati pokazuju da bi daljnja istraživanja ovog utjecaja na točnost trebalo provesti na kraćim sesijama te VPPS servisu.

## Literatura

- Altamimi, Z., Boucher, C. (2011): Memo - Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, verzija 8, TWG EUREF.
- Baćić, Ž. (2012): Satelitsko pozicioniranje, predavanja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Marjanović, M. (2010): CROPOS - hrvatski pozicijski sustav, Ekscentar, br. 12, str. 28-34.
- Šarić, Igor (2013): Ispitivanje utjecaja udaljenosti referentnih CROPOS stanica na točnost statičkog GNSS mjerenja - diplomski rad, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2013.
- URL 1: <http://www.fgu.com.ba/index.php?part=stranice&id=H601>
- URL 2: <http://cropos.hr/>

## Abstract:

*Establishment of a network of permanent GNSS stations in neighbouring Bosnia and Herzegovina, with the specific form of the Croatian network of permanent GNSS stations CROPOS, for CROPOS users opens up new possibilities of GNSS technology for all types of surveying. With the number of permanent stations being doubled, together with the Slovenian, Hungarian and Montenegrin permanent stations, it has become a respectable system with more than 70 permanent stations providing high quality services to customers. In order to analyze the possibility of sharing CROPOS, SRPOS and FBiHPOS (two entities networks in BiH) data, all three networks were connected through transformation and joint adjustment with obtained results being analyzed. For the test were used 24-hour data observations of permanent stations on 7 April 2013. Results showed high matching of the results compared with fixed coordinates of BiH network that were calculated by the IGN. Following question was raised, given the large number of available GPS and GLONASS satellites providing a large number of combinations for calculating static observations and with high quality models for elimination of ionosphere and troposphere influence, raises the question of what is the spacing of permanent reference stations today optimal. For this purpose, at the same time on two test points of 10 km GPS network Republic of Croatia, Crno near Zadar and near Varaždin, a 12-hour observation were conducted with the Trimble R8 GNSS devices. These measurements together with observations of CROPOS and BiHPOS networks were used for testing CROPOS Geodetic precise positioning service and impact of distance of reference stations on achievable accuracy and reliability of measurements. The results of these calculations are presented in this paper.*

**Distance  
influence of  
the permanent  
stations BiH-  
POS and  
CROPOS  
networks on  
the accuracy  
of static GNSS  
measurements**

**Keywords:**  
**CROPOS, FBiHPOS,  
SRPOS, static  
observation**

# Ispitivanje preciznosti GNSS RTK mjernih sustava prema normi ISO 17123-8:2007 primjenom CROPOS-a

Mladen Zrinjski<sup>1</sup>, Đuro Barković<sup>2</sup>, Lovre Vulić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> GEOHOLDING d.o.o., Bana Josipa Jelačića 61, 20000 Dubrovnik, Hrvatska, mladenzrinjski@gmail.com

<sup>2</sup> Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska, djuro.barkovic@geof.hr, lvulic@geof.hr

## Sažetak:

*U radu je dan prikaz međunarodne norme ISO 17123-8:2007. Detaljno je opisan terenski postupak ispitivanja preciznosti GNSS RTK mjernih sustava prema potpunom testu navedene norme. Za automatizaciju ispitivanja preciznosti GNSS RTK mjernih sustava prema toj normi izrađen je program GNSS\_RTK\_ISO. U praktičnom dijelu rada obavljeno je ispitivanje preciznosti RTK mjernog sustava Trimble R8 GNSS prema predmetnoj normi primjenom VPPS servisa CROPOS-a. Mjerenja su obavljena na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Mjerni podaci su koordinate u sustavu HTRS96/TM i ortometrijska visina. Rezultati ispitivanja preciznosti GNSS RTK sustava iskazani su empirijskim standardnim odstupanjima: sISO-GNSS\_RTK-xy i sISO-GNSS\_RTK-h. Provedeno je statističko testiranje dobivenih rezultata prema četiri statistička testa, kako bi se utvrdila kvaliteta podataka mjerenja za ispitivani mjerni sustav. Rezultati dobiveni ispitivanjem pokazuju da je RTK mjerni sustav Trimble R8 GNSS ispravan i da su izračunata empirijska standardna odstupanja manja od odgovarajućih vrijednosti deklariranih od proizvođača instrumenta.*

