



# CROPOS

## hrvatski pozicijski sustav

» Marijan Marjanović

**SAŽETAK.** Tijekom 2008. godine, Državna geodetska uprava uspostavila je CROPOS (CROatian POSitionig System) sustav. CROPOS - hrvatski pozicijski sustav je državna mreža referentnih GNSS stanica Republike Hrvatske koji omogućava određivanje položaja u realnom vremenu, s točnošću od 2 cm u horizontalnom smislu te 4 cm u vertikalnom smislu, na čitavom području države. Sustav čini 30 referentnih GNSS stanica koje ravnomjerno prekrivaju područje države i služe za prikupljanje podataka mjerenja koji se kontinuirano šalju u kontrolni centar, gdje se obavlja provjera podataka mjerenja, obrada i izjednačenje te računanje korekcijskih parametara koji su dostupni korisnicima na terenu putem mobilnog interneta. Sustav je pušten u službenu uporabu 9. prosinca 2008. godine i u prvoj godini rada našao je široku primjenu u obavljanju svakodnevnih geodetskih zadaća. U radu su dane karakteristike CROPOS sustava i njegovih usluga koje su na raspolaganju korisnicima. Opisana je obrada podataka mjerenja i izjednačenje koordinata referentnih GNSS stanica CROPOS sustava koja je obavljena u skladu s preporukama Tehničke radne grupe EUREF-a s Bernese GPS Software Ver. 5.0. Opisan je i postupak registracije korisnika s pregledom broja korisnika i korištenja pojedinih usluga sustava te su navedene aktivnosti Državne geodetske uprave koje imaju za cilj unaprijediti pouzdanost rada sustava, kao i omogućiti korisnicima njegovu što jednostavniju primjenu u svakodnevnom radu.

**KLJUČNE RIJEČI:** CROPOS, usluge sustava, GNSS, referentni okvir, registracija korisnika, cjenik usluga sustava, korištenje sustava, HTRS96, HDKS

### > 1. Uvod

CROPOS sustav je državna mreža referentnih GNSS stanica koji postavlja nove standarde određivanja položaja i navigacije u Republici Hrvatskoj te omogućava primjenu modernih metoda mjerenja i moderne tehnologije u svakodnevnom radu geodetskih stručnjaka. Uspostavom sustava Republika Hrvatska je održala korak s razvijenim zemljama u kojima takvi sustavi postoje nekoliko godina, čime je omogućeno učinkovitije, jednostavnije i ekonomičnije obavljanje terenskih mjerenja. Primjena CROPOS sustava osigurava određivanje koordinata točaka na cijelom području države s istom točnošću i pomoću jedinstvenih metoda mjerenja te je njegovom uspostavom ispunjen jedan od najvažnijih uvjeta za implementaciju novih geodetskih datuma i kartografskih projekcija Republike Hrvatske.

Prilikom primjene klasične RTK metode mjerenja i prijema korekcijskih podataka samo s jedne stanice, ograničenje rada je u krugu do 10-ak km od bazne stanice (ili manje, ovisno o utjecaju ionosfere). Različiti vanjski utjecaji (atmosfera, ionosfera, širenje signala mjerenja, orbita satelita, konfiguracija terena) dovode do ograničenja udaljenosti bazne stanice i ro-

vera te problema rješavanja ambiguiteta. Taj nedostatak rješava se umrežavanjem više referentnih stanica čija udaljenost s obzirom na tehnologiju koja je danas na raspolaganju može biti do 80 km.

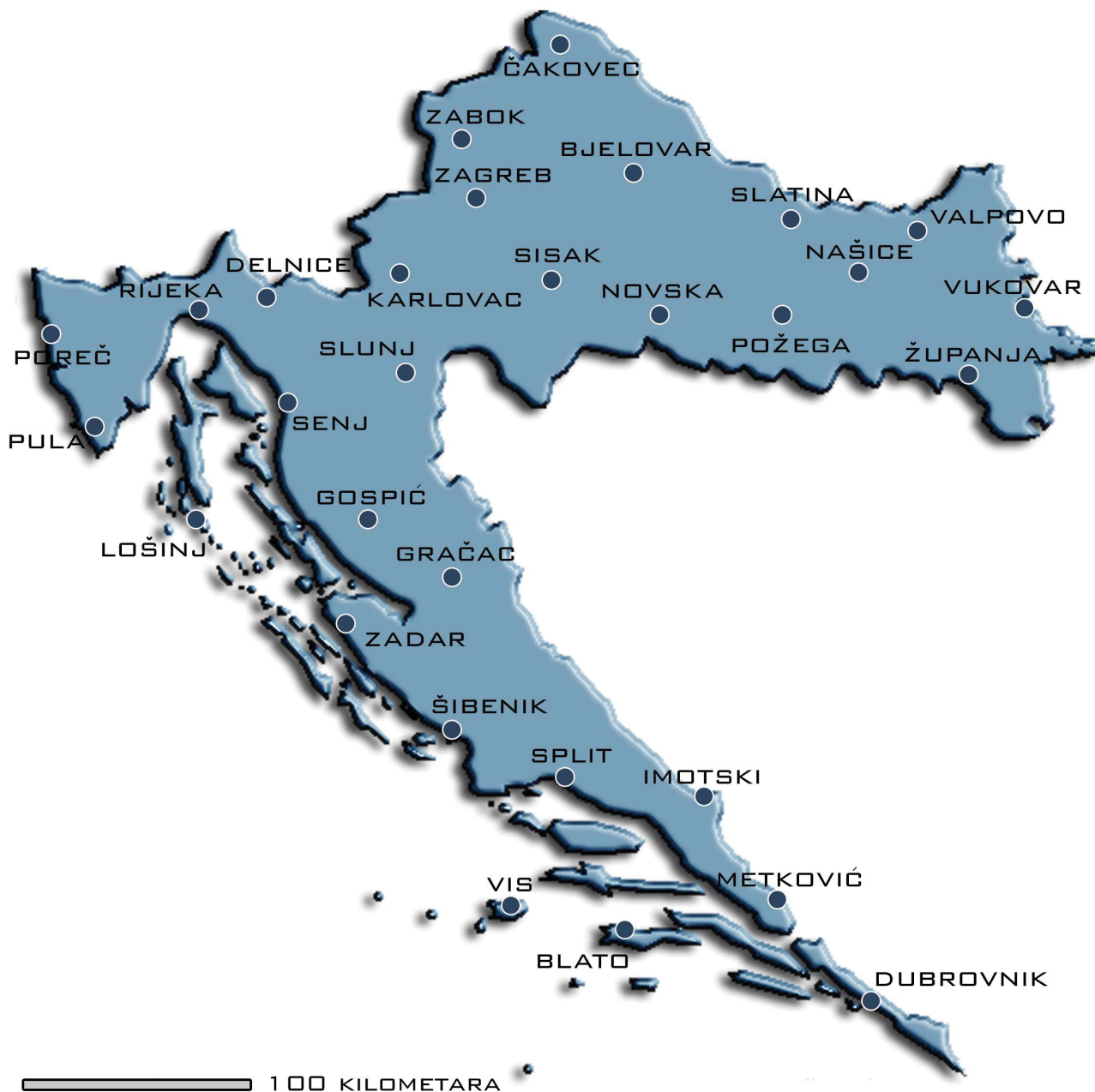
U okviru CROPOS sustava postavljeno je 30 referentnih GNSS stanica na međusobnoj udaljenosti od 70 km (Slika 2), tako da ravnomjerno prekrivaju područje države koje prikupljaju podatke mjerenja i kontinuirano ih šalju u kontrolni centar. U kontrolnom centru se podaci mjerenja provjeravaju, obrađuju te se obavlja izjednačenje mjerenja i računanje korekcijskih parametara. Korekcijski parametri dostupni su korisnicima na terenu putem mobilnog interneta i standardiziranog NTRIP protokola.

