

ISSN 1847-4098



REPUBLIKA HRVATSKA - DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA
REPUBLIC OF CROATIA - STATE GEODETIC ADMINISTRATION



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - GEODETSKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB - FACULTY OF GEODESY



HRVATSKA KOMORA OVLAŠTENIH INŽENJERA GEODEZIJE
CROATIAN CHAMBER OF CHARTERED GEODETIC ENGINEERS



HRVATSKO GEODETSKO DRUŠTVO
CROATIAN GEODETIC SOCIETY



2. CROPOS konferencija

Zbornik radova

Zagreb, srpanj 2011.

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
HRVATSKO GEODETSKO DRUŠTVO, Berislavićeva 6, HR-10000 Zagreb

Glavni urednik:

prof.dr.sc. Tomislav Bašić

Urednici:

dr.sc. Marijan Marjanović

dr.sc. Danko Markovinović

Tehnički urednik:

Margareta Premužić, dipl.ing.

Organizacijski odbor konferencije:

Tomislav Bašić, predsjednik

Marinko Bosiljevac

Jožef Delak

Branko Kleković

Marijan Marjanović

Danko Markovinović

Suradnici:

Olga Bjelotomić

Martina Ciprijan

Ivana Miletić

Marko Pavasović

Margareta Premužić

Jasmina Trupković

Sponzori konferencije:

ZLATNI SPONZOR: Geofoto d.o.o.

Geomatika SMOLČAK d.o.o.

SREBRNI SPONZOR: Hrvatski Telekom d.d.

BRONČANI SPONZOR: Zavod za fotogrametriju d.d.

Geoprojekt d.o.o.

DIT d.o.o.

Megatrend poslovna rješenja d.o.o.

Tisak:

Digital IN d.o.o.

Naklada:

750 primjeraka

Napomena:

Svi radovi su tiskani u obliku kako su ih autori napisali, bez naknadne recenzije i lekture teksta.
Zbornik radova će biti objavljen u .pdf obliku na web stranici CROPOS sustava: www.cropos.hr

ISSN 1847-4098

Sadržaj

Tomislav Bašić	
Uvodna riječ	5

Željko Bačić, Marinko Bosiljevac, Tomislav Bašić	
CROPOS priznanja istaknutim pojedincima i ustanovama	7

UVODNA PREDAVANJA

Marinko Bosiljevac, Marijan Marjanović, Margareta Premužić	
CROPOS – dvije godine poslije	13

Marijan Marjanović	
CROPOS – pozicioniranje nikad lakše i jednostavnije u Hrvatskoj	21

POZVANA PREDAVANJA

Carine Bruyninx	
Maintenance of the ETRS89 using EUREF's permanent GNSS service	33

Bojan Stopar, Oskar Sterle, John Weber, Marko Vrabec	
The role and importance of GNSS for Geodynamics	39

Ana Karabatić	
GNSS Meteorology-Use of GNSS Reference Station Data for Troposphere Monitoring	43

Volker Wegener	
Globalization of GNSS Networks	53

Heiner Denker, Tomislav Bašić	
Europski gravimetrijski geoid EGG2008 i hrvatski geoid HRG2009	59

PERMANENTNE GNSS MREŽE I DATUMSKE TRANSFORMACIJE

Sandi Berk, Katja Bajec, Klemen Kozmus Trajkovski, Bojan Stopar	
Status of the SIGNAL Positioning Service and Transformation between the Local and ETRS89 Coordinates in Slovenia	73

Darko Mišković, Nedžad Pašalić	
Implementacija projekta BIHPOS - mreže permanentnih GNSS stanica u BiH (SRPOS/FBiHPOS)	83

Margareta Premužić, Marko Šljivarčić T7D korisnička aplikacija	87
Mihajla Liker, Branka Vorel Obratna transformacija k.o. Jalkovec u HTRS96_TM	101
Željko Hećimović Koordinatni sustav, referentni sustav i referentni okvir za novi sustav određivanja položaja u Hrvatskoj.....	115

PRAKTIČNA PRIMJENA CROPOSA – ISKUSTVA KORISNIKA

Marko Pavasović, Željko Bačić, Milan Rezo, Olga Bjelotomić, Danko Markovinović, Tomislav Bačić Analiza vremenski nezavisnih signala u CROPOS mreži	125
Ilija Grgić, Maro Lučić, Ivan Malović, Davor Kršulović, Tomislav Bačić STATIKA ili VRS	137
Danko Markovinović, Milan Rezo, Olga Bjelotomić, Marko Pavasović, Tomislav Bačić Kontrola visina na točkama GPS mreže Grada Zagreba uporabom VPPS servisa CROPOS sustava	147
Milan Rezo, Marko Pavasović, Olga Bjelotomić, Danko Markovinović, Tomislav Bačić, Željko Bačić Usporedba izjednačenih koordinata iz direktno mjerenih i generiranih CROPOS-om	159
Ivan Vojnović, Ivan Miljković, Danko Gjuretek, Tomislav Bačić Primjena suvremene geodetske opreme i metoda mjerenja kod izvođenja geodetskih radova na novim katastarskim izmjerama	171
Mladen Zrinjski, Nikola Solarić, Tomislav Bačić Određivanje koordinata stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom CROPOS-a	181
Danijel Šugar, Željko Bačić CROPOS DSP servis u nastavi kolegija Navigacija na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu	195



Uvodna riječ

Prof.dr.sc. Tomislav Bašić

Ovaj Zbornik sadrži radove koji su bili prezentirani na 2. CROPOS konferenciji, održanoj 8. travnja 2011. godine na Geodetskom fakultetu u Zagrebu, Kačićeva 26. Organizatori tog vrlo uspješnog skupa bili su Državna geodetska uprava Republike Hrvatske i Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu u suradnji s Hrvatskom komorom ovlaštenih inženjera geodezije i Hrvatskim geodetskim društvom. Zaista veliki interes struke za ovaj skup očitovao se je i u činjenici da se na njemu okupilo više od 400 sudionika. Konferenciju je svečano otvorio ministar zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva g. Branko Bačić. Otvaranju konferencije prisustvovali su visoki predstavnici državnih institucija susjednih zemalja: direktor FÖMI-ja - Mađarskog instituta za geodeziju, kartografiju i daljinska istraživanja Bence Toronyi, načelnik Uprave za nekretnine Crne Gore Predrag Femić, direktor Geodetske uprave Republike Slovenije Aleš Seliškar, zamjenik direktora Republičke uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove Republike Srpske Dragan Macanović i direktor Federalne uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove Federacije Bosne i Hercegovine Željko Obradović.



Uz razmjenu domaćih i međunarodnih iskustava vezanih za rad i korištenje permanentnih GNSS mreža, cilj ove konferencije bio je upoznavanje geodetske i šire javnosti s implementacijom novih službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, te uvođenje i primjena jedinstvenog transformacijskog modela u službenu uporabu. Time se korisnicima CROPOS-a omogućava još jednostavnije i učinkovitije obavljanje svakodnevnih zadaća, a krug korisnika proširuje na sve više subjekata geodetsko-katastarskog sustava, ali i na druga tijela državne uprave, javna poduzeća, gospodarstvo i cjelokupnu javnost. CROPOS sustav je u samo dvije godine rada postao nezaobilazan pozicijski servis u obavljanju svakodnevnih poslovnih zadaća unutar geodetsko-katastarskog sustava i šire. Na to su se u uvodnim predavanjima posebno osvrnuli pomoćnik ravnatelja Marinko Bosiljevac i načelnik dr. sc. Marijan Marjanović iz Državne geodetske uprave.

Nakon uspješne 1. CROPOS konferencije održane u lipnju 2009. godine, veliko nam je zadovoljstvo da su ove godine pozvana predavanja održali eminentni stručnjaci iz područja GNSS mreža permanentnih stanica, geodinamike, GNSS meteorologije i određivanja Zemljin polja ubrzanja sile teže: dr. sc. Carine Bruyninx s Kraljevskog opservatorija Belgije koja je održala predavanje o statusu europske permanentne GNSS mreže, prof. dr. sc. Bojan Stopar s Fakulteta za građevinu i geodeziju Sveučilišta u Ljubljani s predavanjem o ulozi i važnosti GNSS-a u geodinamičkim istraživanjima, dr. sc. Ana Karabatić s Instituta za geodeziju i geofiziku Tehničkog Sveučilišta u Beču, koja je održala predavanje o mogućnostima korištenja podataka GNSS referentnih stanica u GNSS meteorologiji, te predavanje o globalizaciji GNSS mreža koje je održao g. Volker Wegener iz tvrtke Trimble Njemačka. Prof. dr. sc. Tomislav Bašić s Geodetskog fakulteta predstavio je rad o europskom i hrvatskom geoidu, koji je nastao u koautorstvu s dr. sc. Heinerom Denkerom s Instituta za izmjeru Zemlje Leibnitz Sveučilišta u Hannoveru.

U nastavku su održana predavanja iz područja permanentnih GNSS mreža i transformacije datuma, gdje su kolege Sandi Berk i Darko Mišković predstavili poznati nam već slovenski SIGNAL odnosno BiHPOS GNSS pozicijski sustav koji bi trebao uskoro proraditi na području Bosne i Hercegovine. Kolegice Margareta Premužić i Mihajla Liker prezentirale su potom radove o transformaciji, a dr. sc. Željko Hećimović upoznao je slušateljstvo s problematikom novog referentnog koordinatnog sustava i okvira u Hrvatskoj. Tijekom zadnje sesije razmatrana su praktična iskustva u primjeni CROPOS-a, pa su naši stručnjaci Marko Pavasović, Maro Lučić, dr. sc. Danko Markovinović, dr. sc. Milan Rezo i Ivan Miljković održali vrlo interesantna predavanja na tu temu. U Zborniku se na kraju nalaze i dva rada koja su bila prihvaćena, ali nažalost zbog vremenskog ograničenja jednodnevnog skupa nisu mogla biti uvrštena za prezentaciju. Na taj način Zbornik sadrži ukupno 19 znanstveno-stručnih radova na više od 200 stranica, od kojih je najveći dio u koautorstvu.



Na kraju treba naglasiti da su sva predavanja bila izuzetno dobro posjećena i da su naišla na veliko zanimanje u geodetskim krugovima i šire, s obzirom da je implementacija novih datuma i problem transformacije usko vezan i za uspješno i efikasno korištenje odnosno unapređenje CROPOS sustava. Vjerujemo da će publicirani radovi u Zborniku 2. CROPOS konferencije biti rado i često čitani te da dodatno naglašavaju potrebu, značaj i korist ovakvih skupova i trasiraju jasan put 3. CROPOS konferenciji za dvije godine.

CROPOS priznanja istaknutim pojedincima i ustanovama

Prof.dr.sc. Željko Bačić, Marinko Bosiljevac, dipl.ing.geod.

Protekle su dvije godine otkako je hrvatski satelitski pozicijski sustav – CROPOS predstavljen i pružen na korištenje geodetskoj i široj javnosti. Broj do sada registriranih korisnika te korištenje samog sustava ukazuju na činjenicu da se sustav primjenjuje za gotovo sve vrste geodetsko-katastarskih radova, dok se primjenom novih rješenja unutar CROPOS-a vezanih za nove službene datume i transformacije očekuje njegova sve šira primjena i u ostalim subjektima državne i javne uprave, te gospodarstva. Održavanje 2. CROPOS konferencije je za Državnu geodetsku upravu predstavljalo prigodu da istaknutim pojedincima dodijeli priznanja za njihov izniman doprinos razvoju i primjeni GNSS tehnologije u Hrvatskoj, unapređenju CROPOS sustava, uvođenju novih službenih referentnih sustava i razvoju transformacijskih modela za područje Republike Hrvatske. Za otvorenu suradnju na području razmjene podataka pograničnih GNSS stanica, što je rezultiralo boljom pouzdanošću, pokrivenošću i točnošću mjerenja u pograničnim područjima, Državna geodetska uprava dodijelila je javne zahvale geodetskim institucijama susjednih država. Stoga su prigodom 2. CROPOS konferencije ministar Branko Bačić i ravnatelj Državne geodetske uprave prof.dr.sc. Željko Bačić dodijelili priznanja i zahvalnice sljedećim istaknutim pojedincima i geodetskim institucijama susjednih država:



Akademik prof. dr. sc. Petar Krešimir Čolić

Akademiku prof. dr. sc. Petru Krešimiru Čoliću, vrhunskom znanstveniku i promotoru hrvatske geodezije, sa sigurnošću pripada epitet pionira matematičko-fizikalne geodezije u Hrvatskoj. Od njegovih brojnih angažmana kao voditelja niza znanstveno-stručnih projekata posebno je za istaknuti projekte CROREF94, CROREF95 i CROREF96 kojima je Republika Hrvatska priključena na europsku referentnu mrežu te su uspostavljeni temeljni uvjeti za uvođenje novog referentnog sustava. Provedbom projekta apsolutnih gravimetrijskih mjerenja pod njegovim vodstvom postavljene su osnove za definiranje i uspostavu gravimetrijskog referentnog sustava Hrvatske. Njegovim osobnim zalaganjem uspostavljene su permanentne stanice Osijek i Dubrovnik, koje su i danas dio europske i svjetske GNSS permanentne mreže.



Branimir Gojčeta, dipl.ing.geod.

Branimir Gojčeta, dipl. ing. geodezije preuzeo je mjesto ravnatelja Državne geodetske uprave u najtežim trenucima osamostaljenja hrvatske države. Prateći što se dešava u europskom okruženju, u teškim okolnostima Domovinskog rata, početkom 1994. donio je odluku o priključenju Republike Hrvatske u europski referentni sustav. Pod njegovim vodstvom, te uz njegovo iznimno zalaganje, uspostavljena je suradnja s uglednim europskim institucijama, pogotovo njemačkim Institutom za primjenjenu geodeziju, uz čiju su pomoć uspješno organizirane i provedene GNSS-mjerne kampanje (1994.–1996.) kojima je Republika Hrvatska priključena na EUREF mrežu. Time su ostvareni temeljni uvjeti za uvođenje novog referentnog sustava u Republici Hrvatskoj i kasniju uspostavu CROPOS sustava.



Prof. dr. sc. Tomislav Bašić

Prof. dr. sc. Tomislav Bašić je autor znanstvene studije *Prijedlog novog službenog položajnog i gravimetrijskog datuma Republike Hrvatske* kojom je dao poseban doprinos na području definiranja novog hrvatskog referentnog sustava. Pored toga autor je zajedničkog izjednačenja GNSS mreže II. reda, kao i studije Osnovna geomagnetska mreža RH. Pod njegovim stručnim vodstvom provedena su i obrađena gravimetrijska mjerenja i uspostavljena gravimetrijska mreža I. reda. Njegovim cjelokupnim znanstvenim angažmanom na području datumskih transformacija i definiranja modela geoida razvijen je jedinstveni transformacijski model za Hrvatsku što je rezultiralo novim servisima CROPOS sustava koji su trenutno među prvim takvim u svijetu. Pored djelovanja na Geodetskom fakultetu svojim angažmanom u Hrvatskom geodetskom institutu potaknuo je novu generaciju hrvatskih stručnjaka i znanstvenika na istraživanja u području osnovnih geodetskih radova.



Prof. dr. sc. Nevio Rožić

Prof. dr. sc. Nevio Rožić je kao koautor znanstvene studije *Prijedlog novog službenog visinskog datuma Republike Hrvatske* dao poseban doprinos na području definiranja novog hrvatskog visinskog referentnog sustava. Od 2003. godine do danas prof. Rožić osobit interes i angažman posvećuje definiranju odnosa između visinskih sustava, rezultat čega je hrvatski transformacijski model visina koji je ugrađen u jedinstven transformacijski model. Pored djelovanja na Geodetskom fakultetu svojom iznimnom energijom i upornošću te angažmanom kao prvi ravnatelj Hrvatskog geodetskog instituta dao je poseban poticaj razvoju hrvatske geodezije i uspostavi CROPOS sustava.



Dipl.-Ing. Volker Wegener

Dipl.-Ing. Volker Wegener, dugogodišnji direktor središnjeg ureda SAPOS-a iz Hannovera, danas direktor Trimble VRS-Now, osobno se angažirao kao savjetnik na uspostavi CROPOS sustava i nesebično prenio iskustva njemačkih kolega vezana za uspostavu, dnevno funkcioniranje i održavanje permanentnih GNSS – sustava u Njemačkoj i Europi.

Svojim osobnim angažmanom u izradi i konačnom oblikovanju CROPOS projekta zaslužan je što su u CROPOS ugrađena najnovija i najbolja tehnološka rješenja, što je od velike važnosti za pouzdan i točan rad sustava kakav CROPOS danas ostvaruje.



Zlatko Medić, dipl.ing.geod.

Pomoćnik ravnatelja Zlatko Medić, dipl. ing. je u razdoblju od 1992. do 2000. godine obnašao dužnost načelnika Odjela osnovnih geodetskih radova u Državnoj geodetskoj upravi i stoga je bio neposredno odgovoran za organizaciju i provedbu prvih GNSS mjernih kampanja CROREF94, CROREF95 i CROREF96 koje do tada nisu u takvom obimu izvođene u Republici Hrvatskoj. Izvanrednim osobnim angažmanom doprinjeo je njihovoj uspješnoj realizaciji te kroz međunarodnu suradnju osigurao uvjete za daljnju obradu rezultata mjerenja odnosno konačno izjednačenje mreže što je bila pretpostavka za nastavne radove na određivanju hrvatskog referentnog sustava i kasniju upostavu CROPOS sustava.

Geodetska uprava Republike Slovenije



U svrhu povećanja kvalitete i pouzdanosti CROPOS sustava na rubnom sjeverozapadnom području Republike Hrvatske nastavljena je otprije dobra suradnja Državne geodetske uprave i Geodetske uprave Republike Slovenije, te je na 1. CROPOS konferenciji 9. lipnja 2009. godine potpisan Sporazum o razmjeni podataka pograničnih GNSS stanica CROPOS i SIGNAL mreže. Time se broj stanica CROPOS mreže povećao za sedam (7) stanica čime je Državna geodetska uprava korisnicima CROPOS sustava osigurala bolju pokrivenost, pouzdanost i točnost mjerenja u pograničnim područjima. Geodetskoj upravi Republike Slovenije zahvaljujemo na profesionalnoj i kolegijalnoj suradnji koja je rezultirala uspješnom razmjenom podataka pograničnih GNSS stanica.

Institut za geodeziju, kartografiju i daljinska istraživanja (FÖMI) Republike Mađarske



U svrhu povećanja kvalitete i pouzdanosti CROPOS sustava na rubnom sjeveroistočnom području Republike Hrvatske, u kratkom vremenu uspostavljena je suradnja Državne geodetske uprave i Instituta za geodeziju, kartografiju i daljinska istraživanja Republike Mađarske, te je na 1. CROPOS konferenciji 9. lipnja 2009. godine u Zagrebu potpisan Sporazum o razmjeni podataka pograničnih GNSS stanica CROPOS i GNSSnet.hu mreže. Time se broj stanica CROPOS mreže povećao za četiri (4) nove stanice čime je Državna geodetska uprava korisnicima CROPOS sustava osigurala još bolju pokrivenost, pouzdanost i točnost mjerenja u pograničnim područjima. Institutu za geodeziju, kartografiju i daljinska istraživanja Republike Mađarske zahvaljujemo na profesionalnoj i kolegijalnoj suradnji koja je rezultirala uspješnom razmjenom podataka pograničnih GNSS stanica.

Uprava za nekretnine Crne Gore

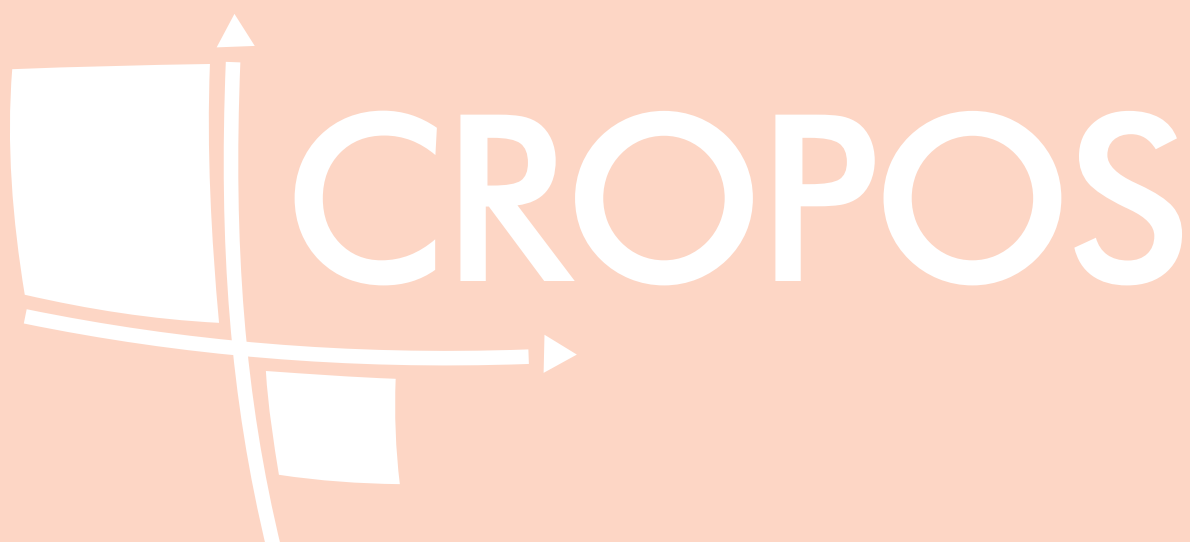


CRNA GORA
UPRAVA ZA NEKRETNINE



U svrhu povećanja kvalitete i pouzdanosti CROPOS sustava na južnom vrhu Republike Hrvatske uspostavljena je suradnja Državne geodetske uprave i Uprave za nekretnine Crne Gore, te je na 1. CROPOS konferenciji 9. lipnja 2009. godine potpisan Sporazum o suradnji koji je obuhvatio razmjenu podataka pograničnih GNSS stanica CROPOS i MontePOS mreže. Time se broj stanica CROPOS mreže povećao za dvije (2) nove stanice čime je Državna geodetska uprava korisnicima CROPOS sustava osigurala ukupno 43 stanice i time bolju pokrivenost, pouzdanost i točnost mjerenja na cjelokupnom teritoriju Republike Hrvatske. Upravi za nekretnine Crne Gore zahvaljujemo na profesionalnoj i kolegijalnoj suradnji koja je rezultirala uspješnom razmjenom podataka pograničnih GNSS stanica.

UVODNA PREDAVANJA



CROPOS – dvije godine poslije

**Marinko BOSILJEVAC¹, Marijan MARJANOVIĆ²,
Margareta PREMUŽIĆ³**

1. Uvod

Uspostava globalnih pozicijskih satelitskih sustava (GNSS) pored primjene u nizu gospodarskih djelatnosti i sustava nije zaobišla ni geodetsku djelatnost. Oduvijek je jedna od glavnih težnji geodetske znanosti i prakse bila precizno i pouzdano određivanje položaja uz što manje vremenske i materijalne troškove, a to se može postići upravo primjenom GNSS tehnologije.

Prateći suvremena rješenja koja povećavaju učinkovitost, točnost i pouzdanost korištenja satelitskih sustava za pozicioniranje i navigaciju Državna geodetska uprava je uspostavila nacionalnu mrežu permanentnih stanica – hrvatski pozicijski sustav nazvan CROPOS koji je 9. prosinca 2008. godine pušten u službenu uporabu i taj datum, povijest će pokazati a i već sada možemo slobodno reći, ostat će zlatnim slovima upisan u povijest hrvatske geodezije, jer je na taj dan Republika Hrvatska dobila suvremen geodetski referentni sustav koji je ujedno i dio Europskog referentnog sustava.

2. Doprinosi CROPOS-a za geodetsko-katastarski sustav Republike Hrvatske

Uspostavom CROPOS-a stekli su se temeljni uvjeti za široku primjenu i implementaciju novih službenih geodetskih datuma i kartografske projekcije na cijelom području države, uspostavljen je jedinstven i homogen koordinatni sustav i omogućeno određivanje koordinata s istom točnošću na cijelom području države.

Izvođenje geodetskih radova korištenjem CROPOS servisa je brže, jednostavnije i nadasve učinkovitije, uz istovremno povećanje pouzdanosti i točnosti određivanja koordinata.

Visokom tehnološkom i tehničkom kvalitetom svih komponenti sustava, kao i njegovom administracijom i održavanjem osiguran je pouzdan rad i dostupnost sustava od 99.9% na cijelom području države.

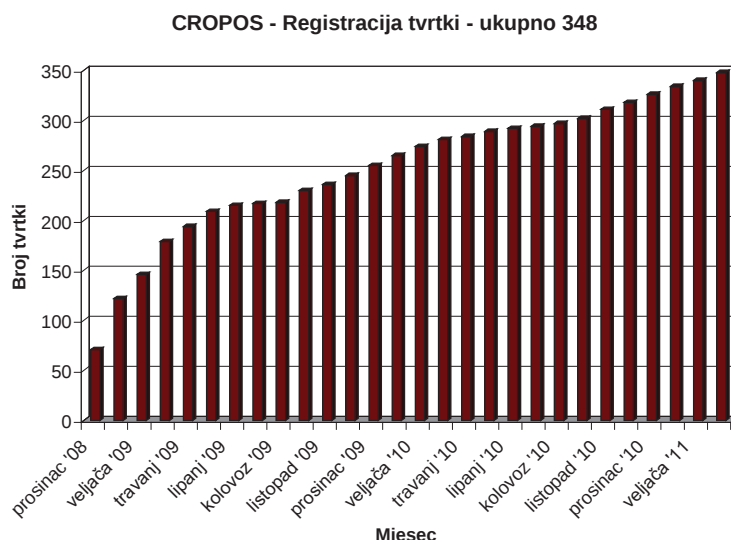
¹ Marinko Bosiljevac, dipl.ing.geod., Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb, e-mail: marinko.bosiljevac@dgu.hr

² dr. sc. Marijan Marjanović, dipl.ing.geod., Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb, e-mail: marijan.marjanovic@dgu.hr

³ Margareta Premužić, dipl.ing.geod., Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb, e-mail: margareta.premuzic@dgu.hr

3. Korištenje sustava 2008. – 2011.

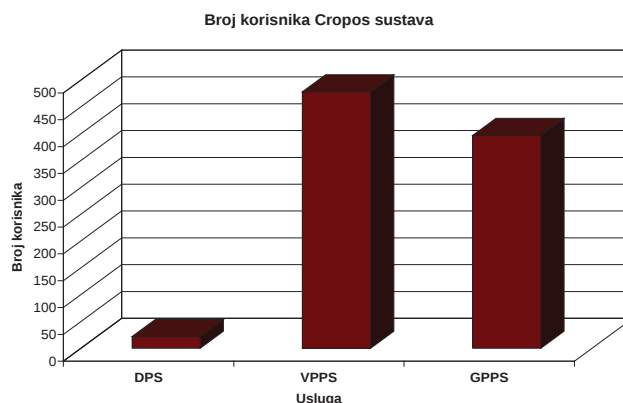
Da je servis CROPOS danas jedna od temeljnih poluga našeg geodetsko-katastarskog sustava govori u prilog i činjenica da je CROPOS odmah po puštanju u službenu uporabu naišao na veliki odaziv kod korisnika, tako da je samo nakon pola godine rada registrirano preko 200 korisnika, dok se u ovom trenutku, zaključno s 1. travnjem 2011. taj broj popeo na 348 registriranih tvrtki (slika 1.) U ovom trenutku za obavljanje geodetske djelatnosti registrirano je 549 tvrtki, što znači da gotovo 70 % registriranih geodetskih tvrtki u svom svakodnevnom radu koristi CROPOS.



Slika 1.

Od tri servisa koje CROPOS nudi među korisnicima je dakako najpopularniji VPPS ili kako ga mi svi skupa više volimo zvati po njegovoj engleskoj kratlici – RTK servis. U ovom trenutku tvrtke koriste 478 VPPS licenci. Od tih ukupno 478 licenci, 164 licence odnose se na model naplate prema stvarnom vremenu trošenja, dok se ostalih 314 licenci odnosi na model godišnje pretplate, a to je upravo ono što smo i htjeli postići pilikom donošenja cjenovnog modela.

Svi korisnici koji su registrirani za korištenje VPPS usluge registrirani su i za korištenje GPPS usluge (*post-processinga*). Najmanje zanimanje u ove dvije godine ukazano je prema DPS servisu u okviru kojega imamo samo 22 korisnika i čijoj promidžbi u budućnosti moramo posvetiti veću pažnju prvenstveno prema drugim državnih tijelima i javnim poduzećima u cilju korištenja tog servisa za održavanje njihovih GIS sustava.



Slika 2.

4. Podrška i informiranje korisnika

U ove dvije godine rada, sustav se pokazao kao vrlo pouzdan, kako s tehničke strane, tako i sa strane komunikacije s korisnicima. Iznenadni prekidi telekomunikacijskih veza ili kvarovi mjerne opreme rješavani su u vrlo kratkim rokovima, i što je najvažnije bez negativnih posljedica po krajnjeg korisnika. Pored dobrih tehničkih performansi i pouzdanog rada sustava, za njegov brz prihvata od strane korisnika uvelike je doprinijela dobro pripremljena kampanja informiranja javnosti kao i dobro razrađen sustav podrške korisnicima.

U tu svrhu, neposredno prije službenog puštanja sustava u rad u studenom 2008. organizirane su regionalne informativne radionice u Vinkovcima, Splitu, Rijeci i Zagrebu kojima je prisustvovalo preko 800 potencijalnih korisnika koji su se na izravan način upoznali sa tehničkim karakteristikama i zahtjevima koje moraju sa svoje strane ispuniti da bi mogli pristupiti CROPOS servisima, kao i uvjetima korištenja. U svrhu pravovremenog informiranja o trenutnom stanju sustava uspostavljena je CROPOS web-stranica (www.cropos.hr) zajedno sa sustavom informiranja tzv. newsletterom, a prilikom registracije korisnici dobivaju CROPOS priručnik za korištenje zajedno sa edukativnim videom (slika 3).

U svrhu što bolje informiranosti o mogućnostima sustava, putem razmjene praktičnih domaćih i međunarodnih iskustava u korištenju permenetnih GNSS mreža u lipnju 2009. organizirana je 1. CROPOS konferencija kojoj je nazočilo preko 350 sudionika, a u programskom dijelu predstavljena su 23 znanstveno-stručna rada, koja su putem tiskanog Zbornika i web-stranice dostupni cjelokupnoj javnosti.

To je sve pridonijelo vrlo visokoj educiranosti korisnika CROPOS-a, što se može zaključiti iz činjenice da je u ove dvije godine rada sustava sa strane korisnika upućen gotovo zane-mariv broj upita vezanih za pristup i korištenje sustava.



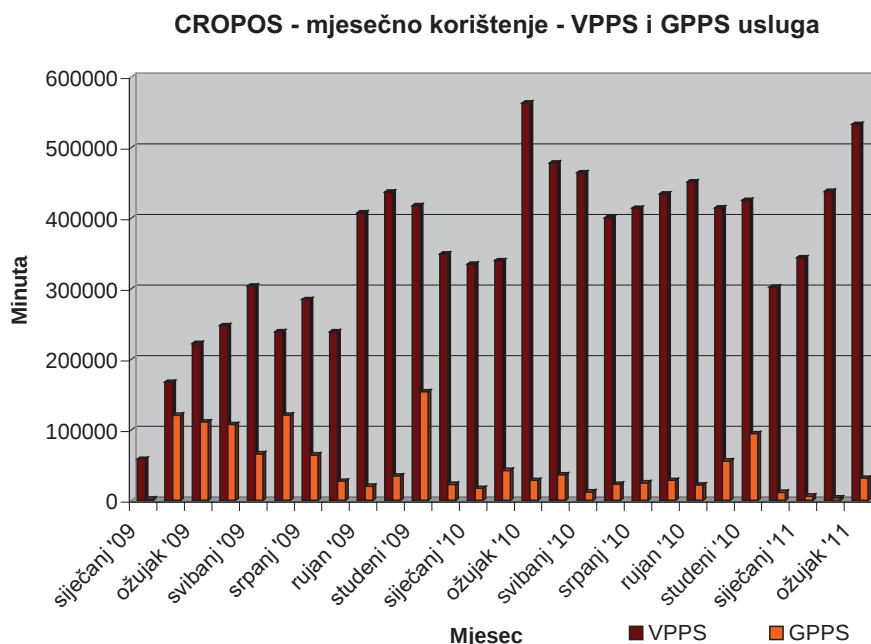
Slika 3.

5. Korištenje sustava

Visokom pouzdanosti rada sustava, dobrom informiranosti i podrškom korisnicima kao i nadasve prihvatljivim cijenama usluga stečeno je veliko povjerenje korisnika u sustav, a što je u konačnici rezultiralo velikom minutažom korištenja sustava.

Tako je već nakon pola godine rada sustava korištenje najpopularnijeg servisa – VPPS doseglo mjesečnu razinu od 300.000 minuta, dok je maximum korištenja dosegnut u travnju 2010. godine, preko 550.000 minuta, a od tada do danas prosjek korištenja na mjesečnoj razini kreće se oko 400.000 minuta.

Korištenje GPPS servisa također je na zavidnoj razini, a iz statistike korištenja vidljivo je da se njegovo korištenje kontinuirano smanjuje. Iz toga možemo zaključiti da povjerenje korisnika u pozdanost i točnost VPPS servisa sve više raste, odnosno da je u međuvremenu došlo i do poboljšanja pokrivenosti GPRS signalom.



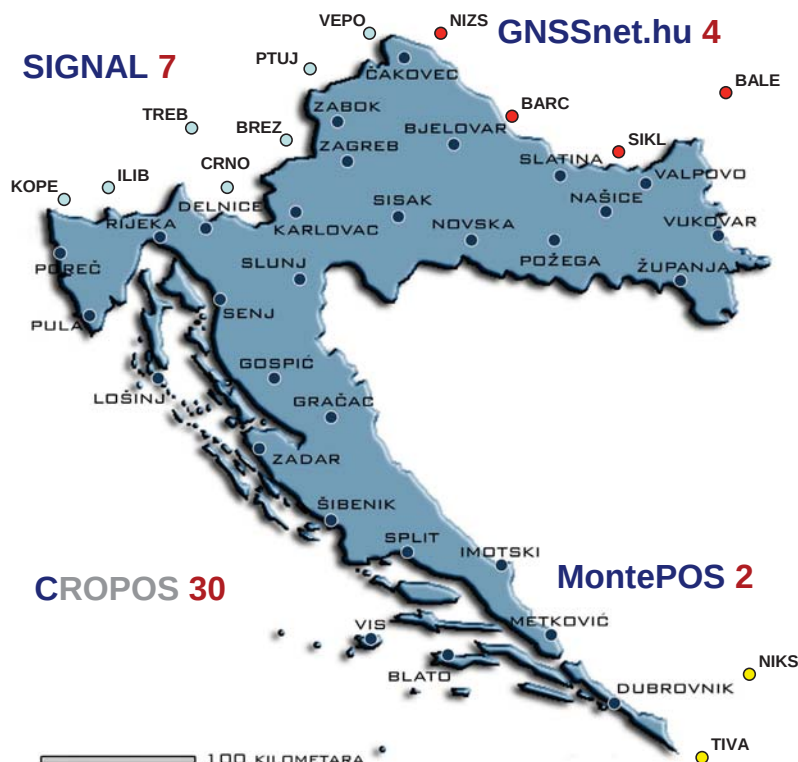
Slika 4.

Godišnji prihod sustava u 2009. godini iznosio je 1.528.147,00 kn (206.500 €), a u 2010. 1.801.973,00 kn (243.500 €). Ta osvarena sredstva su prihod državnog proračuna a njihov iznos u potpunosti pokriva iznos ukupnih godišnjih troškova održavanja sustava (osoblja, telekomunikacije, troškovi održavanja programske, računalne i mjerne opreme).

6. Umrežavanje sa susjednim nacionalnim permanentnim sustavima

U svrhu povećanja kvalitete i pouzdanosti podataka u pograničnim područjima država sredinom 2009. godine s Republikom Mađarskom, Republikom Slovenijom i Crnom Gorom potpisani su sporazumi i uspostavljena je razmjena podataka pograničnih stanica, tako da su u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara trenutno uključene 43 referentne GNSS stanice.

S Republikom Slovenijom, sustavom SIGNAL (Slovenija-Geodezija-NAvigacija-Lokacija) razmjenjuju se podaci sedam (7) permanentnih stanica, s Republikom Mađarskom, sustavom GNSSnet.hu razmjenjuju se podaci četiri (4) permanentne stanice, a sa Crnom Gorom, sustavom MontePOS razmjenjujemo podatke dviju (2) stanica (slika 5.)



Slika 5.

7. Nadogradnja sustava

U ove dvije godine provedeno je niz tehničko-tehnoloških zahvata na nadogradnji sustava, kao npr. nadogradnja sustava za back-up podataka, instalacija sustava za održavanje, nadzor i daljinsko upravljanje svim serverima sustava, up-date programskih aplikacija i ostalo.

Jedan od najvažnijih i ključnih zadataka Programa uvođenja službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcije je razvoj i definiranje jedinstvenog transformacijskog modela koji će omogućiti jednostavan i za sve korisnike jednoobrazan postupak transformacije podataka i kartografsko-katastarskih podloga izrađenih u povijesnom referentnom sustavu u novi službeni geodetski referentni sustav – HTRS96/TM i obrnuto.

Jedinstveni transformacijski model, nazvan T7D, razvijen je u suradnji sa Geodetskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu krajem 2009. godine. Za razvoj modela upotrebjeno je 5200 identičnih točaka koje prekrivaju cijelo područje države sa poznatim koordinatama u oba referentna sustava. Model se zasniva na principu GRID transformacije i obuhvaća cijelo područje države, a sastoji se od 7-parametarske transformacije i u 60" x 90" pravilnom rasteru predviđenih vrijednosti distorzije za položajne koordinate i za visine.

Konačni je proizvod računalni program T7D (software) koji osigurava položajnu i visinsku točnost transformacije od ± 0.06 m (u oba smjera) za cijelo područje države. U program su integrirani HRG2009 model geoida i transformacijski model visina koji se koriste za transformaciju visina.

8. CROPOS on-line transformacijski servisi

Prateći tehnološki razvoj te u želji da našim korisnicima omogućimo još jednostavnije i učinkovitije izvođenje terenskih mjerenja tokom 2010. godine započet je proces integracije HRG2009 modela geoida i T7D transformacijskog modela u CROPOS u svrhu uspostave on-line transformacijskih servisa. Da bi to proveli sustav je u aplikativnom dijelu nadograđen s Trimble Transformation Generator Software-om, kao i odgovarajućom računalnom opremom. Konačni rezultati tih aktivnosti su nove usluge CROPOS-a koje omogućuju on-line transformaciju koordinata:

CROPOS_VRS_HTRS96 usluga koja omogućuje korisnicima izravno određivanje koordinata u novoj kartografskoj projekciji i novom službenom visinskom sustavu bez potrebe za naknadnim preračunavanjem koordinata, puštena u uporabu 3.1.2011.

CROPOS_VRS_HDKS usluga koja će korisnicima omogućiti određivanje koordinata izravno u starom hrvatskom državnom koordinatnom sustavu (popularnoj staroj Gauss-Krügerovoj projekciji) i starom visinskom sustavu (Trst) bez potrebe za naknadnim preračunavanjem koordinata koja će biti puštena u uporabu u lipnju/srpnju ove godine.

Za korištenje novih usluga potrebno je u korisničkom roveru imati mogućnost primanja RTCM 3.1 formata poruke (korištenje transformacijskih poruka 1021 i 1023), odnosno mogućnost primjene emitiranog RTCM-a unutar korisničkog rovera.

Za korištenje novih usluga nije potrebna nikakva dodatna registracija korisnika nego se prilikom povezivanja na CROPOS sustav odabire željena usluga.

9. Zaključak

Prepoznavši njegove prednosti, CROPOS je u samo dvije godine postao nezaobilazan alat u obavljanju svakodnevnih zadataka za većinu gospodarskih subjekata unutar geodetsko-katastarskog sustava. Možemo slobodno reći da je razlog tome visoka kvaliteta i pozdanost usluga s jedne strane odnosno racionalna i prihvatljiva cjenovna politika s druge strane, kao i kontinuirana ulaganja u nadogradnju sustava.

Također i nadalje veliku pažnju posvećujemo i daljnoj edukaciji korisnika te smo ove godine, u tu svrhu, u suradnji s Geodetskim fakultetom, Hrvatskom komorom ovlaštenih inženjera geodezije i Hrvatskim geodetskim društvom organizirali 2. CROPOS konferenciju da razmjenom domaćih i međunarodnih isustava još više unaprijedimo korištenje CROPOS-a u izvršenju što većeg broja svakodnevnih zadataka te proširimo primjenu na ostala tijela državne uprave, javna poduzeća, gospodarstvo i cjelokupnu javnost.

To nas obvezuje da praćenjem i ugradnjom novih tehnoloških rješenja sustav održavamo na visokoj tehničkoj razini i pouzdanosti. Uvođenjem novih usluga želimo krug korisnika u što kraćem vremenu proširiti na sve gospodarske subjekte geodetsko-katastarskog sustava, a postojećim korisnicima omogućiti još učinkovitije korištenje sustava.

10. Literatura

Bašić, T., Šljivarić, M., Rezo, M., Markovinović, D., Jeličić, J. (2003): Uslužni programi za korištenje podataka službenog hrvatskog geoida i transformaciju koordinata između HDKS-a i ETRS-a, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2003.

Bašić, T., Šljivarčić, M. (2006): Razvoj jedinstvenog transformacijskog modela HTRS96/HDKS, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2006.

Bašić, T. i drugi (2009) Novi hrvatski model geoida i poboljšanje T7D modela transformacije, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2009.

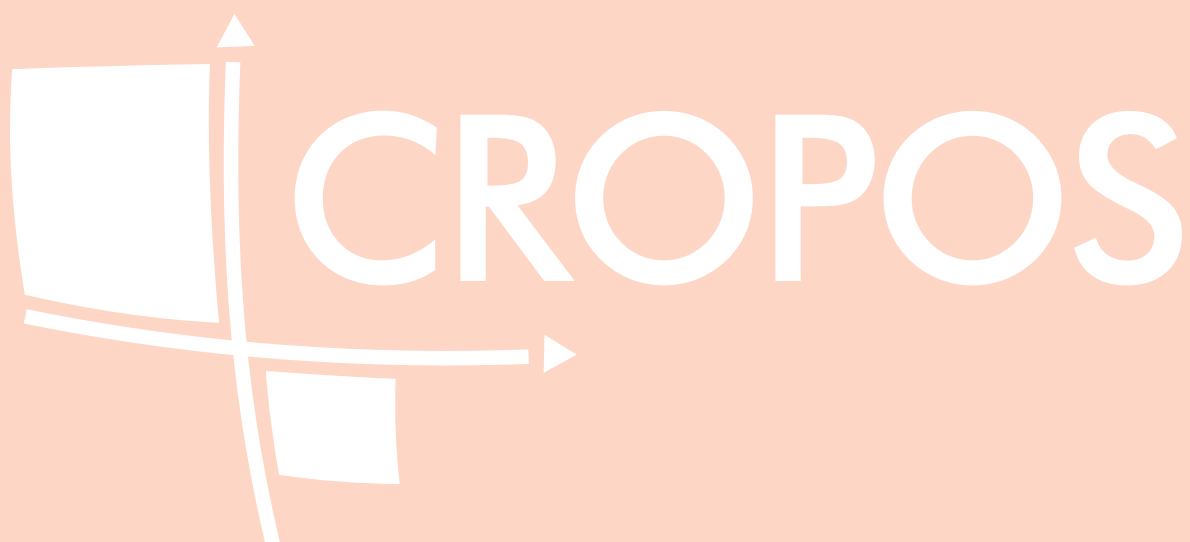
Rožić, N. (2008): Hrvatski visinski transformacijski model, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2008.

Bosiljevac, M., Bačić, Ž., Marjanović, M. (2009): CROPOS – CROatian POSitioning System, FIG Working Week 2009, Proceeding, www.fig.net/pub/fig2009/index.htm

Bosiljevac, M., Bačić, Ž. (2010): Implementation of new official geodetic datums and map projections in the Republic of Croatia, XXIV FIG International Congress 2010, Proceedings www.fig.net/pub/fig2010/index.htm

Marjanović, M., Bašić, T. (2010): CROPOS - Positioning Easier Than Ever, Trimble Dimension 2010, <https://dimensions10.wingateweb.com/scheduler/speakers.do>

Web-site: www.cropos.hr



CROPOS – pozicioniranje nikad lakše i jednostavnije u Hrvatskoj

Marijan MARJANOVIĆ¹

Sažetak

Projekti koji su u velikoj mjeri iskoristili mogućnosti suvremenih tehnoloških rješenja koja omogućavaju pristup podacima i uslugama u realnom vremenu, bilo kada i bilo gdje, ukoliko imamo na raspolaganju pristup Internetu i koji su svaki na svoj način pridonijeli da određivanje položaja u Hrvatskoj bude zaista nikad lakše i jednostavnije su Baza podataka stalnih točaka geodetske osnove, hrvatski pozicijski sustav CROPOS i jedinstveni transformacijski model T7D.