## Ključne riječi:

CROPOS, GNSS\_RTK\_ISO, norma, preciznost, VPPS

## 1. Uvod

Norme su važan dio našega svakodnevnog života. Iako na prvi pogled nevidljive, one pomažu da naš život bude sigurniji, jednostavniji, zdraviji i u svakom pogledu kvalitetniji, i to čini norme *conditio sine qua non* suvremenog poslovanja i trgovine. Važno je naglasiti da je uporaba norma dragovoljna i ne smije se normu shvatiti kao tehnički propis koji je propisan zakonom. U tehničkom smislu glede norma za geodetska mjerila, normama se propisuju postupci ispitivanja, umjeravanja te iskazivanja rezultata mjerjenja s procjenom mjerne nesigurnosti. Pregled međunarodnih i nacionalnih norma

za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila, koje su pod izravnom nadležnošću ISO/TC 172/SC 6 može se naći u Zrinjski i dr., (2011); URL 1; URL 2.

## 2. Norma ISO 17123-8:2007

Normom ISO 17123-8:2007 definirana su dva postupka terenskih ispitivanja preciznosti GNSS RTK mjernih sustava: pojednostavljeni i potpuni test (ISO, 2007). Slijedi prikaz potpunog testa. Terenska ispitivanja sastoje se od jedne točke baze i dviju točaka rovera. Udaljenost između dviju točaka rovera ne bi smjela biti manja od 2 m ni veća od 20 m. Horizontalna duljina i

visinska razlika između dviju točaka rovera trebaju biti određene geodetskim metodama s preciznošću boljom od 3 milimetra (ne RTK). Tako dobivene vrijednosti tada se smatraju nominalnim (referentnim) vrijednostima.

Sesija mjerjenja sastoji se od pet setova. Svaki set sadrži uspješna mjerjenja na točkama rover 1 i rover 2. Vremenski odmak između uzastopnih setova mjerjenja treba biti približno 5 minuta. To znači da će trajanje svake sesije mjerjenja biti oko 25 minuta, unutar kojih pet setova mjerjenja treba biti vremenski jednoliko raspoređeno. Vremenski razmak između početaka uza-stopnih sesija mjerjenja mora biti najmanje 90 minuta. Prema tome, višestrukim sesijama mjerjenja nastoje se eliminirati utjecaji nastali zbog promjena konfiguracija satelita, promjena ionosferskih i troposferskih uvjeta te ostalih čimbenika. Standardna odstupanja dobivena na osnovi svih mjerjenja predstavljat će kvantitativne mjere preciznosti, uključujući većinu utjecaja prisutnih u satelitskom pozicioniranju. Pojednostavljeni test sastoji se od jedne sesije mjerjenja, stoga se bavi jedino otkrivanjem grubih pogrešaka bez statističke procjene. Potpuni test sastoji se od tri sesije mjerjenja te dodatno omogućuje procjene standardnih odstupanja i statističkih testova. Nakon provedenih mjerjenja slijedi računanje empirijskog standardnog odstupanja koordinata ( $x, y$ ) (ISO, 2007):

$$s_{\text{ISO-GNSS RTK-}xy} = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} = \sqrt{\frac{\sum r_x^2 + \sum r_y^2}{28}}, \quad (1)$$

i empirijskog standardnog odstupanja visine ( $h$ ):

$$s_{\text{ISO-GNSS RTK-}h} = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{28}}, \quad (2)$$

gdje su  $r_x$ ,  $r_y$  i  $r_h$  reziduali koji se računaju prema izrazima danim u ISO, (2007), a broj

28 u nazivniku izraza (1) i (2) predstavlja broj stupnjeva slobode u mjerjenjima pojedinih koordinata. Slijede izrazi za statističke testove, uz razinu pouzdanosti  $k = 0.95$ .

### Pitanje a)

Nulta hipoteza se prihvata ako je izračunato empirijsko standardno odstupanje  $s_{\text{ISO-GNSS RTK-}xy}$  manje ili jednako odgovarajućoj vrijednosti  $\sigma_{xy}$  koja je deklarirana od proizvođača instrumenta, tj. ako je zadovoljeno (ISO, 2007):

$$s_{\text{ISO-GNSS RTK-}xy} \leq 1.15 \cdot \sigma_{xy}. \quad (3)$$

U suprotnome prihvata se alternativna hipoteza.

### Pitanje b)

Nulta hipoteza se prihvata ako je izračunato empirijsko standardno odstupanje  $s_{\text{ISO-GNSS RTK-}h}$  manje ili jednako odgovarajućoj vrijednosti  $\sigma_h$  koja je deklarirana od proizvođača instrumenta, tj. ako je zadovoljeno (ISO, 2007):

$$s_{\text{ISO-GNSS RTK-}h} \leq 1.22 \cdot \sigma_h. \quad (4)$$

U suprotnome prihvata se alternativna hipoteza.