Ugovor za realizaciju CROPOS sustava potpisali su predstavnici Delegacije Europske unije u Zagrebu, Ministarstva financija Republike Hrvatske i izvoditelj radova, tvrtka Trimble Europe 28. studenog 2007. godine. Vrijednost ugovora bila je 1.396.460,00 €. Financijska sredstva osigurana su u okviru PHARE-2005 programa Europske unije (75%) i državnog proračuna Republike Hrvatske (25%). Ugovor je uključivao isporuku mjerne,

komunikacijske, računalne i programske opreme, njihovu instalaciju i testiranje rada sustava te edukaciju djelatnika Državne geodetske uprave za poslove održavanja i administracije sustava. Svi radovi predviđeni ugovorom dovršeni su 19 dana prije roka, tako da je sustav pušten u službenu uporabu 9. prosinca 2008. godine.



Slika 1. Mjerna i komunikacijska oprema GNSS stanice



Slika 2. CROPOS sustav - raspored referentnih GNSS stanica

## > 2.CROPOS

### 2.1 KOMPONENTE SUSTAVA

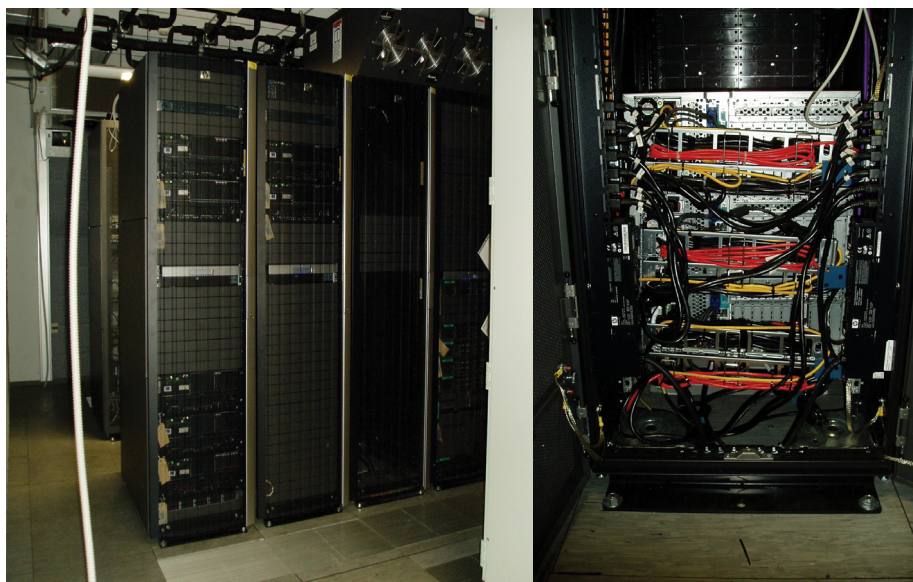
CROPOS sustav sastoji se od sljedećih komponenti:

1. 30 referentnih GNSS stanica čiji je zadatak prikupljanje podataka mjerenja i njihovo slanje u kontrolni centar (Slika 1):

- Trimble NetR5 GNSS prijammnici,
- Trimble Zephyr 2 Geodetic GNSS antena,
- Komunikacijska oprema (CISCO).

2. Kontrolnog centra u kojem se obavlja upravljanje i nadzor rada sustava (Slika 3):

- Prikupljanje, analiza, obrada i izjednačenja podataka mjerenja, računanje korekcijskih parametara (HP računalna oprema),
- Povezivanje svih komponenti sustava (CISCO komunikacijska oprema),



Slika 3. Kontrolni centar CROPOS sustava

- Distribucija RTCM i RTCM VRS korekcijskih podataka u realnom vremenu te RINEX i RINEX VRS podataka mjerenja za naknadnu obradu (HP i CISCO oprema).

Podaci mjerenja kontinuirano dolaze putem interneta u kontrolni centar gdje se obavlja njihova provjera, a zatim obrada i izjednačenje te računanje korekcijskih parametara koji su na raspolaganju korisnicima (Slika 4). Za korištenje korekcijskih parametara u realnom vremenu (RTCM format), korisnici pristupaju sustavu putem mobilnog interneta (GPRS) ili GSM-modema, dok se podaci za naknadnu obradu (RINEX i RINEX VRS format) mogu preuzeti putem interneta. Za pristup sustavu neophodno je imati korisničko ime i lozinku, odnosno obvezna je registracija korisnika u Državnoj geodetskoj upravi. U kontrolnom centru postoji ukupno 7 računalnih i 1 komunikacijski server koji imaju svoju zasebnu zadaću, ali se koriste i kao pričuva drugim serverima. Naime, svaka aplikacija sustava instalirana je najmanje na dva servera kako bi se osigurao njihov rad i u slučaju prekida rada jednog od servera.