U radu je opisan jedinstveni transformacijski model i računanje novog modela geoida, priprema podataka potrebnih za njihovu integraciju u CROPOS sustav, kao i konfiguracija samog sustava za nove on-line transformacijske usluge te značajke Baze podataka stalnih točaka geodetske osnove.

Ključne riječi: CROPOS, baza podataka, referentni okvir, HTRS96, HDKS, HRG2009, T7D

Abstract

The projects which applies modern technological solutions for on-line data access and data distribution, any time and any where, in case of Internet access and which contributed to the easiest and the simplest position determination in Croatia than ever are Geodetic point database system, Croatian positioning system CROPOS and unique transformation model T7D.

The paper describes unique transformation model and computation of new geoid solution, preparation of data for integration of models in CROPOS system and configuration of system and new on-line transformation services as well as overview of activities concerning Geodetic point database system.

Key words: CROPOS, database, reference frame, HTRS96, HDKS, HRG2009, T7D

1. Uvod

Hrvatski pozicijski sustav CROPOS uspostavljen je krajem 2008. godine. Tijekom nešto više od dvije godine rada sustava registrirano je 348 tvrtki kojima je na taj način omogućeno jednostavnije, učinkovitije i pouzdanije korištenje GNSS tehnologije mjerenja. Kako bi se osigurala što 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 i sedam slovenskih, četiri mađarske i dvije crnogorske stanice.

¹ dr. sc. Marijan Marjanović, dipl.ing.geod., Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb, e-mail: marijan.marjanovic@dgu.hr

U svrhu određivanja koordinata točaka u realnom vremenu tijekom obavljanja samih terenskih mjerenja u starom koordinatnom sustavu (HDKS) i novom referentnom terestričkom sustavu (HTRS96) te određivanje ortometrijskih visina u starom visinskom sustavu (Trst) i novom referentnom visinskom sustavu (HVRS71), razvijen je jedinstveni transformacijski model T7D i novi model geoida HRG2009 i integriran u CROPOS sustav (Bašić, 2009).

U okviru projekta Baze podataka stalnih točaka geodetske osnove uspostavljen je sustav koji na jednom mjestu sadržava podatke o stalnim geodetskim točkama (Marjanović i dr., 2005). Velika dobit ovog projekta je i u tome što je s njegovim početkom 2002. godine započela sustavna revizija geodetskih točaka koja se na takav način nije obavljala gotovo 50 godina.

2. Baza podataka stalnih točaka geodetske osnove

Uspostavljanje Baze podataka stalnih točaka geodetske osnove bilo je neophodno zbog kontrole i održavanja stalnih točaka geodetske osnove koje moraju u svakom trenutku biti, s obzirom na njihovu namjenu, upotrebljive i pouzdane za obavljanje mjerenja što je u nadležnosti Državne geodetske uprave. Postupci kod održavanja stalnih točaka geodetske osnove obuhvaćaju nadzor stalnih točaka (revizija), premještanje stalnih točaka, ponovno uspostavljanje (obnova) stalnih točaka te vođenje točne evidencije o stanju stalnih točaka u tehničkoj dokumentaciji i Bazi podataka stalnih točaka geodetske osnove.

Radovi na izradi Baze podataka stalnih točaka geodetske osnove započeli su u rujnu 2002. godine u Središnjem i Područnim uredima Državne geodetske uprave unosom podataka trigonometrijskih točaka, a zatim u prosincu 2002. godine i unosom podataka točaka visinske osnove. Godine 2003. započela je sustavna terenska revizija točaka osnovne GPS mreže Republike Hrvatske. Cilj cijelog zadatka bio je utvrđivanje stanja novopostavljenih točaka GPS mreže Republike Hrvatske 10 x 10 km kako bi se mogle planirati buduće aktivnosti vezane uz obnovu postojećih točaka i postavljanja novih točaka. Godine 2004. započela je terenska revizija trigonometrijske mreže te obnova točaka osnovne GPS mreže, a zatim i terenska revizija visinske mreže.

Reviziju stalnih točaka geodetske osnove obavljaju djelatnici Državne geodetske uprave te je od 2003. do 2010. godine ukupno obavljena revizija 34597 stalnih točaka geodetske osnove (Tablica 1).

Tablica 1. Prikaz obavljene revizije u razdoblju od 2003.-2010. godine

VRSTA TOČKE	BROJ TOČAKA	BROJ TOČAKA UKLJUČENIH U TERENSKU REVIZIJU
Visinske	11270	11217
Trigonometrijske	31877	22300
GNSS referentna mreža (0. i 1. red)	78	78
GNSS referentna mreža (2. red)	1023	1002

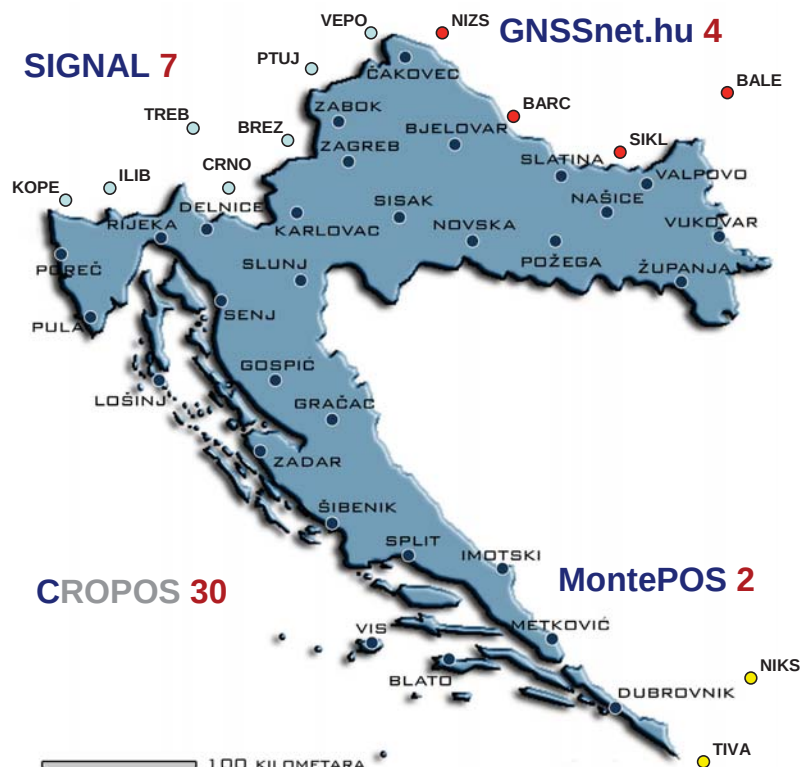
U okviru projekta omogućeno je izdavanje podataka registriranim korisnicima putem Interneta u okviru usluge koja je puštena u službeni upotrebu 13. rujna 2010. godine. Za korištenje te usluge do sada je registrirano 75 tvrtki. Web aplikacija omogućuje odabir položajnih (GNSS i trigonometrijskih) i visinskih točaka putem pregledne karte (topografska karta

1:25000, katastarske općine) ili atributnim odabirom (broj točke, naziv katastarske općine, podatak revizije...), kreiranje i preuzimanje narudžbi (položajni opisi u .pdf formatu).

3. CROPOS – hrvatski pozicijski sustav

CROPOS sustav je državna mreža referentnih GNSS stanica koji postavlja nove standarde određivanja položaja i navigacije u Republici Hrvatskoj te omogućuje primjenu modernih metoda mjerenja i moderne tehnologije u svakodnevnom radu geodetskih stručnjaka (Marjanović i Link, 2009). Uspostavom sustava Republika Hrvatska održala je 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.

Osim informiranja korisnika i razmjene iskustava, jedan od značajnijih rezultata 1. CROPOS konferencije koja je održana 2009. godine bilo je potpisivanje sporazuma o razmjeni podataka pograničnih referentnih stanica Republike Hrvatske sa susjednim zemljama Republikom Slovenijom, Republikom Mađarskom i Republikom Crnom Gorom čime se je broj umreženih referentnih stanica CROPOS sustava povećao s 30 na 43 (Slika 1).



Slika 1: Referentne stanice uključene u mrežno rješenje CROPOS sustava

Zahvaljujući visokoj tehnološkoj i tehničkoj kvaliteti svih komponenti sustava, ali i svakodnevnom održavanju i administraciji sustava, osiguran je pouzdan rad sustava, tako da je u proteklih 28 mjeseci sustav bio neplanirano nedostupan svega 20-tak sati, što znači da je dostupnost sustava bila 99.9%.

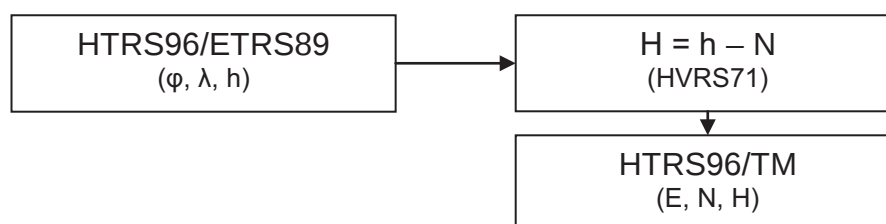
4. Geodetski datumi i problem transformacije

Na temelju zakona o Državnoj izmjeri i katastru nekretnina, 4. kolovoza 2004. godine Vlada Republike Hrvatske donijela je Odluku o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske (NN 110/2004 i 114/2004). Realizaciju novog terestričkog referentnog sustava Republike Hrvatske HTRS96 čini 78 točaka određenih u ETRS89 referentnom okviru na temelju obrade podataka mjerenja i izjednačenja GPS kampa-nja realiziranih u razdoblju 1994.-1996. godine (Marjanović, 2002). Implementacija novog geodetskog datuma i kartografskih projekcija u svakodnevnom radu zahtjeva izvođenje geodetskih radova u novom datumu primjenom modernih metoda mjerenja, ali i definiranje jednoznačnih postupaka transformacije između novog i starog geodetskog datuma.

S obzirom na povijesno geodetsko naslijeđe i nove službene geodetske datume u svakodnevnom radu koriste se sljedeće koordinate:

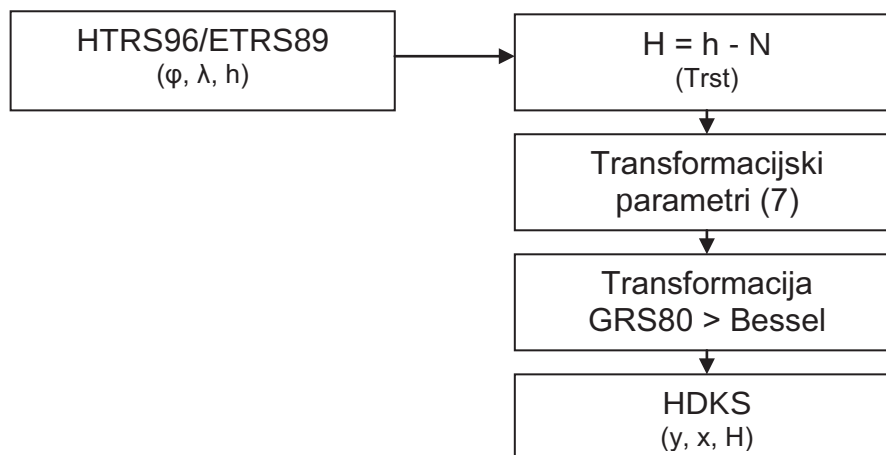
- ETRF00 (R05), 1989.0 (HTRS96/ETRS89) – prostorne koordinate u Hrvatskom terestričkom referentnom sustavu 1996 (Europskom terestričkom referentnom sustavu 1989):
 - elipsoid GRS80,
 - φ, λ ,
 - elipsoidna ili geometrijska visina: h .
- HTRS96/TM – ravninske koordinate poprečne Mercatorove projekcije u Hrvatskom terestričkom referentnom sustavu 1996:
 - elipsoid GRS80,
 - E, N ,
 - ortometrijska visina (HVR571): H .
- HDKS – ravninske koordinate Gauss-Krügerove projekcije u Hrvatskom državnom koordinatnom sustavu:
 - elipsoid Bessel,
 - y, x ,
 - ortometrijska visina (Trst): H .

Korištenjem CROPOS usluga za određivanje koordinata točaka u realnom vremenu (VPPS usluga) ili RINEX (RINEX VRS) podataka za naknadnu obradu podataka mjerenja (GPPS usluga) dobivamo prostorne koordinate u HTRS96/ETRS89 sustavu. Ukoliko su nam za rad potrebne ravninske koordinate u novoj poprečnoj Mercatorovoj projekciji HTRS96/TM treba prostorne koordinate dobivene CROPOS-om reducirati za vrijednost undulacije geoida u novom visinskom sustavu HVR571 i obaviti jednoznačno preračunavanje koordinata u ravninu (Slika 2).



Slika 2: Postupak preračunavanja koordinata HTRS96/ETRS89 > HTRS96/TM

Međutim, ukoliko su nam za rad potrebne "stare" ravninske koordinate Gauss-Krügerove projekcije, osim redukcije za vrijednost undulacije geoida u starom visinskom sustavu Trst potrebno je obaviti i transformaciju koordinata između geodetskih datuma HTRS96 i HDKS tj. elipsoida GRS80 i Bessela, a tek zatim jednoznačno preračunavanje koordinata u ravninu (Slika 3). Transformacijski parametri mogu se preuzeti ukoliko su već izračunati za neko područje ili ih je potrebno izračunati na temelju mjerenja identičnih točaka i koordinata točaka u oba referentna sustava.



Slika 3: Postupak transformacije koordinata HTRS96/ETRS89 > HDKS

Zadovoljavajuću točnost transformacije (0.15 m) moguće je postići na manjim područjima primjenom tzv. "lokalne" transformacije, ali u tom slučaju dolazi do razlika koordinata i do 0.20 m na granici između dva područja za koja su primijenjeni transformacijski parametri izračunati "lokalnom" transformacijom. Razliku koordinata uzrokuje nehomogenost trigonometrijske mreže, ali i izbor trigonometrijskih točaka koje su korištene za računanje transformacijskih parametara.

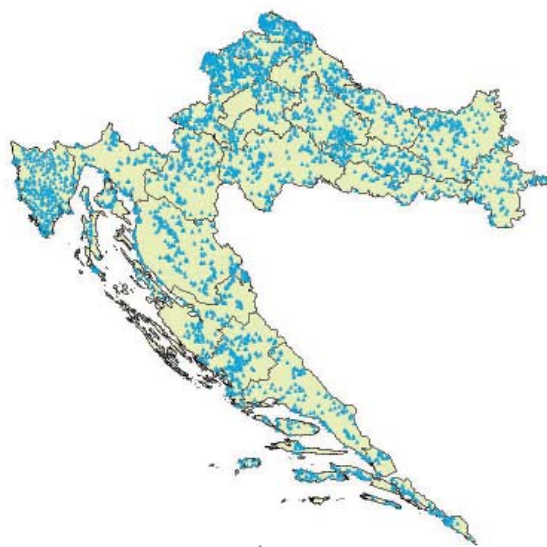
Problem razlika koordinata na graničnim područjima moguće je riješiti primjenom modela "globalne" transformacije koji bi vrijedio na području cijele države. S obzirom na postavljeni zahtjev točnosti transformacije, od raspoloživih rješenja prihvatljiv je model tzv. GRID transformacije koji osigurava točnost transformacije od 0.1 do 0.3 m ovisno o broju, rasporedu i gustoći identičnih točaka na pojedinom području koje su korištene za računanje transformacijskog modela (Tablica 2).

Tablica 2. Modeli i točnost modela "globalne" transformacije (Bašić, 2009)

METODA TRANSFORMACIJE	TOČNOST
Metoda pomaka bloka	10 m
Molodensky – 5 parametara	5 m
3D – 7 parametara	1 m
GRID	0.1 – 0.3 m

5. Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida

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 (Slika 4, Marjanović i dr., 2009). U Bazu podataka stalnih točaka geodetske osnove unijete 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).



Slika 4: Identične točke korištene za računanje jedinstvenog transformacijskog modela

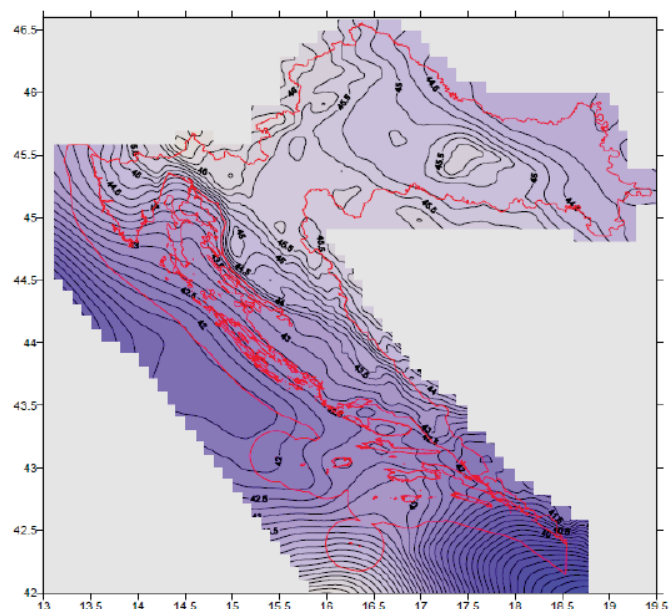
Jedinstveni transformacijski model čini 7 parametarska transformacija i pravilni raster predviđenih vrijednosti distorzije 60" x 90" određen na temelju identičnih točaka u oba sustava metodom kolokacije po najmanjim kvadratima. Točnost položajne i visinske transformacije je ± 0.05 m na području kontinentalne Hrvatske te ± 0.10 m na području Jadranskog mora.

Prednosti jedinstvenog transformacijskog modela su sljedeće:

- Mjerenja i rezultati mjerenja su u jedinstvenom referentnom okviru ("globalnom" i "lokalnom"):
 - "globalni" referentni okvir definiran je CROPOS sustavom i referentnom GNSS mrežom Republike Hrvatske,
 - "lokalni" referentni okvir definiran je jednoznačnim i pouzdanim modelom transformacije.

- Preračunavanje i transformaciju koordinata moguće je obavljati on-line tijekom samih terenskih mjerenja korištenjem odgovarajućih usluga CROPOS sustava ili naknadnom obradom podataka korištenjem aplikacije T7D.
- Povećana učinkovitost i pojednostavljenje obavljanja radova, pošto nije potrebno mjerenje identičnih točaka i računanje pojedinačnih transformacijskih parametara.

Novi model geoida Republike Hrvatske HRG2009 (Slika 5) razvijen je na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 2009. godine (Bašić, 2009). U odnosu na prvi službeni geoid HRG2000 (Bašić, 2001) u novom rješenju korišteni su rezultati mnogobrojnih istraživanja i novi podaci od kojih su možda najznačajniji globalni geopotencijalni model EGM2008 i uspostava 495 GNSS/nivelnanskih točaka na području kontinentalnog dijela Hrvatske za potrebe apsolutne orijentacije geoida. Unutarnja ocjena točnosti novog rješenja plohe geoida dobivena na temelju 495 GNSS/nivelnanskih točaka ima standardno odstupanje ± 0.03 m, dok vanjska ocjena točnosti određena usporedbom vrijednosti geoidnih undulacija na 59 GNSS/nivelnanskih točaka koje nisu bile uključene u računanje modela ima standardno odstupanje ± 0.04 m.



Slika 5: Model geoida HRG2009 (Bašić, 2009)

6. Nadogradnja CROPOS sustava

Za primjenu jedinstvenog transformacijskog modela T7D i novog modela geoida HRG2009 u realnom vremenu tijekom obavljanja terenskih mjerenja, CROPOS sustav je nadograđen i korisnicima su stavljene na raspolaganje dvije nove usluge:

- CROPOS_VRS_HTRS96 (HTRS96/ETRS89 > HTRS96/TM),
- CROPOS_VRS_HDKS (HTRS96/ETRS89 > HDKS).

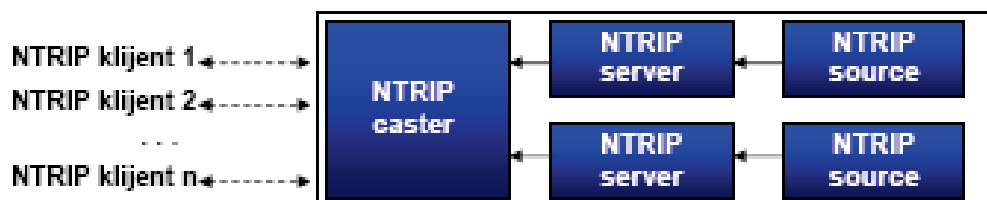
U CROPOS sustav instaliran je Trimble Transformation Generator (TTG) program koji na temelju pripremljenih podataka i koordinata prijemnika korisnika računa transformacijske parametre. U okviru jedne instalacije TTG programa moguće je obavljati jednu vrstu transformacije tj. jednu on-line transformacijsku uslugu. Važno je naglasiti da se transformacijski parametri mogu slati korisnicima samo u okviru RTCM (Radio Technical Commission for Mari-

time Services) 3.1 formata pošto su u tom formatu predviđene transformacijske poruke 1021 i 1023.

Za rad TTG programa pripremljeni su sljedeći podaci:

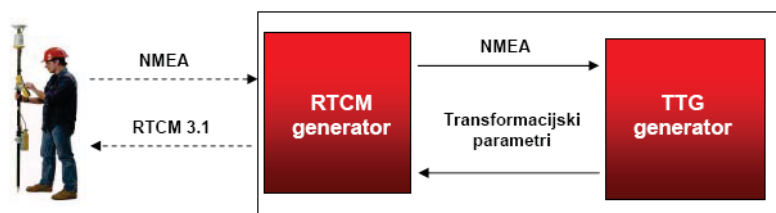
- Set transformacijskih parametara (7 parametara, GRS80 > Bessel)
- Grid datoteke:
 - Geoidne undulacije (visinski datum HVRS71),
 - Geoidne undulacije (visinski datum Trst),
 - Parametri distorzije (korekcije za položajnu transformaciju).

S obzirom da je CROPOS sustav nadograđen s dvije nove on-line transformacijske usluge, TTG program je instaliran na dva servera za transformaciju koji ovisno o konfiguraciji i podacima pripremaju transformacijske parametre za slanje korisnicima. Ovisno o odabranoj usluzi, NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) caster šalje korisnicima podatke pripremljene na odgovarajućem serveru (Slika 6).



Slika 6: Konfiguracija CROPOS sustava

Korisnik svojom prijavom na CROPOS sustav šalje približne koordinate prijemnika u okviru NMEA (National Marine Electronics Association) poruke na temelju kojeg RTCM generator pripremi RTK korekcijske parametre. Međutim, ukoliko je odabrana prilikom prijave na CROPOS sustav usluga koja omogućava on-line transformaciju (CROPOS_VRS_HTRS96 ili CROPOS_VRS_HDKS) približna koordinata prijemnika se proslijeđuje u TTG generator koji na temelju položaja pripremi odgovarajući set transformacijskih parametara, vrati ih u RTCM generator koji ih zajedno s RTK korekcijskim parametrima proslijeđuje korisniku (Slika 7).



Slika 7: Tijek podataka obavljanja terenskih mjerenja CROPOS sustavom

Postupak on-line transformacije se obavlja u dva koraka, u prvom koraku se primijene podaci RTCM poruke 1021 koja sadržava transformacijske parametre, a u drugom koraku se primijene podaci RTCM poruke 1023 koja sadržava distorziju i undulaciju geoida (Slika 8).



Slika 8: Proces transformacije

Za nove usluge CROPOS sustava nije potrebna dodatna registracija korisnika nego se prilikom povezivanja na CROPOS sustav odabire nova usluga CROPOS sustava (lista korekcija/source table) - CROPOS_VRS_HTRS96 ili CROPOS_VRS_HDKS. Za korištenje novih usluga potrebno je u korisničkom roveru imati mogućnost primanja RTCM 3.1 formata (korištenje transformacijskih poruka 1021 i 1023), odnosno mogućnost primjene emitirane RTCM korekcije.

Nakon uspješno obavljenog testiranja u razdoblju od rujna do prosinca 2010. godine na 604 kontrolne točke, Državna geodetska uprava je 3. siječnja 2011. godine pustila u službenu upotrebu novu on-line uslugu CROPOS sustava - CROPOS_VRS_HTRS96. Druga on-line transformacijska usluga CROPOS_VRS_HDKS je također implementirana u sustav i trenutno se obavljaju testna terenska mjerenja. Mjerenja se planiraju obaviti tijekom travnja i svibnja 2011. godine na 1000 točaka ravnomjerno raspoređenih na području cijele države, a puštanje usluge u službenu upotrebu očekuje se u lipnju/srpnju 2011. godine.

7. Zaključak

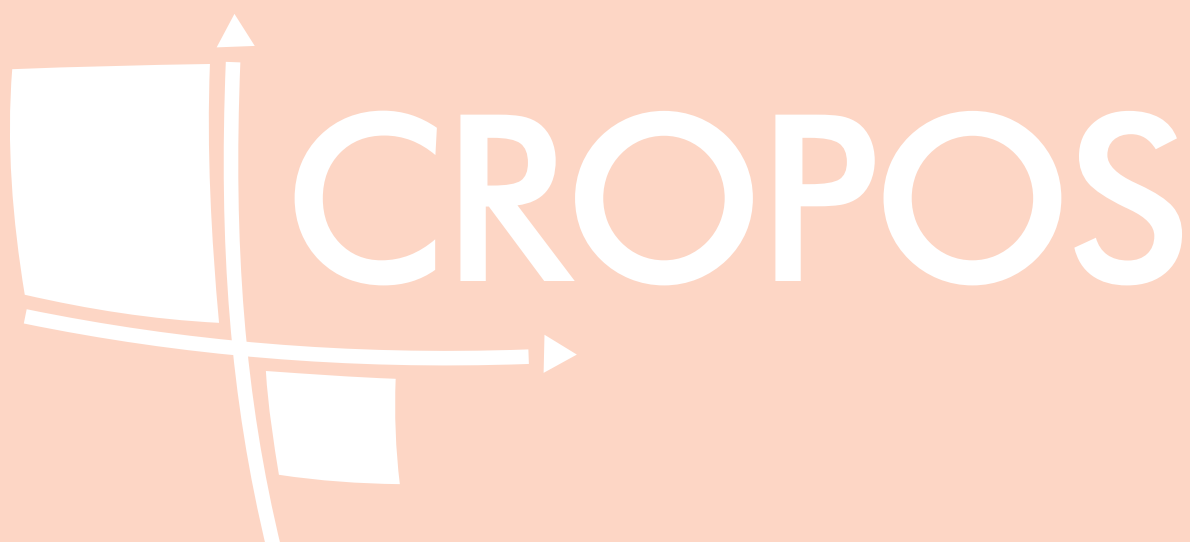
Uspostavom Baze podataka stalnih točaka geodetske osnove, CROPOS sustava i izradom jedinstvenog transformacijskog modela i njegovom implementacijom u CROPOS sustav učinjen je značajan tehnološki iskorak čime je omogućena distribucija podataka u realnom vremenu i primjena suvremenih metoda mjerenja u rješavanju geodetskih zadataka na još brži, jednostavniji i pouzdaniji način. Važno je naglasiti, da je Republika Hrvatska među prvim zemljama u Europi, ali i svijetu, uspješno implementirala model transformacije u sustav umreženih referentnih stanica i omogućila slanje transformacijskih parametara i obavljanje transformacije tijekom terenskih mjerenja.

8. Literatura

- Bašić, T. (2001): Detaljni model geoida Republike Hrvatske HRG2000, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima iz 2000. godine, Državna geodetska uprava, Zagreb, 2001.
- Bašić, T., Šljivarić, M., Buble, G. (2006): Jedinstveni transformacijski model HTRS96/HDKS, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima iz 2004.-2005. godine, Državna geodetska uprava, Zagreb, 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.

- Marjanović, M. (2002): Izjednačenje i analiza EUREF i CROREF GPS kampanja u Republici Hrvatskoj, Magistrski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2002.
- Marjanović, M., Kekić, M., Premužić, M. (2005): Baza podataka stalnih točaka geodetske osnove Republike Hrvatske, Treći hrvatski kongres o katastru s međunarodnim sudjelovanjem, 7. – 9. ožujka 2005. godine, Zbornik radova, Hrvatsko geodetsko društvo, str. 367-374.
- 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.
- Narodne novine (110/2004, 114/2004): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Službeni list Republike Hrvatske, Zagreb, 2004.

POZVANA PREDAVANJA



Maintenance of the ETRS89 using EUREF's permanent GNSS service

Carine BRUYNINX¹

1. Background

At the end of the eighties, the requirement for the provision of geo-information data in a uniform geodetic reference system grew tremendously due to the availability of GPS (Global Positioning System) and its versatile applications in many areas of surveying, navigation, transportation and logistics. Demands for uniform maps covering Europe, coming for example, from the car industry for navigation purposes or from EuroControl (European Agency for Safety of Air navigation) for precise positions at airports and navigation aids, forced the survey agencies in Europe to establish a uniform reference frame.

At that time, the available uniform network over Europe, the European Datum ED50 respectively ED87, derived by the IAG (International Association of Geodesy) sub-commission RETrig, as a result of the combination and readjustment of the national triangulation networks, did not fulfill the new requirements especially concerning the overall accuracy and the three-dimensional global position and orientation. Also the World Geodetic System (WGS84) could not guarantee the required very high precision, being mainly derived from Doppler observations at that time.

The EUREF sub-commission was created at the IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) General Assembly held in Vancouver in 1987 in order to deal with these future needs of precise basic reference networks for both practical and scientific applications. Today, EUREF, the "Reference Frame Sub-Commission for Europe" is part of the Sub-Commission 1.3, Regional Reference Frames, under Commission 1 of the IAG. EUREF is responsible for defining, providing access and maintaining the European Terrestrial Reference System (ETRS89) and European Vertical Reference System (EVRS). To achieve its goals, EUREF works closely together with EuroGeographics, the organization of European National Mapping and Cartographic Agencies (NMCA). The cooperation between both organizations guarantees on one hand that the developments made by EUREF are absorbed and implemented by the NMCA; and on the other hand, EuroGeographics brings to EUREF the NMCA concerns and problems on geodetic issues that must be solved in a European and global perspective.

The EUREF activities are coordinated by the EUREF Technical Working Group (TWG) which brings together representatives from both research agencies and mapping agencies.

Detailed information about EUREF is available from <http://www.euref.eu/>.

¹ dr. sc. Carine Bruyninx, EPN Central Bureau, Royal Observatory of Belgium, Av. Circulaire 3, 1180 Brussels, Belgium, Tel: +32-(0)2-3730292, Fax: +32-(0)2-3749822, E-mail: epncb@oma.be

2. The European Terrestrial Reference System (ETRS89)

In reply to European user needs, EUREF decided to develop a new European Geodetic Reference Frame based on GPS. This reference should be a precise continent-wide modern reference near to the WGS84 and it should unify national reference systems for surveying, mapping, GIS and navigation in Europe.

As in the late eighties the International Terrestrial Reference System (ITRS, see <http://itrf.ensg.ign.fr/>) was the most precise global reference system available, EUREF decided to base its reference on the ITRS. However, in the global ITRS, plate tectonics cause the coordinates of European stations to slowly change in the order of about 2.5 cm/year. Therefore, in 1990 at its symposium in Firenze, Italy, EUREF designed the European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89) in such a way that it would be based on the ITRS except that it is tied to the stable part of Europe, so that the relations between European stations are kept fixed. Coordinates in ETRS89 are expressed as either three dimensional (X, Y, Z) Cartesian coordinates or as three dimensional ellipsoidal coordinates (Φ , λ and H, Ellipsoidal height), based on the GRS80 ellipsoid. ITRS coordinates can be converted using a 14-parameter transformation in the ETRS89 and vice-versa (Boucher and Altamimi, 2008). To assist users to perform these transformations, EUREF created an on-line transformation tool, which allows transforming between any ITRS/ITRS, ITRS/ETRS89 and ETRS89/ETRS89 realization (http://epncb.oma.be/_dataproduts/co-ord_trans/).

3. The EUREF Permanent GNSS Network (EPN)

A key instrument in maintaining and providing access to the ETRS89 is the EUREF Permanent Network (EPN), (see Bruyninx (2004) and Bruyninx et al. (2005)).

Created in 1996, the EPN is based on a partnership with site operators of continuously operating GNSS sites who are willing to share their data with the public. Completely based on voluntary contributions, today, the EPN runs almost 250 GNSS stations in a well-organized environment.

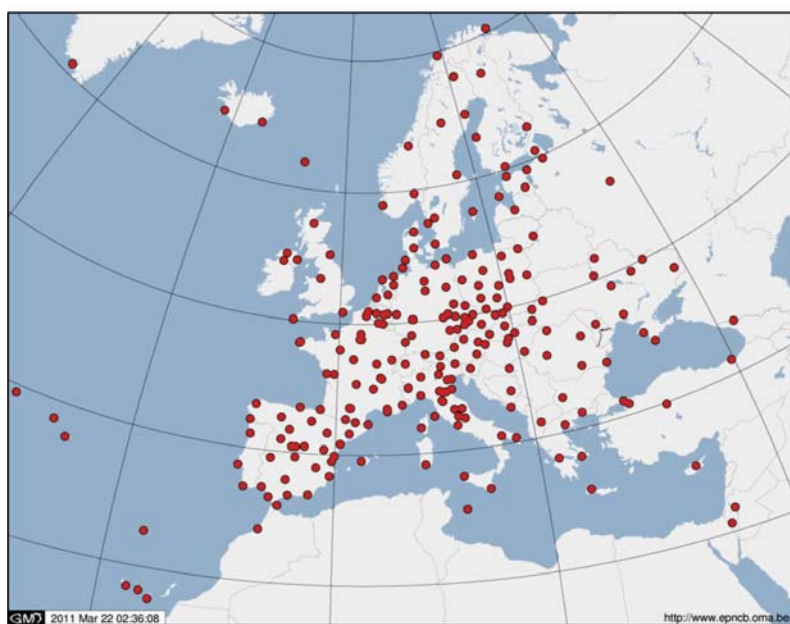


Figure 1: EPN tracking network of permanently observing GNSS ground stations

The EPN constitutes the European contribution to, and densification of, the International GNSS Service (IGS), and as such it strives complete consistency with the IGS standards and models: IGS orbits and Earth Rotation Parameters are used for all EPN processing and the same models are used for the antenna phase centers of the both satellites and receivers.

The EPN tracking stations cover 35 European countries and provide daily (mandatory) and hourly (94% of the stations) data in the RINEX format as well real-time data (49% of the stations) in the RTCM format. Thanks to 17 Analysis Centers the following EPN products are routinely produced:

- Accurate site positions (mm/cm-level) and ((sub)-mm/yr-level) velocities, in both the ITRS and ETRS89, updated each 15 weeks;
- Site tropospheric zenith path delays, used for GNSS-based meteorology;
- Fully analysed residual position time series to monitor the EPN site behaviour.

The ITRS and ETRS89 positions/velocities of the EPN stations are categorized taking the station quality and the length of available observation span into account (Kenyeres, 2010):

- Class A stations: positions with 1 cm precision and velocities with 1mm/yr precision at all epochs
- Class B stations: positions with 1 cm precision at the epoch of minimal position variance of the station. Due to their limited accuracy, the velocities of the Class B stations are not released.

Exclusively the Class A stations can be used as reference stations for densification of the ETRS89. This is done using the following procedure (see Bruyninx et al., 2009): The ETRS89 coordinates of new markers are obtained using their GNSS observations and by first computing their ITRS coordinates. The datum realization is performed by applying minimal constraints on the ITRS coordinates (at epoch of observation) of a set of EPN Class A reference stations which have been added to the analyzed network. Then, the ITRS coordinates of the unknown markers are transformed to the ETRS89 at epoch of observation.

The EPN Central Bureau (<http://www.epncb.oma.be/>), responsible for the day-to-day management of the EPN, acts as liaison between station operators and analysis centres, providing the necessary station configuration metadata and ensuring the datasets meet the requirements of the analysis. Its monitoring procedures permanently verify the EPN tracking data and meta-data. In addition, the submissions provided by the EPN Analysis Centers are checked and compared to provide feedback to the participating analysis centers.

In response to evolving user needs and new satellite signals, the EPN is continuously improving its tracking network, products and services. Examples are the new EPN real-time analysis (Söhne, 2010) and reprocessing special projects (Völksen, 2010). Finally, the EPN is a full multi-GNSS network: today already 57% of the EPN stations are tracking GLONASS satellites in addition to GPS and a large part of the new equipment installed in the EPN is already Galileo-capable.

4. The European Geodetic Infrastructure

EUREF is also very involved in the promotion of the adoption of its reference systems in the European countries and European-wide organizations involved in geo-referencing activities.

The acceptance of ETRS89 by several communities (civil aviation, industry, national and regional agencies) as the backbone for geo-referencing in Europe is a continuous process. Euro-

Control uses ETRS89 since a long time in its technical specifications and in 1999 the European Commission issued a recommendation to adopt ETRS89 as the geodetic datum for geo-referenced information promoting the use of ETRS89 within its member states.

EUREF and EuroGeographics conducted in 2005 a survey among 41 NMCA in the European countries. From the 28 answers, 78% of the NMCA already adopted officially the ETRS89 and 18% stated they will adopt it in the near future. In the majority of the countries the usage of the ETRS89 is not mandatory in all situations, due to the existence of national reference systems and the need to have a transition period until the ETRS89 can be fully adopted. Since 1989, however, many European countries have defined their national reference frames in (or closely aligned to) ETRS89 by calculating national ETRS89 coordinates following the EUREF guidelines. The national ETRS89 coordinates, adopted by the different countries, can however differ from each other due to differences in datum definition: they are often based on different ETRS89 realizations and each of them refers to different observation times. The difference between the ETRS89 adopted in each of the different countries wrt the most recent estimates of the ETRS89 coordinates of the EPN stations is monitored on a regular basis by EUREF (Brockmann, 2010). The results of the comparison show an agreement of a few cm (see Figure 2).

A crucial point to stimulate the adoption of the ETRS89 in Europe is the knowledge of the links between the National Coordinate Systems (CRS) and the ETRS89. Thanks to about 40 EUREF GPS campaigns conducted by NMCA since 1989 and validated by the EUREF, the EPN is also densified with a network of markers with coordinates known in the National CRS as well as in the ETRS89. A joint cooperation between EUREF and EuroGeographics resulted in the development of an information system containing the description of national CRS and an on-line transformation tool for single points. The system is available at <http://crs.bkg.bund.de/crs-eu/> and the information is structured following the ISO standard for Spatial referencing by coordinates 19111:2003. All the transformation parameters in the data base have been provided and validated, according to the accuracy requirements, by the responsible national agencies.

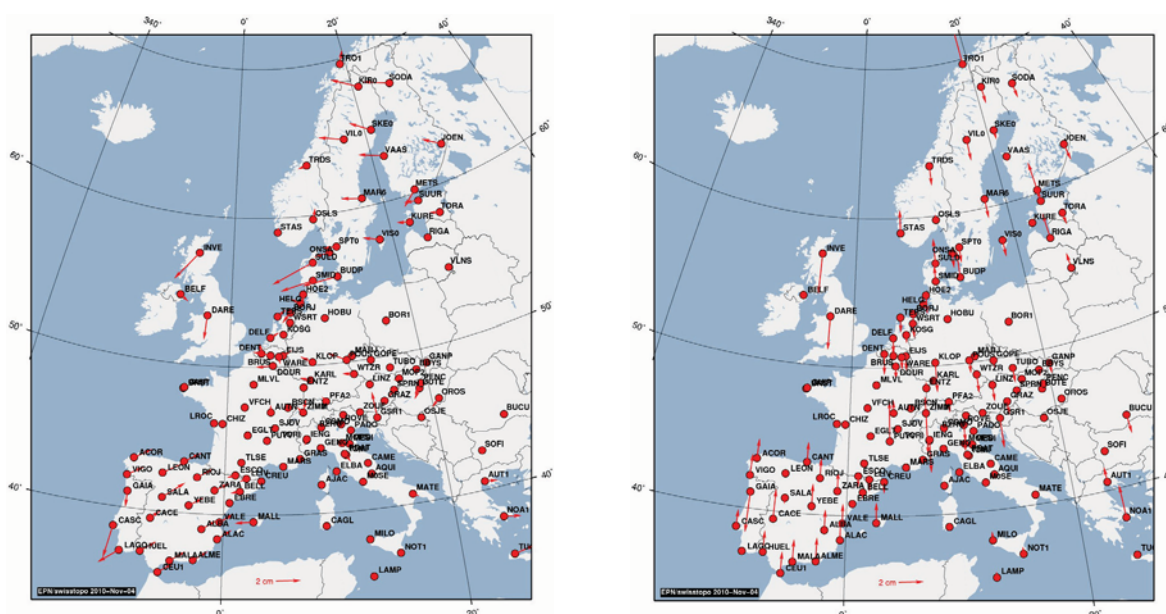


Figure 2 : Difference between ETRS89 coordinates adopted in the different countries and the most recent EPN coordinate solution (E. Brockmann).

The relationship between the work developed by EUREF and European initiatives related to geo-spatial information is obvious. One of the most important ongoing actions is INSPIRE, aiming at the establishment of an infrastructure for spatial information in Europe that will help to make spatial or geographical information interoperable. INSPIRE was adopted in March 2007 by the Directive 2007/2/EC of the European Parliament and the Council. The Directive defined the Themes and grouped them in three Annexes. Two of the themes within Annex I “Coordinate Reference Systems” (CRS) and “Geographical Grids Systems” (GGS) were of concern to EUREF. The EUREF TWG registered as a SDIC (Spatial Data Interested Community) within INSPIRE, appointed two experts for the development of the Implementing Rules (IR) related to Coordinate Reference Systems, and one member was invited as facilitator (coordinator). The EUREF experts reported their work at several TWG meetings and got suggestions from the TWG for the improvement of the IR. In December 2009, the Implementing Rules for the nine INSPIRE themes of Annex I were adopted. Thanks to the efforts of the TWG, the European Terrestrial Reference System (ETRS89) and the European Vertical Reference System (EVRS) defined by EUREF play now a fundamental role in the CRS IR.

5. Conclusion and Summary

New technologies in the frame of informatics and space geodesy have tremendously influenced cartography since the last 30 years. These changes do not only concern numerical map production, but also a wide variety of other users, professional as well as large public. With the advance of Geographic Information Systems (GIS) -GIS has to be understood in the broad sense as being all information localized on the topographic surface- the coherence of information became a key issue in which the ETRS89, and consequently the EPN, play a major role. With the broad use of GPS for navigation, location based services as well as for the production of geo data in the common European reference, the ETRS89 datum increasingly replaces the national Coordinate Reference Systems. Today, the ETRS89 is used as the standard precise GNSS coordinate system throughout Europe. Supported by EuroGeographics and incorporated in INSPIRE, this reference system forms the backbone for all geographic and geodynamic projects on the European territory both on a national as on an international level. The ETRS89 is materialized through the science-driven EUREF Permanent Network, a network of continuously operating GNSS reference stations distributed over the European territory and completely based on voluntary contributions. EPN stations operate under well-defined standards guaranteeing the consistency of the raw GNSS data to the resulting ETRS89 station coordinates. The network covers 38 European countries and its data is used extensively by the public, national mapping agencies, and researchers.

More details about the EPN can be found at the EPN Central Bureau information System (<http://epncb.oma.be>).