### Pitanje c)

Za dvije različite serije mjerjenja, test pokazuje pripadaju li empirijska standardna odstupanja  $s_{\text{ISO-GNSS RTK-}xy}$  i  $\tilde{s}_{\text{ISO-GNSS RTK-}xy}$  istom uzorku. Nulta hipoteza  $\sigma_{xy} = \tilde{\sigma}_{xy}$  prihvata se ako je zadovoljeno (ISO, 2007):

$$0.59 \leq \frac{s_{\text{ISO-GNSS RTK-}xy}^2}{\tilde{s}_{\text{ISO-GNSS RTK-}xy}^2} \leq 1.70. \quad (5)$$

U suprotnome prihvata se alternativna hipoteza.

#### Pitanje d)

Za dvije različite serije mjerena, test pokazuje pripadaju li empirijska standardna odstupanja  $s_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}$  i  $\tilde{s}_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}$  istom uzorku. Nulta hipoteza  $\sigma_h = \tilde{\sigma}_h$  prihvata se ako je zadovoljeno (ISO, 2007):

$$0.47 \leq \frac{s^2_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}}{\tilde{s}^2_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}} \leq 2.13. \quad (6)$$

U suprotnome prihvata se alternativna hipoteza. Cjeloviti prikazi pojednostavljenog i potpunog testa norme ISO 17123-8:2007, s odgovarajućim matematičkim izrazima mogu se naći u ISO, (2007).

### 3. Ispitivanje preciznosti mjerena koordinata GNSS RTK mjernim sustavom

Mjerenja su obavljena na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu primjenom VPPS servisa CROPOS-a. Prijamnik Trimble R8 GNSS (Ser. No. 4641123721) ispitana je prema potpunom testu norme ISO 17123-8:2007, pri čemu su mjerena obavljena na dva susjedna stupa baze, koja su međusobno udaljena približno 20 m (rover 1 i rover 2). Prvu seriju mjerena obavio je Mladen Zrinjski 26. siječnja 2013. godine, a drugu seriju mjerena Đuro Barković isti dan. Prema tehničkoj specifikaciji mjerni sustav Trimble R8 GNSS ima za RTK mjerena deklariranu mjeru nesigurnost, horizontalno (10 mm + 1 ppm) i vertikalno (20 mm + 1 ppm) (URL 3).

Za automatizaciju ispitivanja preciznosti GNSS RTK mjernog sustava prema potpunom testu norme ISO 17123-8:2007, izrađen je računalni program *GNSS\_RTK\_ISO* u pro-

Broj mjerena	Sesija	Set	Točka rovora	Mjerenje [m]			Horizontalna duljina $D_j$ [m]	Visinska razlika $\Delta h_j$ [m]	Odstupanje	
				$i$	$j$	$k$			$\varepsilon_{Dij}$ [mm]	$\varepsilon_{hij}$ [mm]
1	1	1	1	5070432.481	459660.027	114.380	—	—	—	—
2	1	1	2	5070415.560	459670.693	114.390	20.002	0.010	8	-10
3	1	2	1	5070432.471	459660.026	114.382	—	—	—	—
4	1	2	2	5070415.573	459670.691	114.411	19.982	0.029	-12	9
5	1	3	1	5070432.469	459660.028	114.380	—	—	—	—
6	1	3	2	5070415.566	459670.688	114.405	19.984	0.025	-11	5
7	1	4	1	5070432.475	459660.024	114.382	—	—	—	—
8	1	4	2	5070415.556	459670.689	114.393	20.000	0.011	5	-9
9	1	5	1	5070432.468	459660.025	114.385	—	—	—	—
10	1	5	2	5070415.555	459670.695	114.400	19.997	0.015	3	-5
11	2	6	1	5070432.467	459660.028	114.396	—	—	—	—
12	2	6	2	5070415.552	459670.681	114.412	19.990	0.016	-4	-4
13	2	7	1	5070432.474	459660.024	114.390	—	—	—	—
14	2	7	2	5070415.557	459670.689	114.418	19.998	0.028	4	8
15	2	8	1	5070432.472	459660.023	114.371	—	—	—	—
16	2	8	2	5070415.551	459670.688	114.393	20.002	0.022	7	2
17	2	9	1	5070432.470	459660.026	114.377	—	—	—	—
18	2	9	2	5070415.554	459670.685	114.412	19.994	0.035	0	15
19	2	10	1	5070432.478	459660.022	114.377	—	—	—	—
20	2	10	2	5070415.562	459670.683	114.396	19.995	0.019	1	-1
21	3	11	1	5070432.470	459660.023	114.389	—	—	—	—
22	3	11	2	5070415.555	459670.690	114.414	19.998	0.025	3	5
23	3	12	1	5070432.467	459660.027	114.400	—	—	—	—
24	3	12	2	5070415.556	459670.685	114.412	19.989	0.012	-5	-8
25	3	13	1	5070432.460	459660.021	114.397	—	—	—	—
26	3	13	2	5070415.545	459670.684	114.402	19.995	0.005	1	-15
27	3	14	1	5070432.470	459660.025	114.399	—	—	—	—
28	3	14	2	5070415.551	459670.686	114.418	19.998	0.019	3	-1
29	3	15	1	5070432.468	459660.013	114.389	—	—	—	—
30	3	15	2	5070415.557	459670.678	114.413	19.993	0.024	-1	4
Građica vrijednost [mm]				—	—	—	—	—	±39	±74