Na prvoj CROPOS konferenciji, održanoj u lipnju 2009. godine u Zagrebu, potpisani su sporazumi o razmjeni podataka GNSS stanica između Republike Hrvatske i susjednih zemalja, Republike Crne Gore, Republike Mađarske i Republike Slovenije kako bi se osigurala što bolja pokrivenost graničnog područja te povećala pouzdanost rada sustava u slučaju neplaniranog prekida rada pojedine referentne stanice CROPOS sustava. Tako su u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara ukupno uključene 43 referentne GNSS stanice (CROPOS 30, MontePOS 2, GNSSnet.hu 4 i SIGNAL 7).

## 2.2 PREGLED AKTIVNOSTI DRŽAVNE GEODETSKE UPRAVE NA USPOSTAVLJANJU SUSTAVA

Aktivnosti Državne geodetske uprave na uspostavljanju sustava CROPOS možemo podijeliti na: aktivnosti vezane uz program PHARE-2005, izradu projekta mreže i natječajne dokumentacije, sudjelovanje u postupku javnog nadmetanja te radove vezane uz pripremu lokacija predviđenih za referentne stanice.

### PHARE-2005 program:

1. Prijava projekta: Modernization and Capacity Building of Integrated Land Administration System in Croatia and Harmonization in the Pilot Area - komponenta R3: CROPOS System.
2. Izrada dokumentacije za prija-

vu projekta za program PHARE-2005 (2005.).

3. Odobrenje projekta (rujan 2005.).
4. Potpisivanje sporazuma o financiranju projekta (prosinac 2005.).
5. Plan realizacije projekta (2006./2007./2008.).

### Projekt mreže:

1. Anкета - Područni uredi za katastar i Ispostave - 112 lokacija (ožujak 2005. - svibanj 2005.):

- administrativni i tehnički podaci o zgradi,
- podaci o mogućem smještaju opreme za referentnu stanicu, podaci o mogućem položaju antene, fotografije.

2. Idejni projekt lokacija referentnih stanica:

- Ravnomjerna pokrivenost zemlje, međusobna udaljenost ~70 km,
- Analiza podataka prikupljenih u anketi,
- Postojanje ureda Državne geodetske uprave.

3. Konačni projekt lokacija referentnih stanica (lipanj 2005. - ožujak 2006.):

- obilazak 54 lokacije,
- izrada projekta rasporeda referentnih stanica CROPOS sustava.

### Priprema lokacija predviđenih za referentne stanice:

1. Ugovor za izradu idejnog projekta IT/ITC infrastrukture (svibanj 2006.).
2. Ugovor za izradu nosača antena (svibanj 2006.).
3. Ugovor za postavljanje nosača antena i drugih potrebnih instalacija (rujan 2006.).
4. Ugovor za izradu podnožnih ploča potrebnih za postavljanje GNSS antene na nosač antene (svibanj 2007.).

### Izrada natječajne dokumentacije i po-

### stupak javnog nadmetanja:

1. Izrada natječajne dokumentacije, projekta sustava i tehničkih specifikacija sustava (lipanj 2005. - ožujak 2007.).

2. Objava javnog nadmetanja 4. svibnja 2007.

3. Otvaranje ponuda 17. srpnja 2007.

4. Potpis ugovora 28. studenog 2007.

Prema potpisanom ugovoru, rok za dovršetak sustava bio je 28. prosinca 2008. godine. Aktivnosti vezane uz uspostavljanje sustava i realizaciju ugovora možemo u osnovi podijeliti na tri dijela:

1. Isporuka mjerne, komunikacijske, računalne i programske opreme (5 mjeseci).

2. Instaliranje mjerne, komunikacijske, računalne i programske opreme na referentnim stanicama, kontrolnom centru i obuka djelatnika koji će raditi na održavanju sustava (4 mjeseca).

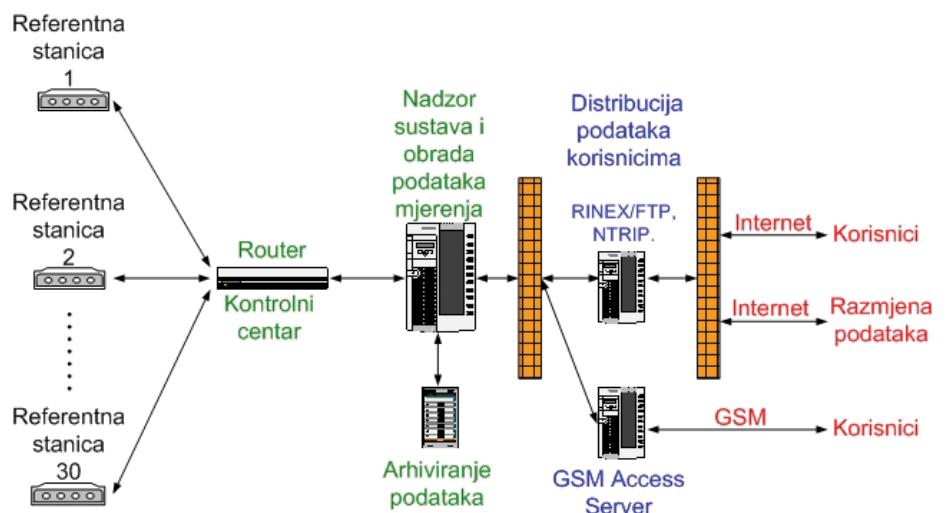
3. Testiranje rada sustava (3 mjeseca).

Svi radovi predviđeni ugovorom izvršeni su 19 dana prije roka, tako da je sustav pušten u službenu uporabu 9. prosinca 2008.