6. References

- Boucher C., Altamimi Z. (2008), Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>
- Bruyninx C. (2004). The EUREF Permanent Network; a multidisciplinary network serving surveyors as well as scientists. *GeoInformatics*, Vol 7, pp. 32-35
- Bruyninx C., G. Carpentier, F. Roosbeek (2005). Day-to-day Monitoring of the EPN. In: *Proc. of the EUREF Symposium, Bratislava, 2-5 June 2004, Mitteilungen des BKG, Frankfurt a.M., EUREF Publication No. 14*, Ed. BKG, Frankfurt am Main, pp. 37-44

Bruyninx C., Altamimi Z., Caporali A., Kenyeres A., Lidberg M., Stangl G., Torres J. (2010), Guidelines for EUREF Densifications, ftp://epncb.oma.be/pub/general/Guidelines_for_EUREF_Densifications.pdf

Brockmann E. (2010), Monitoring of official national ETRF coordinates on EPN web, Presented at EUREF symposium, Gävle, Sweden, June 2-5, 2010

Kenyeres A. (2010), Categorization of permanent GNSS reference stations, Bulletin of Geodesy and Geomatics, in press

Söhne W. (2010), EPN Special Project “Real-Time Analysis” - Status Report, Presented at EUREF symposium, Gävle, Sweden, June 2-5, 2010, also see http://epncb.oma.be/_organisation/projects/RT_analysis/

Völksen C. (2010), EPN Reprocessing – Report on the current status of the EPN Project, Presented at EUREF symposium, Gävle, Sweden, June 2-5, 2010, also see <http://epn-repro.bek.badw.de/>

Interesting Links

- EUREF: <http://www.euref.eu/>
- EUREF Permanent Network: <http://epncb.oma.be/>
- ETRS89: <http://etrs89.ensg.ign.fr/>
- EVRS : <http://www.bkg.bund.de/geodIS/EVRS/>
- CRS (Information system for European Coordinate Reference Systems): <http://www.crs-geo.eu/>
- INSPIRE: <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>

The role and importance of GNSS for Geodynamics

**Bojan STOPAR¹, Oskar STERLE², John WEBER³,
Marko VRABEC⁴**

1. Introduction

Helplessness in the face of natural disasters demonstrates that our knowledge of the complex Earth's system is limited. This is why understanding the complex and permanently changing planet Earth, how it supports life, and how human activities effects its ability to support it in the future, is one of the greatest intellectual challenges of humanity. It relates to the great challenge for society as it seeks to achieve prosperity, health and sustainability (Rummel et al., 2009). Geodesy can and has to contribute to meeting these challenges.

2. Overview and definitions

Geodynamics is a branch of geophysics that studies the deformation processes of the Earth's mantle and crust, and resulting earthquakes and volcanism. It is the science of the forces working within the Earth. Geokinematics is a branch of mechanics that describes the motion of bodies (objects) and systems (groups of objects) without consideration of the forces that cause the motion. It is the science, describing the Earth (surface) geometry deformations. Geodesy directly measures these motions and performs a key role in geokinematics research and therefore also in geodynamics. Particularly significant was the beginning of modern space age (launch of Sputnik 1 and Sputnik 2 in 1957), which was also the beginning of space geodesy. Initially space geodetic techniques Very Long Baseline Interferometry (VLBI) (from the early 1970s) and Satellite Laser Ranging (SLR) (from the early 1970s) provided a quantitative test to our model of kinematics of Earth's tectonic plates on a global scale and provided a basis for nowadays broadened usage of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) (from the late 1980s), Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) (in the 1990s), and most recent Satellite Altimetry, Interferometric Synthetic Aperture Radars (InSAR) and Satellite Gravity missions which are used for geokinematic studies from global to local scale (Blewitt, 2007). Broad usage of space geodetic techniques began with the public availability of GNSS and with the high accuracy needed for Earth surface deformation studies became available. Space geodesy has since been used to address many problems, such as: satellite dynamics and position computation, global reference frame definition and realization, Earth orientation

¹ prof.dr.sc. Bojan Stopar, University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia

² Oskar Sterle, University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana, Slovenia

³ John Weber, Grand Valley State University, Geology Department, Allendale, MI, USA

⁴ Marko Vrabec, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Technology, Ljubljana, Slovenia

computation, ionospheric and tropospheric delay corrections, ambiguity resolution, tidal and other loading effects. Today, space geodesy also provides a spatial framework for better interpretation of geophysical data.

3. Role of geodesy in Earth studies

Geodesy contributes to the field of Earth surface deformation determination through many of the Earth sciences i.e. geology, geophysics, tectonics, seismology and many other. A major difference between geology and space geodesy is also that geologists think in long-term time scales, and space geodesy enables observation short-term changes in real time. Cooperation with other sciences requires compromises, modifications and validation of results obtained. An initial and major impact geodesy had on geology relates to the fact that space geodetic techniques and geologic models of global tectonic plate motion gave very similar results. Space geodesy also opened up interdisciplinary research within geophysics, like plate tectonics (tracking the relative motions of stations on different tectonic plates), earthquakes studies (interseismic strain accumulation, co-seismic displacements, postseismic processes), postglacial rebound, rheology of the Earth's mantle and ice-sheet, mass redistribution, global change in sea level, hydrology of aquifers,...

4. GNSS in geodynamic studies

GNSS are today the most commonly used space-geodetic techniques for geodynamic studies. Reasons are as follows: the systems became a “public good”, freely available for all, the ITRF gives implicit access to a highly accurate and stable reference frame, GNSS stations are easy to use and Earth's surface can be densely sampled, relatively low cost and comparable precision to VLBI and SLR, and a large number of research projects improved GNSS accuracy through improved modeling. At the moment GNSS accuracy is sufficient for most geodynamic purposes on local and global level, using either permanent stations or campaign surveys (Blewitt, 2007). Sufficient time intervals between the first and last campaign for reliable detection of high precision ($\pm 0.4\text{mm/year}$) is 4 years and was 6 years in 1990's. The weakness of campaign GNSS, is that it provides only a two-dimensional (horizontal) velocity field. The importance of GNSS in geodynamic studies is getting bigger by the day with the establishment of extensive networks of continuously operating GNSS station. The common expectation is that continuously operated GNSS network ensure up to 10 times better accuracy than campaign surveys and allow for three-dimensional strain field determination. However, we note that continuous GNSS observations still reflect velocities determined at a relatively small number of discrete stations, and not spatially continuous velocity fields.

5. Plate tectonics

Plate tectonics is a kinematic phenomenon. Space geodesy is revolutionizing tectonics by providing first measurements of plate motions over time scales of years, rather than millions of years, and enabling the first clear insight into the motions within the deforming zones at plate boundaries. Deformation is concentrated at plate boundaries, and plate boundaries are the places where big earthquakes threaten society most frequently. These areas cover about 15% of the Earth's surface and are home to about 40% of the human population. The common (simplest) way to analyze plate boundary and earthquake-related deformation is as follows: obtain high accurate coordinates from spatial geodesy, at each station, set up a coordinate time series,

from coordinates time series estimate site velocities, map a velocity vector field for sites, form a triangular network between all sites on the basis of Delaunay - triangulation, for every triangle compute the velocity gradient tensor, symmetric strain rate tensor, and asymmetric rotation rate tensor (Allmendinger et al., 2009). The geodetic map of strain rate can also provide data for understanding tectonics in the broader context, e.g. geodesy can indicate to what extent strain rates can be attributed to broader scale processes and/or to localized structures, and can provide a seamless and consistent characterization of changes in strain rates over the time.

6. Role of space geodesy in earthquake studies

Plate tectonics provides a general kinematic framework for relating individual earthquakes to geological motion. Understanding earthquakes as a physical process, as a source of societal hazard, and as manifestations of Earth deformation is a major challenge. Fundamental questions are how earthquakes result from the cycle of strain accumulation at faults, how rupture begins, and whether earthquakes can be predicted. It is unclear why in some areas crustal strain localizes on major faults, whereas others show more continuous deformation. Seismologists study earthquakes, but are unable to do much before earthquake happened. Elastic ground motion where earthquakes are expected is known fact, i.e. the ground movement tells that an earthquake is coming. Measuring ground motion with traditional surveying was difficult. In last decade GNSS dramatically changed earthquake studies and enables them to be done anywhere, easily, and inexpensively. GNSS are understood as complementary to seismic studies of earthquakes, and by combining both we are getting a more complete picture of the earthquake location, mechanism, and complexity. Earthquake parameters based on geodetic and seismic parameters facilitate comparison with geologic structures and allows assessment of causal relations. It is worth mentioning that GNSS observations are particularly important, outside obvious plate boundary deformation zones to study intraplate earthquakes (Stein, 2010). However, a shortcoming is that space geodesy data can span only three decades, while the earthquake cycle on plate boundaries lasts on the order of 100–200 years and in continental interiors more than 1000 years. We are thus trying to understand processes by getting a very small portion of the signal of that process. Our present work can thus be seen as setting the foundation needed for future generations.

7. Conclusion

GNSS have revolutionized how geodesy informs the geosciences. GNSS are an excellent example of Arthur C. Clarke's famous principle that "sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic", (Stein 2010). But to be most effective, this "magic" tool must be used together with a profound understanding of the most significant geophysical problems. The fantastic tools of modern space geodesy will develop into their full potential for understanding the Earth as a geodynamic system. This poses a great challenge to geodetic education and science (Rummel, 2010).

8. Literature

Allmendinger R. W., J. P. Loveless, M. E. Pritchard, B. Meade, (2009), From decades to epochs: Spanning the gap between geodesy and structural geology of active mountain belts, *Journal of Structural Geology*, 31, 1409–1422.

Blewitt G., (2007), GPS and Space-Based Geodetic Methods, *Treatise in Geophysics*, vol. 3, pp. 351-390.

Rummel R., G. Beutler, V. Dehant, R. Gross, K. H. Ilk, H.-P. Plag, P. Poli, M. Rothacher, S. Stein, R. Thomas, P.L. Woodworth, S. Zerbini and V. Zlotnicki, (2009), Understanding a dynamic planet: Earth science requirements for geodesy, in H.-P. Plag, M. Pearlman (eds.), Global Geodetic Observing System, pp. 89-133.

Rummel R., (2010), The interdisciplinary role of space geodesy—Revisited, Journal of Geodynamics, 49, pp. 112–115.

Stein S. (2010), Disaster Deferred, How New Science is Changing our View of Earthquake Hazards in the Midwest, Columbia University Press.

GNSS Meteorology - Use of GNSS Reference Station Data for Troposphere Monitoring

Ana KARABATIĆ¹

Abstract

Electromagnetic signals of the GNSS satellites (GPS, GLONASS and in future GALILEO) are time delayed when passing the atmosphere. Based on this signal delay, e.g. the humidity distribution within the troposphere can be determined. We investigate how the atmospheric precipitable water content derived from GNSS data observations from local, national or regional reference networks can be used within an operational Nowcasting system (INCA). It has been proved that e.g. passing weather fronts can be analysed much better by introduced GNSS derived tropospheric wet delays because this data is influenced by changes in humidity in the free atmosphere, whereas the data at the meteorological ground stations reacts to these changes only with a time delay. This allows to forecast heavy rainfall causing potentially local floodings more reliable and to narrow down the affected region. The paper presented here describes the GNSS meteorology service established on a test network in the Austrian alpine region. This network has been extended to cover the entire Austrian territory, and to establish the national GNSS meteorology service. Similar service can be established in Croatia using the GNSS observation data from CROPOS network. Even better performance of the system can be achieved with establishment of a regional GNSS meteorology service, using the observations and services from neighbouring countries (Slovenia, Bosnia Herzegovina, Serbia, Macedonia, etc.).

1. Introduction

Earth's atmosphere plays an important role in space geodesy. GNSS (Global Navigation Satellite System) microwave signals are refracted and hence time delayed when passing through the atmosphere. The path delay $\Delta\rho$ along the path s from satellite to receiver can be described using a refractive index n as follows:

$$\Delta\rho = \int_s (n - 1) ds \quad (1)$$

With respect to the signal refraction, we can divide the atmosphere in several, usually simplified as concentric, layers. For GNSS signal frequencies, the atmosphere can be divided into a dispersive and a non-dispersive part, namely the ionosphere and the troposphere. In both cases, delays have to be properly handled either by direct measurements and/or by an appropriate model, or considered within the adjustment procedure.

The ionosphere is the upper part of the earth's atmosphere, extending between approximately 70 and 1000 km. It is defined as a part of the atmosphere where sufficient free electrons

¹ dr.sc. Ana Karabatić, Technische Universität Wien, Institut für Geodäsie und Geophysik, Österreich

and ions exist to affect the propagation of radio waves (Davis [1990]). The ionosphere affects the code and phase GNSS measurements in a different way, causing the phase advance and the code. It also depends on the signal frequency. The ionosphere is therefore often referred to as a dispersive media. This property is of great importance as it serves as the most effective way to account for ionospheric delay. For observations on two GPS frequencies L1 and L2 we are able to build an ionosphere-free linear combination L3 as follows:

$$L3 = \frac{f_1^2 L1 - f_2^2 L2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (2)$$

providing us with observations free of first order ionospheric delay. In Eq. (2) f_1 and f_2 indicate the frequencies of two GPS carriers and L1 and L2 indicate either code or phase observation equations at both frequencies. This linear combination satisfies in most cases the aimed accuracy since the first order ionospheric delay captures about 99.9% of the total ionospheric delay. For reference station network, such as it is used for GNSS meteorology applications, the capability to capture two frequencies of a single system (such as GPS) is assumed. Therefore, we are able to build the ionosphere-free linear combination. All the remaining ionospheric effects (higher order ionosphere delay, ionospheric disturbances, etc.) will map into the remaining estimated parameters (mostly the troposphere delay). The GNSS modernization will provide the third frequency for GPS, which in return will enable the elimination of the second order ionospheric effect (amounts up to a couple of centimeters).

The troposphere, on the other hand, is absent of charged particles, and therefore known as a non-dispersive medium for microwave signals. It affects the code and phase measurements in a same way, and it is equal for all carriers. The troposphere is a nethermost layer of the earth's atmosphere reaching up to about 20 km in the equatorial regions, and just few kilometers in polar regions. It is comprised of a *dry* part containing nitrogen (78%), oxygen (20%) and a remaining 1% of other gases and a *wet* part, namely water vapor (about 1% of air gases). Refractivity N of the troposphere is a function of its main physical parameters: dry air pressure p_d , temperature T and humidity (or expressed as water vapor pressure e), as shown in:

$$N_{tropo} = k_1 \frac{p_d}{T} Z_d^{-1} + \left[k_2 \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2} \right] Z_w^{-1} \quad (3)$$

k_1 , k_2 and k_3 are empirically determined coefficients and Z_d and Z_w are compressibility factors for dry air and water vapor, respectively (Thayer [1974]). If we consider Eq. (1), and give the relation between the refractivity N and the refractive index n of the troposphere as:

$$N_{tropo} = 10^6 (n_{tropo} - 1) \quad (4)$$

then, using the universal gas laws (Davis et al. [1985]), we are able to derive the expression for the path delay $\Delta\rho$ of the GNSS signal due to the troposphere:

$$\Delta\rho_{tropo} = 10^{-6} \left[\int_s \left(k_1 \frac{R}{m_d} \sigma \right) ds + \int_s \left(k_2 \frac{e}{T} Z_w^{-1} \right) ds + \int_s \left(k_3 \frac{e}{T^2} Z_w^{-1} \right) ds \right] \quad (5)$$

Eq. (5) strictly separates the hydrostatic (first term) and a non-hydrostatic part (second and third term), which is clearly favorable since hydrostatic delay now depends solely on the total density and not on the mixing ratio of wet and dry parts. Hydrostatic delay captures about 90% of total tropospheric delay, and its value in the zenith direction $\Delta\rho_h^z$ is rather simple to calcu-

late using the equation by e.g. Saastamoinen (Saastamoinen [1972]), and knowledge of air pressure at the given station p_0 :

$$\Delta p_h^z = 0.0022768 \frac{p_0 [\text{hPa}]}{f(\phi, h)} \quad (6)$$

In Eq. (6), $f(\phi, h)$ represents the function of the station coordinates. For sub-millimeter accuracy of zenith hydrostatic delay (ZHD), the air pressure at the station has to be known with accuracy of 0.05 hPa. In general, the ZHD at the sea level amounts about 2.3 m, and lowering the elevation angle of the GNSS signal to 5°, the ZHD increases by factor 10.

The zenith wet delay (ZWD), however, is not simple to model. This is due to its high temporal and spatial variability. It can reach values of about 40 dm (tropical regions), to few mm at very high stations or dry regions. For high accuracy GNSS applications, the ZWD has to be estimated along with other parameters of interest (coordinates, receiver clock correction). It is exactly ZWD that is of special interest as an additional input parameter for numerical weather models, and establishment of the operational GNSS meteorology services.

2. GNSS meteorology

The importance of high resolution meteorological analysis of the atmosphere increased over the past years (Karabatic et al. [2010]). A detailed analysis of the humidity field is an important precondition for a better monitoring of local and regional extreme precipitation events and for forecasts with improved spatial resolution. Several regional projects were initiated in Europe and abroad to derive the zenith wet delay from ground based GNSS observation data. The first continuous GPS network for meteorology was the NOAA GPS-IPW Network led by NOAA's Forecast System Laboratory in the USA in the 1990s (Wolfe & Gutman [2000]). Soon many regional and national projects with similar scope were started, e.g. COST Action 716, E-GVAP and WAVEFRONT in Europe, BALTEX in Baltic Sea, MAGIC in Mediterranean, and others. While the accuracy of water vapor estimates based on microwave data is proven to be comparable to radiosonde and radiometer data, their timeliness is a major concern. To contribute to operational numerical weather prediction the water vapor content has to be made available within 45-60 minutes. This requirement is hard to fulfill taking into account delays in data transfer, the large amount of observation data to be processed and last but not least the accompanying requirements on real-time orbit accuracy.

The Austrian Meteorological Agency (ZAMG) is operating the spatial and temporal high resolution INCA system (Integrated Now-casting through Comprehensive Analysis) since the beginning of 2005. The surface sensor observations, together with radar and satellite data, topography data and forecast models represent the data-base of the INCA system. Updated analyses and now-casts are generated at 1-hour intervals. The operational availability of the now-cast is approximately 20 minutes after measurement time. Errors in this analysis occur mainly in the areas of rapidly changing and hard to predict weather conditions or rugged topography with extremely varying altitudes such as the alpine area of Austria. Furthermore, considering a very sparse radiosonde network like in Austria, the humidity information from GNSS analysis becomes absolutely valuable. For that reason the project GNSSMET (Karabatic et al. [2010], Weber et al. [2008]) was initiated with the aim to investigate potential improvements of weather forecasts by assimilating GNSS derived wet delays into a high resolution meteorological now-cast system such as the INCA system in Austria. Main requirements of the project were to provide GNSS based measurements of the integral tropospheric water vapor content

with a temporal resolution of 1 hour and a temporal delay of less than 1 hour to assimilate these estimates into the INCA system. Additional requirement is an accuracy of better than 1mm of the precipitable water (PW) estimates.

3. Project GNSSMET

The project GNSSMET started in September 2006 and ended in February 2008. The project was conducted by three collaborating partners: Vienna Technical University (TU WIEN), Austrian Meteorological Agency (ZAMG) and Carinthia power supplier (KELAG). Funding was provided by the Austrian Research Promotion Agency (FFG). For project GNSSMET, GNSS measurements taken from a subset of 8 GPS/GLONASS stations located in predominately high alpine area were utilized to set up a routine to process the zenith wet delays and to investigate further potential assimilation procedures. The station network KELSAT (Fig. 1) is located in Carinthia (Kaernten), Austrian alpine area, which is well known for rapidly changing and hard to predict weather conditions. During data processing this network was further tied to surrounding stations of the IGS and the EUREF network (Wettzell, Graz, Zimmerwald).



Figure 1: Station network KELSAT

The calculation of tropospheric parameters and station coordinates for the project was based on a double-differencing approach (Dach et al. [2007], Hofmann-Wellenhof et al. [2008]). This approach requires simultaneous observations at two stations. Considering this, differencing the original observations allows eliminating or reducing some biases such as satellite and receiver clock errors. Baselines between reference stations Graz, Wettzell and Zimmerwald and each of the KELSAT network stations were formed. The a priori coordinates of reference stations are tightly constrained to their ITRF2000 coordinates as provided by IERS. Remaining parameters to be estimated are therefore coordinates of the KELSAT stations and troposphere parameters (ZWD). To catch the temporal development of humidity and to restrict physically not-meaningful jumps of this parameter the most recent 12 hours of observations were stacked and processed using the Bernese software v5.0. Processing is started automatically at every full hour and 40 minutes, ensuring enough time for delivery of both KELSAT network and reference station data. For parameter estimation the ionospheric-free narrow lane linear combination was used. Further characteristics of the solution are a horizon mask of 5 degrees and the Saastamoinen model to calculate the a priori ZHD based on the pressure data extrapolated from the nearby meteorological sensors. The calculated a priori ZHD are intro-

duced in the estimation process as known and ZWDs are estimated with a time resolution of 1 hour. The individual ray delays are mapped from the relevant elevation angle to the zenith by the inverse Wet Niell mapping function.

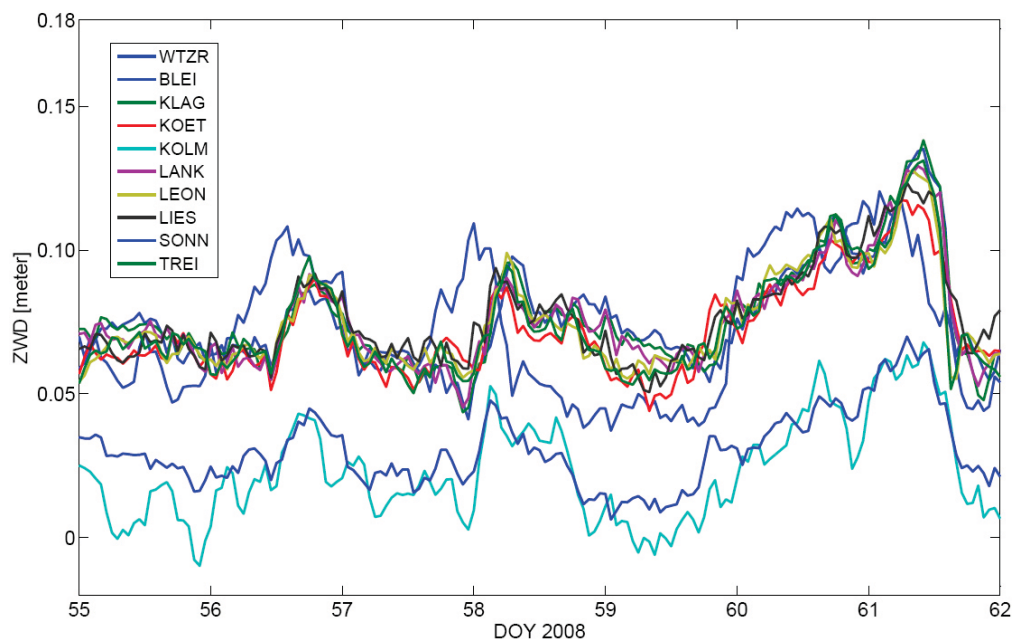


Figure 2: Estimated ZWDs for all network stations for period February 24 to March 1, 2008

Fig. 2 presents results of hourly data processing of the time span from February 24 to March 1, 2008. It can be clearly distinguished between two bulks of time series; the upper bulk shows ZWDs for stations at about 500-700 m elevation. The time series behave similar but slightly shifted due to moving atmospheric events over the area of the network (exception is the reference station Wettzell (WTZR) situated in south Germany). The lower bulk shows ZWDs for the stations Kolm-Saigurn and Sonnblick situated at heights of about 1600 m and 3100 m, respectively. For station Kolm-Saigurn a quite noisy behavior due to local obstructions can be noticed. The station Kolm-Saigurn is located in a very steep valley, surrounded with high mountains, and therefore obtains a significantly lower amount of observations. Due to increased formal errors of the ZWD at the station Kolm-Saigurn and due to errors in the a priori model for ZHD, ZWD time series show sometimes unrealistic negative values (e.g. DOY 55 or 59).

4. Validation

A more adequate value than ZWD to be used within the meteorological system is precipitable water (PW). The PW value corresponds to the height of the equivalent water column. The precipitable water is roughly 0.16 of ZWD. This value can vary with respect to station latitude and season. If the accuracy of ZWD estimates obtained within the GNSSMET project is ± 5 mm, this leaves us with accuracy in PW of about ± 1 mm.

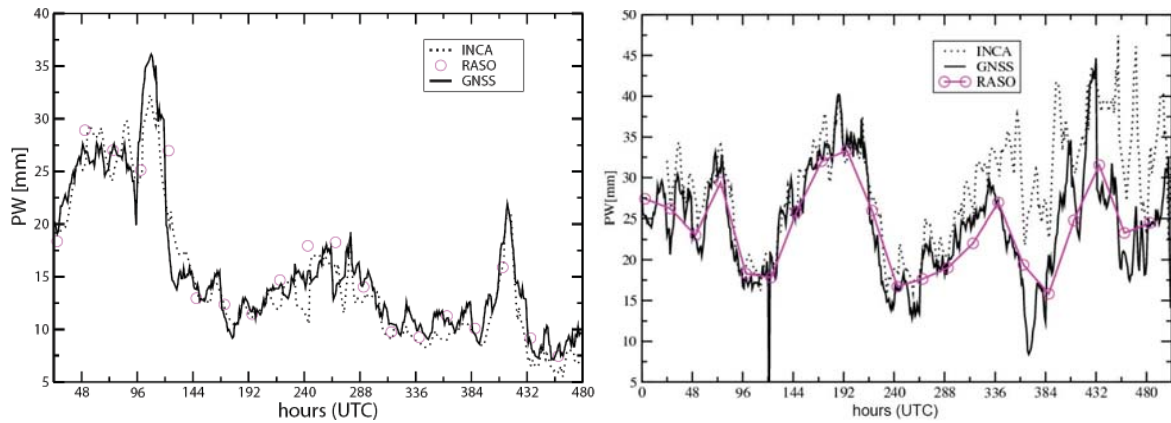


Figure 3: Comparison between PWs from INCA, GNSS and radiosonde for October (left) and July (right) 2007 at the station GRAZ

In comparison with radiosonde (RASO) and surface (TAWES) observations gained at the nearby station Graz, the GNSS PWs match quite well the humidity content of the lower atmosphere (Fig. 3). The extremely hot period in July 2007 (right panel) was not properly accounted for by INCA and introduced a positive model bias. In this special case the GNSS PWs are confirmed by a perfect match of the radiosonde observations and allowed to reveal a model deficiency of the INCA model which was corrected shortly afterwards. However, it has to be noted that radiosonde measurements in Austria are solely available at few stations which are located in moderately mountainous areas.

5. Assimilation

The approach developed at ZAMG to assimilate GNSS estimates into INCA system is based on the subsequently described algorithm. To obtain the integrated value of PW at each point of the model grid the PWs from the INCA system are multiplied with the f_{ij} coefficients for each grid point i, j :

$$PW_{ij} = f_{ij} PW_{ij}^{INCA} \quad (7)$$

To calculate the coefficients f_{ij} at each grid point, the following function has been applied:

$$f_{ij} = \sum_{k=1}^N w_{ij}^k f_k(\theta, \phi) \quad (8)$$

The coefficients are weighted with respect to distance r of the GNSS station k to the grid point using the following weighting function:

$$w_{ij}^k = \begin{cases} \frac{1}{r_k^2} & \text{when } r_k \leq 100 \text{ km;} \\ \sum_l \frac{1}{r_l^2} & \\ 0 & \text{when } r_k > 100 \text{ km.} \end{cases} \quad (9)$$

r_l represents the distance of all relevant stations, i.e. the ones within 100 km (denoted with l). The multipliers f_k for each of the GNSS stations are calculated using the following expression:

$$f_k(\theta, \phi) = \frac{PW^{GNSS}}{PW^{INCA}} \quad (10)$$

where PW^{GNSS} represents precipitable water derived from GNSS observations and PW^{INCA} represents precipitable water derived from the INCA system, and θ and Φ are geographic longitude and latitude of station k , respectively.

In a further step the GNSS PWs have to be introduced to correct the specific humidity field of the INCA model. This is quite problematic due to the integral characteristic of the GNSS estimates and the need of discrete humidity information at grid points of the INCA model. The chosen simple approach was to utilize a priori INCA humidity profiles and to apply again the f_{ij} functions to establish the GNSS corrected specific humidity $q_{ij}(h)$ at all grid points:

$$q_{ij}(h) = f_{ij} q_{ij}^{INCA}(h) \quad (11)$$

h indicating the grid point height. The comparison of the humidity profiles for October 18th 2007 at 3 UTC (Fig. 4) confirms a very good agreement between the radiosonde observation and GNSS assimilated data. For comparison, the radiosonde-pair Graz/Schoeckl was used where one station is located in the valley (Graz) and the other one on the nearby mountain (Schoeckl).

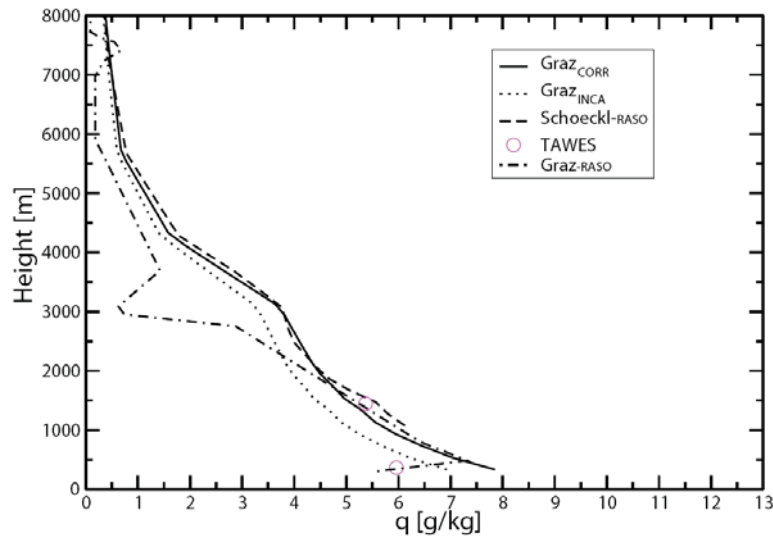


Figure 4: Humidity profiles over Graz for October 18th 2007 at 3 UTC

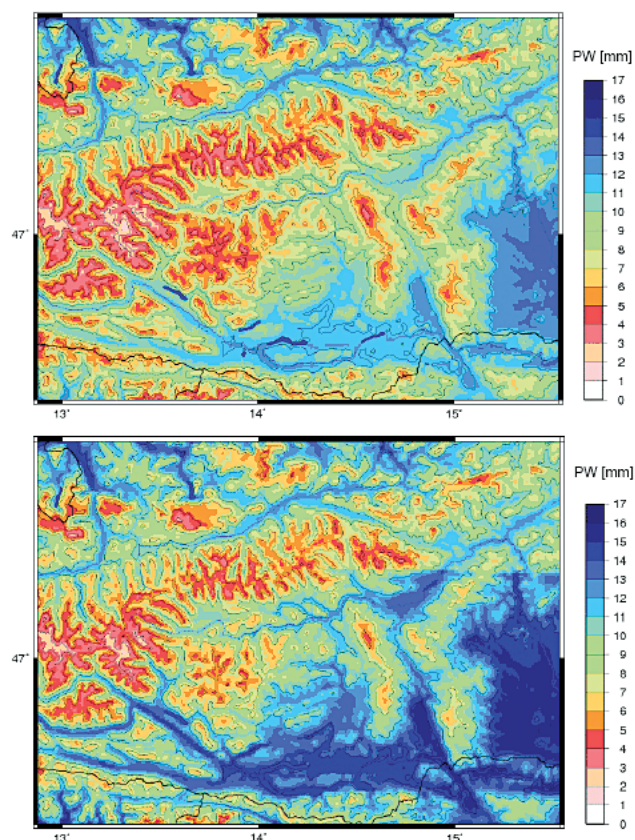


Figure 5: PW (in mm) over the KELSAT area on 13th October 2007 from INCA (upper panel) and assimilated GNSS estimates (lower panel)

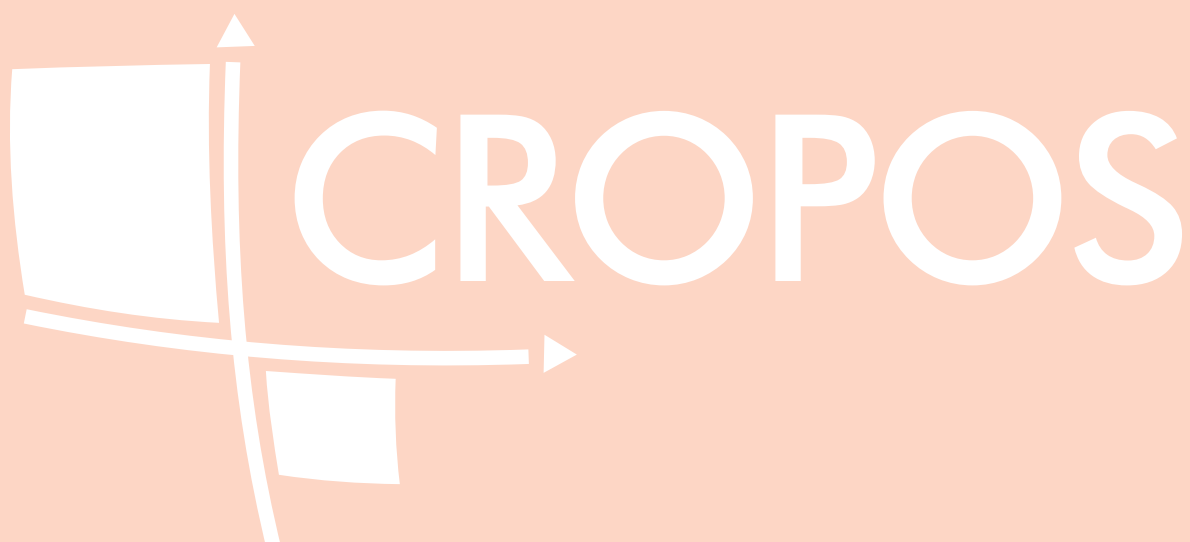
Fig. 5 provides the PW over the KELSAT area for 13th October 2007 at 3 UTC. The upper panel illustrates the raw INCA model and the lower panel INCA plus assimilated GNSS PW estimates (in mm). From the assimilation of the complete time series of GNSS estimates by the described procedure it can be concluded that GNSS PWs usually introduce a positive bias to the INCA humidity field which in general is not confirmed by the radiosonde measurements.

6. Summary and recommendations

Passing weather fronts can be analyzed in more detail by introducing GNSS derived tropospheric wet delay. The observed ZWDs are influenced by changes in humidity in the free atmosphere, whereas the data at the meteorological ground stations react to these changes only with a time delay. This allows to forecast heavy rainfall causing potentially local floodings more reliable and to narrow down the affected region. The main requirements of timeliness and accuracy asked for by meteorologists were fulfilled by delivery of ZWD estimates with a delay of less than 1 h and an overall accuracy better than 5 mm (1 mm in PW). The hydrostatic part is calculated from ground based meteorological measurements at or nearby the GNSS stations. Corrected values for ZWD have been assimilated into the real-time forecast system INCA. Model improvements obtained due to the assimilation of GNSS wet delays are mostly visible during summer months (GNSS constraints during periods of high humidity more tight) and in times of quickly passing weather fronts.

7. References

- Bevis, M., Businger, S. & Chiswell, S. (1994). *GPS Meteorology: Mapping zenith wet delays onto precipitable water*. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 33, pp. 379–386.
- Davis, J., Herring, T., Shapiro, I., Rogers, A. & Elgered, G. (1985). *Geodesy by radio interferometry: effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length*. *Radio Science*, Vol. 20, pp. 1593–1607.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P. & Meindl, M. (2007). *User Manual of the Bernese GPS Software Version 5.0*. Astronomical Institute, University of Bern, Bern, Switzerland.
- Davis, K. (1990). *Ionospheric Radio*. IEE Electromagnetic Waves Series 31, Peter Pergrinus Ltd., London.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Wasle, E. (2008). *GNSS – Global Navigation Satellite System. GPS, GLONASS, Galileo, and more*. SpringerWien–NewYork, 1st edn.
- Karabatic, A., Weber, R. & Haiden, T. (2010). *Near real-time estimation of tropospheric water vapour content from ground based GNSS data and its potential contribution to weather now-casting in Austria*. *Advances in Space Research*, Vol. 47, pp. 1691–1703.
- Karabatic, A. (2011). *Precise Point Positioning – an alternative method for ground based GNSS troposphere monitoring*. Doctoral dissertation. Vienna Technical University.
- Niell, A., Coster, A., Solheim, F., Mendes, V., Toor, P., Langley, R. & Upham, C. (2001). *Comparison of atmosphere wet delay by radiosonde, water vapor radiometer, GPS and VLBI*. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 18, pp. 830–850.
- Saastamoinen, J. (1972). *Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites*. In *The use of artificial satellites for Geodesy*, vol. Vol. 15 of Geophys. Monogr. Series, pp. 247–251, AGU.
- Thayer, G. (1974). *An improved equation for the radio refractive index of air*. *Radio Science*, Vol. 9, pp. 211–222.
- Weber, R., Karabatic, A., Leroch, S. & Haiden, T. (2008). *Final report of project GNSS-MET*. Tech. rep., Austrian Research Promotion Agency (FFG).
- Wolfe, D. & Gutman, S. (2000). *Developing an Operational, Surface-Based, GPS, Water Vapor Observing System for NOAA: Network Design and Results*. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 17, pp. 426–440.



Globalization of GNSS Networks

Volker WEGENER¹

1. Introduction

New technologies provide professionals additional opportunities and increased efficiency. Trimble pioneered RTK technology in the early 1990s, which enabled high-accuracy corrections for field applications. RTK is now recognized as the industry leading technology for centimeter-level positioning. To further improve accuracy Trimble subsequently introduced VRS™ technology in 2000 and shortly after that, Trimble VRS Now™ Service.

VRS Networks are evolving fast and became a standard tool in Surveying, and Mapping & GIS, machine guidance, and agriculture. The Trimble Virtual Reference Station (VRS™) technology is well known for its high accuracy and reliability, and used by many public agencies and private companies worldwide.

2. Trimble Positioning Services *Trimble® VRS Now™*

The first Trimble operated VRS Now RTK network has been launched early 2006 in Great-Britain. End user demands for a whole solution provided by Trimble drove the decision to implement the network operation. Based on the success of this one-stop service solution Trimble launched VRS Now also in Germany, Ireland, Czech, Estonia, Belgium and Luxembourg, The Netherlands, greater Madrid area, and Sweden, and in many states in the US (see Fig. 1).

Service layout and technology is unified for all networks. This allows end users to roam between countries without reconfiguration of their equipment. Offerings include dedicated services for 1-2cm accuracy for surveying, construction, and agriculture, and 10cm and 30-50cm accuracy for Mapping and GIS-applications. The one stop solution also includes SIM cards for customers in many countries.

¹ Volker Wegener, Trimble Germany GmbH, Raunheim, Deutschland

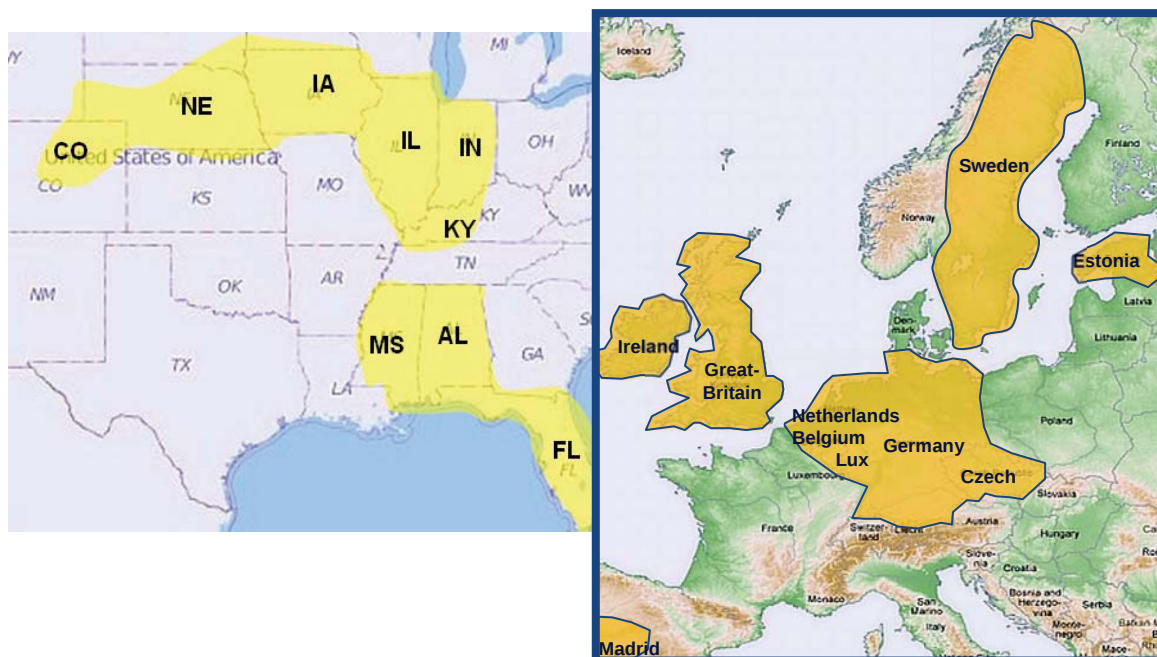


Fig. 1: Trimble VRS Now networks in Europe and the USA

3. *OmniSTAR*[™]

In March 2011 Trimble entered into an agreement to acquire certain assets related to the OmniSTAR[™] Global Navigation Satellite System (GNSS) signal corrections business from Fugro N.V. The acquisition significantly expands Trimble's worldwide ability to provide land-based correction services for agriculture, construction, mapping and Geographic Information System (GIS) and survey applications. Trimble and Fugro also entered into a multi-year service agreement which includes Fugro's ongoing operation of its correction network and satellite service broadcast systems that power the OmniSTAR service.

OmniSTAR provides space-based GNSS correction services that can improve the accuracy of a GNSS receiver for precise positioning applications. Currently, there are four levels of OmniSTAR service: "VBS" offering sub-meter positioning, "XP" delivering better than 20 centimeter accuracy and "HP" delivering greater than 10 centimeter accuracy. In addition, the new OmniSTAR "G2" service combines GPS plus GLONASS based corrections to provide decimeter level positioning.

OmniSTAR services are mostly used by agriculture customers to perform planting, harvesting, variable rate application and many other operations.

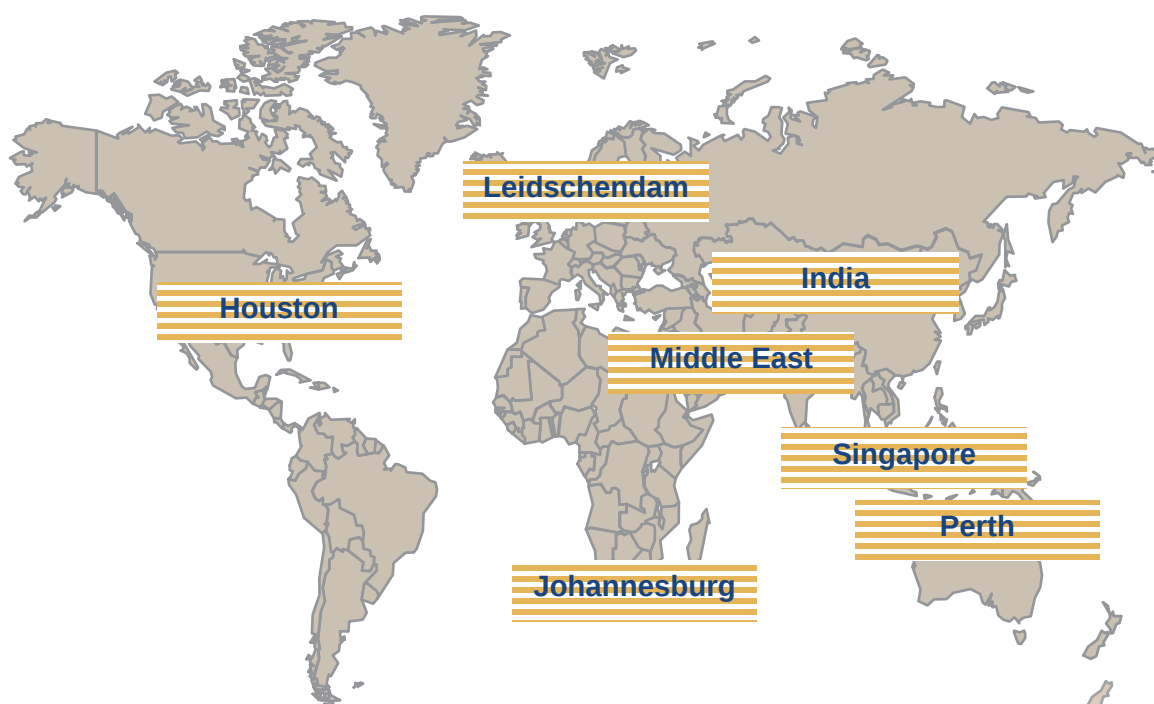


Fig. 2: OmniSTAR operations

4. Technology *Trimble® VRS Now™*

Raw data from reference stations spread out over a country with inter-station distances of 50km to 70km is streamed into central servers where the VRS software runs.

The network processing software synchronizes data and models satellite orbit errors, and tropospheric and ionospheric influences in a sophisticated approach. By using data from all reference stations the central software builds up a very good model of the conditions above us. Basically, with this model it is possible to predict very accurately how the satellite signals will behave when it goes through the atmosphere.

As part of connecting to the VRS system a user will send his position telling the system where he is. The VRS system can then send optimised correction for his particular area.