Tablica 1: Ispitivanje Trimble R8 GNSS u prvoj seriji mjerena

Ispitivanje preciznosti GNSS RTK mjernih sustava prema normi ISO 17123-8:2007 primjenom CROPOS-a

Broj mjerjenja	Sesija	Set	Točka rovera	Mjerenje [m]			Rezidual [mm]			Kvadrat reziduala [mm <sup>2</sup> ]		
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>h</i>	<i>r<sub>x</sub></i>	<i>r<sub>y</sub></i>	<i>r<sub>h</sub></i>	<i>r<sub>x</sub></i> <sup>2</sup>	<i>r<sub>y</sub></i> <sup>2</sup>	<i>r<sub>h</sub></i> <sup>2</sup>
1	1	1	1	5070432.481	459660.027	114.380	10	3	-6	100	9	36
2	1	1	2	5070415.560	459670.693	114.390	3	6	-16	9	36	256
3	1	2	1	5070432.471	459660.026	114.382	0	2	-4	0	4	16
4	1	2	2	5070415.573	459670.691	114.411	16	4	5	256	16	25
5	1	3	1	5070432.469	459660.028	114.380	-2	4	-6	4	16	36
6	1	3	2	5070415.566	459670.688	114.405	9	1	-1	81	1	1
7	1	4	1	5070432.475	459660.024	114.382	4	0	-4	16	0	16
8	1	4	2	5070415.556	459670.689	114.393	-1	2	-13	1	4	169
9	1	5	1	5070432.468	459660.025	114.385	-3	1	-1	9	1	1
10	1	5	2	5070415.555	459670.695	114.400	-2	8	-6	4	64	36
11	2	6	1	5070432.467	459660.028	114.396	-4	4	10	16	16	100
12	2	6	2	5070415.552	459670.681	114.412	-5	-6	6	25	36	36
13	2	7	1	5070432.474	459660.024	114.390	3	0	4	9	0	16
14	2	7	2	5070415.557	459670.689	114.418	0	2	12	0	4	144
15	2	8	1	5070432.472	459660.023	114.371	1	-1	-15	1	1	225
16	2	8	2	5070415.551	459670.688	114.393	-6	1	-13	36	1	169
17	2	9	1	5070432.470	459660.026	114.377	-1	2	-9	1	4	81
18	2	9	2	5070415.554	459670.685	114.412	-3	-2	6	9	4	36
19	2	10	1	5070432.478	459660.022	114.377	7	-2	-9	49	4	81
20	2	10	2	5070415.562	459670.683	114.396	5	-4	-10	25	16	100
21	3	11	1	5070432.470	459660.023	114.389	-1	-1	3	1	1	9
22	3	11	2	5070415.555	459670.690	114.414	-2	3	8	4	9	64
23	3	12	1	5070432.467	459660.027	114.400	-4	3	14	16	9	196
24	3	12	2	5070415.556	459670.685	114.412	-1	-2	6	1	4	36
25	3	13	1	5070432.460	459660.021	114.397	-11	-3	11	121	9	121
26	3	13	2	5070415.545	459670.684	114.402	-12	-3	-4	144	9	16
27	3	14	1	5070432.470	459660.025	114.399	-1	1	13	1	1	169
28	3	14	2	5070415.551	459670.686	114.418	-6	-1	12	36	1	144
29	3	15	1	5070432.468	459660.013	114.389	-3	-11	3	9	121	9
30	3	15	2	5070415.557	459670.678	114.413	0	-9	7	0	81	49
Srednja vrijednost				1	5070432.471	459660.024	114.386	—	—	—	—	—
Suma kvadrata reziduala				2	5070415.557	459670.687	114.406	—	—	984	482	2393
Empirijsko standardno odstupanje, <i>s</i>				5.93	4.15	9.24	—	—	—	—	—	—