## 2.3 USLUGE CROPOS SUSTAVA

CROPOS sustav pruža korisnicima tri usluge koje se međusobno razlikuju po metodi rješenja, točnosti, načinu prijenosa podataka i formatu podataka (Tablica 1):

- DPS - diferencijalni pozicijski servis u realnom vremenu - namijenjen za primjenu u geoinformacijskim sustavima, upravljanju prometom, preciznoj navigaciji, zaštiti okoliša, poljoprivredi, šumarstvu i slično.
- VPPS - visokoprecizni pozicijski servis u realnom vremenu - namijenjen za primjenu u državnoj izmjeri, katastru, inženjerskoj geodeziji, izmjeri državne granice, hidrografiji i slično.
- GPPS - geodetski precizni pozicijski servis - namijenjen za primjenu u



Slika 4. Komponente CROPOS sustava

CROPOS USLUGA	METODA RJEŠENJA	TOČNOST	PRIJENOS PODATAKA	FORMAT PODATAKA
DPS	umreženo rjekodnih mjerenja u realnom vremenu	0,3 - 0,5 m	Wireless Internet (GPRS, UMTS) NTRIP Protocol	RTCM 2.3
VPPS	umreženo rješenje faznih mjerenja u realnom vremenu	0,02 m (2D) 0,04 m (3D)	Wireless Internet (GPRS, UMTS) NTRIP Protocol GSM	RTCM 2.3 RTCM 3.1
GPPS	post-processing	< 0,01 m	Internet (FTP, e-mail)	RINEX RINEX VRS

Tablica 1. Usluge CROPOS sustava

osnovnim geodetskim radovima, znanstvenim i geodinamičkim istraživanjima i slično.

## 2.4 ADMINISTRACIJA I ODRŽAVANJE SUSTAVA

Za administraciju i održavanje rada CROPOS sustava zadužen je Odjel osnovnih geodetskih radova u Sektoru za državnu izmjeru Državne geodetske uprave. Poslovi administracije i održavanja mogu se podijeliti na:

1. Praćenje rada sustava.
  2. Uklanjanje mogućih problema u radu sustava.
  3. Nadogradnja sustava:
    - instalacija novih verzija aplikacija sustava,
    - instalacija novih verzija firmware-a mjerne opreme.
  4. Sigurnosna pohrana podataka.
  5. Registracija korisnika.
  6. Podrška korisnicima.
  7. Obračun troškova korištenja sustava (registracija, mjesečno, godišnje).
  8. Izrada izvješća o korištenju sustava.
  9. Povezivanje i razmjena podataka. GNSS stanica sa susjednim zemljama.
- Tijekom 2009. godine sustav je nadograđen kako bi se dodatno unaprijedio rad sustava, osiguralo pouzdano i dugotrajno arhiviranje podataka te poboljšala učinkovitost nadzora i administracije servera sustava. Nadograđene su sljedeće komponente sustava:
- aplikacija za obračun i praćenje korištenja usluga sustava,
  - proširenje diskovnog prostora za pohranu podataka,
  - ugradnja sustava za backup podataka,
  - implementacija sustava za daljinski nadzor i upravljanje serverima sustava,
  - implementacija newslettera za obavještanje korisnika.

Visokom tehnološkom i tehničkom kvalitetom svih komponenti sustava, kao i njegovom administracijom i održavanjem, osiguran je pouzdan rad i dostupnost sustava. U prvoj godini rada sustava, sustav je bio neplanirano nedostupan ukupno 8 sati (prekid internet veze ili nestanak električne energije u kontrolnom centru) tj. dostupnost sustava bila je 99,9%.

## > 3. Referentni okvir CROPOS sustava

### 3.1 REFERENTNI SUSTAVI U SATELITSKOJ GEODEZIJI

Referentni sustavi i njihova definicija važni su za opis putanje gibanja satelita, modeliranje mjerenih veličina te određivanje koordinata točaka na površini Zemlje (Seeger 1993.). Povećanje točnosti mjerenja i određivanja položaja točaka na fizičkoj površini Zemlje pomoću metoda satelitske geodezije dovelo je do potrebe za povećanjem točnosti definiranja referentnih koordinatnih sustava. Referentni koordinatni sustavi u satelitskoj geodeziji su po svojoj prirodi globalni i geocentrički jer se sateliti gibaju u odnosu na središte masa Zemlje. Referentni sustav je definicija konstanti, modela i parametara neophodnih za osnovni matematički opis geometrijskih i fizikalnih veličina, dok je referentni okvir realizacija referentnog sustava koju čini određeni broj fizičkih točaka i njihovih koordinata dobivenih mjerenjima, u skladu s definicijom referentnog sustava (Jekeli 2006).

Tijekom godina, uslijed razvoja tehnologije, unapređivanja metoda mjerenja satelitske geodezije, povećanjem broja globalnih referentnih točaka i rješenja uključenih u konačno rješenje, realizirano je niz referentnih ITRF okvira (International Terrestrial Reference Frame) koji su u odnosu na prethodnu realizaciju donijeli napredak u pogledu stabilnosti, pouzdanosti i točnosti. Prva realizacija okvira imala je naziv ITRF1988, a najnovija realizacija je ITRF2005. U odnosu na prethodne realizacije ITRF-a koje su određene kombiniranjem pojedinih rješenja metoda satelitske geodezije, dobivenih na temelju niza kontinuiranih podataka mjerenja kroz dugo vremensko razdoblje, ITRF2005 okvir određen je korištenjem tjednih i dnevnih rješenja pojedinih metoda satelitske geodezije. International Terrestrial Reference Frame 2005 (ITRF2005) je realizacija International Terrestrial Reference System (ITRS) za 2005. godinu (Altamimi i dr. 2007).

### 3.2 ORBITA SATELITA

Kako bi se umjetni sateliti u orbiti Zemlje mogli uspješno koristiti, bilo je neophodno razviti modele za opis i definiranje položaja satelita, tj. putanje njihove

vog gibanja pod utjecajem svih djelujućih sila i uspostaviti odnos položaja satelita i položaja točaka na površini Zemlje u odgovarajućem globalnom koordinatnom sustavu. Značajan doprinos daljnjem razvoju primjene GNSS metode mjerenja za geodetske primjene, bilo je osnivanje IGS službe (International GPS Service for Geodynamics) 1994. godine. IGS služba predstavlja dobrovoljnu suradnju više od 200 organizacija iz više od 80 zemalja. Globalnu IGS mrežu čini oko 400 referentnih GNSS stanica koje registriraju podatke mjerenja i šalju ih IGS centrima za analizu podataka na temelju kojih se računa precizna orbita i korekcije satova satelita.