The VRS concept is an international acknowledged solution and provides the possibility for the rover to work on very short baselines, which improves the accuracy and reliability.

Using GPS & GLONASS together increase the number of usable Satellites which allows performing precise positioning with GNSS even in obstructed areas.

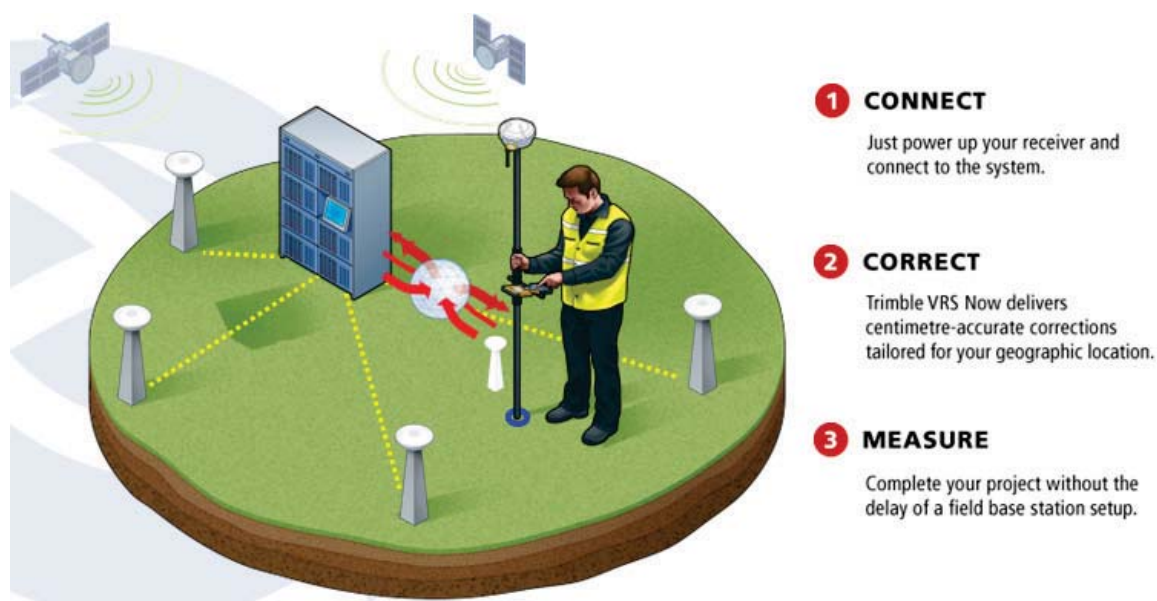


Fig. 3: Network RTK

5. Technology *OmniSTAR*™

For more than 25 years, OmniSTAR has been involved in precise positioning. In the mid-1980's, before GPS was fully operational, the precursor of OmniSTAR provided North America with the world's first round-the-clock satellite positioning service.

OmniSTAR is a wide-area differential GPS service, using satellite broadcast techniques. For the sub-meter service, data from many widely-spaced Reference Stations is used in a proprietary multi-site solution over most land areas worldwide. The high-accuracy HP solution uses more sophisticated data from these reference sites and XP uses satellite orbit and clock correction data which is independent of reference site location.

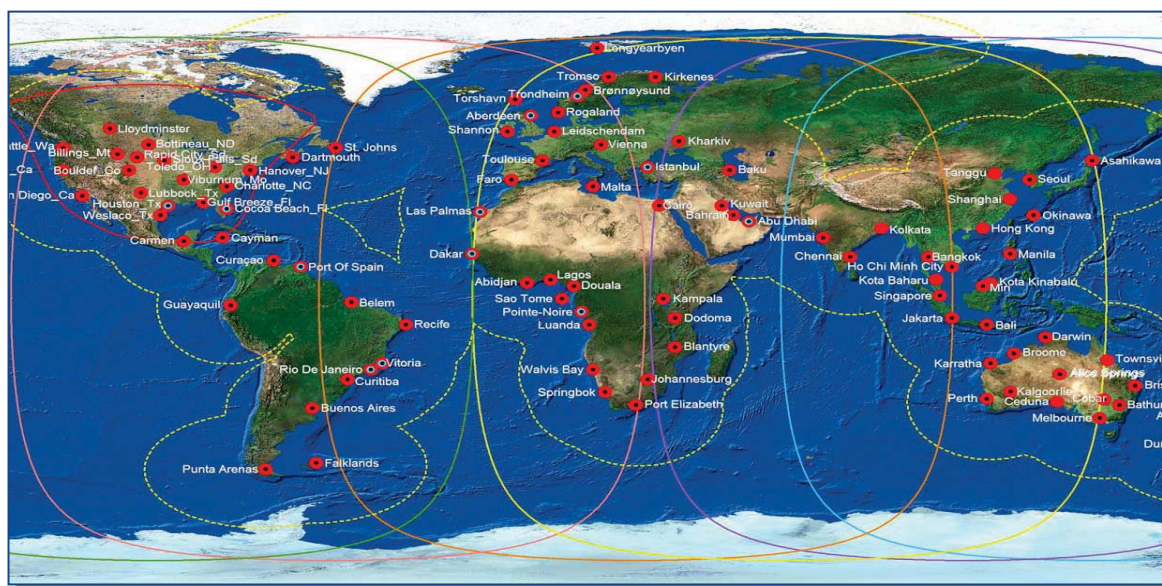


Fig. 4: OmniSTAR tracking network and satellite broadcast coverage

Network solutions are based upon a network and multiple network control centers, all with appropriate back-up and dual, independent global satellite broadcast coverage.

Four different services are available:

OmniSTAR VBS • Single frequency DGPS Service, • 2D accuracy: 40-50 cm • Pass to Pass 30cm <i>Very robust service for precise navigation</i>	OmniSTAR XP • Dual frequency GPS based Service, • 2D accuracy: 10-15 cm • Pass to Pass <7.5cm • World-wide, <i>XP positioning is based on satellite Orbit & Clock data.</i>
OmniSTAR HP • Dual frequency DGPS Service, • 2D accuracy: 5-10 cm • Pass to Pass <5cm <i>Accuracy for precision guidance</i>	OmniSTAR G2 • Dual frequency GPS & GLONASS based Service, • 2D accuracy: 10-15 cm • Pass to Pass <7.5cm • World-wide <i>G2 positioning is based on satellite Orbit & Clock data</i>

Fig. 5: OmniSTAR services

In September 2009, OmniSTAR launched the G2 service, which provides high-precision correction signals for both the American GPS and the Russian GLONASS satellite navigation systems. Originally intended to add robustness as a result of the increased number of navigation satellites available, the improved combined GNSS constellation also resulted in a 30% decrease in OmniSTAR convergence time.

6. Full range services and future development

With the addition of the OmniSTAR services, Trimble offers a full range of high-precision positioning capabilities which now include terrestrial- and satellite-delivered corrections covering the whole accuracy spectrum needed by professionals from centimeter to meter. The expanded portfolio will provide not only farmers, but also surveying, construction and GIS professionals with more options to satisfy their particular accuracy, delivery and financial needs.

The OmniSTAR transfer of land-based GNSS signal corrections assets marks the next phase of Trimble's efforts to bring a broader range of positioning services to the customers on land

Future improvements in the way corrections are calculated and applied, and the addition of future navigation satellite systems (like the European Galileo System) will provide new opportunities in the field of precise positioning with GNSS.

Additional user groups need fully integrated solutions working cross borders. Unified service implementation on a very high reliability level is crucial to address these market segments. Trimble will broaden its tailored offerings for these segments.

7. References

- Landau, H., Chen, X., Kipka, A, Vollath, U., Trimble Terrasat GmbH, Latest Developments in Network RTK Modeling to support GNSS Modernization, ION NTM 2007
- Vollath U., A. Buecherl, H. Landau, C. Pagels and B. Wagner (2000): Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations, Proceedings of the National Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GPS 2000 (September 2000, Salt Lake, USA), 123 – 131.
- Newcastle University, An examination of commercial network RTK GPS services in Great Britain, November 2008
- Prof. Clarke, Peter, Newcastle University: Präsentation „Results and best practice guidance”, Manchester, 6.11.2008
- Wanninger, L. (2004): Introduction to Network RTK. IAG-Working Group 4.5.1: Network-RTK, <http://www.network-rtk.info>
- Wegener, V., Wanninger, L. (2005): Communication Options for Network RTK. IAG-Working Group 4.5.1: Network-RTK, <http://www.network-rtk.info>

Europski gravimetrijski geoid EGG2008 i hrvatski geoid HRG2009

Heiner DENKER¹, Tomislav BAŠIĆ²

Sažetak

U radu se daje kratki prikaz računanja najaktualnijeg regionalnog (kvazi) geoida za područje Europe – EGG2008, kao i najnovijeg lokalnog (kvazi) geoida za Hrvatsku – HRG2009, te se po prvi puta donosi njihova međusobna usporedba kao i usporedba EGG2008 s GNSS/niveliranim točkama na području Hrvatske.

Ključne riječi: EGG2008, HRG2009, (kvazi) geoid, GNSS/nivelirane točke, usporedba.

Abstract

The paper gives a brief overview of the computation of the latest regional (quasi) geoid computation for the Europe – EGG2008 and recent local (quasi) geoid for Croatia – HRG2009, and for the first time makes their mutual comparison and comparison of EGG2008 with the GNSS/leveling points on Croatian territory.

Keywords: EGG2008, HRG2009, (quasi) geoid, GNSS/leveling points, comparison.

1. Uvod

Primjena GNSS mjerenja u geodeziji omogućila je obnovu postojećih odnosno uspostavu novih državnih referentnih okvira, što je u Hrvatskoj rezultiralo usvajanjem novih službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija 2004. godine, ali i stvorilo potrebu za boljim razumijevanjem definicije i realizacije geodetskog datuma, transformacije između povijesnih i modernih geodetskih referentnih sustava, kao i boljim poznavanjem odnosa između geoida i referentnog elipsoida. Upravo ovo zadnje motiviralo je autore da čitateljstvu približe moderna nastojanja za određivanjem što pouzdanije plohe (kvazi) geoida na regionalnom europskom odnosno lokalnom hrvatskom nivou, a radi jednostavnijeg i ekonomičnijeg dobivanja širokoj praksi potrebnih što pouzdanijih visina.

Dobar primjer za to je primjena HRG2009 geoida u okviru CROPOS_VRS_HTRS96 servisa koji je u službenoj upotrebi od 3. siječnja 2011. godine i koji osigurava transformaciju u

¹ dr. sc. Heiner Denker, Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover, e-mail: denker@ife.uni-hannover.de

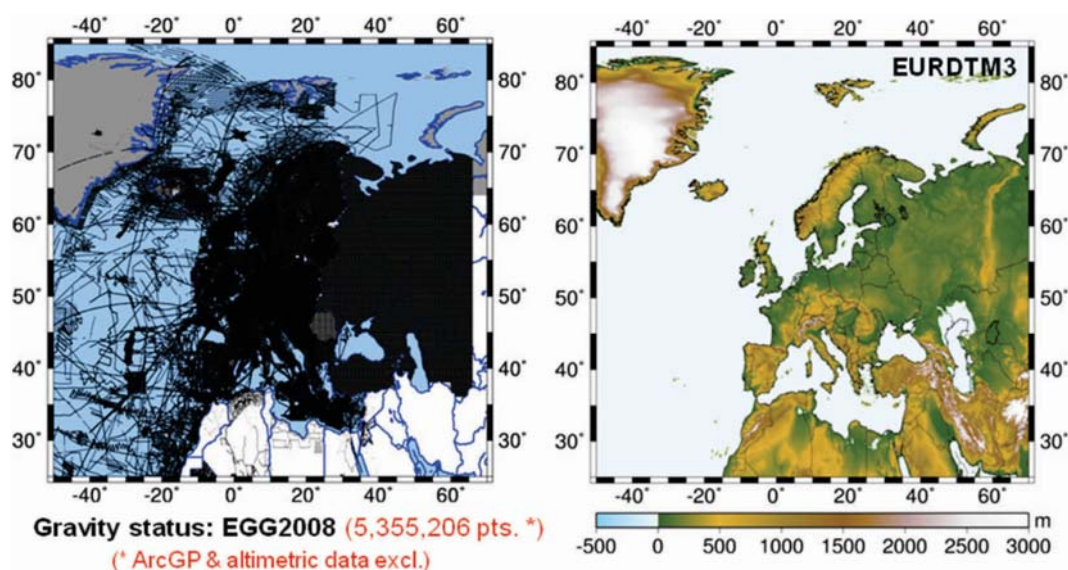
² prof. dr. sc. Tomislav Bašić, Katedra za državnu izmjeru, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, e-mail: tomislav.basic@geof.hr

stvarnom vremenu između elipsoidnih visina i ortometrijskih visina (zapravo visina koje su definirane u Zemljinom polju ubrzanja sile teže), a koje se odnose na novi visinski sustav Republike Hrvatske HVRS71. Najnovija ploha kvazigeoida za Hrvatsku naći će u drugoj polovici 2011. godine svoju primjenu i kod još jednog novog on-line servisa CROPOS_VRS_HDKS (trenutno je u fazi testiranja), namijenjenog za položajnu transformaciju između HTRS96 i HDKS, ali i za definiranje u stvarnom vremenu visina koje se odnose na stari visinski sustav ("Trst"), i to uz pomoć T7D GRID transformacije koja je za potrebe Državne geodetske uprave razvijena na Katedri za državnu izmjeru Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Bašić 2009).

2. Kratki pregled određivanja plohe (kvazi) geoida za Europu

Prva ozbiljna nastojanja u definiranju plohe (kvazi) geoida za kontinent Europu datiraju s početka osamdesetih godina prošlog stoljeća i odvijala su se na Institut für Erdmessung (IFE, Torge et al. 1982), da bi rezultirala s prvim cjelovitim rješenjem EGG1997 (Denker and Torge 1998) koje je bilo publicirano zajedno s korisničkim programom na CD-u (realizirano je više od 150 instalacija). EGG1997 rješenje se je baziralo na 2.7 milijuna gravimetrijskih podataka i 700 milijuna topografskih podataka, prikupljenih od 70 institucija iz 29 zemalja. U području: 25°N-77°N i 35°W-67.4°E bilo je u rasteru 1.0'x1.5' izračunano ukupno 12 779 520 grid točaka s definiranim vrijednostima geoidnih undulacija i komponenti otklona vertikale.

Najnovija rješenja za europski (kvazi) geoid EGG2007 odnosno EGG2008 (razlika je samo u globalnom geopotencijalnom modelu koji je upotrebljen) rezultat su projekta European Gravity and Geoid Project (EGGP) koji se na IFE odvija od IUGG kongresa u Sapporou, Japan, 2003. godine (Denker 2009, Denker et al. 2008, Denker et al. 2009). Pored upravnog odbora koji čine eminentni europski stručnjaci iz ovog područja, kao suradnici na tom projektu uključeno je pedesetak osoba iz većine zemalja Europe. Baza gravimetrijskih podataka je do 2007. godine popunjena novim ili revidiranim podacima za gotovo sve zemlje, uključene su ArcGP (Arktik) i KMS2002 altimetrijske anomalije, upotrebljen je zajednički referentni sustav za položaj (ETRS89), visine (EVRS) i za silu težu (sustav apsolutnih vrijednosti g-a), dok su 2008 godine popravljene vrijednosti za područje Grčke i Turske (apsolutni nivo), dodano nekoliko novih izvora podataka kao i 1' altimetrijske anomalije (DNSC2008 i Sandwell & Smith) te nedostajući podaci u Africi i na Kavkazu popunjeni EGM2008 vrijednostima, slika 1 lijevo (više u Denker 2009).



Slika 1: Upotrebljeni gravimetrijski podaci (lijevo) i visinski podaci (desno)

Za potrebe dobivanja visoko-frekventnog dijela Zemljina polja ubrzanja sile teže (tzv. rezidualno modeliranje topografije) priređen je za isto područje 3"x3" EURDTM3 model topografije s ukupno 6.6 milijardi visina (slika 1 desno). Područje računanja je definirano: 25°N-85°N i 50°W-70°E, s rasterom od 1.0'x1.0' odnosno 3 600 x 7 200 = 25 920 000 točaka grida. U EGG2007 rješenju korišten je EIGEN-GL04C globalni geopotencijalni model (Förste et al. 2006), a u EGG2008 novi globalni model sfernih harmonika EGM2008 (Pavlis et al. 2008). Zbog ogromne količine podata, kao metoda računanja europskog (kvazi) geoida primijenjena je metoda numeričke integracije, poznata kao spektralna kombinacija transformacije polja ($\Delta g' \rightarrow \zeta'$), koristeći 1D FFT i posebno definirane spektralne težine u uobičajenoj "remove-restore" proceduri računanja (Denker et al. 2008). Konačna statistika EGG2008 rješenja, kako za gravimetrijske točke tako i za grid vrijednosti kvazigeoida dana je u tablici 1 (Denker 2009).

Tablica 1: EGG2008 statistika anomalija sile teže i kvazigeoida

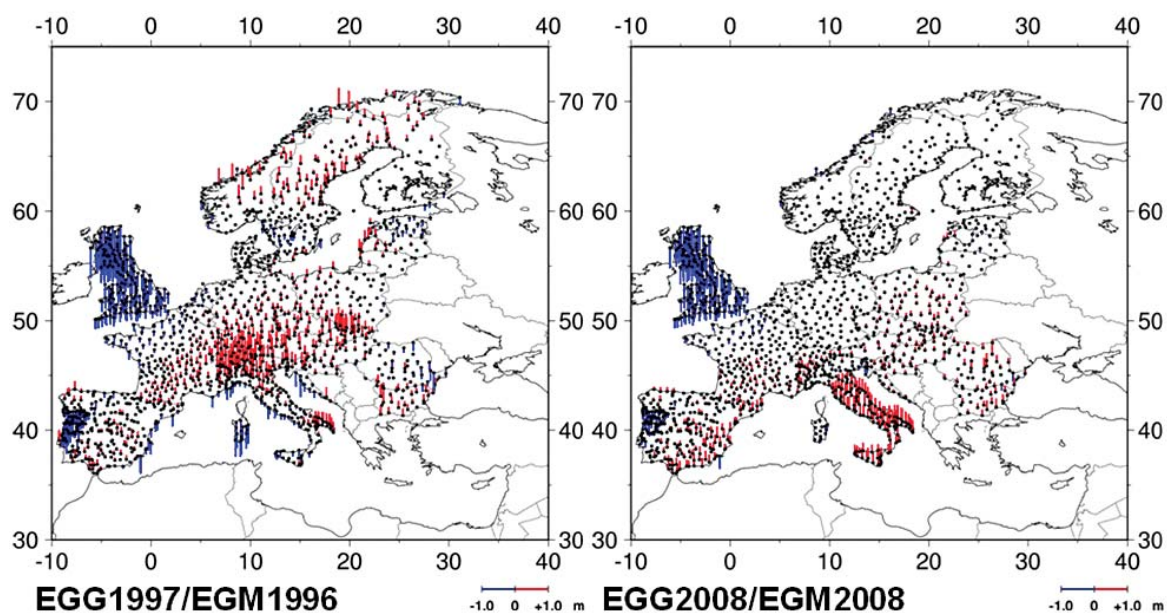
Parameter	Mean	Std.dev.	Min.	Max.
Δg	+6.59	34.11	-333.36	+498.88
EGM2008 ($l_{\max}=360$)	+7.49	31.27	-226.32	+236.25
RTM15'x20'	-0.34	4.98	-215.21	+182.72
$\Delta g'$	-0.57	13.90	-163.43	+263.23
18 154 254 gravity points; units are mgal				
Parameter	Mean	Std.dev.	Min.	Max.
$\zeta' = S(\Delta g')$	0.000	0.161	-1.657	+2.361
RTM15'x20'	0.000	0.036	-0.493	+0.934
EGM2008 ($l_{\max}=360$)	26.498	24.257	-48.665	+67.551
ζ_0	+0.300	0.000	+0.300	+0.300
ζ (EGG2008)	26.798	24.258	-48.858	+68.104
25 920 000 quasigeoid grid points; units are m				

Tablica 2 sadrži usporedbu ranijeg rješenja kvazigeoida EGG1997 i najnovijeg EGG2008 s GNSS/niveliranim kontrolnim točkama u više zemalja Europe iz koje se jasno vidi značajno poboljšanje kvalitete zadnjeg rješenja, u nekim državama i preko 70% (Denker 2009). I usporedba EUVN_DA točaka (1536) pokazuje 50% poboljšanje EGG2008 u odnosu na EGG1997 na nivou cijele Europe, s izuzetkom Velike Britanije i Italije koje su zbog sustavnog neslaganja isključene iz usporedbe (tablica 2 i slika 2). Na slici 3 prikazana je EGG2008 ploha kvazigeoida za šire područje Hrvatske (42°N-47°N i 13°E-19.5°E), uključujući i najvažnije statističke podatke.

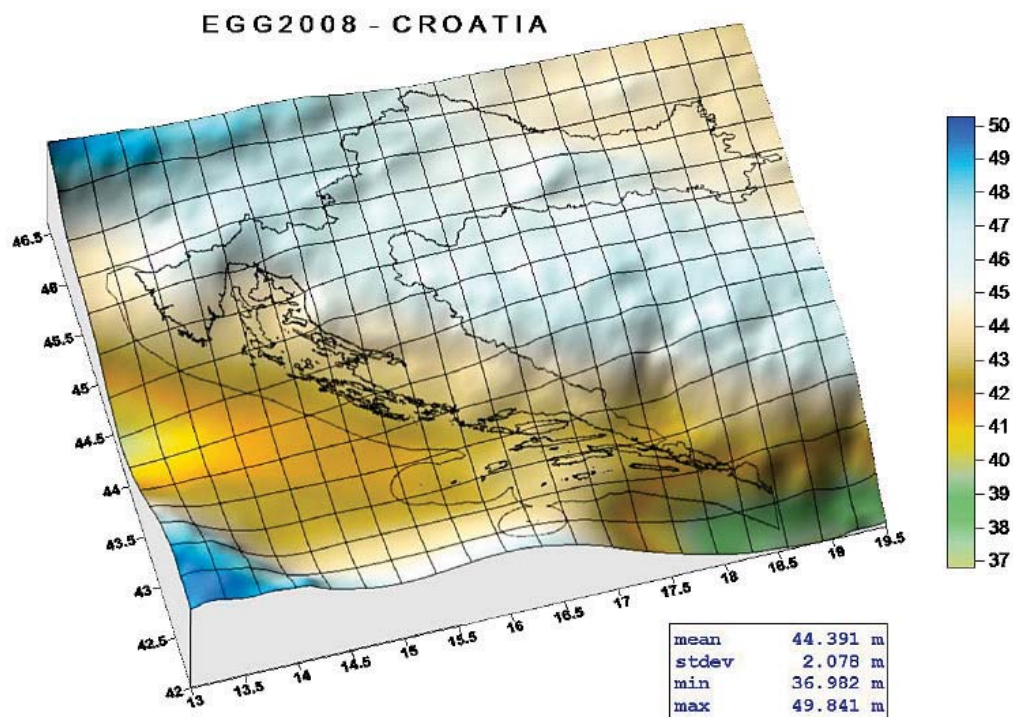
Tablica 2: Usporedba EGG1997 i EGG2008 s GPS/niveliranim točkama

GPS/Leveling	Quasigeoid	#	RMS [m]	Min [m]	Max [m]	Improvement versus EGG97
Germany (2005)	EGG1997/EGM1996	907	0.094	-0.185	+0.327	-
	EGG2008/EGM2008	907	0.026	-0.090	+0.074	72 %
Netherlands	EGG1997/EGM1996	84	0.034	-0.060	+0.116	-
	EGG2008/EGM2008	84	0.010	-0.040	+0.025	71 %
Austria (2008)	EGG1997/EGM1996	170	0.109	-0.200	+0.249	-
	EGG2008/EGM2008	170	0.037	-0.099	+0.100	66 %
Switzerland	EGG1997/EGM1996	188	0.080	-0.130	+0.258	-
	EGG2008/EGM2008	188	0.052	-0.157	+0.229	35 %
France (traverse with new leveling)	EGG1997/EGM1996	16	0.089	-0.181	+0.126	-
	EGG2008/EGM2008	16	0.026	-0.024	+0.058	71 %
EUVN_DA (excl. Great Britain and Italy)	EGG1997/EGM1996	1147	0.168	-0.633	+0.640	-
	EGG2008/EGM2008	1147	0.083	-0.431	+0.394	51 %

EUVN_DA (1536 stations):



Slika 2: Usporedba EGG1997 i EGG2008 s EUVN_DA podacima



Slika 3: EGG2008 ploha kvazigeoida na području Hrvatske

3. Kratki prikaz računanja HRG2009 kvazigeoida

Kako je u (Bašić 2009) već prezentirano, prilikom računanja novog kvazigeoida HRG2009 provedena su sljedeća istraživanja:

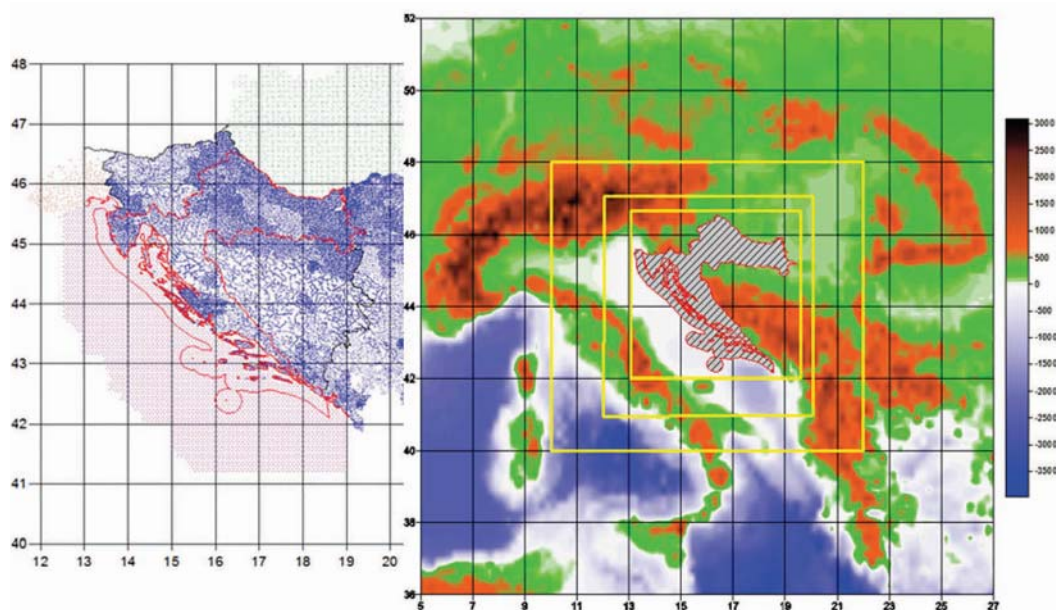
- analiza recentnih globalnih geopotencijalnih modela te s tim u vezi posebno ispitivanje i testiranje najnovijeg EGM2008 rješenja (Pavlis i dr. 2008),
- prikupljanje i kontrola kvalitete znatno većeg broja podataka za silu težu,
- kreiranje i provjera 3"x3" DMR-a iz podataka Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) za potrebe računanja topografskih efekata Zemljina polja sile teže,
- uspostava Osnovne gravimetrijske mreže, EUVN i EUVN_DA, čiji su se podaci koristili za potrebe nezavisne kontrole,
- analiza razlika visina između starog i novog visinskog datuma, te
- uspostava oko 500 novih GNSS/nivelmanskih točaka diljem Hrvatske za potrebe bolje apsolutne orijentacije novog geoida, ali i unutarnje ocjene kvalitete novog modela kvazigeoida.

Kao način računanja, upotrebljena je zbog relativno manjeg broja mjerenih podataka (anomalije slobodnog zraka, uz pomoć satelitske altimetrije ili GPS/nivelmana iznađene geoidne undulacije) metoda kolokacije po najmanjim kvadratima, pri čemu su dugovalne strukture Zemljina polja ubrzanja sile teže preuzete iz globalnog geopotencijalnog modela EGM2008, srednjevalni dio spektra potječe od korištenih diskretnih terestričkih podataka, a kratkovalni i ultrakratkovalni dio je modeliran uz pomoć visoko-razlučivog digitalnog modela reljefa, uz primjenu "remove-restore" uobičajene procedure računanja.

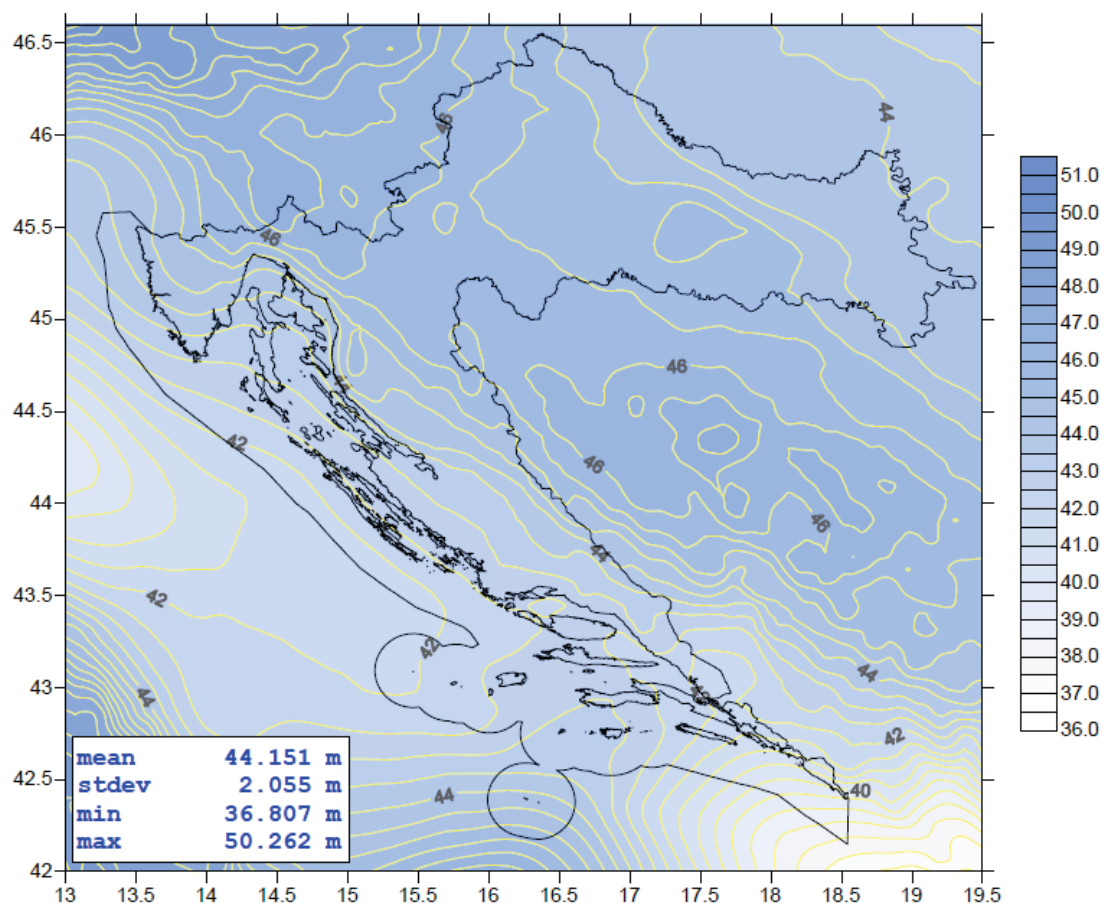
Kratkovalne strukture gravitacijskog polja obuhvaćene su rezidualnim modeliranjem topografije, za što su iskorištene informacije o Zemljinim masama sadržane u slijedećim digitalnim modelima reljefa: detaljniji ili fini 4"x5" DMR dobiven iz 3"x3" Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) na području između 40° i 48° po geografskoj širini te između 10° i 22° po geografskoj duljini (vidi desni dio slike 4), zatim grubi 1"x1' DMR, koji pokriva veće područje između 36° i 52° po geografskoj širini te 5° i 27° po geografskoj duljini, jednako kao i 5"x5' referentni DMR za rezidualno modeliranje.

Za računanje anomalija slobodnog zraka iskorišteni su točkasti podaci o sili teži na kopnenom dijelu Hrvatske, Slovenije, Bosne i Hercegovine, Srbije i Crne Gore, a dodatno su uključeni i relativno rijetki točkasti podaci za silu težu na području Mađarske i Italije. Na Jadranu su u računanjima korišteni podaci satelitske altimetrije i digitalizirani terestrički podaci o sili teži. Svi su podaci adekvatno transformirani u GRS80 sustav, te je na taj način pripremljena datoteka od oko 30 000 podataka za anomalije ubrzanja sile teže (slika 4 lijevo, više u Bašić 2009).

Područje računanja izabrano je tako da potpuno pokriva teritorij Hrvatske, a to znači između 42.0° i 46.6° po geografskoj širini odnosno 13.0° i 19.5° po geografskoj duljini. Pravilni raspored točaka u kojima je obavljeno predviđanje reziduala geoida je odabran u rasteru 30"x45" (~1x1 km), što predstavlja četiri puta bolju detaljnost računanja nego je to bio slučaj kod HRG2000 geoida (Bašić 2001). To znači da je broj točaka računanja (GRID-a) sa 72 297 narastao kod HRG2009 rješenja na 288 113. Na slici 5 prikazana je ploha HRG2009, uključujući i najbitniju numeričku statistiku.



Slika 4: Gravimetrijski podaci (lijevo) i SRTM digitalni model reljefa (desno)



Slika 5: Novi model geoida Republike Hrvatske HRG2009

Procjena kvalitete HRG2009 modela kvazigeoida urađena je na dva načina. Najprije je napravljena njegova unutarnja ocjena točnosti preko usporedbe s 495 GNSS/niveliranih undulacija, korištenih u samim računanjima. Ona pokazuje međusobno slaganje koje je izvanredno visoko (tablica 3 i slika 6 lijevo), jer je standardno odstupanje svega 2.7 cm (uz srednju razliku gotovo nula) ukazujući prije svega na dobro odabranu metodologiju i realizaciju računanja, ali i na visoku pouzdanost novog rješenja geoida od 2-3 cm preko najvećeg dijela hrvatskog kopna. Poboljšanje novog geoida u odnosu na staro HRG2000 rješenje (Bašić 2001) je više nego očito jer je ostvareno 71% smanjenje standardnog odstupanja u usporedbi s GNSS/niveliranim točkama (vidi tablicu 3).

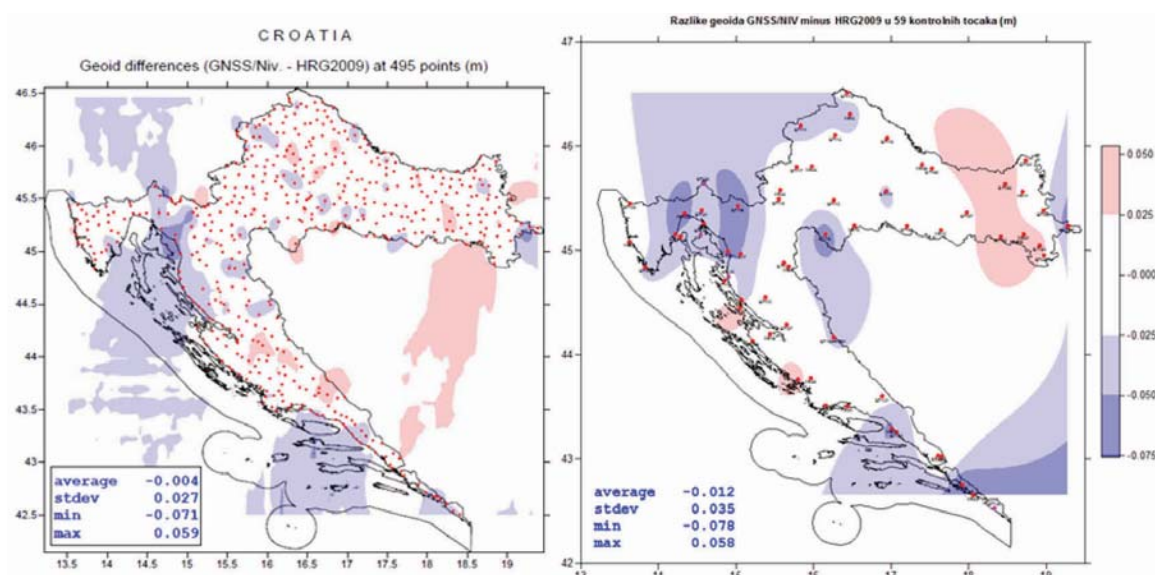
Nakon toga je provedena i vanjska (nezavisna) ocjena kvalitete novog geoida kroz njegovu usporedbu s 59 GNSS/niveliranih kontrolnih undulacija koje nisu korištene za računanje HRG2009 geoida (Bašić 2001). Ta usporedba (tablica 4 i slika 6 desno) potvrđuje da je ostvarena zavidna apsolutna točnost nove plohe geoida na kopnenom dijelu Hrvatske, jer je standardno odstupanje 3.5 cm (uz srednju razliku gotovo nula), potvrđujući na temelju kontrolnih nezavisnih podataka visoku pouzdanost novog rješenja geoida.

Tablica 3: Statistika razlika između 495 GNSS/niveliranih točaka i HRG2000 odnosno HRG2009 anomalija visina (m)

Model geoida	Minimum	Maksimum	Sredina	Standardno odstupanje	Poboljšanje u odnosu na HRG2000
HRG2000	-0.437	0.298	-0.012	0.093	-
HRG2009	-0.071	0.059	-0.004	0.027	71.0%

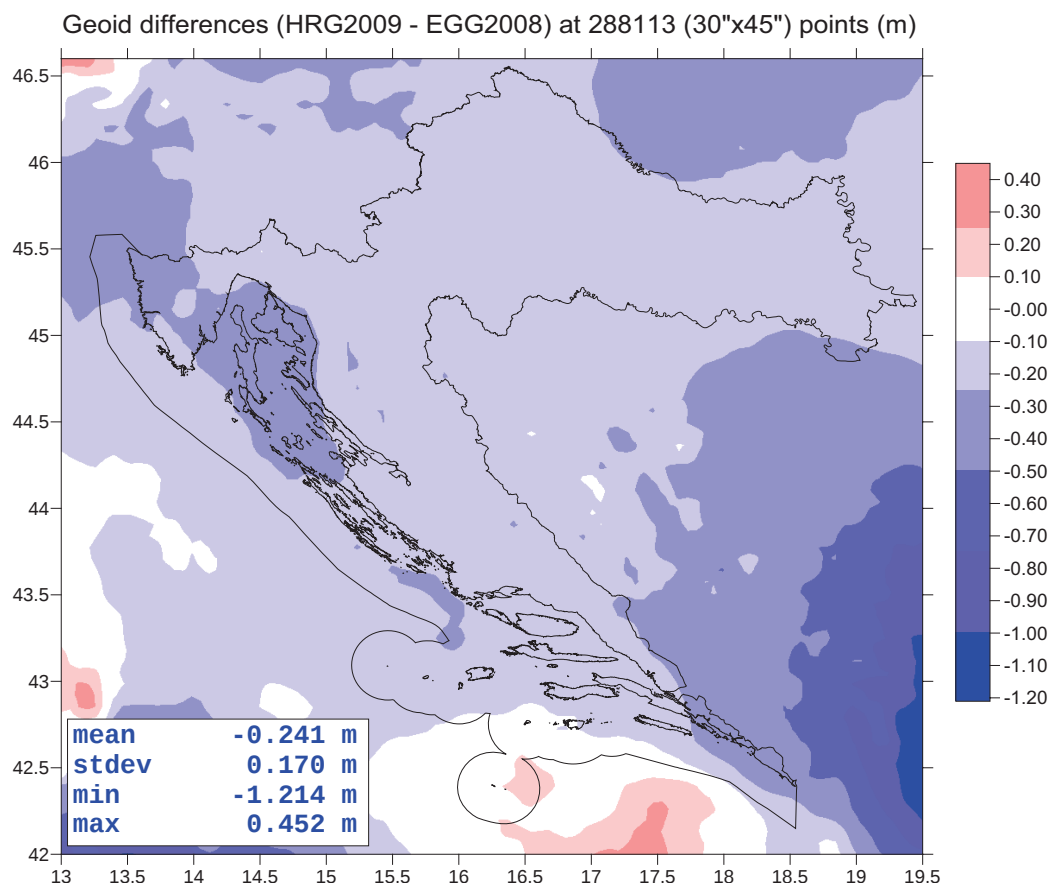
Tablica 4: Statistika razlika između 59 GNSS/niveliranih kontrolnih točaka i HRG2009 anomalija visina (m)

Model geoida	Minimum	Maksimum	Sredina	Standardno odstupanje
HRG2009	-0.078	0.058	-0.012	0.035

**Slika 6:** Usporedba HRG2009 geoida s GNSS/niveliranim točkama

4. Procjena kvalitete EGG2008 kvazigeoida na području Hrvatske

Direktna usporedba vrijednosti lokalnog kvazigeoida HRG2009 i regionalnog europskog EGG2008 u svim točkama 30"x45" rastera u području definiranja hrvatskog rješenja (42°N-46.6°N i 13°E-19.5°E) pokazuje najprije da postoji srednja razlika između ovih ploha od 24.1 cm, koja je posljedica različitih nultih ploha za visine (HVRS71 u odnosu na Amsterdam). Pored toga, standardno odstupanje razlika iznosi 17.0 cm, a javlja se minimalna razlika od -1.214 m odnosno maksimalna razlika od 0.452 m (slika 7), pri čemu su veća neslaganja zapravo izvan područja Hrvatske (korišteni različiti podaci, različite metode računanja, rubni efekt, ...).



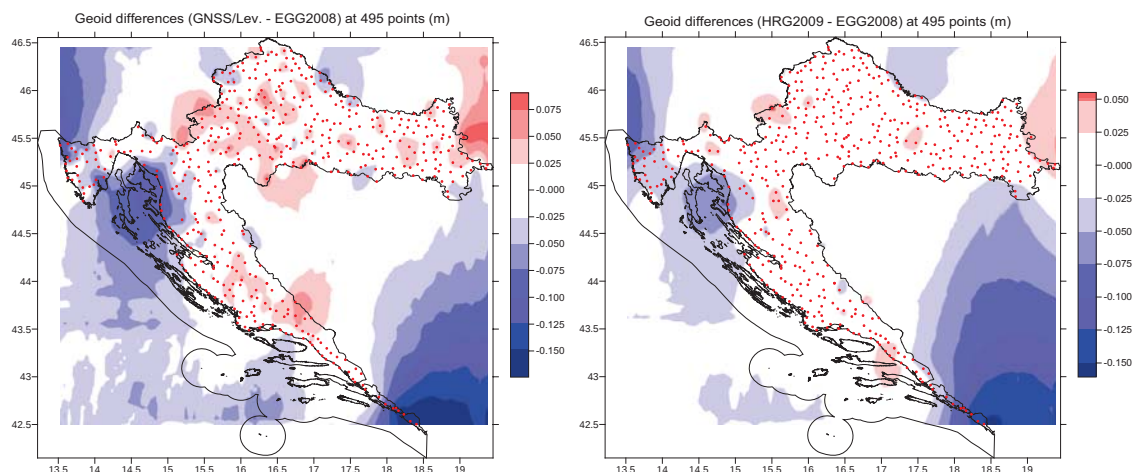
Slika 7: Usporedba HRG2009 i EGG2008 u točkama 30"x45" grida

Usporedba EGG2008 s našim GNSS/niveliranim podacima u 495 točaka pokazuje nakon micanja srednje razlike od 22.8 cm (različiti visinski sustavi) zaista vrlo dobro slaganje (tablica 5 i slika 8 lijevo). Standardno odstupanje iznosi 3.9 cm, a javlja se samo nekoliko problematičnijih područja (granica prema Crnoj Gori, granica prema Trstu te područje Riječkog i Bakarskog zaljeva), gdje nešto veće razlike od 10 cm do 15 cm ukazuju na problematiku tih područja (kvaliteta korištenih podataka te neimanje GNSS/niveliranih podataka u europskom modelu).

Međusobna usporedba HRG2009 i EGG2008 rješenja (tablica 5 i slika 8 desno) potvrđuje, uz uvažavanje usporedbe iz tablice 3, prethodno rečeno, a to je da je pouzdanost europskog kvazigeoida 3-5 cm na velikom dijelu kontinentalnog dijela Hrvatske te da se i ovdje pokazuju ista već spomenuta problematična područja.