Tablica 2: Ispitivanje Trimble R8 GNSS u prvoj seriji mjerjenja (nastavak računanja)

Broj mjerjenja	Sesija	Set	Točka rovera	Mjerenje [m]			Horizontalna duljina <i>D<sub>j</sub></i> [m]	Visinska razlika <i>Δh<sub>j</sub></i> [m]	Odstupanje	
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>h</i>			<i>ε<sub>D<sub>j</sub></sub></i> [mm]	<i>ε<sub>h<sub>j</sub></sub></i> [mm]
1	1	1	1	5070432.478	459660.023	114.387	—	—	—	—
2	1	1	2	5070415.558	459670.689	114.390	20.001	0.003	6	-19
3	1	2	1	5070432.474	459660.026	114.382	—	—	—	—
4	1	2	2	5070415.576	459670.692	114.415	19.983	0.033	-12	11
5	1	3	1	5070432.469	459660.028	114.380	—	—	—	—
6	1	3	2	5070415.562	459670.688	114.405	19.987	0.025	-8	3
7	1	4	1	5070432.473	459660.025	114.384	—	—	—	—
8	1	4	2	5070415.556	459670.687	114.392	19.997	0.008	2	-14
9	1	5	1	5070432.468	459660.025	114.385	—	—	—	—
10	1	5	2	5070415.559	459670.695	114.396	19.994	0.011	-1	-11
11	2	6	1	5070432.471	459660.026	114.391	—	—	—	—
12	2	6	2	5070415.550	459670.682	114.414	19.997	0.023	2	1
13	2	7	1	5070432.470	459660.024	114.389	—	—	—	—
14	2	7	2	5070415.557	459670.689	114.418	19.995	0.029	0	7
15	2	8	1	5070432.472	459660.023	114.371	—	—	—	—
16	2	8	2	5070415.553	459670.687	114.390	19.999	0.019	4	-3
17	2	9	1	5070432.474	459660.026	114.377	—	—	—	—
18	2	9	2	5070415.554	459670.685	114.403	19.998	0.026	3	4
19	2	10	1	5070432.473	459660.026	114.375	—	—	—	—
20	2	10	2	5070415.558	459670.683	114.400	19.992	0.025	-3	3
21	3	11	1	5070432.470	459660.023	114.389	—	—	—	—
22	3	11	2	5070415.558	459670.688	114.417	19.994	0.028	-1	6
23	3	12	1	5070432.471	459660.022	114.396	—	—	—	—
24	3	12	2	5070415.551	459670.685	114.412	20.000	0.016	5	-6
25	3	13	1	5070432.464	459660.018	114.390	—	—	—	—
26	3	13	2	5070415.549	459670.683	114.404	19.996	0.014	2	-8
27	3	14	1	5070432.475	459660.022	114.395	—	—	—	—
28	3	14	2	5070415.555	459670.685	114.422	20.000	0.027	5	5
29	3	15	1	5070432.465	459660.017	114.384	—	—	—	—
30	3	15	2	5070415.554	459670.679	114.424	19.992	0.040	-3	18
Granična vrijednost [mm]				—	—	—	—	—	±39	±74