Precizna orbita GNSS satelita jedan je od osnovnih preduvjeta za primjenu te metode mjerenja kod najviših zahtjeva točnosti (Gurtner 1993). Podatke preciznih efemerida i gibanja pola Zemlje računa IGS služba i na raspolaganju su korisnicima putem Interneta 12 dana nakon obavljenih mjerenja (URL-3). Za obradu podataka mjerenja korištena je finalna IGS orbita s pripadajućim podacima za gibanje pola Zemlje.

### 3.3 BERNESE GPS PROGRAMSKI SUSTAV

Znanstveni program Bernese GPS Software, namijenjen za obradu podataka GNSS mjerenja, razvijen je na Astronomskom institutu Sveučilišta u Bernu (AIUB) pod vodstvom prof. dr. sc. G. Beutlera (Hugentobler i dr. 2005.). Od 1988. godine do danas, razvijeno je osam glavnih verzija programa u cilju praćenja brzog razvoja primjene GNSS tehnologije visoke točnosti. Bernese GPS Software je složen programski sustav za obradu podataka GNSS mjerenja s najvećim zahtjevima točnosti koji svoju primjenu nalazi u znanstvenim istraživanjima, određivanju osnovnih geodetskih mreža, mrežama permanentnih stanica i u svakodnevnoj geodetskoj praksi, kod radova koji zahtijevaju visoku točnost i pouzdanost.

Značajke Bernese GPS Software sustava su njegova modularnost, brzina obrade podataka mjerenja, mogućnost prilagodbe potrebama korisnika i detaljan nadzor nad svim parametrima važnim za obradu podataka mjerenja. Program je izrađen za instalaciju i rad na računalima s operacijskim sustavima UNIX i LINUX

te MS Windows. Velika prednost i novina verzije programa 5.0 je razvoj novog modula Bernese Processing Engine (BPE) koji omogućava automatiziranu obradu podataka mjerenja što olakšava rad s velikim projektima.

Bernese GPS Software sustav čini oko 1200 modula napisanih u Fortran 77/90 i C programskim jezicima. Korisničko sučelje služi za upravljanje s gotovo 100 glavnih programa koji su logički podijeljeni u šest cjelina:

- Transfer podataka: pretvaranje podataka iz RINEX formata u Bernese format i obratno, kao i mogućnost uređivanja RINEX datoteka.
- Formatiranje podataka: uređivanje datoteka koje sadrže podatke bitne za obradu podataka mjerenja iz datoteka drugih formata (SINEX, ANTEX, itd.).
- Orbita: generiranje orbite satelita neovisno o izvornim podacima, računanje precizne orbite, usporedba orbite.
- Obrada podataka: obrada podataka kodnih mjerenja, obrada podataka faznih mjerenja, obrada razlika kodnih mjerenja, obrada razlika faznih mjerenja, računanje parametara (koordinate, brzine, troposfera), računanje kombiniranih rješenja.
- Simulacija: mogućnost simulacije podataka mjerenja koja se temelje na statističkim podacima.
- Pomoćni programi: pregled i uređivanje datoteka s podacima mjerenja u binarnom formatu, pretvaranje datoteka iz binarnog u ASCII format i obratno, uspoređivanje i transformacija koordinata, prikaz reziduala, itd.

### 3.4 OBRADA PODATAKA MJERENJA

Obrada podataka mjerenja i izjednačenje koordinata referentnih GNSS stanica CROPOS sustava obavljeno je s Bernese GPS Software Ver. 5.0 (Marjanović i Bašić 2009). Obrada podataka obavljena je u skladu s specifikacijama Tehničke radne grupe EUREF-a koje se koriste za uspostavljanje nacionalnih EUREF mreža (Boucher i Altamimi 2008), uputama za obradu podataka EPN (EUREF Permanent Network) mreže (URL-1) te specifikacijama za korištenje IGS proizvođa (Kobuba 2003). Službene koordinate CROPOS referentnih GNSS stanica izračunane su za GPS tjedan 1503. Obrada podataka mjerenja obavljena je u ITRF2005 referentnom okviru i epohi mjerenja, a zatim su koordinate točaka transformirane u ETRF00 (R05). U obradu podataka mjerenja ukupno su uključene 42 točke: 30 CROPOS referentnih GNSS stanica i 12 točaka globalne IGS mreže. Tijekom obrade podataka mjerenja korištena su sva raspoloživa

mjerenja, tj. broj podataka mjerenja nije smanjivan povećanjem intervala između uzastopnih epoha mjerenja, tako da je za IGS točke korišten interval mjerenja od 30 sekundi, dok je za CROPOS referentne stanice taj interval bio 15 sekundi.

Prilikom pripreme podataka mjerenja za obradu posebnu je pozornost bilo potrebno obratiti na GNSS antene i njihove visine, pošto su korištene antene različitih proizvođača. Unos točnog modela antene važan je zbog ispravne primjene modela varijacija faznog centra antene jer, u suprotnom, pogreška određivanja visine točke može biti i 10 cm (Rothacher i dr. 1995).

Točke globalne IGS mreže korištene su kao referentne točke (GRAZ, MATE, PENC, WTZR i ZIMM), ali i kao kontrolne točke (BRUS, GOPE, JOZE, KOSG, MEDI, OSJE i POTS) čiji su podaci mjerenja obrađivani na isti način kao i podaci ostalih točaka u svrhu usporedbe EPN rješenja za GPS tjedan 1503 s dobivenim rezultatima. Koordinate referentnih IGS točaka dane su u ITRF2005 okviru, epoha 2000,0, a zatim su tijekom obrade podataka mjerenja koordinate točaka transformirane u epohu mjerenja.

Na rezultate obrade podataka GNSS mjerenja utjecaj imaju pojave koje djeluju na signal mjerenja tijekom njegovog puta od antene satelita do antene prijemnika te pojave uzrokovane djelovanjem masa Sunca, Mjeseca i drugih planeta. U Bernese GPS Software sustavu su već sadržani određeni modeli koje je potrebno primijeniti tijekom obrade podataka mjerenja, ali neke je modele potrebno izračunati tijekom same obrade podataka mjerenja ili pripremiti iz drugih izvora te uključiti u obradu:

- plimni valovi čvrste Zemlje,
- plimni valovi oceana ili tzv. ocean loading (URL-2),
- DE200 - Development Ephemerides (URL-3),
- ionosfera,
- troposfera,
- varijacije faznog centra antene.