Tablica 5: Statistika razlika između 495 GNSS/niveliranih točaka i EGG2008 odnosno između HRG2009 i EGG2008 anomalija visina (m)

Razlike kvazigeoida	Minimum	Maksimum	Sredina	Standardno odstupanje
GNSS/niv. – EGG2008	-0.175	0.095	-0.228	0.039
HRG2009 – EGG2008	-0.155	0.064	-0.223	0.026



Slika 8: Usporedba GNSS/niveliranih točaka s EGG2008 te HRG2009 s EGG2008

5. Zaključak

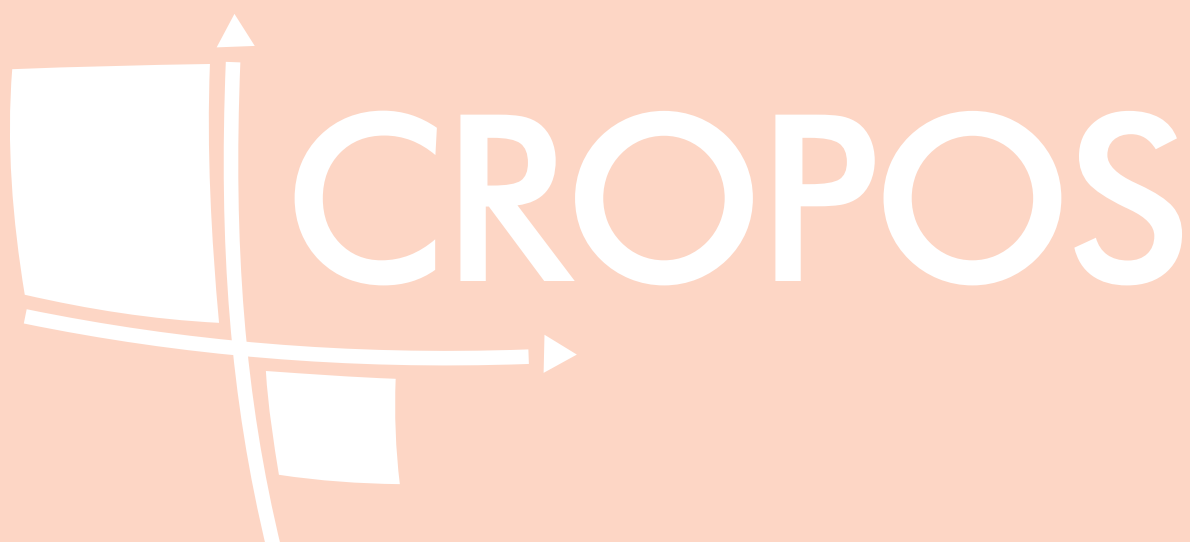
Upotreba GRACE globalnih geopotencijalnih modela kao i ažuriranih podataka za silu težu i topografiju rezultirala je s znatno poboljšanim europskim modelom (kvazi) geoida EGG2008 u odnosu na ranije rješenje EGG1997, što se ponajbolje pokazuje u njegovom puno boljem slaganju s GNSS/niveliranim podacima na kontrolnim točkama (značajno smanjenje nagiba te srednjeg kvadratnog odstupanja razlika i do 60-70%). Rezultati ukazuju na kontinentalnu točnost od oko 3–5 cm za područja s raspoloživim kvalitetnim ulaznim podacima visoke rezolucije, dok u područjima visokih planina mogu postojati problemi s modeliranjem.

Regionalni (kvazi) geoid EGG2008 se doista dobro slaže s GNSS/niveliranom podacima na velikom dijelu kontinentalne Hrvatske (3–5 cm), pri čemu se ipak uočava nekoliko problematičnijih područja s većim nesuglasicama i do 10–15 cm (granično područje s Crnom Gorom, granica prema Trstu te područje gdje je vrlo strmi prijelaz između Velebita i Jadranskog mora). Imajući ove činjenice i najnovije GOCE rezultate u vidu, jasno se ukazuje potreba, kako na regionalnoj tako i na lokalnoj razini, za još boljim usaglašavanjem europskog i hrvatskog modela geoida idućih godina (nova rješenja).

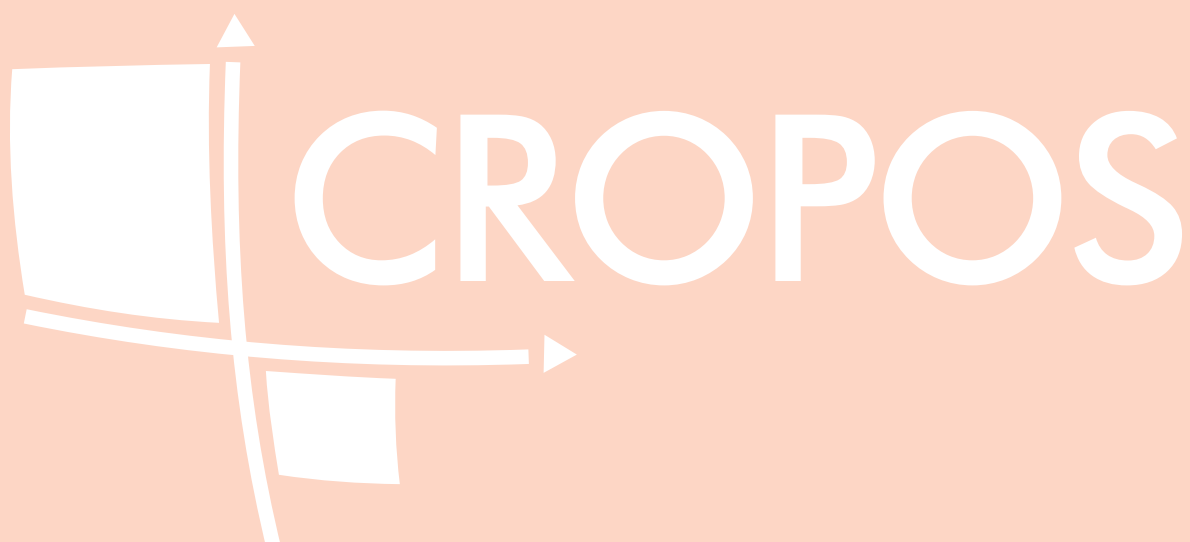
6. Literatura

- Bašić, T. (2001): Detaljni model geoida Republike Hrvatske HRG2000. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske: Izvješća o znanstveno-stručnim projektima iz 2000. godine, urednik I. Landek, 11-22, Zagreb.
- Bašić, T. (2009): Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske: Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006.–2008. godina, ISSN 1845-3953, urednik M. Bosiljevac, 5-21, Zagreb.
- Denker, H. (1999): The European Gravity and Geoid Projekt. Lecture held at NGS/NOAA (National Geodetic Survey / National Oceanic and Atmospheric Administration), USA, August 2009.
- Denker, H., W. Torge (1998): The European gravimetric quasigeoid EGG97 – An IAG supported continental enterprise. IAG Symposia 119: 249-254, Springer Verlag.

- Denker, H., R. Barzaghi, D. Fairhead, R. Forsberg, J. Ihde, A. Kenyeres, U. Marti, M. Sarrailh, I.N. Tziavos (2008): A New European Gravimetric Quasigeoid EGG2008 (poster). GGEO2008 - An IAG International Symposium on "Gravity, Geoid and Earth Observation 2008", 23-27 June 2008, Chania, Crete, Greece.
- Denker, H., J.-P. Barriot, R. Barzaghi, D. Fairhead, R. Forsberg, J. Ihde, A. Kenyeres, U. Marti, M. Sarrailh and I.N. Tziavos (2009): The Development of the European Gravimetric Geoid Model EGG07. Proceedings of the 2007 IAG General Assembly, Perugia, Italy, July 2 - 13, 2007, Series: International Association of Geodesy Symposia, Observing our Changing Earth, Vol. 133, Sideris, Michael G. (Ed.), 177-186, Springer Verlag.
- Förste, C., F. Flechtner, R. Schmidt, R. König, U. Meyer, R. Stubenvoll, M. Rothacher, F. Barthelmes, K.H. Neumayer, R. Biancale, S. Bruinsma, J.-M. Lemoine (2006): A mean global gravity field model from the combination of satellite mission and altimetry/gravimetry surface gravity data. Poster presented at EGU General Assembly 2006, Vienna, Austria, 02-07, April 2006, Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 03462, 2006.
- Pavlis, N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C., Factor J.K. (2008): An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008; presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, April 13-18, 2008, Vienna, Austria.
- Torge, W., G. Weber, H.-G. Wenzel (1982): Computation of a high resolution European gravimetric geoid. Proceed. 2nd Internat. Symp. on the Geoid in Europe and Mediterranean Area, 437-460, Rome.



PERMANENTNE GNSS MREŽE I DATUMSKE TRANSFORMACIJE



Status of the SIGNAL Positioning Service and Transformation between the Local and ETRS89 Coordinates in Slovenia

Sandi Berk¹, Katja Bajec², Klemen Kozmus Trajkovski³,
Bojan Stopar⁴

Abstract

Ongoing development of the SIGNAL Positioning Service is presented. The paper is focused on what is new since 2009, i.e. after the 1st CROPOS Conference. The main topics are international collaboration with neighbouring countries, data exchange, access, distribution, pricing of data, and usage statistics. The way of fixing coordinates of network permanent stations is also described. In the second part of the paper, local to ETRS89 datum transformation problem is discussed. Two computer programs were developed to solve this problem. The first one is used mostly in field measurements and the second one for transformation of national spatial databases.

Keywords: GNSS, positioning, SIGNAL, transformation

Sažetak

U radu je dan prikaz stalnog razvoja Službe za pozicioniranje SIGNAL, pri čemu je posebna pozornost posvećena novostima nakon 2009. godine kad je održana 1. CROPOS konferencija. Glavne teme su međunarodna suradnja sa susjednim zemljama, razmjena podataka, pristup, distribucija i cijena podataka te statistika korištenja. Objašnjen je način fiksiranja koordinata referentnih postaja u mreži. U drugom dijelu rada se raspravlja o problemu transformacije između lokalnog i ETRS89 datuma. Za rješavanje tog problema razvijena su dva računalna programa. Prvi se koristi uglavnom kod izvođenja izmjera i transformacije detalja, a drugi kod transformacije nacionalnih prostornih baza podataka.

Ključne riječi: GNSS, pozicioniranje, SIGNAL, transformacija

1. Introduction

SIGNAL – the Slovenian permanent GNSS network and positioning service were already presented at the 1st CROPOS Conference (Radovan and Medved, 2009). As the network stations' coordinates fixing hasn't been presented there, this issue will be covered here as well as all important changes regarding the network and services in the last two years.

¹ Sandi Berk, BSc. Geod., Geodetic Institute of Slovenia, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana (sandi.berk@gis.si)

² Katja Bajec, BSc. Geod., Geodetic Institute of Slovenia, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana (katja.bajec@gis.si)

³ Assist. Dr. Klemen Kozmus Trajkovski, BSc. Geod., University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana (klemen.kozmus@fgg.uni-lj.si)

⁴ Full Prof. Dr. Bojan Stopar, BSc. Geod., University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana (bojan.stopar@fgg.uni-lj.si)

In the second part of the paper, transformation between the local coordinate reference system and the Slovenian realization of ETRS89 is discussed. Two computer programs were developed in Slovenia in order to solve the problem of inhomogeneous character of the old coordinate reference system. Different approaches of transformation are applied in field surveys and for country-wide spatial databases.

2. The SIGNAL Positioning Service

The SIGNAL network of GNSS stations is one of the most important infrastructure elements of the new coordinate reference system in Slovenia (Stopar et al., 2011 in preparation). It is owned by the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia (henceforth: SMARS) and operated by the Geodetic Institute of Slovenia. The network consists of 15 stations. Five 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 1.

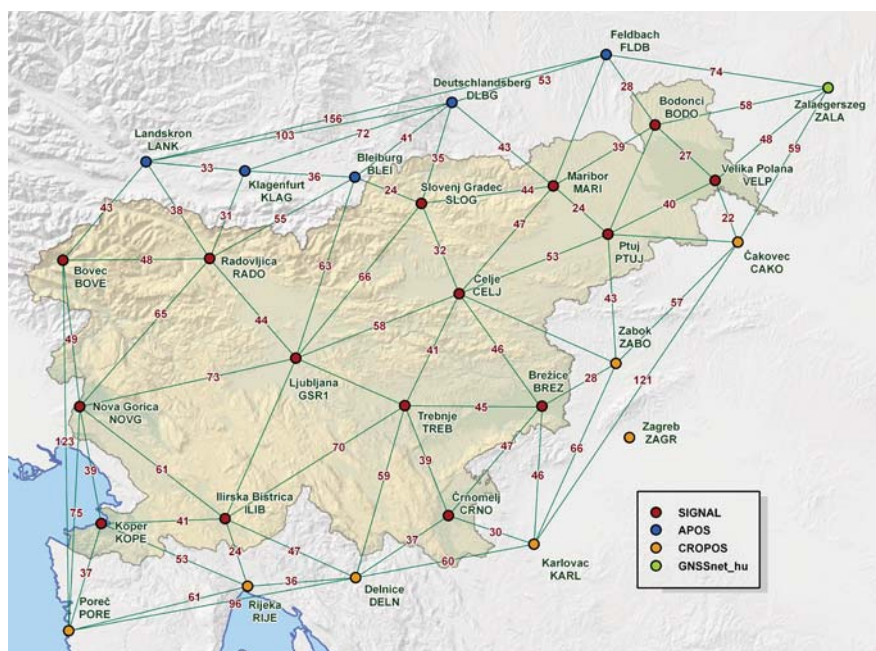


Figure 1: Currently used stations in the SIGNAL network.

Five more stations from Italy (FVG) are discussed to be included into the SIGNAL network. These stations are now being used for testing purposes. Croatian station (Zagreb) will be used if needed – as a substitution in case of trouble with some of the neighbouring stations. So, a total of 33 stations can be used in the current network configuration, see Figure 2.



Figure 2: SIGNAL network expanded with the neighbouring stations from APOS, GNSSnet.hu, CROPOS, and FVG networks.

The milestones of the cross-border GNSS data exchange are:

- 2007: five APOS stations were connected to the SIGNAL network by the agreement between SMARS and the Austrian Federal Office of Metrology and Surveying (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen – BEV);
- 2009: seven CROPOS stations were connected to the SIGNAL network by the agreement between SMARS and the Croatian State Geodetic Administration (Državna geodetska uprava – DGU);
- 2009: discussions between SMARS and the Italian Autonomous Region of Friuli - Venezia Giulia started and technical details were discussed, five FVG stations were chosen for data exchange;
- 2010: one GNSSnet.hu station was connected to the SIGNAL network by the agreement between SMARS and the Hungarian Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing (Földmérési és Távérzékelési Intézet – FÖMI).

Cooperation among neighbouring countries brings great benefits for all parties involved. For example, at this moment (April 2011) the SIGNAL station in Velika Polana is not in operation because the building where the station is monumented is being reconstructed. However, because of the Croatian and Hungarian stations in Čakovec and Zalaegerszeg nearby, the users are able to perform field surveys in this area without any problems.

2.1 Important Changes since Mid 2009

Real-time services are payable since 1st April 2010. At the moment users can choose between two providers: Mobitel (mobile network operator) and Economic Interest Association of Geodetic Service Providers (GIZ GI) in cooperation with Tušmobil (mobile network operator). RINEX data are still free of charge for registered users. Complete RINEX data archive of the SIGNAL network permanent stations for years 2002–2009 was arranged in 2009. Archiving is now compatible with the international standards (file-naming convention etc.); 30-second daily and 1-second hourly HATANAKA compressed RINEX files are available.

In 2009, all the auxiliary station equipment (UPS-devices, batteries, routers, and modems) with the warranty near to expire was replaced. This turned out to be a good decision as it resulted in a better network operation continuity.

SIGNAL Positioning Service started with the automatized daily processing of data with Bernese software. The processing routine was developed in 2010 by the Geodetic Institute of Slovenia and reviewed by the Faculty of Civil and Geodetic Engineering.

Currently, the system is running on GPSNet/RTKNet software. The transition to VRS3Net (i.e. the new version of Trimble network software) is planned for the middle of the year 2011.

2.2 The Way of Fixing Coordinates of Stations

In 2007 SMARS organized the so-called “Mini EUREF 2007 Campaign”. The aim of the campaign was to establish the connection between the SIGNAL and the national GNSS non-permanent networks. Five official EUREF sites in Slovenia, 15 SIGNAL permanent network stations, and five APOS permanent network stations were included into the computations. The observation period was 72 hours. Computations were performed at the Geodetic institute of Slovenia and (independently) at the University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering (Stopar et al., 2011 in press). For the final coordinate determination, the following procedure was used:

- computation in ITRF2005 (epoch 2007.26),
- transformation from ITRF2005 (epoch 2007.26) into ITRF96 (epoch 2007.26),
- transformation from ITRF96 (epoch 2007.26) into ITRF96 (epoch 1995.55) by using NNR-NUVEL-1A, and
- transformation of coordinates from ITRF96 (epoch 1995.55) into ETRF89 in the same way as in the combined solution of the EUREF GPS campaigns in Slovenia (Berk et al., 2004).

Coordinates from this computation are used in the SIGNAL network (for the 15 SIGNAL stations and five APOS stations) since 21st December 2007. In this way, coordinates of stations used within the SIGNAL network were harmonized with the new geodetic datum D96, which is the Slovenian realization of ETRS89.

For the other 13 cross-border stations (see Figure 2), the coordinates were determined in 2010 from the GNSS observations of one week period. The mean epoch of the observations was 2009.55. Coordinates of these new stations were determined by fitting to the closest SIGNAL stations (local adjustment), as it is normally used for network densifications (Medved et al., 2011 in preparation). Coordinates from this computation are used in the SIGNAL network (for the 13 cross-border stations) since 8th December 2010.

2.3 The Latest Usage Statistics

A big jump in using SIGNAL network products and services was in 2008. With the 1st January 2008 the Real Estate Recording Act came into force and since then all the coordinates of cadastral boundary points should be recorded in the new coordinate reference system (Stopar et al., 2011 in press). A slight fall-back of users was detected in 2010, when real-time services became payable. Number of active users by year is shown in Figure 3. For 2011 data until the end of February are used and the expected number of users for 2011 should be very similar to the number in 2010.

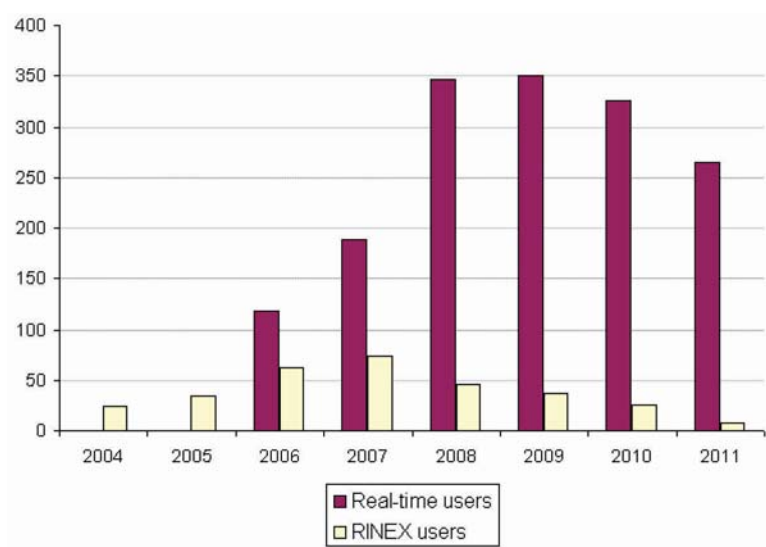


Figure 3: Number of active RINEX and real-time users by year.

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 4.

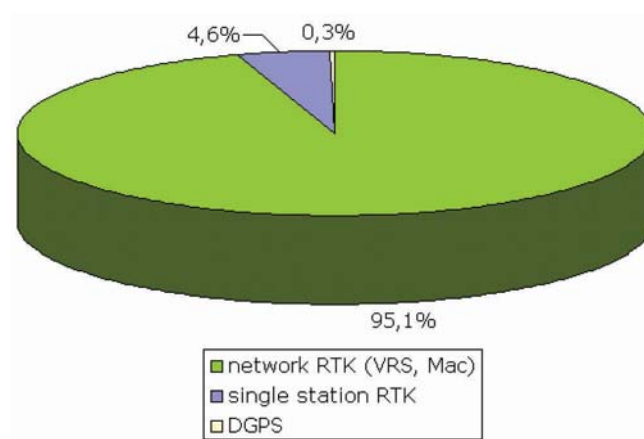


Figure 4: Usage of SIGNAL services in 2010.

3. Local to ETRS89 Datum Transformation

As already mentioned above, two coordinate reference systems are in use in Slovenia. The 'old' one is of local character and is denoted as D48/GK (geodetic datum 1948, Gauss-Krüger projection). The 'new' one is Slovenian realization of ETRS89 and is denoted as D96/TM (geodetic datum 1996, Transverse Mercator projection). The mid-range differences between the two coordinate reference systems are -370 metres in easting and $+485$ metres in northing coordinates (Mozetič et al., 2009).

The problem of datum transformation between the two coordinate reference systems arises from the inhomogeneous character of the old coordinate reference system. With the regular procedure (using 7-parameter spatial similarity transformation) for Slovenia the maximum

positional discrepancies are larger than one metre (Stopar and Kuhar, 2003). A high-quality datum transformation is needed to meet the INSPIRE Directive recommendations on using ETRS89 as a common European coordinate reference system (Triglav Čekada et al., 2010).

3.1 SiTra and SiTraNet Software Packages

SiTra (user-installed application) and SiTraNet (web application) are two transformation software packages developed at the University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering (Kozmus Trajkovski and Stopar, 2007). They are designed to be used in surveyor's everyday practice. The more powerful user-installed application is available free of charge for licensed surveyors in Slovenia, see Figure 5.

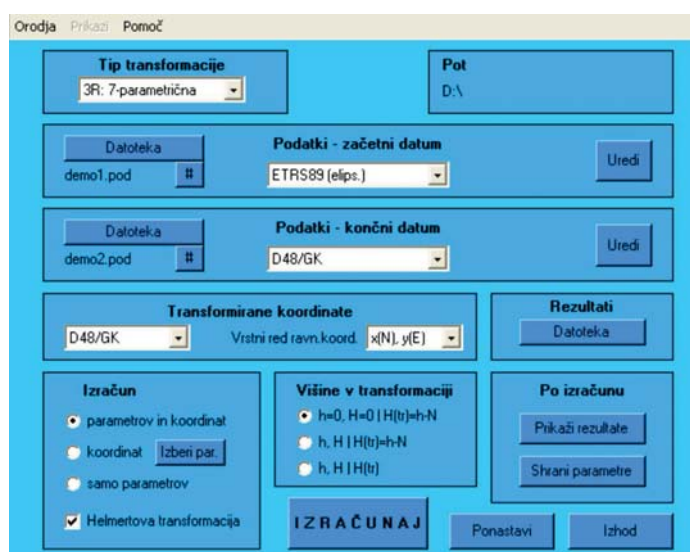


Figure 5. SiTra software interface.

The web application is free of charge for everyone and is accessible at the IP address: 193.2.92.129, see Figure 6.



Figure 6: SiTraNet software interface.

The software packages support commonly accepted transformation procedures in 3D and 2D spaces. The most frequently used are 3D 7-parameter similarity transformation (Bursa-Wolf model), 2D 4-parameter similarity and 6-parameter affine transformations. Heights of points which are involved in the estimation of transformation parameters may be heights above sea level, ellipsoidal heights, or heights equal to zero. Gross error detection (data snooping, tau test) and transformation quality assesment are built into the software. The residuals of coordinates can be modelled with different interpolation procedures (Stopar et al., 2011 in press).

With SiTra, transformation parameters can be determined from a set of points given in two different coordinate reference systems. Using these parameters or some pre-determined parameters (e.g. from the list published by the SMARS), another set of points can be transformed. Various types of coordinates can be applied, e.g. planar coordinates (easting and northing), or ellipsoidal coordinates (latitude, longitude).

As of March 2011 there are 225 registered individual users of SiTra, coming from 138 surveying companies. With SiTraNet, 10,894 online transformations were detected between February 2008 and March 2011.

3.2 Triangle-Based Transformation

Another transformation software was developed at the Geodetic Institute of Slovenia in order to be able to transform country-wide spatial databases, e.g. land cadastre, cadastre of buildings, cadastre of public infrastructure facilities. These databases are continuous over the whole country territory and require transformation accuracy of better than one metre (Berk and Duhovnik, 2007). So, the software was designed to deal with the inhomogeneous character of the 'old' coordinate reference system which can be observed in Figure 7, showing lines of equal coordinate shifts.

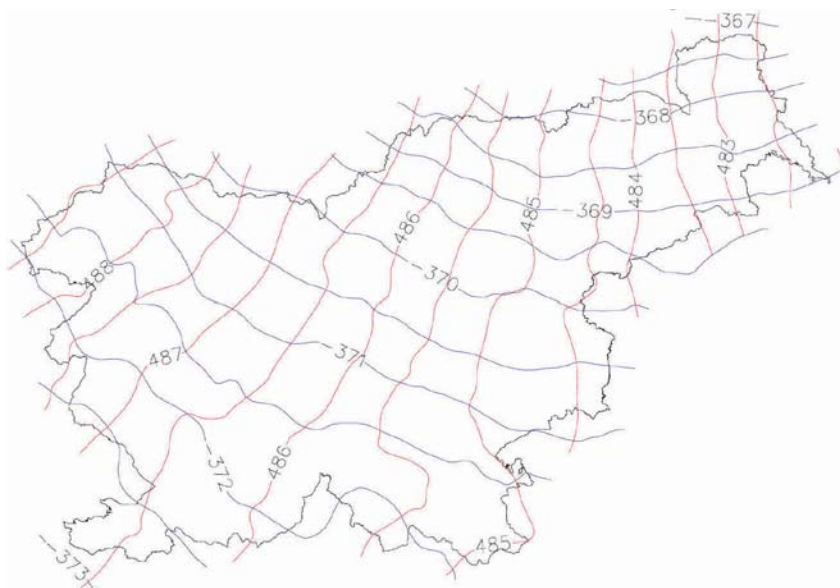


Figure 7: Lines of equal coordinate shifts (isoshifts) for transformation from D48/GK into D96/TM; blue are shifts in easting and red in northing.

Triangle-based piecewise affine transformation in the plane (henceforth: triangle-based transformation) was chosen. It is a rubber sheeting technique using Delaunay triangulation. The latest version of transformation, Version 3.0, is dated in 2009 (Berk and Komadina, 2010).

Virtual tie points were used instead of any selection of observed control points. In order to enable extrapolation of transformation, a regular triangular network of virtual tie point was expanded, thereby reducing its density. The final network consists of 899 virtual tie points, see Figure 8.

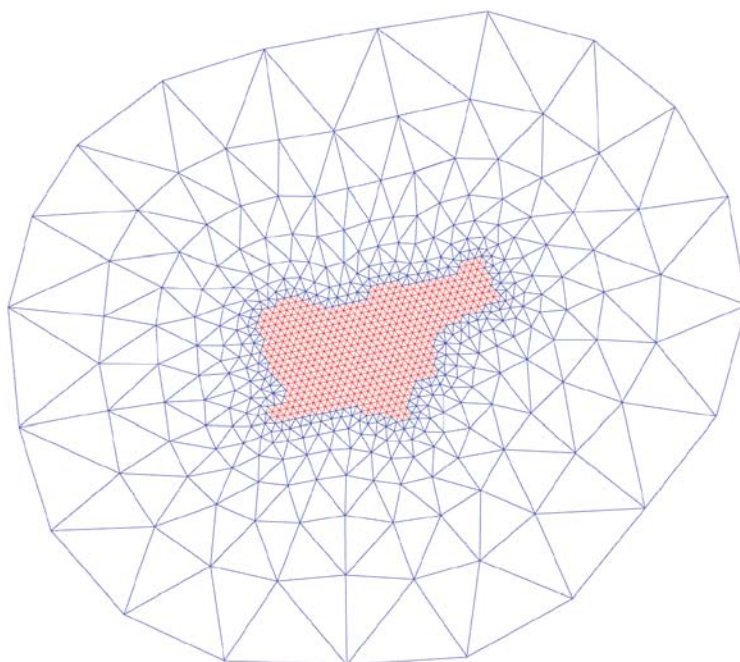


Figure 8: A regular triangular network of virtual tie points (in red) expanded by reducing its density (in blue).

The triangle-based transformation for Slovenia is a direct grid-to-grid transformation. The final transformation data set is a list of quadruplets of coordinates (pairs for both systems) for a total of 899 virtual tie points. Coordinates of each individual virtual tie point in the target system were determined using best-fit transformation in its immediate neighbourhood. A total of about 2,000 control points coordinated in both systems (local and ETRS89) were available for these fitting calculations. For most of the territory of the country, subdecimeter accuracy was achieved. The positional (2D) accuracy at the 1σ level is 4.2 cm. Distortions are minimized; e.g. areal distortions are low enough to consider the transformation as area-preserving for the average urban building plot size. The transformation is continuous and reversible.

The process of transformation of the SMARS spatial databases into the 'new' national coordinate reference system has started in 2007. Using the triangle-based transformation, digital orthophoto was transformed (~14,000 tif files). New geolocation for each orthophoto (covering area of 2.25 km × 3 km) is realized with shifts only. Optimal shifts were determined for each individual orthophoto area and resulted in new world (tfw) files. From 2008, maps of scales 1:25,000 and 1:50,000 (raster and vector data) are available in both national coordinate reference systems. DEM of resolutions 12.5 metres, 25 metres, and 100 metres were transformed into D96/TM in xyz format (point-by-point).

4. Conclusions

To be able to benefit from GNSS technologies and the common European Spatial Reference System, SIGNAL network of GNSS stations was built up in Slovenia. It enables high-quality real-time positioning directly in D96/TM, because coordinates of SIGNAL network stations were harmonized with the national GNSS non-permanent network.

Datum transformations became an important issue in the transition period. In principle, the best datum transformation is the one based on points in the immediate neighbourhood of the area being transformed. This principle has to be followed in Slovenia in surveyor's everyday practice. To deal with spatial databases, the triangle-based transformation model was chosen. Advantages of this model are high accuracy, minimization of distortions, continuity, and reversibility of transformation.

5. References

- Berk, S., and Duhovnik, M. (2007): Transformation of data of the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia into the new national coordinate system (in Slovenian). *Geodetski vestnik*, vol. 51, no. 4, pp. 803–826.
- Berk, S., and Komadina, Ž. (2010). Triangle-based transformation between the old and new national coordinate systems of Slovenia (in Slovenian). *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010*. Ljubljana, Slovenia, 28 September 2010. *GIS v Sloveniji*, no. 10, pp. 291–299. Založba ZRC, Ljubljana, Slovenia.
- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanović, M., Radovan, D., and Stopar, B. (2004).
- The Recomputation of the EUREF GPS Campaigns in Slovenia. Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe – EUREF. Toledo, Spain, 4–7 June 2003. Reports of the EUREF Technical Working Group – TWG, no. 13; *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, vol. 33, pp. 132–149. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt on the Main, Germany.
- Kozmus Trajkovski, K., and Stopar, B. (2007). SiTra & SiTraNet. Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Ljubljana. <http://sitra.sitranet.si/> & <http://193.2.92.129/>, 15. 03. 2011.
- Medved, K., Bajec, K., Berk, S., Koler, B., Kuhar, M., Radovan, D., Sterle, O., and Stopar, B. (2011 in preparation). National report of Slovenia to the EUREF 2010 Symposium in Gävle. Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe – EUREF. Gävle, Sweden, 2–5 June 2010. Reports of the EUREF Technical Working Group – TWG, no. 20; *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, 6 p. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt on the Main, Germany.
- Mozetič, B., Berk, S., Radovan, D., Kuhar, M., and Stopar, B. (2009). National report of Slovenia. Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe – EUREF. London, United Kingdom, 6–9 June 2007. Reports of the EUREF Technical Working Group – TWG, no. 17; *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, vol. 42, pp. 264–268. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt on the Main, Germany.
- Radovan, D., and Medved, K. (2009). SIGNAL – Slovenian permanent GNSS stations network. 1. CROPOS konferencija. Zagreb, Croatia, 8–9 June 2009. *Zbornik radova*, pp. 29–40. Hrvatsko geodetsko društvo & Državna geodetska uprava, Zagreb, Croatia.
- Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M., Berk, S., and Radovan, D. (2011 in press). National report of Slovenia. Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe – EUREF. Brussels, Belgium, 18–21 June 2008. Reports of the EUREF Technical Working Group – TWG, no. 18; *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, 8 p. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt on the Main, Germany.

- Stopar, B., Koler, B., Kuhar, M., Mozetič, B. Medved, K., Berk, S., and Radovan, D. (2011 in preparation). National report of Slovenia. Report on the Symposium of the IAG Subcommittee for Europe – EUREF. Florence, Italy, 27–30 May 2009. Reports of the EUREF Technical Working Group – TWG, no. 19; Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, 7 p. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt on the Main, Germany.
- Stopar, B., and Kuhar, M. (2003). A study of distortions of the primary triangulation network of Slovenia. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, vol. 38, no. 1, pp. 43–52.
- Triglav Čekada, M., Berk, S., and Barborič, B. (2010). Real estate databases and the new coordinate system in relation to the INSPIRE Directive (in Slovenian). *Geodetski vestnik*, vol. 54, no. 2, pp. 209–216.
- SIGNAL Positioning Service (in Slovenian). Geodetska uprava Republike Slovenije. <http://www.gu-signal.si/>, 15. 03. 2011.

Implementacija projekta BIHPOS - mreže permanentnih GNSS stanica u BiH (SRPOS / FBiHPOS)

Darko MIŠKOVIĆ¹, Nedžad PAŠALIĆ²

1. Uvod

Projekat „BiHPOS“ je zajednički projekat institucija u Bosni i Hercegovini, podržan od strane Evropske komisije, čiji je cilj implementacija dvije mreže GPS/GNSS permanentnih stanica u Republici Srpskoj (SRPOS) i Federaciji BiH (FBiHPOS) koje će sinhronizovanim radom pokriti kompletno područje BiH servisima satelitskog pozicioniranja.

2. Učesnici u Projektu „BiHPOS“

- Evropska komisija – finansijer Projekta,
- Ministarstvo civilnih poslova BiH – koordinator Projekta,
- Republička uprava za geodetske i imovinsko – pravne poslove Republike Srpske – korisnik Projekta,
- Federalna Uprava za geodetske i imovinsko – pravne poslove Federacije BiH – korisnik Projekta.

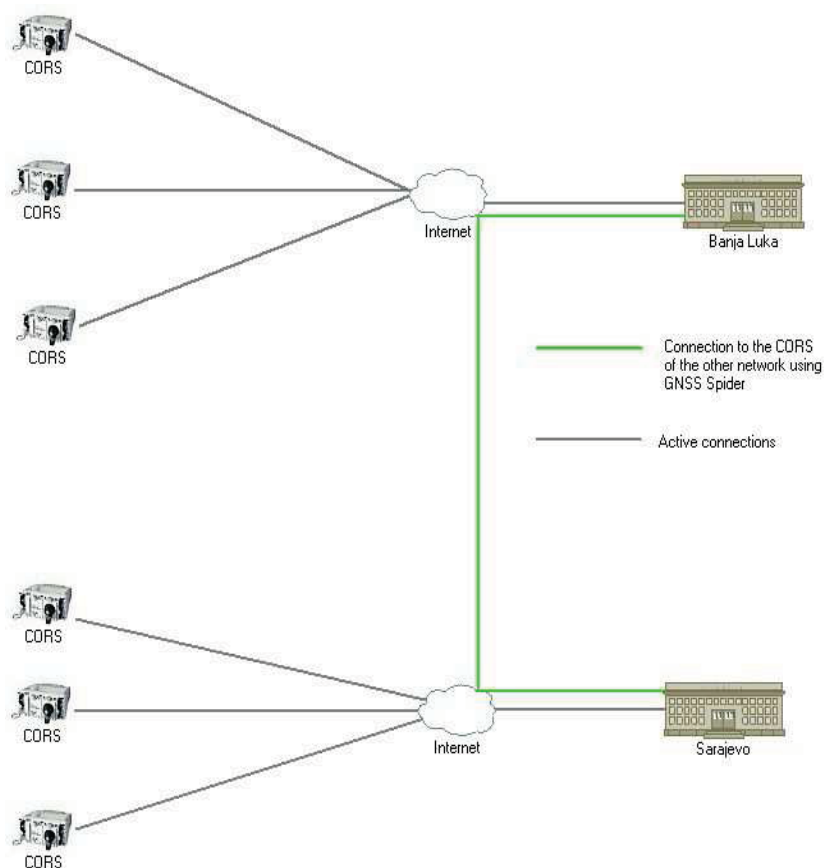
3. Arhitektura sistema

- Projektom će biti uspostavljene 2 mreže sa po 17 GNSS stanica za područja:
 - Republike Srpske - SRPOS (u nadležnosti Republičke uprave za geodetske i imovinsko-pravne poslove),
 - Federacije BiH - FBiHPOS (u nadležnosti Federalne uprave za geodetske i imovinsko-pravne Federacije BiH)
- Kontrolni centri:
 - Banja Luka - SRPOS
 - Sarajevo – FBiHPOS

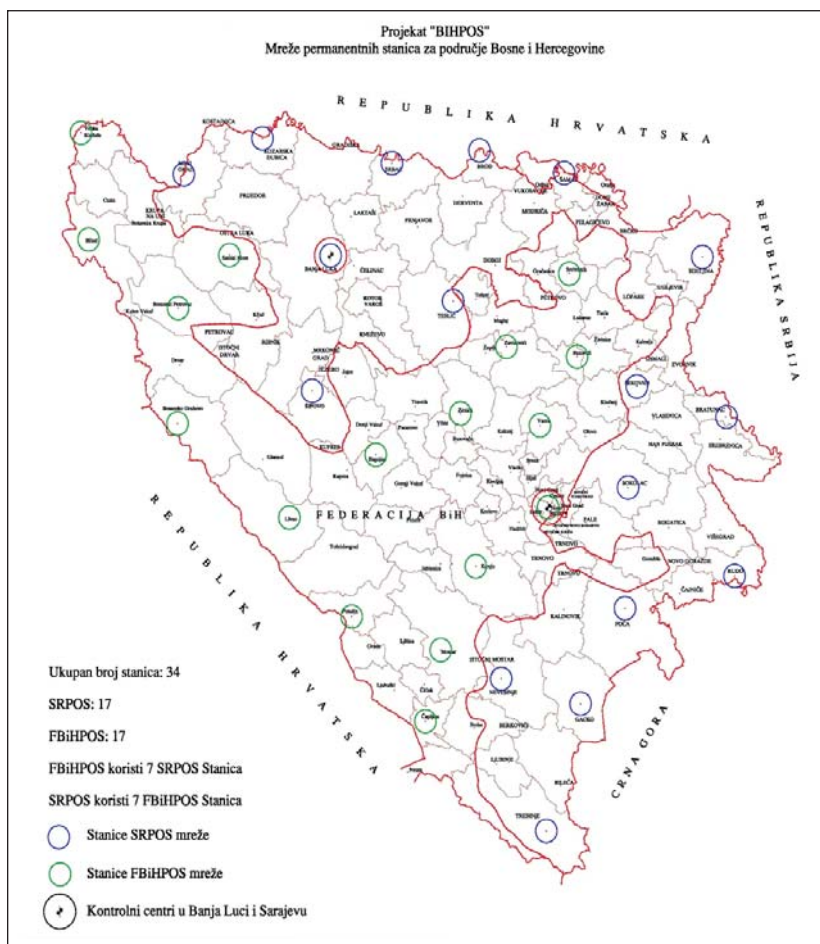
¹ Darko Mišković, Republička uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina

² Nedžad Pašalić, Federalna uprava za geodetske i imovinsko-pravne poslove, Sarajevo, Federacija Bosne i Hercegovine, Bosna i Hercegovina

- Raspored stanica duž međuentitetske linije razgraničenja je optimizovan u cilju izbjegavanja međusobno bliskih stanica dvije mreže, kao i uzajamnog korištenja podataka sa potrebnog broja stanica (razmjena podataka)
- Distrikt Brčko BiH će biti „privilegovani korisnik“ obe mreže – biće obezbijedeno 5 besplatnih korisničkih licenci za potrebe katastra Brčko Distrikta BiH



Slika 1. Arhitektura sistema



Slika 2. Dizajn sistema

4. Osnovne karakteristike sistema

Hardversko i softversko rješenje –



Korisnički servisi koji će biti implementirani:

- DSP (DGNSS) – diferencijalni servis pozicioniranja u realnom vremenu - točnost 1-3 m
- VPSP (PDGNSS) – visoko precizni servis pozicioniranja u realnom vremenu - točnost 1-2 cm
- GPSP – geodetski precizni servis pozicioniranja u bliskom realnom vremenu i postprocessing - točnost 1 cm
- Automatic Coordinates Computation Service

Karakteristike prijemnika - **Leica GRX 1200 + GNSS:**

- 120 channels
- L1/L2/L5 GPS
- L1/L2 GLONASS
- E1/E5a/ E5b/ Alt-BOC - Galileo
- Compass
- 4 SBA



Karakteristike antena - **Leica AR25:**

- Design Dorne-Margolin antenna element
- with 3D choke ring ground plane
- Signals tracked GPS: L1, L2, L2c, L5
- GLONASS: L1, L2, L3
- Galileo: E2-L1-E1, E5a, E5b, E6, AltBOC
- Compass: B1, B2, B3, L5
- L-Band (incl. SBAS, OmniSTAR and CDGPS)



Karakteristike softvera u kontrolnim centrima - **Leica GNSS Spider:**

- Leica GNSS Spider – SpiderNET (računanja u mreži)
- Leica GNSS QC Software (kontrola kvaliteta i analiza GNSS permanentnih stanica)
- Spider Business Center (menadžment, praćenje i administracija korisnika)
- Leica SpiderWeb (prezentacija i distribucija podataka)

Očekivani početak rada sistema: 01.07.2011.

T7D korisnička aplikacija

Margareta PREMUŽIĆ¹, Marko ŠLJIVARIĆ²

Sažetak

Odlukom Vlade o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija od 4. kolovoza 2004. utvrđeni su novi položajni HTRS96/ETRS89 i visinski datum HVRS71, a njihova službena primjena definirana je od 1. siječnja 2010. godine. Uvođenjem CROPOS sustava stvorene su pretpostavke i za praktičnu upotrebu novih datuma, a programom uvođenja novih datuma u službenu upotrebu definirana je izrada jedinstvenog transformacijskog modela T7D između HDKS/HTRS96, novog modela geoida HRG2009 za prelazak iz elipsoidnih u ortometrijske visine, te transformacijskog modela visina Trst/HVRS71. Transformacijski modeli ugrađeni su u T7D korisničku aplikaciju i omogućuju jedinstvenu transformaciju između postojećih sustava i novih službenih sustava. T7D modelom osigurana je položajna i visinska točnost transformacije od ± 10 cm, na većem dijelu kontinenta i bolje, a na Jadranu tek nešto lošije. U radu je opisan nastanak T7D modela i osnovne funkcionalnosti korisničke aplikacije.

Ključne riječi: T7D, distorzija, GRID, HTRS96, HDKS

1. Uvod

Uvođenje novih službenih geodetskih datuma Republike Hrvatske (Narodne novine 2004a, 2004b) sa ciljem povezivanja u jedinstveni europski i svjetski terestrički referentni sustav za posljedicu ima rješavanje problema međudatumskih transformacija, kao i izradu učinkovitog i jedinstvenog rješenja za transformaciju koordinata za sve korisnike prostornih podataka. Postojeći, donedavno službeni programi za transformaciju koordinata DATABMO i IHRG2000 omogućavaju korištenje nekoliko setova transformacijskih parametara za prijelaz iz HTRS96/ETRS89 datuma (odnosno ITRFxx realizacije datuma) baziranog na GRS80 elipsoidu u HDKS datum definiran na Besselovom elipsoidu. Točnost transformacije bila je zavisna od korištenih parametara koji nisu uniformni za područje cijele Hrvatske. Korisnici su osim toga visokoprecizna GNSS mjerenja kvarili odnosno uklapali u stari HDKS/GK sustav, dok obrnuti smjer transformacije iz HDKS/GK u novi referentni sustav HTRS96/TM nije bio podržan.

Stoga je 2006. godine u okviru projekta „Izrada jedinstvenog transformacijskog modela – HTRS96/HDKS“, koji je Zavod za geomatiku Geodetskog fakulteta realizirao za Državnu geodetsku upravu, razvijeno jedinstveno rješenje povećane točnosti - GRID transformacija (Bašić i

¹ Margareta Premužić, dipl. ing. geod., Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb, e-mail: margareta.premuzic@dgu.hr

² dr. sc. Marko Šljivarić, dipl. ing. geod., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: marko.sljivaric@geof.hr

dr. 2006a, 2006b). Zbog činjenice da se razvijeni HTRS96/HDKS transformacijski model temelji na relativno malo, preko teritorija RH neravnomjerno raspoređenih identičnih, točaka koje su često i loše kvalitete, te da je HRG2000 model geoida određen na temelju ograničenog broja mjerenih podataka i vezan je za stari visinski sustav Trst, krajem listopada 2008. godine Državna geodetska uprava i Geodetski fakultet ugovorili su novi razvojno-istraživački projekt „Novi model geoida Republike Hrvatske i poboljšanje T7D modela transformacije“ (Bašić 2009) .