Tablica 3: Ispitivanje Trimble R8 GNSS u drugoj seriji mjerjenja

Broj mjeranja	Sesija	Set	Točka rovera	Mjerenje [m]			Rezidual [mm]			Kvadrat reziduala [mm²]			
				x	y	h	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	r <sub>h</sub>	r <sub>x</sub> <sup>2</sup>	r <sub>y</sub> <sup>2</sup>	r <sub>h</sub> <sup>2</sup>	
1	1	1	1	5070432.478	459660.023	114.387	7	-1	2	49	1	4	
2	1	1	2	5070415.558	459670.689	114.390	1	3	-17	1	9	289	
3	1	2	1	5070432.474	459660.026	114.382	3	2	-3	9	4	9	
4	1	2	2	5070415.576	459670.692	114.415	19	6	8	361	36	64	
5	1	3	1	5070432.469	459660.028	114.380	-2	4	-5	4	16	25	
6	1	3	2	5070415.562	459670.688	114.405	5	2	-2	25	4	4	
7	1	4	1	5070432.473	459660.025	114.384	2	1	-1	4	1	1	
8	1	4	2	5070415.556	459670.687	114.392	-1	1	-15	1	1	225	
9	1	5	1	5070432.468	459660.025	114.385	-3	1	0	9	1	0	
10	1	5	2	5070415.559	459670.695	114.396	2	9	-11	4	81	121	
11	2	6	1	5070432.471	459660.026	114.391	0	2	6	0	4	36	
12	2	6	2	5070415.550	459670.682	114.414	-7	-4	7	49	16	49	
13	2	7	1	5070432.470	459660.024	114.389	-1	0	4	1	0	16	
14	2	7	2	5070415.557	459670.689	114.418	0	3	11	0	9	121	
15	2	8	1	5070432.472	459660.023	114.371	1	-1	-14	1	1	196	
16	2	8	2	5070415.553	459670.687	114.390	-4	1	-17	16	1	289	
17	2	9	1	5070432.474	459660.026	114.377	3	2	-8	9	4	64	
18	2	9	2	5070415.554	459670.685	114.403	-3	-1	-4	9	1	16	
19	2	10	1	5070432.473	459660.026	114.375	2	2	-10	4	4	100	
20	2	10	2	5070415.558	459670.683	114.400	1	-3	-7	1	9	49	
21	3	11	1	5070432.470	459660.023	114.389	-1	-1	4	1	1	16	
22	3	11	2	5070415.558	459670.688	114.417	1	2	10	1	4	100	
23	3	12	1	5070432.471	459660.022	114.396	0	-2	11	0	4	121	
24	3	12	2	5070415.551	459670.685	114.412	-6	-1	5	36	1	25	
25	3	13	1	5070432.464	459660.018	114.390	-7	-6	5	49	36	25	
26	3	13	2	5070415.549	459670.683	114.404	-8	-3	-3	64	9	9	
27	3	14	1	5070432.475	459660.022	114.395	4	-2	10	16	4	100	
28	3	14	2	5070415.555	459670.685	114.422	-2	-1	15	4	1	225	
29	3	15	1	5070432.465	459660.017	114.384	-6	-7	-1	36	49	1	
30	3	15	2	5070415.554	459670.679	114.424	-3	-7	17	9	49	289	
Srednja vrijednost				1	5070432.471	459660.024	114.385	—	—	—	—	—	
Suma kvadrata reziduala				2	5070415.557	459670.686	114.407	—	—	—	773	361	2589
Empirijsko standardno odstupanje, s				5.25	3.59	9.62	—	—	—	—	—	—	

Tablica 4: Ispitivanje Trimble R8 GNSS u drugoj seriji mjerena (nastavak računanja)

gramskom paketu Microsoft Office Excel 2010.

U Tablicama 1 i 2 prikazani su podaci mjerena i rezultati računanja preciznosti mjernog sustava Trimble R8 GNSS za prvu seriju mjerena.

U Tablicama 3 i 4 prikazani su podaci mjerena i rezultati računanja preciznosti mjernog sustava Trimble R8 GNSS za drugu seriju mjerena.

U Tablici 5 prikazani su rezultati statističkog testiranja za četiri statistička testa.

#### 4. Zaključak

Mjerni instrumenti i uređaji za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila su specifični, tj. na tržištu geodetskih mjerila ne postoje cijelovita rješenja za takva ispitiva-

nja i umjeravanja već se ista posebno razvijaju i stalno nadograđuju, osuvremenjuju i automatiziraju. Stoga, na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu razvijeni su takvi instrumenti i uređaji za ispitivanje i umjeravanje geodetskih mjerila. Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta duljine je 3 km te je, prema dostupnoj literaturi, najduža kalibracijska baza i baza je s najvećim brojem stupova u svijetu (Zrinjski, 2010).

Za ispitivanje preciznosti GNSS RTK mjernih sustava prema potpunom testu norme ISO 17123-8:2007 izrađen je program *GNSS\_RTK\_ISO*. Obavljen je ispitivanje preciznosti mjernog sustava Trimble R8 GNSS na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta primjenom VPPS servisa CROPOS-a. Rezultati provedenih ispitivanja pokazuju da je mjerni sustav Trimble R8 GNSS (Ser. No. 4641123721) ispravan i zadovoljava mjeru nesigurnost deklariranu od proizvođača

# Ispitivanje preciznosti GNSS RTK mjernih sustava prema normi ISO 17123-8:2007 primjenom CROPOS-a

## Statistički testovi

### Test br. 1

Test usporedbe izračunatog empirijskog standardnog odstupanja ( $s_{GNSS-RTK-xv}$ ) i odgovarajuće vrijednosti ( $\sigma_{xv}$ ) deklarirane od proizvođača instrumenta.