Predobrada podataka mjerenja obuhvaća sve radnje i procese u cilju provjere podataka i uklanjanja loših podataka mjerenja kako bi se obavila priprema za što jednostavnije i uspješnije rješavanje ambiguiteta. Zbog brže obrade, podaci mjerenja se iz RINEX formata pretvaraju u binarni format Bernese GPS Software programa, pri čemu iz svake RINEX datoteke nastaju četiri nove datoteke te se razdvajaju kodna i fazna mjerenja (datoteka zaglavlja kodnih mjerenja, datoteka kodnih mjerenja, datoteka zaglavlja faznih mjerenja, datoteka faznih mjerenja). Provjera

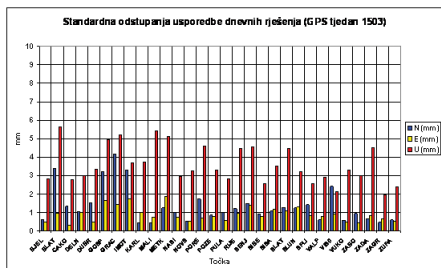
podataka mjerenja razdvaja se na provjeru kodnih mjerenja i provjeru faznih mjerenja. Osnovni cilj provjere kodnih mjerenja je usklađivanje sata prijemnika s GPS vremenom, dok je kod faznih mjerenja to traženje i uklanjanje cycle slip. Odrediti ambiguitete znači pridružiti njihovim realnim vrijednostima točne cjelobrojne vrijednosti. U prvom koraku se nepoznati broj punih valnih duljina u jednadžbama mjerenja, tzv. inicijalni fazni ambiguiteti, određuju kao realni brojevi, a zatim u drugom koraku, kao cijeli brojevi. Određivanje ambiguiteta značajno smanjuje broj nepoznanica, što je vrlo bitno kod obrade velikog broja mjerenih točaka kroz dulje vremensko razdoblje, a na taj način rješenje postaje stabilnije i pouzdanije (Mervart 1995). Uspješnost određivanja ambiguiteta ovisi o kvaliteti samih mjerenja, tj. o broju cycle slip-ova, utjecaju multipatha, utjecaju ionosfere, broju mjerenja, tj. duljini sesije mjerenja, kao i duljini bazisne linije za koju se određuju ambiguiteti.

Nakon dovršetka obrade svih bazisnih linija jedne sesije i rješavanja ambiguiteta, obrada podataka se nastavlja računanjem dnevnih rješenja programom GPSEST, tj. računanjem rješenja jedne sesije mjerenja kako bi se pripremile datoteke normalnih jednadžbi koje se kasnije koriste za računanje konačnog rješenja. Za svaku sesiju mjerenja odaberu se sve bazisne linije te koristeći L3 linearnu kombinaciju mjerenja i riješene L1 i L2 ambiguitete iz prethodnog koraka, bez čvrstog vezanja za referentne IGS točke, nego se računa tzv. slobodno rješenje s apriori standardnim odstupanjem za njihove koordinate 0,001 m.

### 3.5 RAČUNANJE KONAČNOG RJEŠENJA

Za GPS tjedan 1503 izračunato je konačno rješenje korištenjem pripremljenih datoteka normalnih jednadžbi dnevnih rješenja programom ADDNEQ2. Kod izjednačenja korištene su koordinate referentnih IGS točaka Graz, Matera, Penc, Wettzell i Zimmerwald. Koordinate referentnih točaka treba uvijek preračunati iz referentne epohe u epohu mjerenja korištenjem brzina ili godišnjih promjena koordinata. Ovakav pristup osigurava dosljednost s IGS orbitom satelita i referentnim ITRF okvirom. Formalna standardna odstupanja izjednačenja mjerenja programom ADDNEQ2 su daleko bolja od realne točnosti određivanja koordinata (od 0,1 do 0,3 mm). Uzrok tako malih standardnih odstupanja je izuzetno velik broj podataka mjerenja i činjenica da njihove uzastopne vrijednosti nisu potpuno neovisne. Koordinate točaka koje su određene u dnevnim

rješenjima su neovisne jedne od drugih te stoga standardna odstupanja dobivena na temelju usporedbe dnevnih rješenja daju realniju ocjenu točnosti određivanja koordinata točaka (Slika 5). Kao što se vidi iz slike 5, položajna standardna odstupanja dobivena na temelju usporedbe dnevnih rješenja su gotovo kod svih točaka oko 2 mm, dok su standardna odstupanja visina bolja od 5 mm.

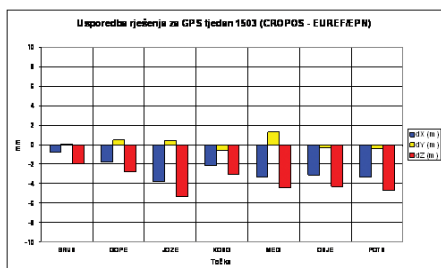


Slika 5. Standardna odstupanja usporedbe dnevnih rješenja - GPS tjedan 1503

### 3.6 USPOREDBA KOORDINATA KONTROLNIH IGS TOČAKA S EPN RJEŠENJEM

U obradu podataka mjerenja su, osim referentnih IGS točaka, uključene i kontrolne IGS točke čiji su podaci mjerenja obrađivani na isti način kao i podaci ostalih točaka. Kontrolne IGS točke koristile su se za provjeru svih koraka obrade podataka mjerenja i konačnog računanja koordinata referentnih GNSS stanica CROPOS mreže, na temelju usporedbe s rješenjem EPN mreže za GPS tjedan 1503 s dobivenim rezultatima (Slika 6).

Kao što se vidi iz slike 6, vrijednosti razlika koordinata kontrolnih IGS točaka su malog reda veličine, pri čemu treba obratiti pozornost posebno na razlike točke OSJE koja se nalazi na području CROPOS mreže, što je neovisna kontrola da je obrada podataka dobro obavljena i da stanice CROPOS mreže čine dio globalnog referentnog okvira.