Kao konačni proizvod izrađena je T7D korisnička aplikacija u svrhu jednostavne i pouzdane transformacije svih geodetsko-katastarskih i ostalih prostornih podataka, te lakše implementacije novih službenih geodetskih datuma RH od strane korisnika. Odlukom ravnatelja Državne geodetske uprave od 31.3. 2011. T7D model i korisnička aplikacija postaju službeni za transformaciju podataka državne izmjere, kartografskih i katastarskih podloga između postojećeg, još uvijek u upotrebi, starog HDKS i novog, službenog HTRS96 referentnog sustava.

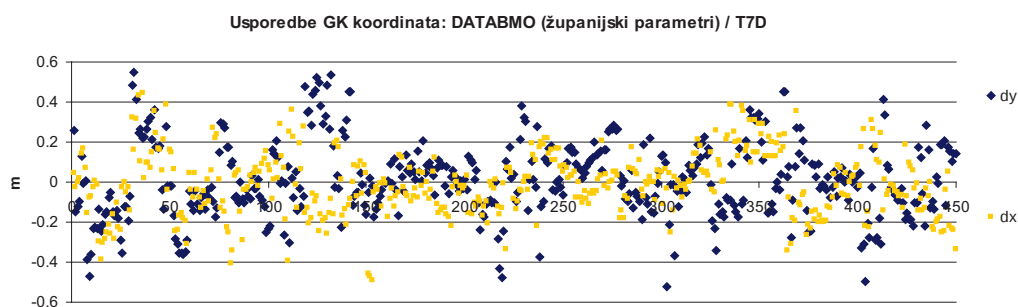
2. Transformacijski programi DATABMO/IHRG2000

DATABMO i IHRG2000 transformacijski programi koriste se od 2002. god. kao službeni programi za transformaciju koordinata, nakon što je primjenom GNSS tehnologije izopažan određeni broj trigonometara koji je poslužio za računanje nacionalnih i županijskih parametara za Republiku Hrvatsku. DATABMO program sadrži nekoliko setova transformacijskih parametara, a omogućava i račun vlastitih transformacijskih parametara po Burša-Wolf modelu (Helmertova 7 parametarska transformacija), dok se interpolacija geoidne undulacije dobiva iz HRG2000 modela geoida vezanog za visinski sustav Trst, a koji je implementiran unutar IHRG2000 programa. Oba programa razvijena su na Geodetskom fakultetu (Bašić i dr. 2002).

Setovi transformacijskih parametara koji su na raspolaganju u DATABMO programu:

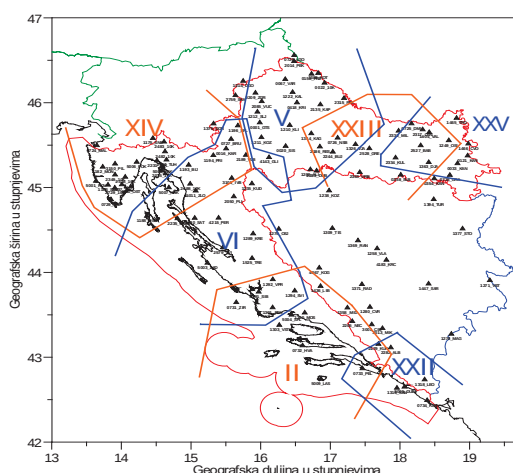
- Jedinstveni parametri za cijelu Hrvatsku sa i bez geoida
- Parametri za 7 blokova austro-ugarske triangulacije na području RH
- Županijski parametri
- Parametri homogenih polja gradova

U geodetskoj praksi najčešće su korištena posljednja dva seta parametara. U svrhu usporedbe sa novo razvijenim modelom T7D uspoređeni su županijski parametri koji su dostupni u DATABMO programu (Slika 1). Koordinate trigonometara mjerenih CROPOS-om na području različitih županija transformirane su s DATABMO programom po županijama i s novim T7D modelom. Iz prikaza je vidljivo da su maksimalna odstupanja do ≈ 0.5 m što ne odstupa od deklarirane točnosti županijskih parametara naspram T7D modelu koji omogućava najtočniju i jedinstvenu transformaciju na području RH.



Slika 1. Usporedba GK koordinata iz DATABMO (županijski parametri) i T7D modela

Nedostatak DATABMO rješenja je između ostalog i to što ne podržava transformaciju iz starog HDKS/GK projekcijskog sustava u novi službeni sustav HTRS96/TM, kao niti transformaciju između starog visinskog sustava - Trst i novog službenog HVRS71 sustava. Osim toga transformacija na području cijele države nije jedinstvena, budući da se za centimetarsku točnost trebaju lokalno mjeriti identične točke i računati vlastiti setovi transformacijskih parametara. Problem takvog pristupa transformaciji je izmjera na granicama dvije županije ili dva homogeni polja jer dva različita seta npr. županijskih parametara daju različite rezultate u HDKS-u i to reda veličine nekoliko decimetara, dok na granicama blokova austro-ugarske triangulacije ta razlika poprima i višestruko veće vrijednosti. Sve to ukazuje na problem nehomogenosti geodetske osnove u starom HDKS sustavu naspram novih referentnih sustava, što je vidljivo na prikazu (Slika 4), a što je posljedica realizacije stare trigonometrijske mreže (Slika 2).



Slika 2: Blokovi izjednačenja austro-ugarske triangulacije

Zbog heterogenosti starih datuma odnosno dodatnog širenja mreže kroz vrijeme i mogućih stvarnih fizičkih pomaka točaka, distorzija u točkama stare mreže iznosi i do nekoliko metara (Bašić 2006b). Stoga je potrebno uzeti u obzir ili eliminirati pogreške starog sustava, te koristiti prikladan transformacijski postupak koji uzima u obzir postojeće distorzije u staroj mreži. U svrhu računanja takvog modela transformacije potrebno je imati na raspolaganju dovoljan broj identičnih točaka. Spomenuta nehomogenost i trendovi u razvijenim zemljama, te Odluka Vlade o uvođenju novih geodetskih datuma doveli su do izrade prvog jedinstvenog transformacijskog modela u Hrvatskoj – modela T7D (Bašić i dr. 2006a, 2006b).

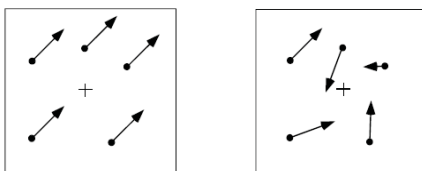
2. Modeliranje distorzije za grid transformaciju

Triangulacijska mreža oslonjena na Besselov elipsoid na području današnje Hrvatske podijeljena je u 7 zasebnih blokova izjednačenih po uvjetnim mjeranjima, te s obzirom na današnju suvremenu GNSS tehnologiju pokazuje sljedeće nedostatke (Bašić i dr. 2000):

- Visine točaka su bitno lošije određene od položajnih koordinata (metarska ili eventualno decimetarska točnost dobivena trigonometrijskim nivelmanom), što predstavlja značajan problem kod trodimenzionalne transformacije koordinata
- Stabilizacija točaka je uglavnom nepogodna za moderna GNSS mjerenja, jer se iste većinom nalaze na visokim i uglavnom teško pristupačnim vrhuncima
- Netočnost stare mreže koja ne zadovoljava današnju rutinsku točnost mjerenja koju ostvarujemo primjenom GNSS mjerenja (CROPOS) i/ili klasične tehnologije (totalne

stanice/niveliri), pa moramo kvariti visoko-točna mjerenja (nesigurnost 1-2 m na nivou države, 3 – 5 dm na nivou županija te 1-2 dm na lokalnom nivou)

Upotreba satelitskih mjernih tehnika, omogućila je ažuriranje mreže stalnih točaka, te je uspostavam homogenih polja stalnih geodetskih točaka gradova, te kroz različite katastarske izmjere i izmjere poljoprivrednog zemljišta određeni broj točaka iz trigonometrijske mreže izmjeren u jedinstvenom ITRFxx odnosno ETRS89 sustavu. Na taj način prikupljena su mjerenja za određeni broj međudatumskih točaka koja su omogućila prvo računanje jedinstvenog transformacijskog modela. Prije obrade podataka i računanja modela distorzije obavljeno je testiranje i odbacivanje nepovoljnih to

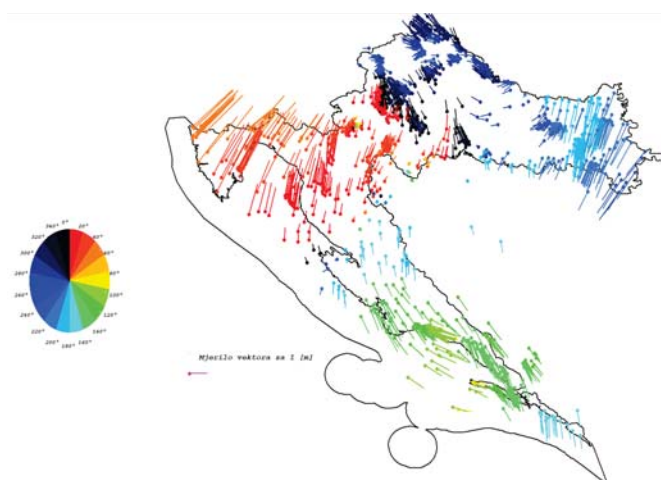


Slika 3. Ponašanje distorzije na uzorku točaka

Tablica 1: Testiranje i odbacivanje nepovoljnih međudatumskih točaka (Šljivarić, 2010)

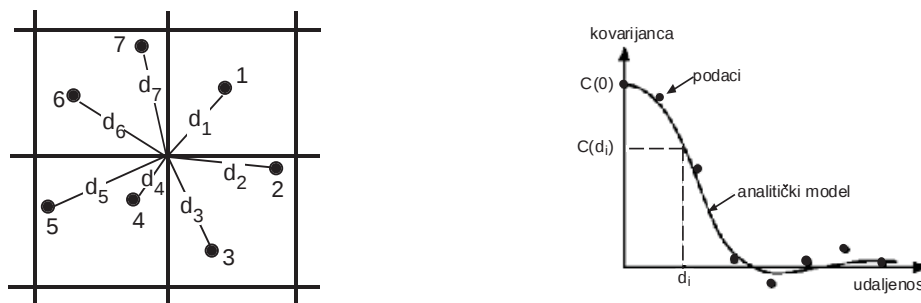
Test:	UKUPAN BROJ MEĐUDATUMSKIH TOČAKA	2473
1	Ukupno bez HDKS visine	77
2	Ukupno s lošim visinama	30
3	Ukupno istovjetnih jednakžbi	7
4	Ukupno s različitim visinskim prikratama, a istim položajem u oba sustava	28
5	Ukupno s istim položajem u ETRS-u, a različitim u HDKS-u	172
6	Ukupno s istim položajem u HDKS-u, a različitim u ETRS-u	23
7	Ukupno ekscentričnih HDKS na bliže od 333 m	214
8	Ukupno ekscentričnih ETRS na bliže od 333 m	2
Suma:	UKUPNO se odbacuje	553
Ostaje za račun transformacijskih parametara		1920

Prilikom računanja modela distorzija napravljena je i klasifikacija reziduala koja je prikazana na slici 4. Prikazana je orijentacija stare geodetske osnove prema novom referentnom datumu gdje smjerovi reziduala ukazuju na otprije poznatu koreliranost sa 7 blokova austro-ugarske triangulacije, unutar kojih je bila izjednačena tadašnja trigonometrijska mreža 1. reda (Bašić i Bačić 1999). Lokalno je za očekivati da će iznosi distorzija biti usklađeni, odnosno da će se podudarati po smjeru i veličini vektora, međutim reziduali na nekim točkama dosežu i do nekoliko desetaka pa i stotinu metara, te je u sklopu doktorske disertacije Marka Šljivarića obavljeno filtriranje rezidula metodom optimizacije filtriranja primjenom Delaunay-eve triangulacije (Šljivarić 2010). Filtriranje nepoželjnih rezidula izvedeno je iterativno, te je konačan broj točaka nakon apriori odbačenih (Tablica 1), 553 grubo pogrešnih točaka te dodatnog filtriranja preostalih 1920 točaka, za izradu prve verzije transformacijskog modela T7D iskorišteno konačnih 1780 točaka.



Slika 4. Klasifikacija smjerova reziduala na hrvatskom državnom teritoriju (Šljivarić, 2010)

Za modeliranje distorzije korištena je Metoda kolokacije po najmanjim kvadratima (LSC – Least Squares Collocation) koja je odabrana kao najpovoljnije rješenje za modeliranje. U radu (Šljivarić 2010) opisane su usporedbe različitih metoda modeliranja distorzije razvijenih za potrebe računanja najboljeg rješenja za jedinstveni transformacijski model za područje RH: kolokacija s različitim parametrima udaljenosti, metode najmanje zakrivljenosti odnosno splajnova s napetošću (MSC, TSPL25, TSPL35) i 4 deterministička modela dobivena Delauney-evom triangulacijom (TIN1, TIN2, TIN3), uključujući metodu konačnih elemenata u realnom vremenu RTFE - tzv. Real Time Finite Elements (Plazibat 1998).



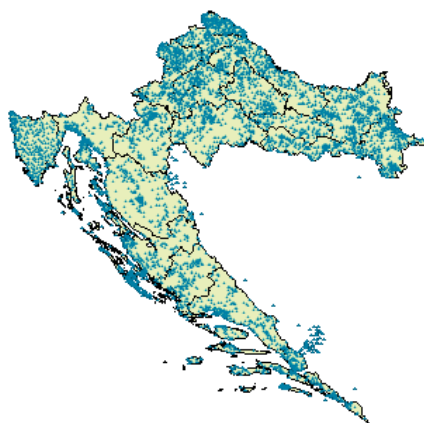
Slika 5. Princip računanja komponenti distorzije u čvorištu GRID-a i modeliranje empirijske funkcije kovarijanca u ovisnosti o udaljenosti

Definiranjem distorzijskog modela izračunate su razlike položaja na svakoj međudatumskoj točki koje mogu dobro uklopiti površinu, a koja onda može biti korištena za interpolaciju promjena za druge točke. Kolokacija po najmanjim kvadratima je metoda koja u promatranoj točki uzima u obzir utjecaj distorzije susjednih točaka ovisno o udaljenosti od promatrane točke. Za opisivanje prostornog utjecaja distorzije kao funkcije udaljenosti koristi se funkcija kovarijanca, koja se najprije računa empirijski iz podataka, a potom aproksimira prikladnim analitičkim modelom. Korištenjem kolokacije po najmanjim kvadratima i analitičke funkcije kovarijanca izračunate su distorzije po x -osi (sjever-jug), y-osi (istok-zapad), H-osi (visini) u svakoj točki grida rezolucije 60" x 90" .

4. Novi model geoida RH i poboljšanje T7D modela transformacije

Prva verzija modela transformacije T7D izrađena je na temelju relativno malog broja (<2000) neravnomjerno raspoređenih međudatumskih točaka, a kvaliteta tih točaka često se pokazala kao vrlo upitnom, naročito visinski, jer su mnogi trigonometri bili ili bez visina, ili sa lošom točnošću visina. Stoga se pristupilo izradi novog modela T7D. Uz to model geoida HRG2000 određen je na temelju ograničenog broja mjerenih podataka i odnosi se na stari visinski sustav Trst. Budući da su visine većine trigonometara nepouzdanе, u novom računanju modela one su definirane za svaku točku oduzimanjem od elipsoidnih visina vrijednosti iz novog modela geoida HRG2009 ($H = h - N_{\text{HRG2009}}$).

Budući da je funkcionalnost CROPOS sustava omogućila brzo i kvalitetno GNSS opažanje točaka, u svrhu progušćenja identičnih točaka za potrebe razvijanja poboljšanog jedinstvenog transformacijskog modela Državna geodetska uprava u suradnji sa Područnim uredima za katastar u 2009. god. obavila je izmjeru na trigonometrijskim točkama 3 i 4. reda pomoću CROPOS sustava. Na raspolaganju je bilo preko 5000 izopažanih točaka za izračun transformacijskog grida. Uz to korišteno je 500-tinjak točaka koje su mjerene u sklopu raznih projekata, a preuzete su od privatnih geodetskih tvrtki. Uočen je znatan broj grubo nepouzdatih trigonometara s odstupanjima od nekoliko metara do 1 km čije su HDKS koordinate prilično loše određene. Nakon eliminiranja grubo pogrešnih, kolinearnih i za modeliranje distorzije nepouzdatih trigonometara, izračunati su jedinstveni transformacijski parametri i model distorzija na temelju 5034 identične točke (Slika 6.).



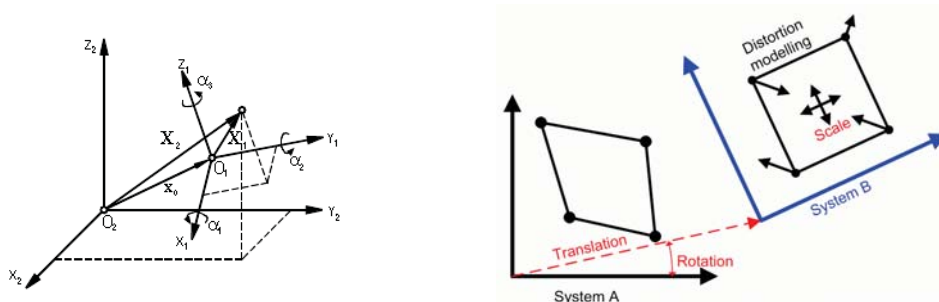
Slika 6: Međudatumske točke korištene za izradu novog poboljšanog T7D modela

U okviru projekta „Novi model geoida Republike Hrvatske i poboljšanje T7D modela transformacije“ određen je vrlo pouzdani novi model geoida Republike Hrvatske HRG2009. S obzirom na prijašnje rješenje HRG2000 za računanje je upotrebljen znatno veći broj novih podataka o sili teži (Bašić i Hećimović 2006), uz to analizirani su najmoderniji globalni geopotencijalni modeli EGM2008 (Pavasović i dr. 2008), kreira se novi i gušći digitalni model reljefa iz SRTM-a (Bašić i Buble 2007), uspostavlja se Osnovna gravimetrijska mreža (Grgić i dr. 2007), te novi gravimetrijski datum HGRS03 (Narodne novine 2004a). Tijekom 2008. i 2009. uspostavljeno je 495 GNSS/nivelmanskih točaka koje su poslužile za apsolutnu orijentaciju novog HRG2009 i za nezavisnu ocjenu kvalitete HRG2000 modela (Bašić 2009a). Primjenom metode kolokacije po najmanjim kvadratima predciranе su vrijednosti geoida u rasteru 30"x45". Dobivena je unutarnja ocjena točnosti novog modela geoida HRG2009 sa standardnim odstupanjem od ± 2.7 cm. Temeljem usporedbe na 59 kontrolnih GNSS/nivelmanskih točaka koje nisu korištene u računanjima dobivena je vanjska ocijena točnosti od ± 3.5 cm. Zbog činjenice da se

novi hrvatski geoid HRG2009 odnosi na novi visinski datum HVRS71, a postoji potreba definiranja visina i u starom sustavu Trst, dodatno je u T7D model transformacije uključen i model transformacije visina HTMV2009 sukladno rješenju iz (Rožić 2009) koji omogućava transformacije visina točaka Trst<>HVRS71.

5. T7D grid model transformacije

T7D model grid transformacije temelji se na konformnom pomaku datuma (Helmertova 7 parametarska transformacija) korištenjem jedinstvenih transformacijskih parametara i dodatnoj translaciji temeljem grid distorzijskog modela (Slika 7.). Jedinstveni transformacijski parametri izračunati su prema Burša-Wolf algoritmu čije jednadžbe se baziraju na kartezijevom geocentričnom koordinatnom sustavu.



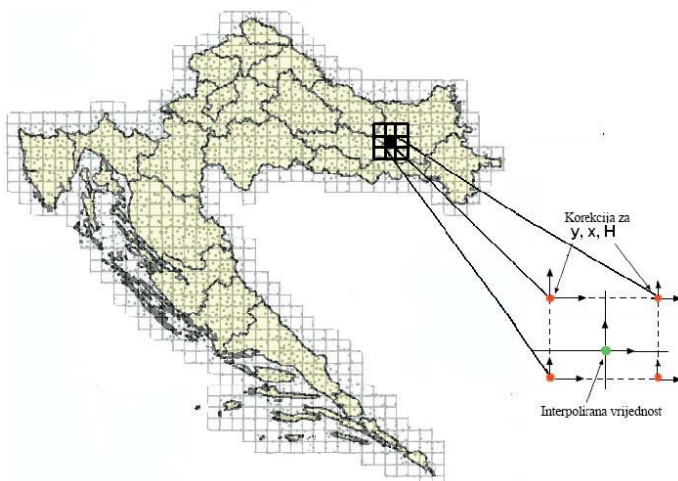
Slika 7: Helmertova 7 parametarska transformacija i model distorzije

Prikaz transformacijskog postupka između izvornog i ciljnog koordinatnog sustava u dobro poznatom matricnom obliku glasi (Hofman-Wellenhof i dr. 1994):

$$X_C = t + mRX_I$$

gdje su: X_C ... trodimenzionalni vektor koordinata u ciljnom sustavu, X_I ... trodimenzionalni vektor koordinata u izvornom sustavu, t ... vektor translacije, m ... faktor mjerila, R ... rotacijska matrica.

Nakon primjene Helmertove prostorne 7-parametarske transformacije resultantne koordinate se dodatno popravljaju distorzionim popravcima iz jedinstvenog grida kojeg čini pravokutno polje dimenzija: SJEVER = 46.6°, JUG = 42.0°, s korakom od 60", te ZAPAD = 13.0°, ISTOK = 19.5° s korakom od 90" (Slika 8.).

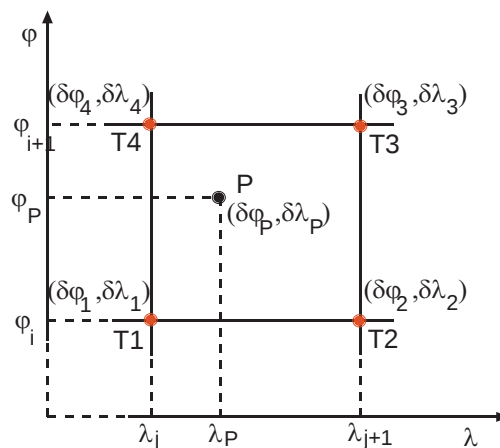


Slika 8: Grid model na području RH

Nepoznata vrijednost u promatranoj točki P se računa iz poznatih vrijednosti u 4 okolne najbliže točke GRID-a (Slika 9). Za računanje vrijednosti u točki P koristi se metoda bi-linearne interpolacije. Sljedeći izrazi prikazuju računanje vrijednosti δ u točki P:

$$\delta\varphi_P = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 XY;$$

$$\delta\lambda_P = b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 XY$$



Slika 9.: Princip grid interpolacije

pri čemu su:

$$a_0 = \delta\varphi_1; b_0 = \delta\lambda_1; a_1 = \delta\varphi_2 - \delta\varphi_1; b_1 = \delta\lambda_2 - \delta\lambda_1; a_2 = \delta\varphi_4 - \delta\varphi_1; b_2 = \delta\lambda_4 - \delta\lambda_1;$$

$$a_3 = \delta\varphi_1 + \delta\varphi_3 - \delta\varphi_2 - \delta\varphi_4; b_3 = \delta\lambda_1 + \delta\lambda_3 - \delta\lambda_2 - \delta\lambda_4$$

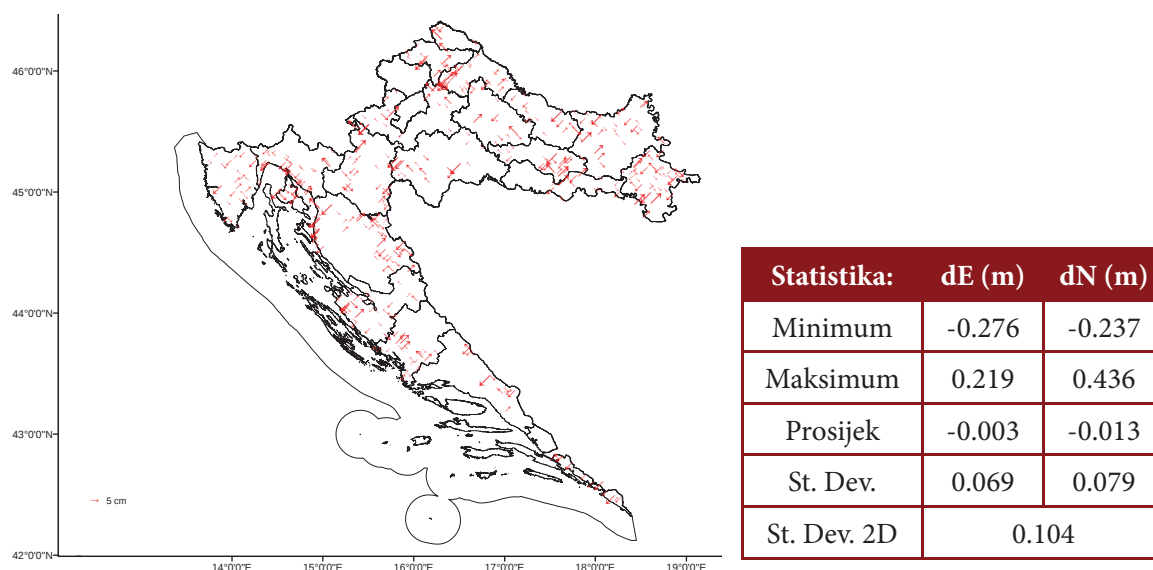
$$X = (\lambda_P - \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1), \quad Y = (\varphi_P - \varphi_1) / (\varphi_4 - \varphi_1)$$

Za računanje visinske distorzije u točki P, koeficijenti $\delta\varphi$ i $\delta\lambda$ se zamjenjuju koeficijentima δh pa se za visinsku distorziju dobiva novi set parametara c_i . Princip bilinearne interpolacije unutar grida je jednak za svih 5 komponenti unutar T7D distorzijskog modela, odnosno za undulaciju geoida, za pomak u smjeru istoka (u starom HDKS-u adekvatno osi y), za pomak u smjeru sjevera (u starom HDKS-u po osi x), za pomak visine uzduž normale dH te za transformaciju između starog i novog visinskog sustava.

6. Ocjena točnosti T7D modela transformacije

Korištenjem grid modela transformacije poznate nehomogenosti trigonometrijske mreže na temelju samo 7-parametarske transformacije značajno su smanjene te su izrazito slučajnog karaktera i imaju vrlo male iznose po veličini vektora preostalih položajnih reziduala preko cijelog područja RH. Unutarnja ocjena točnosti T7D transformacije temeljem preostalih nesuglasica u preko 5000 identičnih točaka iznosi prostorno (3D) ± 5.8 cm (Bašić 2009). Ukupno neslaganje preko cijelog teritorija po x-osi i y-osi max iznosi dva decimetra. Ipak, u praksi treba paziti da se ne koriste trigonometri koji se ne uklapaju u definirani model distorzije T7D. Kako je u slučaju visina upotrebljen novi model geoida HRG2009, te se za transformaciju koristi uz 7 parametarsku transformaciju i gridom definirana distorzija po visini, nesuglasice iznose svega nekoliko milimetara (Bašić 2009).

U 2010. je izmjereno 450 trigonometara u svrhu ispitivanja nove CROPOS usluge HTRS96/TM. Odabrani su trigonometri koji nisu ušli u računanje T7D modela, a izmjereni su u novom službenom sustavu neposredno iz mjerenja CROPOS-om. Izmjerene koordinate uspoređene su s transformiranim koordinatama pomoću T7D modela te je nakon izbacivanja grubo pogrešnih točaka (30) dobivena vanjska ocjena točnost transformacijskog modela sa 2D standardnim odstupanjem: 0.105 m (99% točaka < 30 cm; 95% točaka < 20 cm).



Slika 10.: Trigonometri korišteni za nezavisnu ocjenu točnosti T7D modela

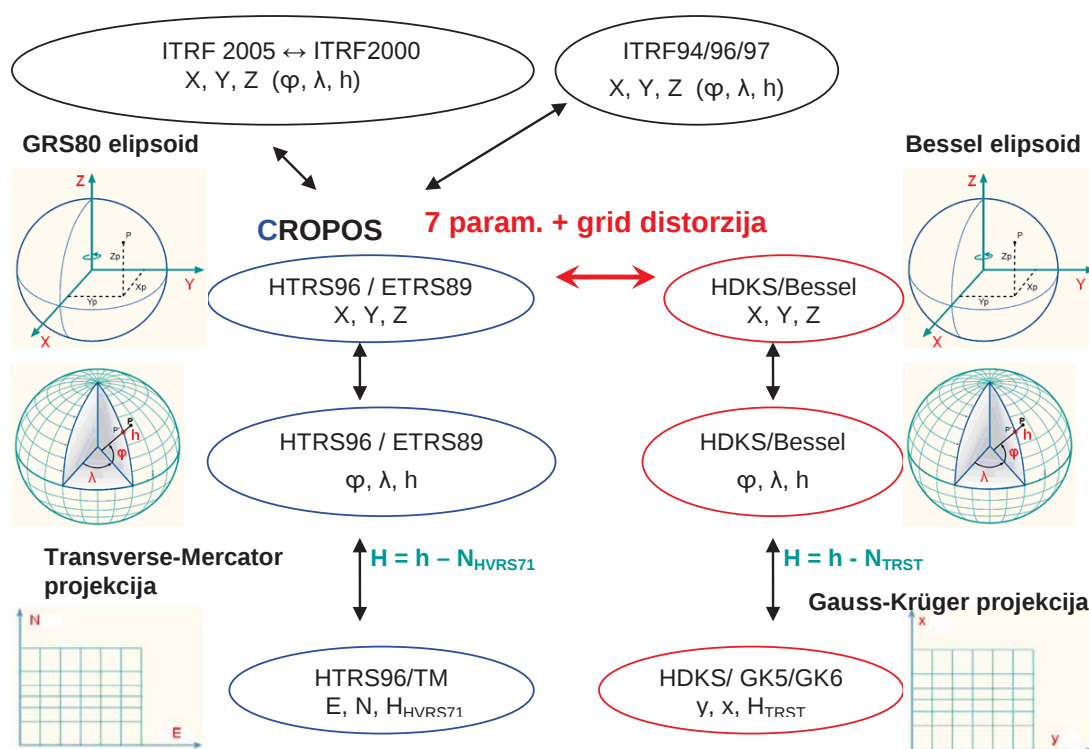
Na prethodnom prikazu (Slika 10.) je raspored 450 točaka koje su korištene za nezavisnu ocjenu točnosti, a u tablici pored su dani osnovni statistički pokazatelji. Kao što je vidljivo preostali reziduali u potpunosti su slučajnog karaktera.

7. T7D korisnička aplikacija

T7D model i korisnička aplikacija razvijeni su za potrebe transformacije iz naslijeđenog geodetskog datuma HDKS (Bessel elipsoid) u novi službeni geodetski datum HTRS96 (GRS80 elipsoid) iako T7D model omogućuje transformacije u oba smjera između različitih referentnih okvira i različitih koordinatnih oblika, te transformacije iz elipsoidnog u ortometrijski sustav visina i obrnuto. U programu je moguće obavljati 5 različitih međudatumske transformacije: ITRF2005, ITRF2000, ITRF94/96/97, HTRS96/ETRS89, HDKS/Bessel. Unutar ponuđenih datuma moguće je koristiti 5 različitih zapisa koordinata: ravninske yxH/ENH, kartezijeve XYZ i elipsoidne u seksagezimalnom DMS ili decimalnim DEG ili GON lučnim formatima. Shema funkcionalnosti aplikacije je prikazana na slici 11.

U samom programu sadržani su podaci za undulaciju geoida alocirani u novom datumu, te distorzije položaja alocirane u starom Besselovom elipsoidu (y, x u GK projekciji), kao i distorzije visina u novom (HVR571) visinskom sustavu i njihove razlike s obzirom na staru naslijeđenu mrežu II. NVT (Trst ↔ HVR571).

Novi model geoida HRG2009 implementiran u programu omogućava jednostavan prijelaz iz elipsoidnih u ortometrijske visine, dok je model transformacije HTMV2009 (Rožić 2009) korišten za transformaciju visina Trst ↔ HVR571.



Slika 11. Međudatumske transformacije i konverzije u T7D modelu

8. Osnovne funkcije i upravljanje programom

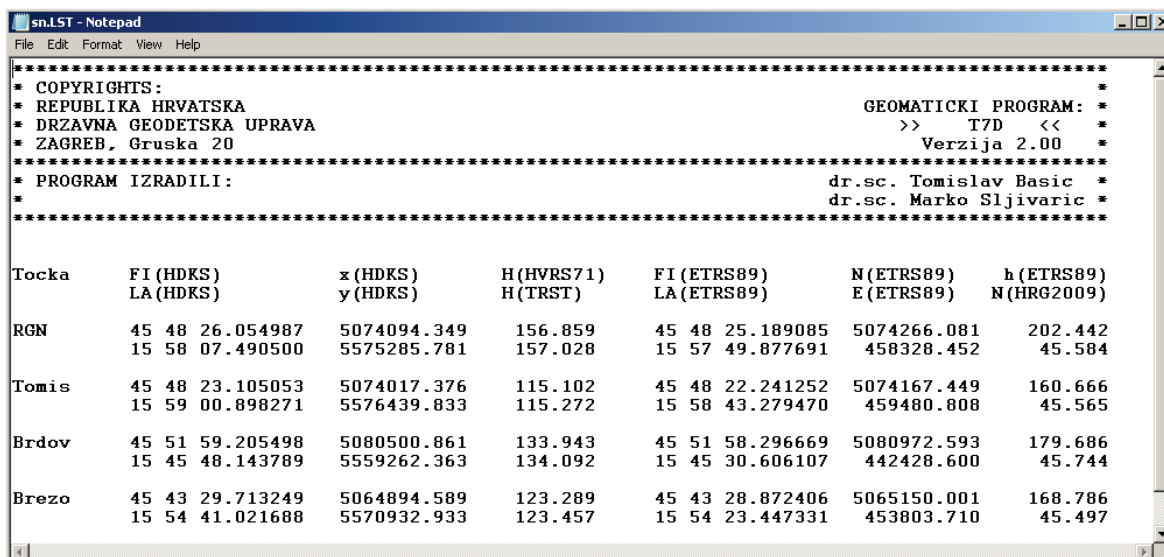
U programu su predviđena 3 ulazna formata za datoteke:

- Jednostavna lista (jednim razmakom odijeljena)
- Formatirana lista (znakom separatora odijeljena)
- ASCII zapis

Jednostavna lista je četverostupčani ASCII čitljiv spis u kojem je razdjelnik stupaca jedan SPACE ili BLANK znak. Stupci u jednostavnoj listi su sljedeći: Ime točke i 3 koordinatne komponente. Formatirana lista je četverostupčani ASCII čitljiv spis sa fiksno odjeljenim stupcima – format se definira u programu pod izbornikom 'Postavke/Znak komentara i separatora stupčane liste'. ASCII zapis općenito predstavlja formatiranu ulaznu listu, te se koristi za uvođenje datoteka drugih programa, a postavke se namještaju pod izbornikom 'Postavke/Deklaracija ASCII zapisa'.

Za izlaz iz programa predviđena su 3 formata:

- Jednostavna lista
- Formatirana lista
- Detaljna lista



```

*****
* COPYRIGHTS:
* REPUBLIKA HRVATSKA
* DRZAVNA GEODETSKA UPRAVA
* ZAGREB, Gruska 20
*****
* PROGRAM IZRADILI:
* dr.sc. Tomislav Basic
* dr.sc. Marko Sljivaric
*****

```

Tocka	FI (HDKS) LA (HDKS)	x (HDKS) y (HDKS)	H (HVR571) H (TRST)	FI (ETRS89) LA (ETRS89)	N (ETRS89) E (ETRS89)	h (ETRS89) N (HRG2009)
RGN	45 48 26.054987 15 58 07.490500	5074094.349 5575285.781	156.859 157.028	45 48 25.189085 15 57 49.877691	5074266.081 458328.452	202.442 45.584
Tomis	45 48 23.105053 15 59 00.898271	5074017.376 5576439.833	115.102 115.272	45 48 22.241252 15 58 43.279470	5074167.449 459480.808	160.666 45.565
Brdov	45 51 59.205498 15 45 48.143789	5080500.861 5559262.363	133.943 134.092	45 51 58.296669 15 45 30.606107	5080972.593 442428.600	179.686 45.744
Brezo	45 43 29.713249 15 54 41.021688	5064894.589 5570932.933	123.289 123.457	45 43 28.872406 15 54 23.447331	5065150.001 453803.710	168.786 45.497

Slika 12. Detaljna izlazna lista za smjer transformacije HDKS ↔ HTRS96(ETRS89)

Jednostavna lista koja se dobije kao izlazna datoteka iz programa može se koristiti i kao ulazna datoteka za daljnja računanja, dok formatirana izlazna lista predstavlja preglednu listu transformiranih koordinata. Detaljna lista omogućena je samo za transformacije HDKS ↔ HTRS96.

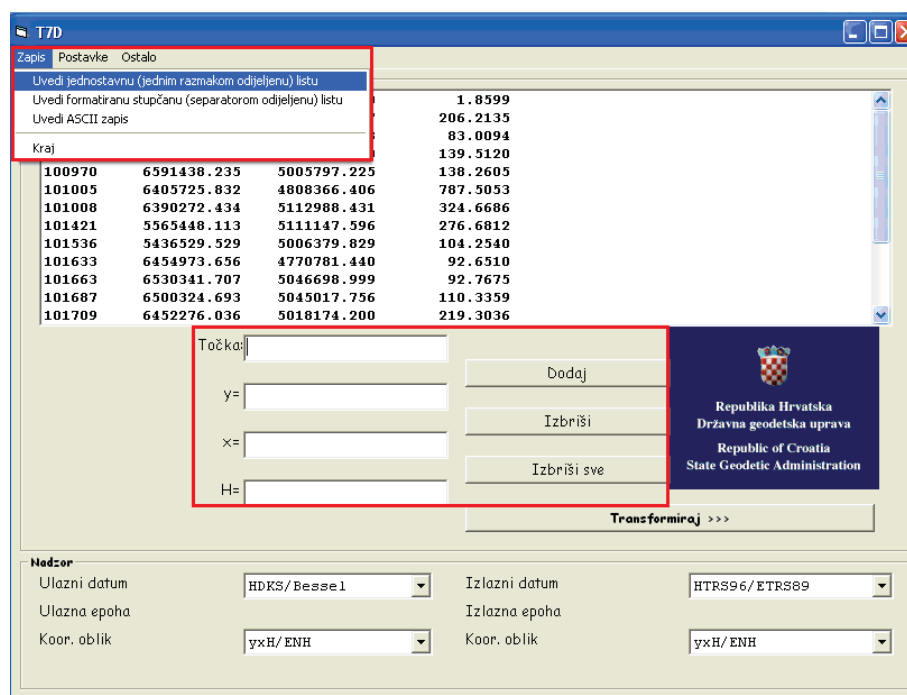
Detaljna izlazna lista (Slika 12) je ASCII čitljiv izvještaj u kojem se zajednički prikazuju elipsoidne i ravninske koordinate u oba sustava, te sve 4 visinske komponente: GRS80 elipsoidna visina, undulacija geoida, ortometrijska visina u starom visinskom datumu (TRST) i u novom HVR571 visinskom datumu.

Osnovne funkcije programa su:

- Glavni izbornik ZAPIS – podizbornik UVEDI JEDNOSTAVNU LISTU služi za uvođenje jednostavne (jednim razmakom odijeljene) liste u operativni niz aplikacije koji se prikazuje u početnom sučelju programa unutar okvira 'Točke'.
- Glavni izbornik ZAPIS – podizbornik UVEDI FORMATIRANU STUPČANU LISTU služi za uvođenje formatirane liste u operativni niz aplikacije koji se prikazuje u početnom sučelju programa.
- Glavni izbornik ZAPIS – podizbornik UVEDI ASCII ZAPIS služi za uvođenje liste drugih aplikacija (npr. Bernese, Columbus, TTC itd.)

Savjetuje se prethodno podešavanje formata zapisa preko podizbornika za formatiranu listu odnosno ASCII zapis (točka f i g). Osim unosa koordinata putem izbornika, iste se mogu unijeti putem tipkovnice (slika 13). Prije unosa koordinata za sve vrste zapisa potrebno je prethodno podešavanje ulaznog datuma i koordinatnog oblika unutar okvira 'Nadzor' ovisno o tipu koordinata koji uvodimo u program.

Program isključivo prihvaća znak ' ' (točku) kao decimalni razdjelnik (separator), a ne ';' (zarez) ili neki treći znak. Stoga zbog pravilnog izvršenja programa treba okruženje Windows operativnog sustava podesiti tako da se ' ' točka odabere kao decimalni razdjelnik u: Control Panel/Regional Settings (XP platforma) i/ili Language options/Customize/Decimal Symbol (Vista i Win7 platforma).



Slika 13. Početno sučelje programa T7D

- d) Glavni izbornik POSTAVKE – podizbornik ODABIR VISINSKOG DATUMA služi za definiciju osnovne izlazne visinske komponente pri smjeru transformacije u HDKS, kao i za definiciju osnovne ulazne visinske komponente pri smjeru transformacije iz HDKS-a u HTRS96/ETRS89.
- e) Glavni izbornik POSTAVKE – podizbornik PRIMARNA ZONA GK PROJEKCIJE služi za definiciju zone GK projekcije tj. koju zonu GK projekcije rabimo pri ulazu ravninskih koordinata u proceduru za transformaciju u novi datum, odnosno koju zonu GK projekcije odabiremo u slučaju kad je stari HDKS datum izlazni rezultat. Ukoliko se odabere postavka automatskog odabira zone GK projekcije kao izlazne vrijednosti ili kao ulazne vrijednosti mogu istovremeno biti obje zone pri čemu je kriterij konverzije iznos geodetske duljine na Besselovom elipsoidu ($\lambda > 16.5^\circ$)
- f) Glavni izbornik POSTAVKE – podizbornik ZNAK KOMENTARA i SEPARATORA STUPČANE LISTE. Za formatiranu listu predviđen je spis sa 4 stupca u kojima se nalaze podaci: Ime ili broj točke te 3 koordinatne komponente. Parametrima u ovom izborniku se određuje razdjelnik (separator) i retci komentara koji će se zanemariti pri uvođenju podataka.
- g) Glavni izbornik POSTAVKE – podizbornik DEKLARACIJA ASCII ZAPISA. Dijalog služi za definiciju širine svakog od 4 retka (prema fortranskom načelu), kao i za definiciju duljine zaglavlja/komentara na početku ulazne liste.
- h) Glavni izbornik POSTAVKE – podizbornik NEPOSREDNA PROMJENA VISINSKOG DATUMA služi za neposrednu promjenu visinskog datuma u starom koordinatnom sustavu (HDKS) – pri tom treba poznavati karakter svojih podataka (visina) da ne bi došlo do promjene visina u krivom smjeru. Pri ovoj operaciji položaj točaka ostaje nepromijenjen.

U podizborniku REGISTRACIJA izvršava se registracija programa na način da korisnik putem klasične pošte ili e-mail-a pošalje serijski broj Državnoj geodetskoj upravi, koja zatim vraća registracijski broj korisniku. Program može raditi u neregistriranom modu tjedan dana od instalacije.

9. Daljnja poboljšanja T7D modela

Osim desktop aplikacije T7D model transformacije biti će dostupan korisnicima i putem web servisa, te kao novi CROPOS servis CROPOS_VRS_HDKS odašiljanjem RTCM 3.1 korekcije, odnosno transformacijskih poruka od strane CROPOS sustava.

Budući da je razvijen T7D model namijenjen za transformaciju točaka odnosno lista točaka potrebno je dodatno razviti alate za transformaciju prostornih podataka (digitalni katastarski planovi, topografska baza podataka i dr.) gdje prije svega treba voditi računa o očuvanju topoloških odnosa između transformiranih geometrijskih objekata. Nedavno se je u privredi pojavio takav sličan i dosta hitan zahtjev, pa je Geodetski fakultet također pristupio razvoju pilot projekta i izradio rješenje u vidu aplikacije T7D4DXF pogodnog za transformaciju digitalnih katastarskih planova u DXF formatu (Šljivarić i Bašić 2011). Naime prilikom novih katastarskih izmjera preuzeti digitalni ortofoto snimci su uglavnom u novoj HTRS96/TM projekciji, pa se na taj način jednostavno, efikasno i jednoznačno rješava problem preklopa digitalnog plana i ortofota.