Hipoteze:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ):  $s_{GNSS-RTK-xv} \leq \sigma_{xv}$

Alternativna hipoteza ( $H_1$ ):  $s_{GNSS-RTK-xv} > \sigma_{xv}$

Odabrani nivo signifikantnosti  $\alpha = 0,05$

#### Prva serija mjerena:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje položaja,  $s_{GNSS-RTK-xv}$

7.24 mm

Vrijednost standardnog odstupanja danog od proizvođača,  $\sigma_{xv}$

11 mm

$$\begin{array}{c} 7.24 \\ \leq \\ 7.24 \end{array} \quad \begin{array}{c} 11 \\ \cdot \\ 12.65 \end{array} \quad \begin{array}{c} 1,15 \\ \cdot \\ 12.65 \end{array}$$

Uz 95% vjerojatnosti:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ) se prihvata, tj. izračunato empirijsko standardno odstupanje manje je od deklariranog standardnog odstupanja a. Mjerenja su obavljena s predviđenom točnosti.

#### Druga serija mjerena:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje položaja,  $s_{GNSS-RTK-xv}$

6.36 mm

Vrijednost standardnog odstupanja danog od proizvođača,  $\sigma_{xv}$

11 mm

$$\begin{array}{c} 6.36 \\ \leq \\ 6.36 \end{array} \quad \begin{array}{c} 11 \\ \cdot \\ 12.65 \end{array} \quad \begin{array}{c} 1,15 \\ \cdot \\ 12.65 \end{array}$$

Uz 95% vjerojatnosti:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ) se prihvata, tj. izračunato empirijsko standardno odstupanje manje je od deklariranog standardnog odstupanja a. Mjerenja su obavljena s predviđenom točnosti.

### Test br. 2

Test usporedbe izračunatog empirijskog standardnog odstupanja ( $s_{GNSS-RTK-h}$ ) i odgovarajuće vrijednosti ( $\sigma_h$ ) deklarirane od proizvođača instrumenta.

Hipoteze:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ):  $s_{GNSS-RTK-h} \leq \sigma_h$

Alternativna hipoteza ( $H_1$ ):  $s_{GNSS-RTK-h} > \sigma_h$

Odabrani nivo signifikantnosti  $\alpha = 0,05$

#### Prva serija mjerena:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje visine,  $s_{GNSS-RTK-h}$

9.24 mm

Vrijednost standardnog odstupanja danog od proizvođača,  $\sigma_h$

21 mm

$$\begin{array}{c} 9.24 \\ \leq \\ 9.24 \end{array} \quad \begin{array}{c} 21 \\ \cdot \\ 25.62 \end{array} \quad \begin{array}{c} 1,22 \\ \cdot \\ 25.62 \end{array}$$

Uz 95% vjerojatnosti:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ) se prihvata, tj. izračunato empirijsko standardno odstupanje manje je od deklariranog standardnog odstupanja a. Mjerenja su obavljena s predviđenom točnosti.

#### Druga serija mjerena:

Izračunato empirijsko standardno odstupanje visine,  $s_{GNSS-RTK-h}$

9.62 mm

Vrijednost standardnog odstupanja danog od proizvođača,  $\sigma_h$

21 mm

$$\begin{array}{c} 9.62 \\ \leq \\ 9.62 \end{array} \quad \begin{array}{c} 21 \\ \cdot \\ 25.62 \end{array} \quad \begin{array}{c} 1,22 \\ \cdot \\ 25.62 \end{array}$$

Uz 95% vjerojatnosti:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ) se prihvata, tj. izračunato empirijsko standardno odstupanje manje je od deklariranog standardnog odstupanja a. Mjerenja su obavljena s predviđenom točnosti.

Tablica 5: Rezultati statističkog testiranja za četiri statistička testa

**Test br. 3**

Test uspoređbe dvaju empirijskih standardnih odstupanja položaja ( $s$  i  $\hat{s}$ ), dobivenih iz različitih mjerena s istim brojem stupnjeva slobode.

Hipoteze:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ):  $s = \hat{s}$

Alternativna hipoteza ( $H_1$ ):  $s \neq \hat{s}$

Izračunato empirijsko standardno odstupanje položaja za prvu seriju mjerena,  $s_{GNSS-RTK-xy}$

7.24 mm

Izračunato empirijsko standardno odstupanje položaja za drugu seriju mjerena,  $\hat{s}_{GNSS-RTK-xy}$

6.36 mm

Granice obostranog testa:  $0.59 \leq s^2 / \hat{s}^2 \leq 1.70$

Omjer kvadrata empirijskih standardnih odstupanja,  $s^2 / \hat{s}^2$

1.29

Uz 95% vjerojatnosti:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ) se prihvaca, tj. empirijska standardna odstupanja potječu iz istog uzorka.