Slika 6. Usporedba koordinata kontrolnih IGS točaka - GPS tjedan 1503

## > 4. Registracija korisnika i korištenje sustava

Usluge CROPOS sustava dostupne su isključivo registriranim korisnicima koji u tu svrhu podnose zahtjev za registraciju Državnoj geodetskoj upravi, u kojem navode podatke o tvrtki, vrstu usluge i broj

licenci, kao i izjavu o prihvaćanju općih uvjeta korištenja usluga sustava. Na temelju podataka u zahtjevu za registraciju, korisnik dobiva za svaku pojedinu uslugu korisničko ime i lozinku, pomoću kojih mu je omogućen pristup sustavu te upute za pristup sustavu, tj. parametre za podešavanje mjernog uređaja. Jednim korisničkim imenom i lozinkom korisnici mogu istovremeno pristupiti sustavu samo s jednim mjernim uređajem. Usluge sustava naplaćuju se korisnicima prema Pravilniku o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka državne izmjere i katastra nekretnina („Narodne novine“, br. 148/2008, Tablica 2). Prilikom registracije korisnik plaća jednokratnu naknadu od 300.00 kn.

Od 9. prosinca 2008. godine do 31. prosinca 2009. godine registrirane su 252 tvrtke (Slika 7) s ukupno 654 korisnika (Slika 8).

Kao što se vidi iz slika 7 i 8, broj registriranih tvrtki i korisnika kontinuirano raste, što je pokazatelj da je sustav odlično prihvaćen od strane geodetskih stručnjaka. Razlozi zbog kojih je broj registriranih tvrtki i korisnika vrlo brzo rastao mogu biti podijeljeni u četiri skupine:

#### 1. Ekonomičnost

- smnjenje broja prijavnika potrebnih za obavljanje mjerenja
- skaćenje potrebnog vremena za obavljanje mjerenja
- cjenovni model korištenja usluga sustava

#### 2. Točnost

- jedinstvena točnost određivanja koordinata točaka na cijelom području države
- homogenost mjerenja na cijelom području države

#### 3. Pouzdanost rada sustava

- visoka tehnološka i tehnička kvaliteta sustava
- dostupnost sustava

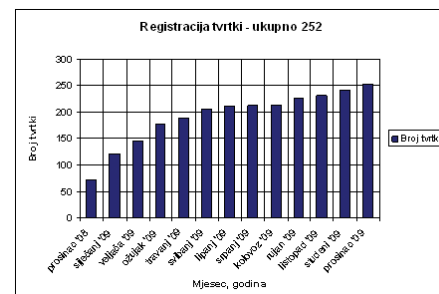
#### 4. Povjerenje korisnika

- projektiranje, uspostavljanje i puštanje sustava u službenu uporabu – pridržavanje planiranih rokova
  - informiranje i podrška korisnika
- S brojem registriranih tvrtki i korisnika stalno se povećavao ukupni broj minuta mjesečnog korištenja sustava. Ukupno korištenje VPPS usluge (RTK u realnom vremenu) u razdoblju od prosinca 2008. godine do prosinca 2009. godine bilo je 3.396.932 minuta (Slika 9), a GPPS usluge (naknadna obrada) 854.700 minuta (Slika 10).

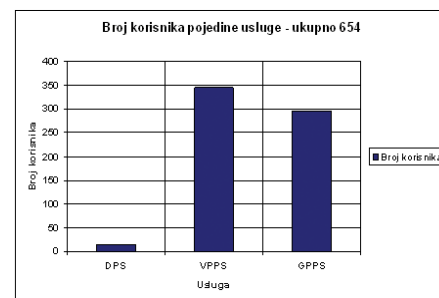
USLUGA	JEDINICA NAPLATE	CIJENA
CROPOS - DPS	1 godina*	1.000,00 kn
CROPOS - VPPS	1 minuta	0,35 kn
	1 godina	5.000,00 kn
CROPOS - GPPS	1 minuta**	0,50 kn

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

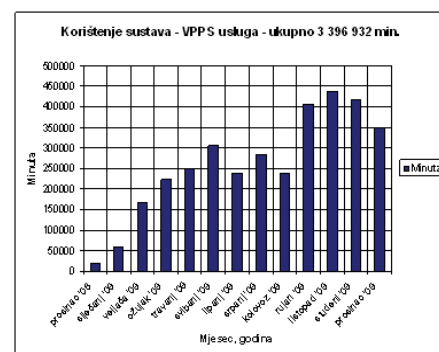
Tablica 2. Cijene korištenja CROPOS sustava



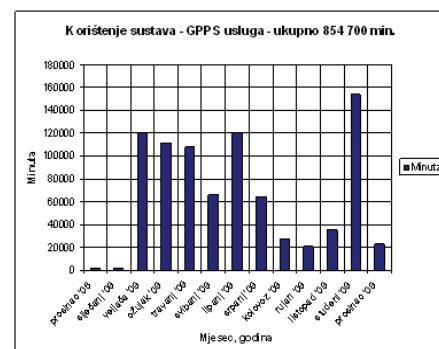
Slika 7. Broj registriranih tvrtki (prosinac 2008. - prosinac 2009.)



Slika 8. Broj korisnika pojedine usluge (prosinac 2008. - prosinac 2009.)



Slika 9. Korištenje sustava - VPPS usluga (prosinac '08 - prosinac '09)



Slika 10. Korištenje sustava - GPPS usluga (prosinac '08 - prosinac '09)

## > 5. Informiranje korisnika

U okviru projekta »Integrated Land Administration System« PHARE-2005 programa Europske unije – komponenta R1, obavljeno je niz aktivnosti koje su imale za cilj informirati korisnike o CROPOS sustavu, njegovim karakteristikama, mogućnostima i načinima primjene u svakodnevnom radu te je izrađeno:

- CROPOS letak,
- CROPOS brošura,
- web stranica: [www.cropos.hr](http://www.cropos.hr), [www.cropos.eu](http://www.cropos.eu),
- informativne radionice (Rijeka, Split, Zagreb, Vinkovci) na kojima je sudjelovalo više od 800 sudionika,
- CROPOS – priručnik za korisnike (Marjanović i Link 2009.),
- CROPOS video.

U lipnju 2009. godine organizirana je u Zagrebu prva CROPOS konferencija s ciljem informiranja korisnika o radu CROPOS sustava, kao i međusobne razmjene iskustava samih korisnika sustava. Također, tijekom 2009. godine, implementiran je u okviru web stranice CROPOS-a, sustav newslettera za obavještanje korisnika.