Grid model može se prilagoditi i za primjenu u komercijalnim rješenjima korištenjem standardnog NTV2 formata (ArcGIS, FME...). Distribucija takvog opće korištenog grida pojednostavljuje integraciju visokotočnih transformacija s korisničke strane te lakšu implementaciju novih službenih geodetskih datuma.

10. Zaključak

Model grid transformacije koristi se u većini zemalja kao nacionalna precizna transformacija između starih lokalnih referentnih sustava i novih nacionalnih realizacija ETRS89 sustava. U svrhu jedinstvene transformacije koordinata na području Republike Hrvatske razvijen je T7D model i korisnička aplikacija, koji osiguravaju točnost od ± 10 cm, na većem dijelu kontinenta i bolje, a na Jadranu tek nešto lošije.

Bitno je naglasiti da je pravi smjer transformacije onaj iz starog HDKS sustava u novi HTRS96/ETRS89, budući da su uvođenjem novih službenih datuma, te implementacijom CROPOS-a stvoreni preduvjeti za praktičnu primjenu novih datuma. T7D korisnička aplikacija omogućava jednostavnu, brzu i točnu transformaciju korisnicima prostornih podataka, a od 31.3.2011. je Odlukom ravnatelja Državne geodetske uprave postala službena aplikacija za transformaciju koordinata na području Republike Hrvatske.

11. Literatura

- Bašić, T., Šljivarić, M. (2003): Uslužni programi za korištenje podataka službenog hrvatskog geoida i transformaciju koordinata između HDKS-a i ETRS-a. Izvješća o znanstveno-stručnim projektima Državne geodetske uprave Republike Hrvatske iz 2001. godine. Urednik: Landek, I., str. 21-32, Zagreb.
- Bašić, T., Šljivarić, M., Buble, G. (2006a): Izrada jedinstvenog transformacijskog modela HTRS96/HDKS. Elaborat za Državnu geodetsku upravu Republike Hrvatske, str. 1-133, Zagreb.
- Bašić, T., Šljivarić, M., Buble, G. (2006b): Jedinstveni transformacijski model HTRS96/HDKS. Izvješća o znanstveno-stručnim projektima Državne geodetske uprave Republike Hrvatske za 2004. i 2005. godinu. Urednik: Bosiljevac, M., str. 121-135, Zagreb.
- Bašić, T. (2009a): Novi model geoida Republike Hrvatske i poboljšanje T7D modela transformacije. Elaborat za Državnu geodetsku upravu Republike Hrvatske, str. 1-68, Zagreb.

- Collier, P.A. (2002): Development of Australia's national GDA94 transformation grids - Consultant's report to the ICSM. Stručno izvješće. The University of Melbourne, Melbourne.
- Grgić, I., Barišić, B., Bašić, T., Lučić, M., Repanić, M., Liker, M. (2007): Fundamental gravity network of the Republic Croatia in the function of control and improving of national and European geoid model. Hrvatski geodetski institut, Zagreb. Predavanje na simpoziju EUREF-a od 6. do 9. lipnja 2007, London.
- Grgić, I., Lučić, M., Repanić, M., Bjelotomić, O., Liker, M., Markovinović, D., Bašić, T. (2009): Preliminary works on Creation of the New Croatian Geoid Model HRG2009. Hrvatski geodetski institut, Zagreb. <http://www.cgi.hr/radovi/Preliminary works on Creation of a New Croatian Geoid Model HRG2009.pdf>, pristup 26/12/2009.
- Hofmann-Wellenhof, B.; Kienast, G.; Lichtenegger, H. (1994): GPS in der Praxis. Knjiga. Springer-Verlag, Wien-New York.
- Narodne novine br. 110 (2004a): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republika Hrvatske. Službeni list Republike Hrvatske, br. 110, Zagreb.
- Narodne novine br. 117 (2004b): Ispravak Odluke o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske [online e-arhiv] / donositelj Vlada Republike Hrvatske. Službeni list Republike Hrvatske, br. 117, Zagreb.
- Pavasović, M., Šljivarić, M., Rezo, M., Kranjec, M., Markovinović, D., Bašić, T. (2008): Rješenja kvazigeoida iz satelitskih misija na teritoriju Republike Hrvatske. Zbornik radova I. simpozija ovlaštenih inženjera geodezije: Hrvatska geodezija - izazovi struke u 21. stoljeću. Opatija, od 24. do 26. listopada, urednik: Markovinović, D., str. 234-242. Hrvatska komora arhitekata i inženjera u graditeljstvu - Razred inženjera geodezije, Zagreb.
- Plazibat, M. (1998): Affine transformation by finite elements. Adaptable connection between old and new national reference systems. Rad na međunarodnom simpoziju IAG u Dubrovniku Geodynamics of the Alps-Adria Area by means of Terrestrial and Satellite Methods, od 28. rujna do 2. listopada.
- Rožić, N. (2009): Hrvatski transformacijski model visina. Izvješća o znanstveno stručnim projektima 2006. – 2008. godine. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske. Urednik: Bosiljevac, M., str. 23-46, Zagreb.
- Šljivarić, M. (2010): Optimizacija metodologije trodimenzionalnih međudatumske transformacije u Hrvatskoj. Doktorska disertacija. Voditelj: Tomislav Bašić. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 31. ožujka 2010. str. 1 – 167, Zagreb.
- Šljivarić, M., Bašić T. (2011): T7D4DXF. Aplikacija za obostranu transformaciju digitalnih planova u DXF formatu između stare GK i nove HTRS96/TM projekcije. Stručno-istraživački pilot projekt za geodetsku tvrtku Geoprojekt d.o.o., ožujak 2011., Zagreb.

Obratna transformacija k.o. Jalkovec u HTRS96_TM

Mihajla LIKER¹, Branka VOREL²

Sažetak

U Republici Hrvatskoj je oko 5% digitalnih prostornih podataka katastra oslonjeno na homogena polja koja su određena pomoću satelitskih metoda mjerenja. Za potrebe transformacije tih podataka u novi položajni datum (ETRS89) i projekcijski referentni koordinatni sustav (ETRS89_TM ili HTRS96_TM) ispitani su odgovarajući algoritmi obratne (invertne) Helmertove 7-parametarske metode transformacije korištenjem poznatih parametara za direktan smjer (ETRS89→HDKS).

Na području PUK-a Varaždin se nalazi katastarska općina Jalkovec čija je geodetska osnova uspostavljena kombinacijom satelitskih i terestričkih metoda mjerenja. Prije same obratne datumske transformacije DKP-a, provedena su kontrolna terenska mjerenja na geodetskoj osnovi, čime je utvrđeno da je transformacija i konverzija osnove uspješno provedena, odnosno da je položajna točnost osnove u skladu s razredom položajne preciznosti kojima točke homogenog polja i poligonske točke pripadaju. Pritom su težinske sredine mjerenih točaka tretirane kao „Treba“ vrijednosti, a konvergirane (točke homogenog polja) i transformirane (poligonske točke) kao „Ima“ vrijednosti. Poligonske točke su također obratno transformirane i pomoću T7D gotovog softverskog rješenja te su prikazani rezultati. Nakon kontrole osnove, pristupilo se obratnoj transformaciji prostornih podataka k.o. Jalkovec koja je provedena u tri koraka. U radu su, osim korištenih podataka i procedura, dani i numerički primjeri za svaki od koraka obratne Helmertove transformacije (HDKS_GK→HTRS96_TM).

Ključne riječi: Obratna (invertna) Helmertova 7-parametarska transformacija, HTRS96/TM, T7D, homogeno polje, poligonske točke, LISP, MATLAB 7.0, k.o. Jalkovec

1. Uvod

Sukladno Planu rada Hrvatskog geodetskog instituta za 2010. godinu, Odjel za katastarsku izmjeru je, u sklopu aktivnosti vezanih uz transformaciju katastarskog plana u novi projekcijski referentni koordinatni sustav – HTRS96_TM, proveo analizu u kojoj se ispituju procedure transformacije i homogenizacije na području PUK-a Varaždin, konkretno katastarskih općina: Nedeljanec, Jalkovec, Beretinec i Varaždin (*Slika 1*).

Sama analiza obrađuje problematiku vezanu uz transformaciju katastarskih planova oslonjenih na homogena polja, zatim transformaciju katastarskih planova izvorno izrađenih u Gauss – Krügerovoj projekciji meridijanskih zona, te transformaciju i homogenizaciju katastarskih

¹ Mihajla Liker, dipl.ing.geod., Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb, e-mail: Mihajla.Liker@dgu.hr, mihajla.likier@cgi.hr

² Branka Vorel, dipl.ing.geod., Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb, e-mail: branka.vorel@dgu.hr, branka.vorel@cgi.hr

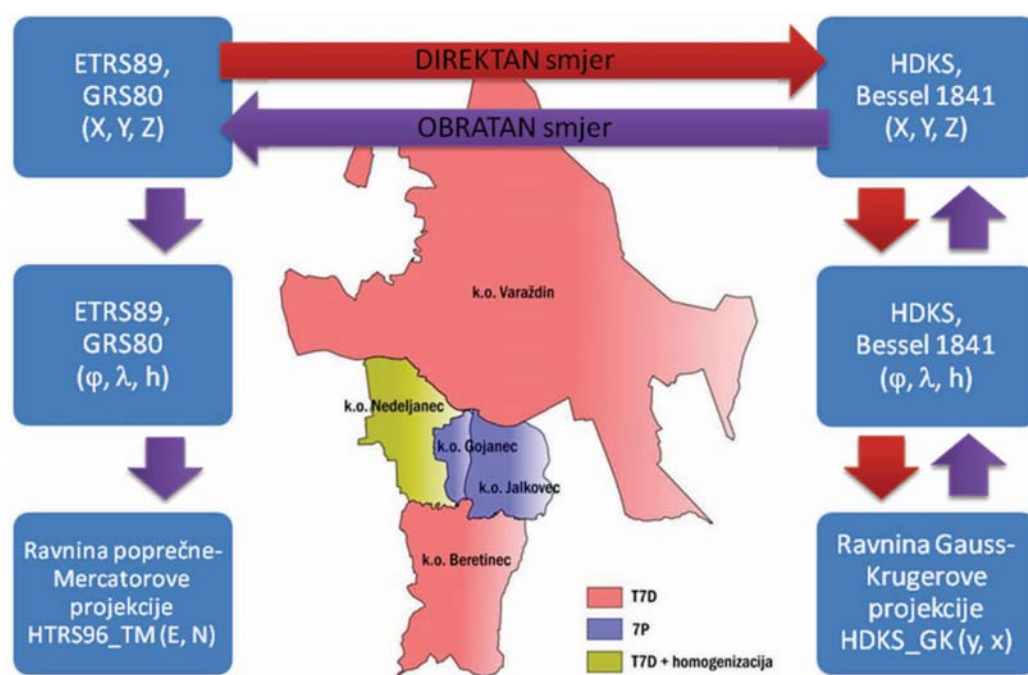
planova grafičke izmjere. Podjela postupaka datumske transformacije i homogenizacije je u skladu s *Programom uvođenja novih geodetskih datuma i kartografskih projekcija* kojeg je donijela Državna geodetska uprava (Tablica 1).

Tablica 1: Program uvođenja novih geodetskih datuma i kartografskih projekcija

Program, DGU	Metoda uspostave geodetske osnove	Alati i metode za transformaciju	≈ Postotak katastarskih planova RH
C2	GNSS metoda	Obratna Helmertova 7-parametarska transformacija	5%
C3	Numerička (vektORIZIRANA)	GRID metoda - (T7D)	25%
C4	Grafička	Transformacija + homogenizacija	70%

Katastarski planovi nastali na osnovu izmjera oslonjenih na homogena polja razvijena GNSS metodama, relativno lako se mogu transformirati natrag u novi projekcijski referentni sustav. U Hrvatskoj se za potrebe datumske transformacije do sada koristio isključivo direktan smjer Helmertove 7-parametarske transformacije, odnosno računali su se parametri za direktan smjer, te se pomoću njih provodila datumska transformacija iz ETRS89 u HDKS, odnosno HDKS_GK (Slika 1). Datumski parametri su se računali na temelju identičnih točaka starog (HDKS) i novog (ETRS89) položajnog referentnog koordinatnog sustava.

Da bi se podaci katastra transformirali u novi projekcijski referentni koordinatni sustav, potrebno je provesti obratnu datumsku transformaciju istih. Obratnu transformaciju je moguće provesti ili ponovnim računanjem transformacijskih parametara na temelju identičnih točaka oba sustava ili korištenjem postupaka koji koriste poznate parametre za direktan smjer (ETRS89→HDKS).



Slika 1: Pregledna karta transformiranog i homogeniziranog područja te direktan i obratan smjer datumske transformacije

2. Obratna Helmertova datumska transformacija

U ovoj analizi je stavljen naglasak na definiranju postupaka i procedura koji se baziraju isključivo na poznatim parametrima direktnog smjera (ETRS89→HDKS), (Liker i sur. 2010).

Postoje dvije mogućnosti korištenja istih, gdje preciznost samih postupaka ne narušava preciznost ulaznih podataka, a to su:

Invertiranje same formule Helmertove 7-parametarske transformacije za direktan smjer, gdje postoji mogućnost korištenja stroge ili aproksimirane rotacijske matrice i

Numeričko računanje parametara za invertan smjer, iz poznatih parametara direktnog smjera, te ubacivanje izračunatih parametara u direktnu formulu.

2.1 Invertiranje formule direktnog smjera

Direktna formula Helmertove 7-parametarske transformacije, za smjer transformacije koordinata ETRS89(E)→HDKS(H), za područje Republike Hrvatske glasi:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{(HDKS)} = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix}_{E \rightarrow H} + (1 + d_{E \rightarrow H}) R(\gamma, \beta, \alpha)_{E \rightarrow H} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{(ETRS89)} \quad (1)$$

- gdje je *Stroga rotacijska matrica* $(R(\gamma, \beta, \alpha)_{E \rightarrow H})$ definirana izrazom:

$$R(\gamma, \beta, \alpha)_{E \rightarrow H} = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \cos\beta\sin\gamma & -\sin\beta \\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\cos\beta \\ \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

- a *Aproksimirana rotacijska matrica* se dobije ako se u izrazu (2) pretpostavi da je $\sin\alpha \approx \alpha$ i $\cos\alpha \approx 1$ te se zanemare članovi višeg reda, slijedi da je:

$$R(\gamma, \beta, \alpha)_{E \rightarrow H} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 1 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Obratna formula Helmertove 7-parametarske transformacije se dobije invertiranjem izraza (1) te za područje Republike Hrvatske glasi:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{(ETRS89)} = R^T(\alpha, \beta, \gamma)_{E \rightarrow H} \frac{1}{(1+d)_{E \rightarrow H}} \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{(HDKS)} - \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix}_{E \rightarrow H} \right), \quad (4)$$

- gdje je *Stroga rotacijska matrica* $(R^T(\gamma, \beta, \alpha)_{E \rightarrow H})$ definirana izrazom:

$$R^T(\alpha, \beta, \gamma)_{E \rightarrow H} = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & -\cos\alpha\sin\gamma + \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\gamma + \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma \\ \cos\beta\sin\gamma & \cos\alpha\cos\gamma + \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma & -\sin\alpha\cos\gamma + \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma \\ -\sin\beta & \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

- a *Aproksimirana rotacijska matrica* slijedećim:

$$R^T(\alpha, \beta, \gamma)_{E \rightarrow H} = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 1 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Gore navedene formule su implementirane u script datoteke MATLAB 7.0 programskog paketa te su pomoću njih provedene odgovarajuće konverzije i obratna transformacija.

2.2 Numeričko računanje parametara

Glavni preduvjet za numeričko računanje parametara je poznavanje parametara direktnog smjera $ETRS89(E) \rightarrow HDKS(H)$ - $T1_{EH}, T2_{EH}, T3_{EH}, \alpha_{EH}, \beta_{EH}, \gamma_{EH}, d_{EH}$; DatABMO - ($T_x, T_y, T_z, rx, ry, rz, dm$), (DGU 2002).

1. *Računanje rotacijske matrice i parametara rotacije* – u formulu za strogu obratnu rotacijsku matricu, izraz (5), se ubace poznati parametri rotacije ($\alpha_{EH}=\alpha, \beta_{EH}=\beta, \gamma_{EH}=\gamma$) te se dobije stroga rotacijska matrica $R_{E \rightarrow H}^T$.

$$R_{E \rightarrow H}^T = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{21} & m_{31} \\ m_{12} & m_{22} & m_{32} \\ m_{13} & m_{23} & m_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & -\cos\alpha\sin\gamma + \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\gamma + \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma \\ \cos\beta\sin\gamma & \cos\alpha\cos\gamma + \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma & -\sin\alpha\cos\gamma + \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma \\ -\sin\beta & \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \quad (7)$$

Nakon što se izračuna rotacijska matrica, iz nje se dobiju parametri rotacije za direktan smjer ($\alpha_{EH}, \beta_{EH}, \gamma_{EH}$):

$$\alpha_{EH} = \arctg\left(\frac{m_{23}}{m_{33}}\right), \beta_{EH} = -\arcsin(m_{13}), \gamma_{EH} = \arctg\left(\frac{m_{12}}{m_{11}}\right) \quad (8)$$

te potom za obratni smjer ($\alpha_{HE}, \beta_{HE}, \gamma_{HE}$), gdje treba naglasiti da je $\alpha_{EH} = -\alpha_{HE}$:

$$\alpha_{HE} = -\arctg\left(\frac{m_{23}}{m_{33}}\right), \beta_{HE} = \arcsin(m_{13}), \gamma_{HE} = -\arctg\left(\frac{m_{12}}{m_{11}}\right) \quad (9)$$

2. *Računanje parametara translacije* – u izraz za računanje parametara translacije, izraz (10), se ubaci u prethodnom koraku izračunata matrica rotacije $R_{E \rightarrow H}^T$, izraz (7), te poznati parametri translacije ($T1_{EH}, T2_{EH}, T3_{EH}$) i poznati parametar promjene mjerila (d_{EH}). Nakon što se u navedeni izraz unesu poznate vrijednosti za direktan smjer, dobiju se parametri translacije za obratan, slijedi:

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix}_{HE} = -R_{EH}^T \frac{1}{1 + d_{EH}} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix}_{EH} \quad (10)$$

3. *Računanje koeficijenta promjene mjerila* – koeficijent promjene mjerila se naposljetku izračuna iz poznatog koeficijenta za direktan smjer (d_{EH}) prema izrazu:

$$d_{HE} = -\frac{d_{EH}}{(1 + d_{EH})} \quad (11)$$

Nakon što se izračunaju svi parametri za obratan smjer ($HDKS \rightarrow ETRS89$), isti se ubace u direktnu formulu Helmertove 7-parametarske transformacije, izraz (1). Pritom se mogu koristiti u korisnički razvijenim ili gotovim programskim rješenjima (npr. AutoCAD Map).

3. K.o. Jalkovec

Na području PUK-a Varaždin se nalazi katastarska općina Jalkovec čija je geodetska osnova uspostavljena kombinacijom satelitskih i terestričkih metoda mjerenja 1995. godine (DGU 1995). Elaborat uspostave geodetske osnove je preuzet od izvoditelja projekta – Zavoda za fotogrametriju d.d., a koji je nastao u sklopu stručno-istraživačkog projekta u suradnji s Geodetskim fakultetom u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Tomislava Bašića. Tijek uspostave geodetske osnove bio je sljedeći:

- Prvo je provedena GPS izmjera novo-stabiliziranih GPS i starih trigonometrijskih točaka te njihovo izjednačenje u ETRF'89 okviru (EUREF'89_1989.0, WGS84),

- Na temelju elipsoidnih, odnosno geocentričnih koordinata identičnih točaka (trigonometara) oba sustava, izračunati su Helmertovi transformacijski parametri za direktan smjer (ETRS89→HDKS),
- Pomoću transformacijskih parametara je provedena direktna datumska transformacija novih GPS točaka geodetske osnove u HDKS,
- Odnosno konverzija u HDKS_GK.
- Nakon što su nove GPS točke transformirane, pristupilo se progušćenju osnove poligonskim točkama koje su određene terestričkim metodama mjerenja, te
- Samoj katastarskoj izmjeri s istih.

Prije same obratne datumske transformacije DKP-a, provedena su kontrolna terenska mjerenja na geodetskoj osnovi čime je utvrđeno da je transformacija i konverzija osnove uspješno provedena, odnosno da je položajna točnost osnove u skladu s razredom položajne preciznosti kojima točke homogenog polja i poligonske točke pripadaju. Kontrolu transformacije osnove je nužno napraviti prije same transformacije DKP-a.

3.1. Transformacija geodetske osnove K.o. Jalkovec

Zadatak algoritma datumske transformacije je da se prilikom transformacije koordinata geodetske osnove ne naruši preciznost istih. U svrhu dobivanja kvalitetnih „Treba“ vrijednosti obavljena su terenska mjerenja na području K.o. Jalkovec.

Veličina uzorka (broj kontrolnih točaka GNSS polja te poligonskih točaka) je određena na temelju publikacije koja je proizašla iz CRONO GIP projekta, „Quality control principles of geographic information“ (HGI 2009), a koja je u skladu s ISO normama 19113 (ISO 19113 Geographic Information – Quality Principles) i 19114 (ISO 19114 Geographic Information – Quality evaluation procedures). U budućim radovima, za potrebe kontrole transformacije katastarskih podataka, je potrebno još dodatno prilagoditi i doraditi ispitivanje standardnog odstupanja geodetske osnove, odnosno određivanje veličine kontrolnog uzorka.

Tablica 2: Određivanje uzorka (broja) kontrolnih točaka na temelju ukupnog broja točaka geodetske osnove

Broj točaka/objekata mreže		Veličina uzorka
Od	Do	<i>n</i>
5	9	2
10	16	3
17	25	4
26	50	5
51	90	7
91	150	10
151	280	15
281	400	20
401	500	25
501	1 200	35

Izmjera K.o. Jalkovec je provedena oslanjanjem na homogeno GNSS polje koje nije izvedeno isključivo na području iste katastarske općine, već se proteže na širem području grada Varaždina. Na području same katastarske općine je stabilizirano ukupno 23 GNSS točaka homogenog polja, te 176 poligonskih točaka koje su povezane na homogenu mrežu. Prema gornjoj *Tablici*, određen je uzorak od 4 GNSS točke, te 15 poligonskih točaka čija se položajna preciznost testirala kontrolnim mjerenjima. Osim ispitivanja položajne preciznosti GNSS i poligonskih točaka, pristupilo se i ispitivanju preciznosti trigonometrijskih točaka koje su prvobitno korištene za određivanje direktnih datumskih parametara.

Prema Pravilniku o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (DGU 2008) stare točke geodetske osnove (poligonske točke) se mjere prema pravilima za nove GNSS točke referentne mreže 3. reda, te pomoću visoko preciznog pozicijskog servisa (VPPS) CROPOS sustava. GNSS točke 3. reda se moraju mjeriti u dva neovisna ponavljanja, s minimalnim razmakom od dva sata između mjerenja, te s elevacijskom kutom od 15°.

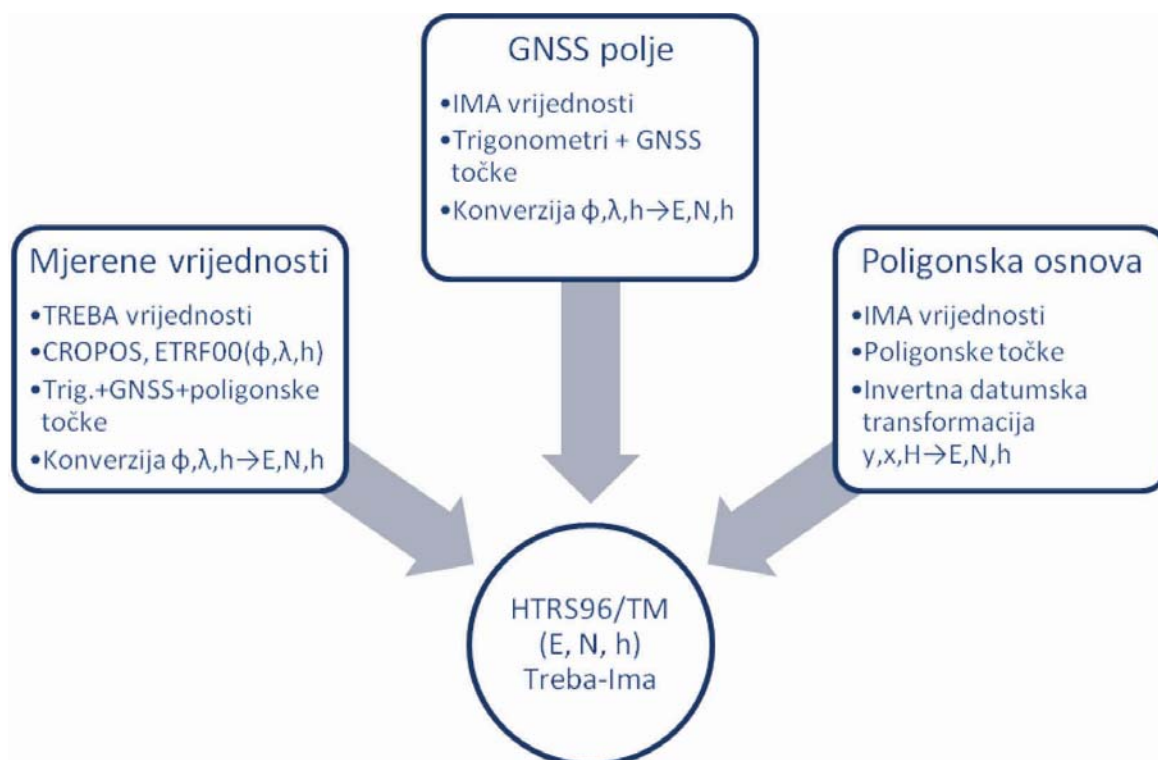
Tablica 3: Rezultat obilaska geodetske osnove na području K.o. Jalkovec

Točke osnove	Rezultat rekognosciranja	Zapažanja
GNSS		
GPS1122	Izmjerena	Pronađena zahvaljujući vlasniku parcele na kojoj je točka
GPS1126	Uništena	Rekonstrukcija prilaza parku!
GPS1171	Nije pronadana	Možda uništena; rekonstrukcija ceste!
GPS1172	Izmjerena	Pomaknuta; potvrđeno rezultatima mjerenja!
Parametarske		
GPS1222	Izmjerena	
HP16=TT19	Nije pronadana	Vjerojatno uništena nadzemna stabilizacija poljoprivrednim strojem; oranica!
TT67	Nije pronadana	Vjerojatno uništena; rekonstrukcija ceste
HP17=TT96	Nije pronadana	Krivi položajni opis!
TT151	Nije pronadana	Vjerojatno uništena prilikom izgradnje zaobilaznice
Poligonske		
pt4	Nije pronadana	Vjerojatno uništena; rekonstrukcija ceste
pt5	Nije pronadana	Vjerojatno uništena; rekonstrukcija ceste
pt6	Uništena	Rekonstrukcija ceste
pt8	Izmjerena	
pt9	Uništena	Rekonstrukcija ceste
pt13	Uništena	Rekonstrukcija ceste
pt14	Uništena	Rekonstrukcija ceste
pt19	Uništena	Rekonstrukcija ceste
pt20	Uništena	Rekonstrukcija ceste
pt26	Uništena	Rekonstrukcija ceste
pt27	Uništena	Rekonstrukcija ceste
pt118	Nije pronadana	Vjerojatno uništena; rekonstrukcija ceste
pt119	Izmjerena	
pt120	Izmjerena	
pt121	Izmjerena	

Nakon uredskih priprema i prikupljanja podataka u Područnom uredu za katastar Varaždin, pristupilo se rekognosticiranju terena (*Tablica 3*). Dobiveni rezultati rekognosticiranja terena su zabrinjavajući. Od ukupno 15 poligonskih točaka, na kojima su planirana mjerenja, pronađeno je njih 4, a od planirane 4 GNSS točke pronađena je svega jedna upotrebljiva. Također, od ukupno četiri trigonometrijske, te jedne GNSS točke koje su 1995. godine služile za određivanje datumskih parametara, pronađena je samo jedna GNSS točka homogenog polja. Zbog uništenih (nadzemnih) stabilizacija parametarskih točaka običene su dodatno još tri GNSS točke homogenog polja, gdje se uspostavilo da su dvije vjerojatno uništene, a jedna je pomaknuta prilikom rekonstrukcije lokalne ceste. Potrebno je napomenuti da jedan parametarski trigonometar nije uništen već ima krivi položajni opis te ga se nije uspjelo pronaći na terenu. Od šest parametarskih točaka običeno je njih pet.

Sve točke geodetske osnove su izmjerene pomoću RTK metode u dva ponavljanja s tri mjerenja (jedno mjerenje traje 30 epoha, odnosno 30 sekundi) nakon inicijalizacije prijemnika tzv. fixed solution; elevacijska maska - 10°. Između dva mjerenja je mijenjana visina antene te nanovo vršena inicijalizacija na CROPOS sustav. Pošto su sve točke mjerene dva puta po tri sesije, konačne koordinate točaka su formirane težinskom sredinom.

Nakon dobivenih geodetskih (elipsoidnih) koordinata izmjerenih točaka geodetske osnove („Treba“ vrijednosti), napravljena je usporedba s elipsoidnim i ravninskim koordinatama koje su dobivene prilikom uspostave homogenog polja 1995. godine („Ima“ vrijednosti). GNSS točke su samo konvergirane u novi projekcijski referentni koordinatni sustav (HTRS96_TM) dok su poligonske točke transformirane pomoću obratne aproksimirane formule Helmertove 7-parametarske transformacije (*Slika 2*) i transformacijskih parametara preuzetih iz elaborata uspostave geodetske osnove (*Tablica 7*). Transformacijski parametri su određeni na način da u sebi sadrže uračunatu geodetsku undulaciju, odnosno da se transformacijom elipsoidnih visina automatski dobiju normalo – ortometrijske.



Slika 2: Model kontrole transformacije geodetske osnove

Tablica 4: Razlike koordinata („Treba“ - „Ima“) dobivene nakon konverzije točaka osnove iz ETRF89(φ, λ, h) $\rightarrow$ HTRS96_TM(E,N,h)

Br. točke homogenog polja	ΔE (m)	ΔN (m)	Δh (m)	2d (m)	3d (m)
1222	0.042	0.020	0.059	0.047	0.075
1122	0.009	0.006	0.004	0.011	0.011
1172	-0.039	0.139	0.072	0.144	0.161

Kako je već napomenuto, od ukupno osam običenih točaka homogenog polja, pronađeno je svega tri GNSS točke od kojih su se samo dvije pokazale korektnima. Iz *Tablice 4* se može uočiti da je GNSS točka 1172 pomaknuta te samim time neupotrebljiva za daljnju analizu.

Tablica 5: Razlike mjerenih koordinata te onih dobivenih nakon invertne datumske transformacije iz HDKS_GK(y, x, H) $\rightarrow$ HTRS96_TM(E,N,h $\approx$ 0)

Br. točke poligonske osnove	ΔE (m)	ΔN (m)	Δh (m)	2d (m)	3d (m)
pt8	0.012	0.022	-0.039	0.025	0.047
pt119	0.036	-0.053	-0.063	0.064	0.090
pt120	0.022	0.000	-0.076	0.022	0.079
pt121	-0.013	0.008	-0.033	0.015	0.036

Preciznost poligonske mreže K.o. Jalkovec se pokazala zadovoljavajućom što se prvenstveno vidi iz dobivenih razlika ravninskih koordinata (*Tablica 5*).

Osim do sada navedenih analiza provedena je još jedna dodatna, a to je da su uspoređene prostorne koordinate poligonskih točaka koje su dobivene pomoću terenskih mjerenja, s onima koje su transformirane pomoću T7D računalnog programa (Bašić 2009), (*Tablica 6*).

Tablica 6: Razlike mjerenih koordinata te istih transformiranih pomoću T7D računalnog programa

Br. točke poligonske osnove	ΔE (m)	ΔN (m)	Δh (m)	2d (m)	3d (m)
pt8	0.068	0.122	45.231	0.140	45.231
pt119	0.093	0.044	45.207	0.103	45.207
pt120	0.077	0.103	45.195	0.129	45.195
pt121	0.039	0.113	45.238	0.120	45.238

Iz dobivenih razlika je vidljivo da se upotrebom T7D računalnog programa dobiju veće razlike u odnosu na one koje su dobivene obratnom datumskom transformacijom (*Tablica 6*). Iz toga slijedi zaključak da bi se katastarski podaci, koji su oslonjeni na homogeno polje Varaždin, upotrebom T7D-a položajno pokvarili.

3.2. Transformacija katastarskog plana K.o. Jalkovec

Nakon što je utvrđeno da je geodetska osnova K.o. Jalkovec korektno izvedena, pristupilo se obratnoj datumskoj transformaciji samog DKP-a. Katastarski plan K.o. Jalkovec preuzet je u digitalnom Autodesk-ovom *.dwg formatu. Osnovna ideja bila je da se struktura digitalnog katastarskog plana u potpunosti očuva, te da se jedina promjena obavi na koordinatama objekata. Najjednostavniji način da se obavi transformacija *.dwg-a, a da se pritom ne naruši struktura ulaznih podataka, je da se numerički izračunaju parametri za obratan smjer prema izrazima iz Poglavlja 2.2.

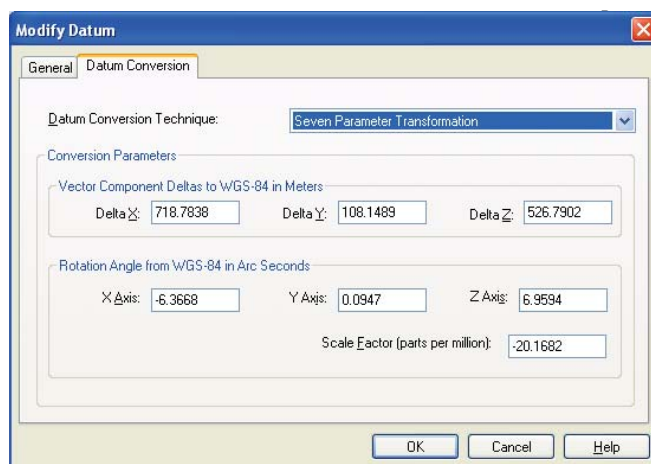
Glavni preduvjet za numeričko računanje parametara je da su poznati parametri direktnog smjera.

Tablica 7: Originalni transformacijski parametri K.o. Jalkovec iz kampanje 1995. godine i numerički izračunati

Parametri	Originalni (ETRS89→HDKS)	Numerički izračunati (HDKS→ETRS89)
T_X (m)	-718,7949	718,7838106507
T_Y (m)	-108,1916	108,1489058130
T_Z (m)	-526,7972	526,7902447713
α_X (")	6",366801	-6",36680
β_Y (")	-0",094724	0",09472
γ_Z (")	-6",959375	6",95938
d (ppm)	20,168601	-20,16819242357

Nakon što su numerički izračunati parametri za obratan smjer, isti su korišteni za definiciju datumske transformacije u AutoCAD Map programskom rješenju. Postupak transformacije *.dwg crteža definiranog u Gauss-Krügerovoj projekciji (HDKS_GK (y,x)) u novi projekcijski referentni sustav – HTRS96_TM (E,N) je slijedeći:

- a) Definira se „novi globalni koordinatni sustav“ Gauss-Krügerove projekcije sa sljedećim parametrima:
 - Map → Tools → Define Global Coordinate System → Define → ... → Datum Conversion → Seven Parameter Transformation → numerički izračunati parametri (Slika 3).



Slika 3: Numerički izračunati parametri u AutoCAD Map-u

Nakon što se definira novi/stari koordinatni sustav, pridruži ga se *.dwg crtežu DKP-a koji prikazuje stanje u Gauss-Krügerovoj projekciji – Assign Global Coordinate System → ... → Save.

b) Otvori se *.dwg koji je definiran u novom projekcijskom referentnom koordinatnom sustavu – HTRS96_TM te se u njemu napravi:

- Attach *.dwg-a iz prethodnog koraka → Map → Query → Define Query → ...

Potrebno je naglasiti da se prilikom unosa parametara u koraku a), unose parametri na maksimalan broj decimala (*Tablica 7*), bez obzira na postavke preciznosti samog crteža. *Slika 3* prikazuje naknadno otvoren prozor s transformacijskim parametrima gdje su postavke samog *.dwg-a u pogledu preciznosti bile namještene na desetinku milimetra (Drawing Units - Length Precision → 0.0000).

Za potrebe analize preciznosti transformacije je iz *.dwg-a K.o. Jalkovec izvučen skup od 7674 lomnih točaka međa. „Treba“ vrijednosti u analizi su izračunate pomoću stroge obratne formule Helmertove 7-parametarske transformacije, izrazi (4) i (5). Osim „Treba“, izračunata su i tri skupa „Ima“ vrijednosti, te je napravljena razlika po koordinatnim osima u novom projekcijskom referentnom koordinatnom sustavu – HTRS96_TM.

I. Prvi skup „Ima“ vrijednosti je izračunat transformacijom ulaznog skupa pomoću Obratne aproksimirane formule, izrazi (4) i (6),

Tablica 8: Statistički pokazatelji razlika koordinata u HTRS96_TM dobivenih pomoću Obratne stroge i Obratne aproksimirane formule

HTRS96_TM (E, N, h) = „Treba“_Obratna stroga – „Ima“_Obratna aproksimirana			
	ΔE (m)	ΔN (m)	2d (m)
Min	0.001	0.004	0.004
Maks.	0.001	0.004	0.004
Raspon	0.000	0.000	0.000
Sredina	0.001	0.004	0.004
St. odst.	0.000	0.000	0.000

Iz statističkih pokazatelja *Tablice 8* je vidljivo da je za praktične potrebe gotovo svejedno da li se koristi Obratna stroga ili Obratna aproksimirana formula Helmertove transformacije. Glavni nedostatak Obratnih formula je taj da one nisu implementirane u gotova programska rješenja, odnosno da je potrebno razviti programsku aplikaciju ako ih se želi primjenjivati.

II. Drugi skup „Ima“ vrijednosti je dobiven pomoću numerički izračunatih parametara (Poglavlje 2.2) i AutoCAD Map gotovog programskog rješenja,

Tablica 9: Statistički pokazatelji razlika koordinata u HTRS96_TM dobivenih pomoću Obratne stroge i onih dobivenih pomoću AutoCAD Map gotovog programskog rješenja

HTRS96_TM (E, N) = „Treba“_Obratna stroga – „Ima“_AutoCAD_Numerički izračunati parametri			
	ΔE (m)	ΔN (m)	2d (m)
Min	2.1E-06	8.7E-05	8.7E-05
Maks.	2.2E-06	8.8E-05	8.8E-05
Raspon	1.3E-08	4.7E-08	4.7E-08
Sredina	2.1E-06	8.7E-05	8.8E-05
St. odst.	2.4E-09	9.3E-09	9.3E-09

Iz statističkih pokazatelja *Tablice 9* je vidljivo da se numeričkim računanjem parametara, te njihovim ubacivanjem u AutoCAD Map, dobiju gotovo jednaki rezultati onima dobivenim pomoću Obratne stroge formule. Odnosno, numerički način računanja parametara je za sada najjednostavniji i najbrži način transformiranja *.dwg-a u novi datum pomoću sedam Helmertovih parametara. Samo računanje parametara se može relativno jednostavno odraditi u Microsoft Office Excel-u.

III. Treći skup „Ima“ vrijednosti je dobiven transformacijom ulaznog skupa pomoću T7D gotovog programskog rješenja.

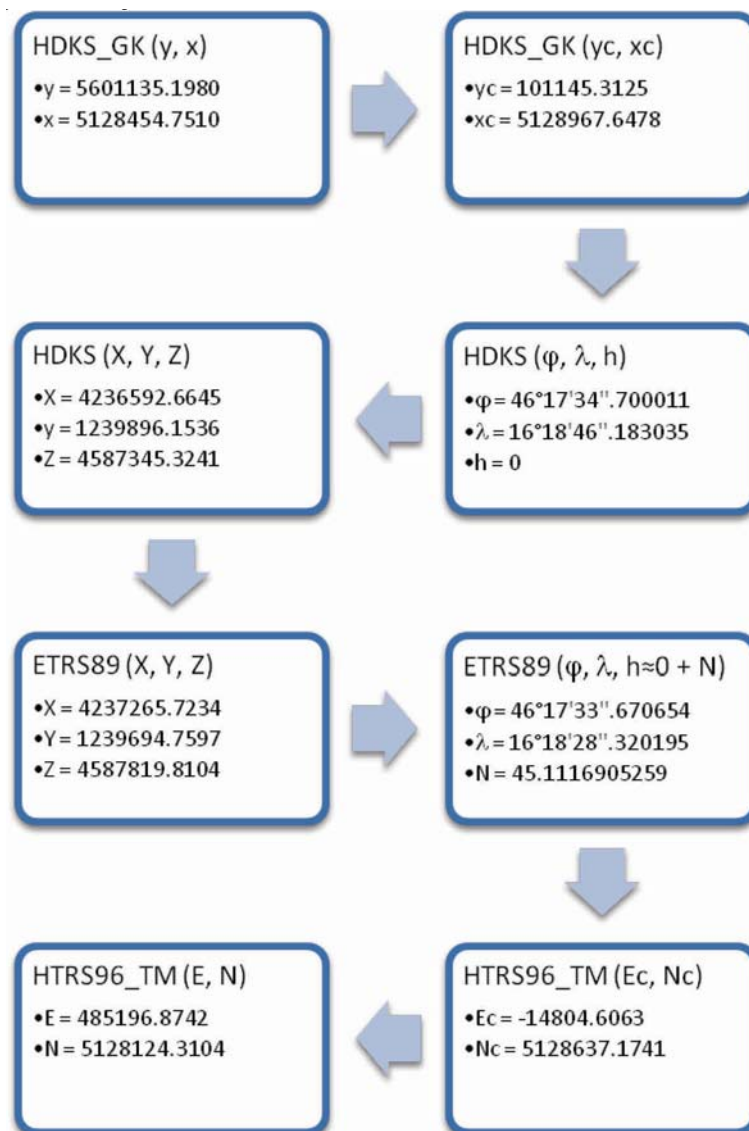
Tablica 10: Statistički pokazatelji razlika koordinata u HTRS96_TM dobivenih pomoću Obratne stroge i onih dobivenih pomoću T7D programskog rješenja

HTRS96_TM (E, N) = „Treba“_Obratna stroga – „Ima“_T7D			
	ΔE (m)	ΔN (m)	2d (m)
Min	-0.031	0.057	0.058
Maks.	0.115	0.132	0.167
Raspon	0.147	0.075	0.109
Sredina	0.048	0.098	0.113
St. odst.	0.035	0.015	0.022

Iz statističkih pokazatelja *Tablice 10* je vidljivo da se upotrebom T7D za područje K.o. Jalkovec kvare podaci izmjere iz 1995. godine.

U nastavku je dan numerički primjer za jednu točku sa svim koracima konverzija i datumskom transformacijom (*Slika 4*). Primjer je računat prema *Obratnoj strogoj formuli Helmer-tove 7-parametarske transformacije*, izrazi (4) i (5), pomoću originalnih transformacijskih parametara za direktan smjer (ETRS89→HDKS) danih u *Tablici 7*. Konverzije su računate prema izrazima iz (Lapaine i Tutić 2007). Kako je već napomenuto, originalni parametri su određeni na način da se direktnom datumskom transformacijom elipsoidne visine transformiraju u

normalno-ortometrijske. Prilikom obratne transformacije, uz uvjet da je $h=0$ na svim lomnim točkama međa starog datuma, ostane u novom datumu geoidna undulacija, a ne uobičajena elipsoidna visina čija je vrijednost obično približno jednaka nuli.



Slika 4: Numerički primjer obratne datumske transformacije

4. Zaključak

Digitalni katastarski plan koji je nastao s geodetske osnove, a koja je uspostavljena pomoću satelitskih metoda mjerenja, treba se transformirati u novi projekcijski referentni koordinatni sustav – HTRS96_TM isključivo pomoću Obratne formule Helmertove 7-parametarske transformacije ili numeričkim računanjem parametara i upotrebom komercijalnih programskih paketa npr. AutoCAD Map-a. Okretanjem predznaka parametrima transformacije i ubacivanjem u AutoCAD Map se kviri preciznost ulaznih podataka, za područje Republike Hrvatske, od 4 – 10 cm.