**Test br. 4**

Test uspoređbe dvaju empirijskih standardnih odstupanja visine ( $s$  i  $\hat{s}$ ), dobivenih iz različitih mjerena s istim brojem stupnjeva slobode.

Hipoteze:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ):  $s = \hat{s}$

Alternativna hipoteza ( $H_1$ ):  $s \neq \hat{s}$

Izračunato empirijsko standardno odstupanje visine za prvu seriju mjerena,  $s_{GNSS-RTK-h}$

9.24 mm

Izračunato empirijsko standardno odstupanje visine za drugu seriju mjerena,  $\hat{s}_{GNSS-RTK-h}$

9.62 mm

Granice obostranog testa:  $0.47 \leq s^2 / \hat{s}^2 \leq 2.13$

Omjer kvadrata empirijskih standardnih odstupanja,  $s^2 / \hat{s}^2$

0.92

Uz 95% vjerojatnosti:

Nulta hipoteza ( $H_0$ ) se prihvaca, tj. empirijska standardna odstupanja potječu iz istog uzorka.

Tablica 5: Rezultati statističkog testiranja za četiri statistička testa (nastavak)

instrumenta, koja je potrebna za RTK mjerena.

Bez kvalitetnog ispitivanja i umjeravanja geodetskih mjerila geodetska struka u Republici Hrvatskoj, danas punopravna članica europskih integracija, ne smije biti izuzeta iz konkurentnog tržišta u davanju svojih usluga. U tu su svrhu u Laboratoriju za mjerena i mjernu tehniku Geodetskog

fakulteta razvijeni komparator i program za umjeravanje nivelmanskih letvi i mjernih vrpcí te uređaj za ispitivanje i umjeravanje frekvencije elektrooptičkih daljinomjera. Također, razvijeni su programi za automatizaciju ispitivanja preciznosti nivela prema normi HRN ISO 17123-2:2004 te za automatizaciju ispitivanja preciznosti teodolita prema normi HRN ISO 17123-3:2004.

## Literatura

- ISO (2007): ISO 17123-8:2007 -- Optics and optical instruments -- Field procedures for testing geodetic and surveying instruments -- Part 8: GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK), ISO, Geneva, Switzerland.
- Zrinjski, Mladen (2010): Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a, doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Zrinjski, Mladen; Barković, Đuro; Tir, Mariana (2011): Automatizacija ispitivanja preciznosti teodolita prema normi HRN ISO 17123-3:2004, Geodetski list, 2, 123-144.
- URL 1: International Organization for Standardization – ISO, [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue.htm](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue.htm), (25.08.2013.).
- URL 2: Hrvatski zavod za norme – HZN, <http://www.hzn.hr/HZN/Todb.nsf/wFramesetICS>, (25.08.2013.).
- URL 3: Trimble R8 GNSS System, [http://www.land-scope.com/media/TrimbleR8GPS\\_Data-Sheet.pdf](http://www.land-scope.com/media/TrimbleR8GPS_Data-Sheet.pdf), (25.08.2013.).

---

---

### **Abstract:**

The paper presents the international standard ISO 17123-8:2007. The field procedure of testing the precision of GNSS RTK measuring systems by means of complete test of the given standard. For the purpose of automating the testing of GNSS RTK measuring systems precision, the programme GNSS\_RTK\_ISO has been developed. In the practical part, the precision of RTK measuring system Trimble R8 GNSS has been tested according to the above mentioned standard applying the VPPS service of CROPOS. The measurements were made on the calibration baseline of the Faculty of Geodesy, University in Zagreb. The measurement data are the coordinates in the system HTRS96/TM and orthometric heights. The results testing the precision of GNSS RTK systems are indicated with standard deviations: sISO-GNSS\_RTK-xy and sISO-GNSS\_RTK-h. The statistical testing of obtained results has been made using four tests in order to determine the quality of measurement data for the tested measuring systems. The results obtained by the testing show that RTK measuring system Trimble R8 GNSS is correct and that the calculated empirical standard deviations are smaller than the corresponding values declared by the manufacturer of the instrument.

**Testing of  
GNSS RTK  
Measuring  
Systems  
Precision  
according to  
the Standard  
ISO 17123-  
8:2007 by  
Applying  
CROPOS**

**Keywords:  
CROPOS, GNSS\_  
RTK\_ISO, precision,  
standard, VPPS**

Bilješke