## > 6. Buduće aktivnosti

Sredinom 2005. godine započeo je znanstveno-stručni projekt u suradnji Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Državne geodetske uprave koji je imao za cilj definirati postupak transformacije između starog i novog geodetskog datuma (Bašić i dr. 2006.). Nakon definiranja i izrade transformacijskog modela i prikupljanja podataka o identičnim točkama u oba koordinatna sustava, utvrđeno je da je broj identičnih točaka nedovoljan te da su točke neravnomjerno raspoređene na području države pa je trebalo obaviti dodatna terenska mjerenja. Uspostavljanje CROPOS sustava omogućilo je brzo i ekonomično GNSS mjerenje trigonometrijskih točaka u svrhu povećanja broja identičnih točaka za izradu jedinstvenog transformacijskog modela HTRS96/HDKS, tako da je obavljeno mjerenje na dodatne 2994 trigonometrijske točke (Marjanović i dr. 2009.). U Bazu podataka stalnih točaka geodetske osnove unesene su i vrijednosti koordinata trigonometrijskih točaka koje su određene GNSS metodom mjerenja u okviru izvođenja radova katastarskih izmjera i izmjera poljoprivrednog zemljišta, tako da je ukupan broj identičnih točaka korišten za izradu novog jedinstvenog transformacijskog modela 5200 (Bašić 2009.).

Cilj projekta je dovršetak jedinstvenog transformacijskog modela Republike Hrvatske i njegova implementacija u

CROPOS sustav tijekom 2010. godine, čime će biti omogućeno korisnicima na terenu obavljanje transformacije koordinata iz novog u stari geodetski datum u realnom vremenu.

## > 7. Zaključak

Uspostavom CROPOS sustava učinjen je značajan tehnološki iskorak čime je omogućena primjena suvremenih metoda mjerenja u rješavanju svakodnevnih geodetskih zadaća. Koordinate CROPOS referentnih GNSS stanica određene su s visokom točnošću, što pokazuje i srednje standardno odstupanje koordinata referentnih stanica dobiveno na temelju usporedbe sedam dnevnih rješenja i zajedničkog izjednačenja koje iznose  $\sigma_\phi = 1.2$  mm,  $\sigma_\lambda = 1.1$  mm i  $\sigma_h = 3.4$  mm. Vrijednosti srednjeg standardnog odstupanja mjerenih točaka koje su dobivene na temelju usporedbe dnevnih rješenja za visinsku komponentu su nešto veće od vrijednosti za horizontalnu komponentu, što je i očekivano, pošto je točnost određivanja elipsoidnih visina točaka GNSS metodom mjerenja približno tri puta slabija nego određivanje horizontalnog položaja točke. Usporedba rezultata obrade podataka kontrolnih IGS točaka s rješenjem EPN mreže ukazuje da je obrada podataka dobro obavljena i da stanice CROPOS mreže čine dio globalnog referentnog okvira. Uspostavljanje CROPOS sustava i prva godina njegovog rada pokazuju njegovu opravdanost i značajan doprinos Državne geodetske uprave u geodetskom, informacijsko-komunikacijskom i gospodarskom razvoju Republike Hrvatske.

## > Literatura

- » Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand, J., Garayt, B., Boucher, C. (2007): ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on the time series of station positions and Earth Orientation Parameters, *Journal of Geophysical Research* Vol. 112, 2007.
- » Bašić, T., Šljivarić, M., Buble, G. (2006): Jedinstveni transformacijski model HTRS96/HDKS, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2004.-2005. godine, Državna geodetska uprava, 2006.
- » Bašić, T. (2009): Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006.-2008. godine, Državna geodetska uprava, 2009.
- » Boucher, C., Altamimi, Z. (2008): Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS

campaigns, IERS Memo Version 7., Observatoire de Paris, 2008.

- » Gurtner, W. (1993): The use of IGS Products for Densifications of Regional/Local Networks, Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for the European Reference Frame - EUREF in Budapest, 17-19 May 1993, Muenchen, 1993.
- » Hugentobler, U., Dach, R., Fridez, P., Gurtner, W., Habrich, H., Ineichen, D., Jaeggi, P., Meindl, M., Mervart, L., Rothacher, M., Schaer, R., Schmid, T., Springer, T., Steigenberger, P., Svehla, D., Thaller, C., Urschl, C., Weber, R. (2005): Bernese GPS Software Version 5.0, Bern, 2005.
- » Jekeli, C. (2006): Geometric Reference Systems in Geodesy, Ohio State University, 2006.
- » Kouba, J. (2003): A guide to using International GPS Service (IGS) Products, Geodetic Survey Division, Natural Resources Canada, 2003.
- » Marjanović, M., Link, H.-P. (2009): CROPOS – Priručnik za korisnike, Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN: 978-953-293-100-6, Zagreb, 2009.
- » Marjanović, M., Premužić, M., Slevka, B. (2009): GNSS mjerenja točaka trigonometrijske mreže u svrhu izrade jedinstvenog transformacijskog modela, 1. CROPOS konferencija, Zbornik radova, 8.-9. lipnja 2009. god., Zagreb.
- » Marjanović, M., Bašić, T. (2009): CROPOS – referentni okvir, II. Simpozij ovlaštenih inženjera geodezija, Zbornik radova, 23.-25. listopada 2009. god., Opatija.
- » Mervart, L. (1995): Ambiguity Resolution Techniques in Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System, PhD Thesis, Astronomisches Institut Universitaet Bern, 1995.
- » Pravilniku o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka državne izmjere i katastra nekretnina, „Narodne novine“, br. 148/2008.
- » Rothacher, M., Schaer, S., Mervart, L., Beutler, G. (1995): Determination of Antenna Phase Center Variations Using GPS Data, Proceedings of the IGS Workshop in Potsdam on Special Topics and New Directions, May 15-17, 1995, Potsdam.
- » Seeber, G. (1993): Satellite Geodesy, Walter de Gruyter, Berlin-New York, 1993.
- » URL-1: <http://www.epncb.oma.be>.
- » URL-2: <http://www.oso.chalmers.se/~loading/>.
- » URL-3: <http://igsceb.jpl.nasa.gov>. 