Prije same transformacije katastarskih podataka poželjno je obaviti terenska mjerenja uzorka geodetske osnove, po rubovima pojedinih katastarskih općina, čime se dobiju kvalitetne

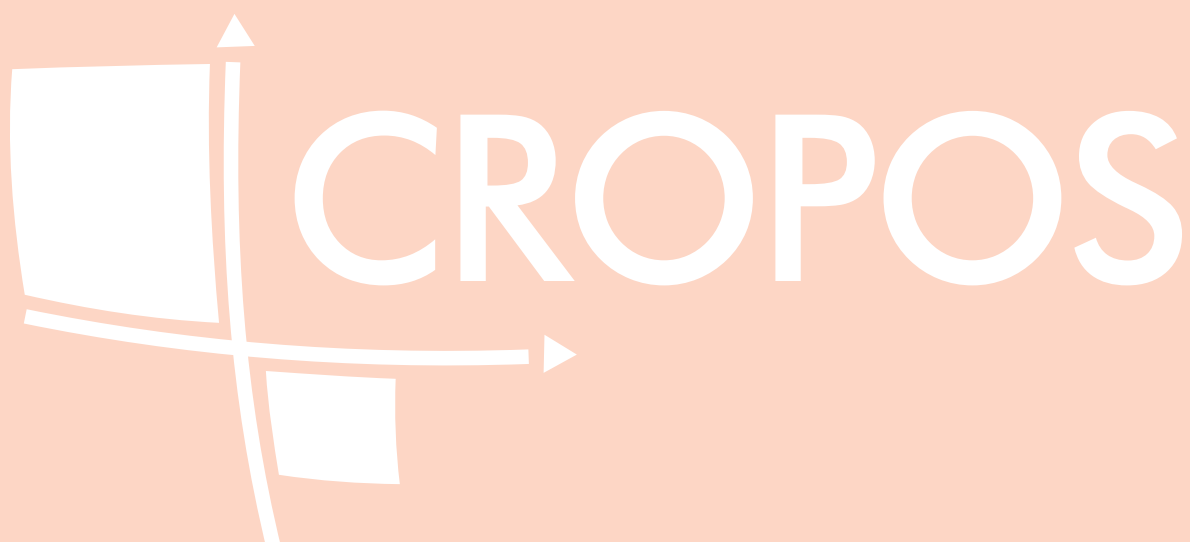
„Treba“ vrijednosti pomoću kojih se može kontrolirati sama transformacija osnove, a samim time dobiti i kvalitetna informacija o preciznosti same izmjere i transformacijskim parametrima. Preciznost uspostave osnove uvjetuje alat kojim se potom transformira katastarski plan.

Zaključci izvedeni iz ove analize koristiti će se prilikom transformacije katastarskih podataka za potrebe uspostave Zajedničkog informacijskog sustava zemljišne knjige i katastra (ZIS). Također, za potrebe ZIS-a je potrebna daljnja automatizacija procesa transformacije podataka te daljnji razvoj aplikacija za transformaciju. Za interne potrebe transformacije *.shp datoteka razvijena je SHPTRANS aplikacija koja u sebi sadrži grid identičan onom iz T7D aplikacije, odnosno identičan onom koji je implementiran u CROPOS sustav. Osim razvoja aplikacija, potrebno je grid model iz T7D-a prebaciti u NADCON ili NTv2 format čime bi se bitno pojednostavila transformacija *.shp i *.dwg datoteka.

Zahvala: Hvala djelatnicima Zavoda za fotogrametriju d.d., Zagreb i djelatnicima Područnog ureda za katastar Varaždin koji su nam ustupili podatke katastarske izmjere, te pomogli prilikom terenskih mjerenja.

5. Literatura

- Bašić T. (2009): Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske, Izvješće o znanstveno-stručnim projektima, 2006.-2008. godine, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- DGU (1995): Stručno-istraživački projekt o uspostavi homogenog polja stalnih geodetskih točaka na širem području Varaždina uporabom GPS tehnologije, Svezak 1 i 2, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- DGU (2002): DAT_ABMO, Program za transformaciju koordinata između HDKS-a i ETRS-a, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- DGU (2008): Pravilnik o načinu izvođenju osnovnih geodetskih radova, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- HGI (2009): 301D301 Quality control principles of geographic information v. 1.2, CRONO GIP, Hrvatski geodetski institut, Zagreb.
- Lapaine M., Tutić D., (2007): O novoj službenoj kartografskoj projekciji Hrvatske – HTRS96_TM, Kartografija i Geoinformacije, poseban broj, Hrvatsko kartografsko društvo, str. 34-53.
- Liker M., Barišić B., Vorel B., Bašić T., (2010): Problematika vezana uz Helmertovu sedam parametarsku transformaciju, III Simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, Opatija, 22.-23. listopada 2010. godine, Zbornik radova, Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb, str. 205-216.



Koordinatni sustav, referentni sustav i referentni okvir za novi sustav određivanja položaja u Hrvatskoj

Željko HEĆIMOVIĆ¹

Sažetak

Za novi sustav određivanja položaja u Hrvatskoj je, u Narodnim novinama, definiran samo referentni sustav (HTRS96). Međutim, u stručnoj terminologiji se još razlikuju koordinatni sustav i referentni okvir. U radu su razlučeni koordinatni i referentni sustav i referentni okvir za novi sustav određivanja položaja u Hrvatskoj (HTRS96). Uvođenjem HTRS96 i CROPOS sustava uveden je novi standard određivanja položaja. S obzirom na novi standard vremenski utjecaji postaju signifikantni. Diskutirana je potreba za uvođenjem vremenskih utjecaja. Uvjet da koordinate vjerno odražavaju prave vrijednosti koje su podložne vremenskim utjecajima i želja većine korisnika za konstantnošću koordinata su diskutirani. Točnost koordinata se definira njihovim zadavanjem, a o konstantnosti koordinata odlučuje korisnik ako se zadaju brzine gibanja točaka.

1. Uvod

Uvođenjem novog položajnog referentnog koordinatnog sustava i CROPOS sustava su definirani novi standardi određivanja položaja u Hrvatskoj. S novim standardom je definirana i veća kvaliteta (točnost, preciznost, pouzdanost,...) određivanja položaja i drugih proizvoda i usluga. Zbog toga utjecaji koji se nisu uzimali u obzir postaju signifikantni. Za novi položajni referentni koordinatni sustav Republike Hrvatske je eksplicitno definiran referentni sustav. Međutim, u stručnoj terminologiji se još razlikuju koordinatni sustav i referentni okvir.

Kao što je to najčešći slučaj i u ostalim nacionalnim referentnim sustavima, novi položajni referentni koordinatni sustav Republike Hrvatske (HTRS96) je definiran kao nepromjenjiv i o vremenu neovisan. Međutim, Zemlja je dinamičko tijelo koje se mijenja s vremenom te je i referentni sustav podložan promjeni. Da bi referentni sustav prilagodili realnim promjenama realiziraju se referentni okviri za pojedine epohe i/ili zadaju se brzine gibanja točaka da bi se moglo prevesti koordinate iz epohe u epohu. Položaji se mijenjaju s vremenom i ako želimo, na osnovu mjerenja dobivene koordinate dobiti u državnom, vremenski ne promjenjivom, referentnom okviru, koji je definiran za epohu 1955,55, moramo uzeti u obzir vremenske utjecaje.

2. Novi položajni referentni koordinatni sustav Republike Hrvatske

Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1955,55 (HTRS96) je novi položajni referentni koordinatni sustav Republike Hrvatske (NN, 2004). Definiran je Europski terestrički

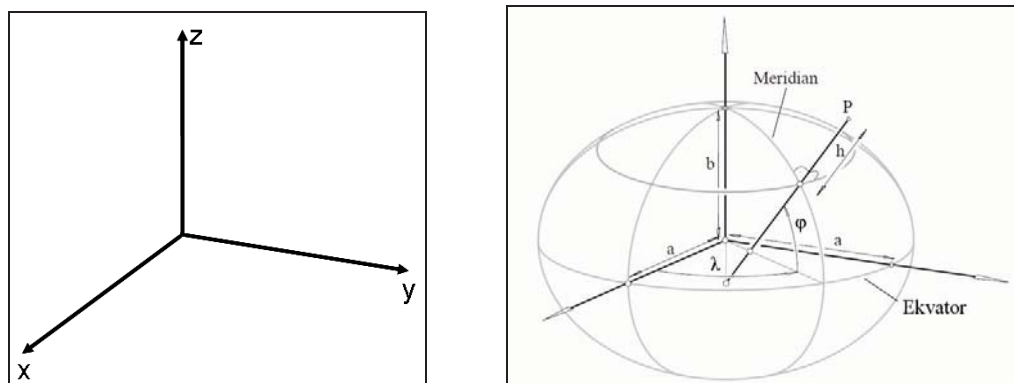
¹ Željko Hećimović, Državna geodetska uprava, Savska 41, 10144 Zagreb, p.p.19, e-mail: zeljko.hecimovic@cgi.hr

referentni sustav za epohu 1989.0 (*European Terrestrial Reference System 1989*, ETRS89) kao službeni nepromjenjiv i o vremenu neovisni položajni referentni koordinatni sustav. Elipsoid GRS80 kao službeni matematički model, te da osnovu položajnog referentnoga koordinatnog sustava Republike Hrvatske čini 78 osnovnih trajno stabiliziranih geodetskih točaka čije su koordinate određene u ETRS89.

U stručnoj literaturi se osim referentnog sustava javljaju kao osnovni pojmovi koordinatni sustav i referentni okvir.

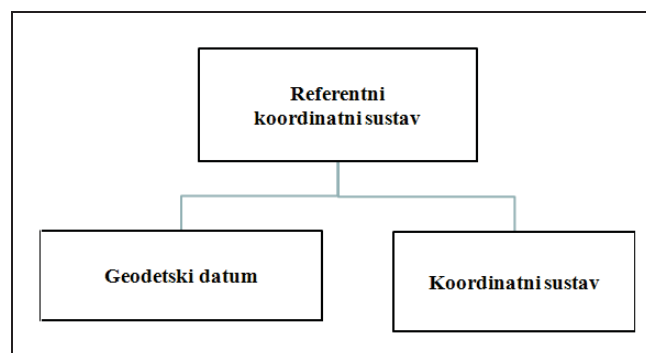
3. Koordinatni sustav, referentni sustav i referentni okvir

Koordinatni sustav je skup matematičkih zakonitosti koje definiraju kako će koordinate biti pridružene točkama. Koordinatnim sustavom je definiran tip koordinatnog sustava (kartezijev, elipsoidni, sferni i sl.), njegove dimenzije (1D, 2D, 3D, ili 4D) i osnovne matematičke zakonitosti (v. sliku 1). On je matematička osnova referentnog sustava.



Slika 1. 3D kartezijev i elipsoidni koordinatni sustavi.

Referentni sustav je koordinatni sustav koji je vezan za realni svijet s pomoću datuma. Definiranjem referentnog sustava se matematički model (koordinatni sustav) povezuje s realnim svijetom. Za Zemaljsko-fiksne referentne sustave (ITRSYY, ETRSYY, HTRS96 i sl.) problem se svodi na povezivanje koordinatnog sustava s Zemljom definiranjem položaja ishodišta, orijentacija osi i mjerila pomoću geodetskog datuma.



Slika 2. Shema referentnog sustava.

Referentni okvir je realizacija referentnog sustava. Realizacija referentnog sustava ovisi o broju, rasporedu objekata/točaka, tehnikama mjerenja, epohama mjerenja, modelima obrade podataka i slično. Ako dođe do promjene nekog od navedenih parametara mijenja se i referentni okvir.

U stručnoj literaturi se javlja i pojam složenog referentnog sustav. Složeni referentni sustav definira položaj uz pomoć dva neovisna referentna koordinatna sustava. Koordinatni sustavi su međusobno neovisni ako se koordinate iz jednog sustava ne mogu transformirati ili konvertirati u koordinate drugog sustava. Karta je primjer složenog referentnog koordinatnog sustava gdje je položaj definiran u položajnom referentnom sustavu (npr. novi položajni projekcijski sustav - HTRS96/TM), a visine u visinskom referentnom sustavu (npr. novi visinski referentni sustav - HTRS71).

Koordinatni sustav, referentni sustav i referentni okvir za novi položajni referentni sustav (HTRS96) se mogu definirati:

- Hrvatski koordinatni sustav 1996 (HKS96) u geodeziji najčešće koristi Geodetic Reference System 1980 (GRS80) nivo-elipsoid ili trodimenzionalni (3D) kartezijev koordinatni sustav desne ruke koji se sastoji od tri orto-normirane koordinatne osi. Ovo je posljedica definiranja HTRS96 kao realizacije *European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS89) koji koristi ove koordinatne sustave. Mogu se koristiti i drugi koordinatni sustavi kao matematička osnova; npr. sferni sustav i sl.
- Hrvatski terestčki referentni sustav 1996 (HTRS96) je dobiven povezivanjem HKS96 koordinatnih sustava (GRS80, 3D kartezijev i sl.) s realnim svijetom pomoću geodetskog datuma. Europa je usvojila ETRS89 referentni sustav i definirala ga tako da koincidira s *International Terrestrial Reference System 1989* (ITRS89) u epohi 1989. HTRS96 koristi kao osnovu ETRS89, a koji je definiran s obzirom na ITRF89. Na taj način je HTRS96 povezan s realnom Zemljom s obzirom na međunarodne kriterije definiranja Zemaljski-fiksni referentni sustavi (ITRS): geocentričnost, orijentacija osi, *International System of Units* (SI) metar kao jedinična duljina.
- Hrvatski terestčki referentni okvir 1996 (HTRO96) je realizacija HTRS96 referentnog sustava na osnovu 78 točaka premjerenih u GPS kampanjama u epohi 1995,55 te korištenjem ETRS89 datuma.

Za HTRS96 možemo reći da je Zemaljski centriran, Zemaljski fiksni s ishodištem u geocentru Zemljinih masa koje uključuju mase oceana i atmosfere, X i Y osima u Ekvatorskoj ravnini i osi Z u početnom Greenwichkom meridijanu te s osi Z paralelnom sa srednjom osi rotacije Zemlje koja ima pozitivan smjer u smjeru sjevernog pola, s geocentričkim koordinatnim vremenom, bez rezidualnih rotacija s obzirom na horizontalna gibanja na Zemljinoj površini s obzirom na stabilni dio Euroazijske geotektonske ploče definiranim na osnovu ITRS89 i ETRS89 referentnih sustava.

Glavna razlika između ITRSYYY i ETRS89 (HTRS96) referentnih sustava je u tome što su ETRF89 (HTRS96) koordinatne osi fiksne s Euroazijskom geotektonskom pločom i gibaju se s njom, a ITRFYYY referentni sustavi nisu fiksno vezani za pojedinu geotektonsku ploču već vremenske promjene uzimaju u obzir primjenom *no-net-rotation* (NNR) uvjeta.

Pojava sva tri pojma (koordinatni sustav, referentni sustav i referentni okvir) kao jedinstvene cjeline je relativno novijeg datuma, a u svakodnevnom govoru je vrlo često fluidna granica između pojma referentnog sustava i okvira. Između novijih referentnih sustava/okvira se pravi jasna distinkcija (npr. ITRSYYY/ITRFYY, ETRSYYY/ETRFYY i sl.). Međutim, za relativno starije referentne sustave/okvire nije uobičajeno da se radi distinkcija. Tako na primjer za realizaciju nativnog GPS referentnog sustava *World Geodetic System 1984* (WGS84) teško se može

naći termin *World Geodetic Frame 1984*. Već se koristi *World Geodetic System 1984 Reference Frame*. Međutim, za sve praktične radove i kada u praksi baratamo s koordinatama radi se o referentom okviru.

Također se prilikom definiranja ravninskih kartografskih projekcija koristi koordinatni sustav kao temeljni pojam. Tako je u Narodnim novinama (NN 2004) definiran koordinatni sustav poprečne Mercatorove (Gauss-Krügerove) projekcije (HTRS96/TM) i da se koordinatni sustavi kartografskih projekcija temelje na hrvatskom terestričkom referentnom sustavu. Razlog je što se u kartografskim projekcijama prvenstveno izučava projekcija s elipsoida u ravni, a elipsoid definira koordinatni sustav. Kako je elipsoid vezan za realnu Zemlju, te kako je definiran geodetski datum i referentni sustav nije od bitnog interesa za kartografiju. Zbog toga je u ovom slučaju dovoljno koristiti pojam koordinatnog sustava.

4. Vremenski utjecaji

Vremenske promjene Zemaljskih terestričkih sustava ovise prvenstveno o geotektonskim gibanjima. Zemlja je dinamičko tijelo koje se mijenja s vremenom te se u Zemaljski-fiksnoj referentnoj sustavi s vremenom mijenjaju: referentni okvir, položaj točke te transformacijski parametri. Novi standard određivanja položaja koji su definirali HTRS96 i CROPOS (URL 1) sustav ima za posljedicu da su vremenski utjecaji, koji se u starom položajnom sustavu nisu koristili, postali signifikantni. Prilikom zadavanja koordinata treba zadati veličine koje će omogućavati preračunavanje koordinata iz epohe u epohu.

Euroazijska geotektonska ploča ima horizontalno gibanje oko 3 cm/godišnje (ETRF89, HTRS96) u odnosu na ITRF sustave koji uzimaju utjecaj svih geotektonskih ploča (*no-net-rotation* princip). ITRS vremenski utjecaji: tektonsko gibanje ploča, utjecaj Zemljinih plimnih valova na čvrstu Zemlju, *ocean loading* (geotektonska gibanja zbog periodičkog pritiska mase oceana), *loading* atmosfere (geotektonska gibanja zbog periodičkog pritiska masa atmosfere), deformacije rotacije zbog gibanja pola, post glacijalno izdizanje i dr. (URL-4) (Gripp, A. E., Gordon, R. G. Y., 2002).

Matematičku osnovu za vremenske promjene možemo dobiti ako deriviramo izraz za trodimenzionalnu sedam-parametarsku Helmertovu transformaciju. U tom izrazu su vektori položaja ($\mathbf{X}_A$, $\mathbf{X}_B$), vektor transformacije ($\mathbf{T}$), rotacijska matrica ($\mathbf{R}$) i mjerilo skaliranja (D) podložni vremenskim promjenama. Veličine D i $\mathbf{R}$ su reda veličine 10^{-5} , a $\dot{\mathbf{X}}$ je oko 10 cm/god. Zbog toga su izrazi $D\dot{\mathbf{X}}_A$ i $\mathbf{R}\dot{\mathbf{X}}_A$ zanemarivi te izraz za vremenske transformacije ima oblik:

$$\dot{\mathbf{X}}_B = \dot{\mathbf{X}}_A + \dot{\mathbf{T}}_{A,B} + \dot{D}_{A,B} \cdot \mathbf{X}_A + \dot{\mathbf{R}}_{A,B} \cdot \mathbf{X}_A \quad (1)$$

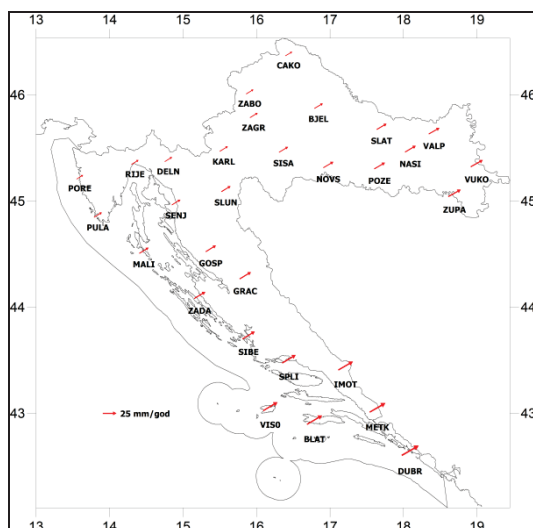
Ovaj izraz definira promjenu položaja točke s obzirom na vremenski pomak točke i vremenske promjene transformacijskih parametara. Osim ovih utjecaja javlja se i utjecaj gibanja tektonskih ploča za koju je vezan referentni okvir.

Da bi korisnici mogli uzimati u obzir vremenske utjecaje zadaju se vektori brzina $\mathbf{V}$ koji se moraju množiti s vremenskim razdobljem. Tako se za promjenu položaja točke iz epohe t_0 u epohu t dobije s pomoću izraza:

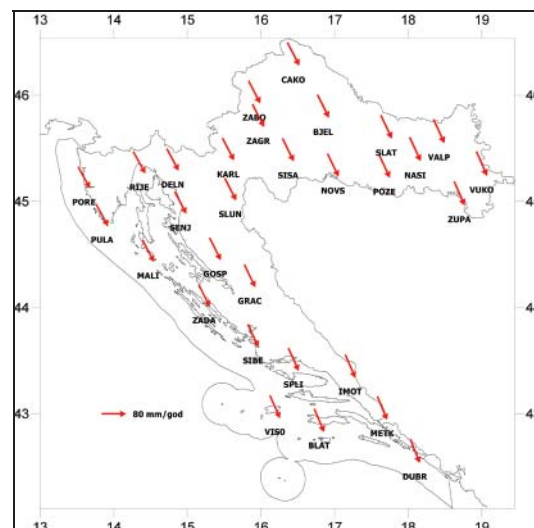
$$\mathbf{X}(t) = \mathbf{X}(t_0) + \mathbf{V} \cdot (t - t_0) \quad (2)$$

gdje je $\mathbf{X}(t_0)$ vektor položaja točke za epohu t_0 , a $\mathbf{V}$ vektor brzine gibanja točke.

Da bi dobili generalni uvid u gibanja na slici 3 su vektori brzina gibanja CROPOS točaka dobiveni na osnovu HS3-NUVEL-1A geodinamičkog modela (URL-5, URL-6, URL-7). Gibanja CROPOS točaka u odnosu na ITRF-NNR su oko 3 cm na godinu. Gotovo identični rezultati se dobiju i za ostale modele (Drewes i Angermann 2001). Slika 4 prikazuje relativne vektore brzina CROPOS mreže na Euroazijskoj geotektonskoj ploči u odnosu na fiksiranu Afričku geotektonsku ploču prema NUVEL-1A modelu gibanja geotektonskih ploča. Brzine gibanja pojedinih točaka CROPOS mreže u odnosu na Afričku ploču su oko 80 mm/god. (URL-9).

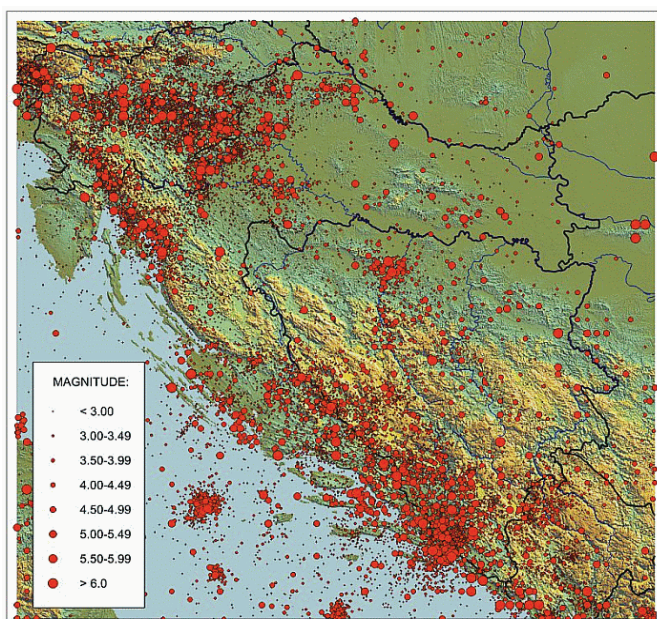


Slika 3. HS3-NUVEL-1A
(Gripp, Gordon 2002)



Slika 4. NUVEL-1A gibanje CROPOS točaka
(Euroazijska ploča) u odnosu na fiksnu
Afričku ploču.

Vektori brzine gibanja CROPOS točaka s obzirom na modele gibanja geotektonskih ploča pokazuju uniformno ponašanje vektora s malim promjenama između CROPOS točaka. Iz tog proizlazi da globalni geotektonski modeli ne uzimaju lokalne geotektonske odnose koji se javljaju na teritoriju Hrvatske već imaju uglačen, regionalan karakter.



Slika 5: Karta seizmičnosti Hrvatske
(<http://www.gfz.hr/>).

Teritorij Hrvatske nije geodinamički homogen. To ukazuje već karta koja daje uvid u seizmičnosti Hrvatske (URL 100). U Hrvatskoj se godišnje zabilježi oko tisuću potresa, a ljudi osjete oko 65 potresa godišnje. U prosjeku se u Hrvatskoj svake godine dogodi potres magnitude veće od 6 prema Richteru. Na slici 5 je prikazana distribucija epicentara od oko 30 000 potresa od prije Krista do 2008. godine.

Afrička ploča graniči s Euroazijskom pločom i učestali zemljotresi na južnom dijelu Balkanskog poluotoka potvrđuju aktivnosti između ove dvije ploče.

5. Točnost i konstantnost koordinata

HTRS96 je definiran kao nepromjenjiv i o vremenu neovisan. Veliki broj korisnika želi konstantne koordinate; tj. o vremenu neovisne. Međutim, Zemlja kao tijelo i sve u prirodi je podložno vremenskim promjenama te se koordinate u realnom svijetu mijenjaju s vremenom. Da bi koordinate zadovoljavale uvjet točnosti, moraju pratiti vremenske promjene dinamičke Zemlje i mijenjati se. Da bi zadovoljili kriterij točnosti koordinata; tj. koordinatama koje predstavljaju pravi položaj moramo usvojiti vremenske utjecaje. Uvođenje vremenskih promjena na položaj nameće problem usklađivanja kriterija točnosti i konstantnosti koordinata. Pojmovi točnosti koordinata (da koordinate opisuju pravi/realni položaj) i konstantnost koordinata (što većina korisnika želi) su u međusobnoj suprotnosti. Da bi se zadovoljila oba uvjeta, jedno od rješenja je u davanju brzina gibanja točaka. Na taj način korisnici mogu sami odlučiti dali žele raditi vremenske transformacije i zadovoljiti uvjet točnosti ili ako ne koriste vremenske utjecaje moći će procijeniti koliku pogrešku čine (NOAA 2010). Na taj način se točnost koordinata garantira prilikom zadavanja koordinata, a o konstantnosti koordinata odlučuje korisnik na osnovu zadanih brzina gibanja točaka.

6. Zaključak

Uvođenjem novog položajnog referentnog koordinatnog sustava (HTRS96) i CROPOS sustava definirani su novi standardi određivanja položaja u Hrvatskoj. U skladu s korištenjem pojmova koordinatni sustav, referentni sustav i okvir u međunarodnoj literaturi mogu se koristiti Hrvatski terestčki referentni sustav 1996 (HTRS96) i Hrvatski terestčki referentni okvir 1996 (HTRO96). S novim standardom određivanja položaja treba posvetiti pažnju utjecajima koji do sada nisu imali signifikantni utjecaj. Geodinamička gibanja su dominantni uzrok vremenskih promjena položaja. Uvođenje vremenskih promjena na položaj nameće problem usklađivanja kriterija točnosti i konstantnosti koordinata. Da bi se zadovoljila oba uvjeta, jedno od rješenja je u davanju brzina gibanja točaka. Na taj način korisnici mogu sami odlučiti dali žele raditi vremenske transformacije i zadovoljiti uvjet točnosti ili procijeniti koliku pogrešku čine ako ne uzimaju u obzir vremenske utjecaje. Na taj način se točnost koordinata garantira prilikom zadavanja koordinata, a o konstantnosti koordinata odlučuje korisnik na osnovu zadanih brzina gibanja točaka.

7. Literatura

Gripp, A. E., Gordon, R. G. Y. (2002): Young tracks of hotspots and current plate velocities, *Geophys. J. Int.*, 150, 321-361.

Drewes, H., Angermann, D. (2001): The Actual Plate Kinematic and Crustal Deformation Model 2000 (AP-KIM2000) as a Geodetic Reference System, *AIG 2001 Scientific Assembly*, Budapest, 2-8 Sept 2001.

NN (2004): Decree on establishing new official geodetic datums and map projections of the Republic of Croatia. Narodne novine, 110/2004.

NOAA (2010): Proceedings of the 2010 Federal Geospatial Summit on Improving the National Spatial Reference System, Silver Spring, Maryland, U.S.A., May 11 - 12, 2010.

URL-1: <http://www.cropos.hr> (18.12.2009.)

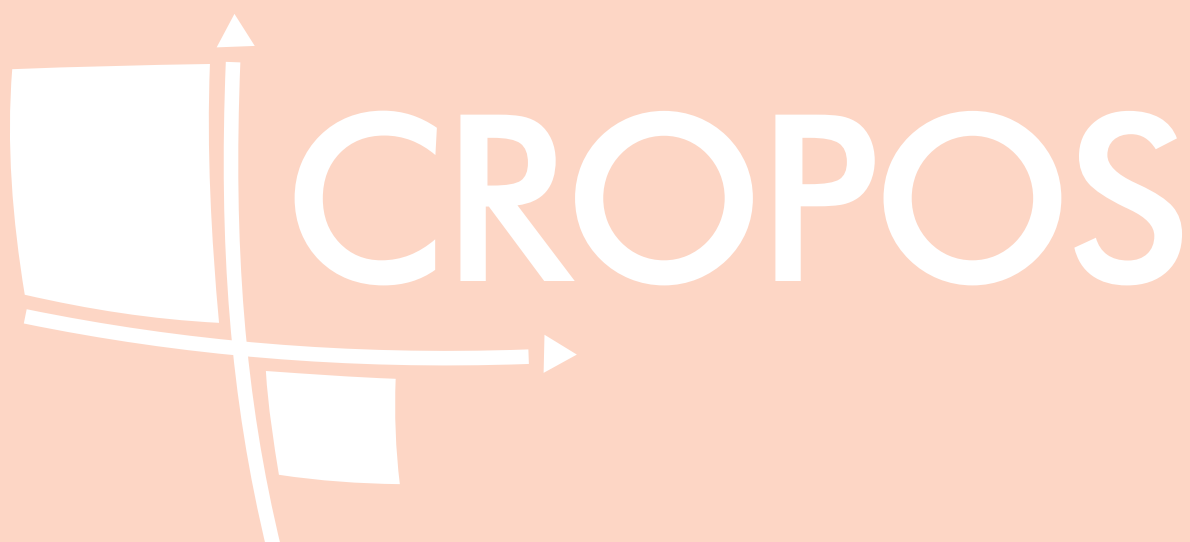
URL-4: <http://itrf.ensg.ign.fr> (18.11.2009.)

URL-5: http://sps.unavco.org/crustal_motion/ (20.12.2009.)

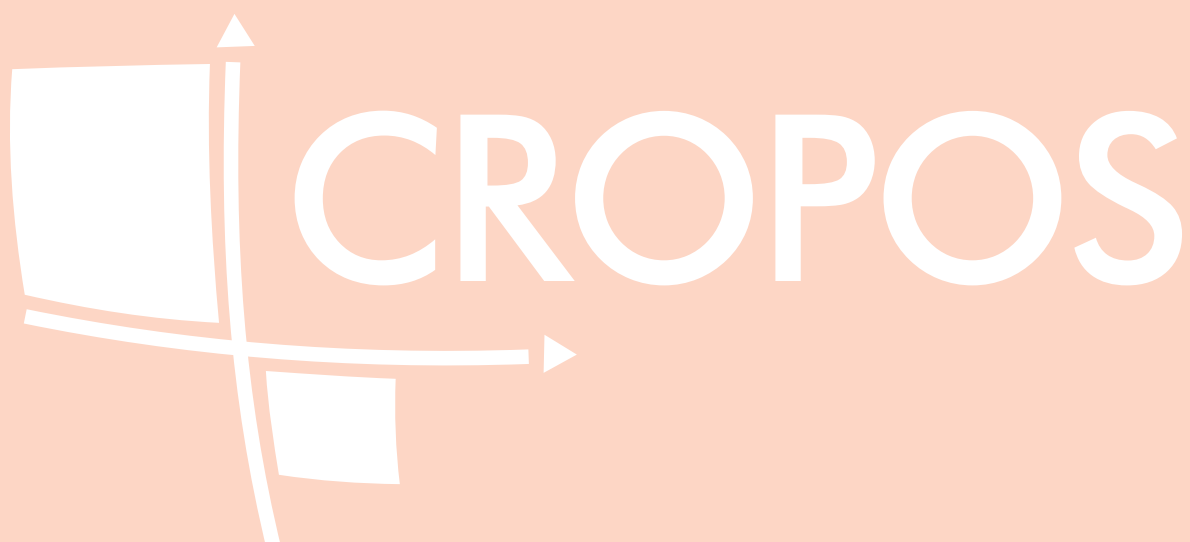
URL-6: <http://www.ldeo.columbia.edu/~menke/plates2.html> (17.11.2009.)

URL-7: <http://ofgs.ori.u-tokyo.ac.jp/~okino/calc.html> (17.11.2009.)

URL-100: Geofizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta - <http://www.gfz.hr/> . (11.01.2011.)



PRAKTIČNA PRIMJENA CROPOSA – ISKUSTVA KORISNIKA



Analiza vremenski nezavisnih signala u CROPOS mreži

Marko PAVASOVIĆ¹, Željko BAČIĆ², Milan REZO³, Olga BJELOTOMIĆ⁴, Danko MARKOVINOVIĆ⁵, Tomislav BAŠIĆ⁶

Sažetak

Pouzdanost određivanja koordinata na fizičkoj površini Zemlje, metodom satelitskog pozicioniranja prvenstveno ovisi o razvoju svemirskog segmenta, odnosno o razvoju visokofrekventnih satova satelita, širini i snazi signala kao i korisničkom segmentu, vezanom uz kvalitetu prijamnika. Uz svemirski i korisnički segment, za potrebe detaljnijih analiza određivanja koordinata u okviru lokalnih i globalnih geodinamičkih procesa, nužno je ispitati utjecaj ionosfere na određivanje pseudoudaljenosti. Uz spomenuto, posebno važnim u POS (engl. POSitioning Systems) sustavima, podrazumijeva se odabir lokacija permanentnih stanica te kontinuirano analiziranje prijama signala na istima s obzirom na ukupan broj registriranih podataka u odnosu na teorijski broj mogućih, pojavu višestruke putanje signala (engl. Multipath), odnos signala i šuma (engl. Signal to Noise Ratio - S/N), detekciju faznih skokova (engl. Cycle Slip) i skokova satova satelita. Sve navedeno navelo je autore da provedu dvije neovisne vremenske analize uvjetovane prije svega, izrazito velikom vrijednošću Kp planetarnog indeksa, prema čemu je napravljen odabir dana analiziranih u ovom radu. Za dva odabrana dana (izrazito veliki i mali Kp indeks) provedena je cjelovita analiza za svih 30 stanica CROPOS mreže za sve prethodno spomenute parametre.

Ključne riječi: multipath, cycle slip, broj registracija, S/N, Kp indeks, CROPOS.

1. Uvod

Cilj provedene analize u ovom radu bio je odgovoriti na pitanje da li je moguće, dvije neovisnih analiza podataka CORS stanica CROPOS mreže (za dan mirnog i dan burnog stanja magnetosfere), prema kriterijima kvalitete pojedine CROPOS stanice (definiranim u Rezo i Bačić 2009), korelirati sa stanjem magnetosfere. Pored kriterija kvalitete kao što su prosječan

¹ Marko Pavasović, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: marko.pavasovic@geof.hr

² prof. dr. sc. Željko Bačić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za satelitsku geodeziju, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: zeljko.bacic@geof.hr

³ dr. sc. Milan Rezo, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: milan.rezo@geof.hr

⁴ Olga Bjelotomić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: olga.bjelotomic@geof.hr

⁵ dr. sc. Danko Markovinoić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: danko.markovinoic@geof.hr

⁶ prof. dr. sc. Tomislav Bašić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: tomlslav.basic@geof.hr

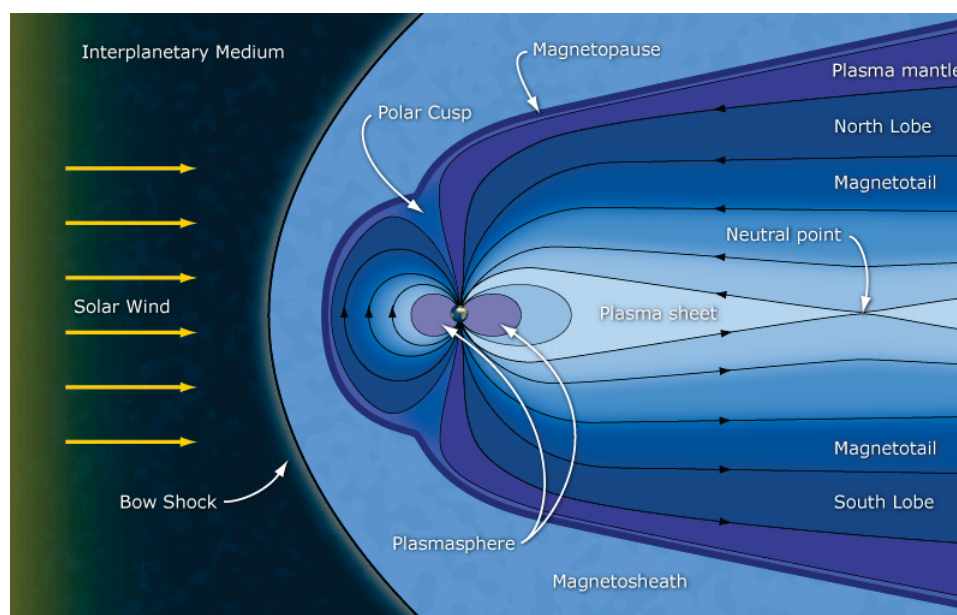
broj registracija i postotak ukupne registracije, srednje kvadratno odstupanje *multipath* efekta na L1 i L2 frekvenciji, odnos šuma i signala satelita (engl. *Signal to Noise Ratio* - S/N ili SNR) te pojava faznih skokova (engl. *Cycle slips*) spadaju u kriterije kvalitete s najvećom osjetljivošću na magnetosfersku aktivnost te su njihove vrijednosti od posebne važnosti kada govorimo o ova-kvoj vrsti analize.

2. Zemljino magnetsko polje

Zemljino dipolno magnetsko polje sastoji se od glavnog polja, polja kore i vanjskog polja tj. vektorska je suma ovih triju komponenti. Glavno polje čini 95%, a uzrokuju ga električne struje u vanjskoj tekućoj jezgri tzv. samo-održavajući geodinamo. Polje kore posljedica je lokalnih magnetiziranih stijena (inducirana i remanentna, odnosno kombinirana magnetizacija kore). Vanjsko poremećajno polje potječe od struja u ionosferi i magnetosferi te njihove resultantne inducirane struje u kori, koje uvijek varira u prostoru i vremenu. Zemljino magnetsko polje vremenski je promjenljiva veličina pa razlikujemo: godišnju (sekularnu) i dnevnu (diurnalnu) varijaciju magnetskog polja te promjenu magnetskog polja uslijed magnetskih oluja. Sekularna varijacija magnetskog polja uzrokovana je konveksnim dugoperiodičnim gibanjima u Zemljinoj jezgri koja pokreću geodinamo (Brkić 2006).

Magnetsko polje generirano u jezgri i mjereno na površini Zemlje širi se uvis kroz ionosferu (koja se proteže od 90 km udaljenosti od Zemljine površine do 600 km). Ionosfera je električki vodljiva zbog apsorpcije ultraljubičastog zračenja Sunca koje uzrokuje oslobađanje elektrona molekula dušika i kisika iz svoje orbite stvarajući ione, nositelje pozitivnog naboja. Rotacijom Zemlje periodičko diferencijalno zagrijavanje atmosfere uzrokuje njeno širenje na dnevnoj, odnosno sažimanje na noćnoj strani polutke. Superponiraju li se na ovu varijaciju atmosferske tide pokretane rotacijom Zemlje i gravitacijskim poljem Mjeseca, dolazi do kombinacije periodičnih sila koje pokreću vjetrove u ionosferi tako da rezultirajuće gibanje fluida preko silnica magnetskog polja inducira električne struje. Inducirane električne struje stvaraju vlastito magnetsko polje te time nastaje diurnalna (dnevna) varijacija magnetskog polja mjerljiva na fizičkoj površini Zemlje (ibid.).

Magnetosfera (slika 2.1) predstavlja vanjski dio Zemljinog magnetskog polja, a oblikovana je prostorom između Zemljinog unutarnjeg magnetskog polja, plazme Sunčevog vjetra i međuplanetarnog magnetskog polja. U magnetosferi Sunce upravlja oblikom i ponašanjem geomagnetskog polja svojim vlastitim dinamom i nusproduktom - magnetskim poljem koje se proteže u interplanetarni prostor. Sunce također emitira električki nabijene čestice, promjenjivog vremenskog toka nazvane Sunčev vjetar (slika 2.1), koje teku u svemir i sa sobom nose heliomagnetsko polje. U dijelu magnetosfere najbližem Suncu, smjer Zemljinog magnetskog polja okomit je na nadolazeći Sunčev vjetar te djeluje kao štit otklanjajući dio električki nabijenih čestica Sunčevog vjetra duž magnetopauze. Magnetske oluje stvaraju interplanetarni uvjeti određeni Sunčevom aktivnošću. Sunčeva aktivnost manifestira se promjenom brzine Sunčevog vjetra koja uzrokuje titranje magnetosfere, a time i pripadne promjene magnetskog polja blizu Zemlje. Posebno značajne promjene magnetskog polja u blizini Zemlje mogu izazvati naleti Sunčevog vjetra odnosno tzv. izbacivanje koronalne mase. Nagle i nepravilne promjene geomagnetskih elemenata, izazvane magnetskim olujama intenzivnije su na višim geografskim širinama, a njihova učestalost povezana je s 11-godišnjem ciklusom Sunčeve aktivnosti.



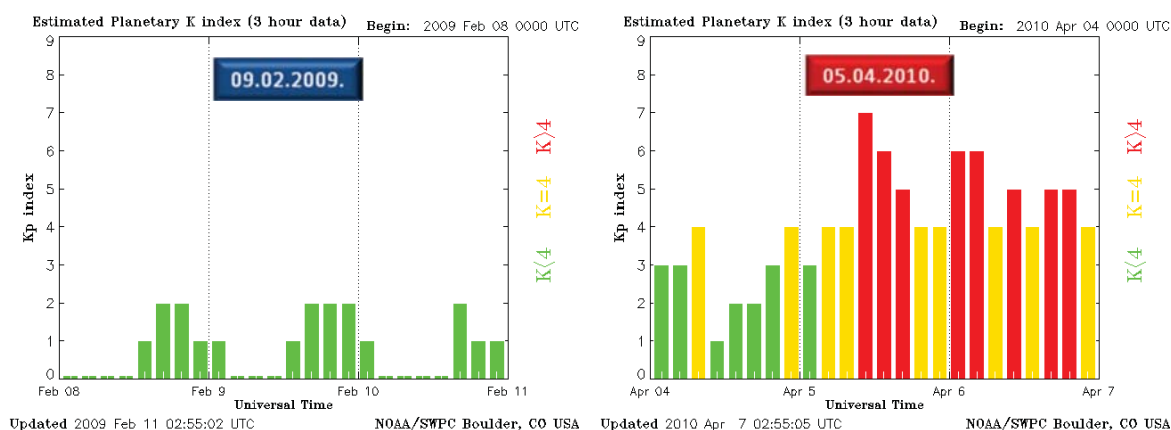
Slika 2.1: Prikaz magnetosfere (URL-1)

2.1 Indeks magnetskih smetnji

Magnetske oluje mogu utjecati na suvremenu tehnološku infrastrukturu. Kako je propagacija GNSS signala podložna ionosferskim uvjetima, koji su tijekom magnetskih oluja pogoršani uslijed zagrijavanja i izobličenja ionosfere, točnost GNSS-a može biti narušena. Glavni indeks geomagnetskih smetnji zove se K indeks koji dijeli aktivnost u 10 razina. Na pojedinim opservatorijima koji sudjeluju u proračunu (izračunu) K indeksa vrijednost raspona geomagnetske aktivnosti određuje se za svako trosatno razdoblje UTC vremenske skale. Planetarni indeks aktivnost tzv. Kp indeks izvodi se iz prosjeka izabranih opservatorijskih K vrijednosti (Brkić 2006). Ukoliko je vrijednost Kp indeksa veća od 4 govorimo o postojanosti magnetske oluje. Za vrijednosti Kp indeksa do 3 smatra se postojanost mirnog stanja magnetosfere.

U ovom radu provedena je analiza kvalitete GNSS signala za dan (9. veljače 2009.; preuzeta iz Rezo i Bačić 2009) s izrazito malom aktivnošću atmosfere (tzv. „mirni dan“, $K_p < 3$) i za dan s izrazitom aktivnošću magnetosfere (5. travanj 2010.) pri $K_p > 3$ (slika 2.2).

U dosadašnjim istraživanjima utjecaja magnetosferske aktivnosti na kvalitetu GNSS signala razvidan je utjecaj geomagnetskih oluja na većim geografskim širinama posebno detektiran u odnosu signala i šuma (S/N) i broju *cycle slip*-ova na L1 i L2) dok je na srednjim geografskim širinama taj utjecaj gotovo neprimjetan i zanemariv (Arslan i Demirel 2007). Na spomenute kriterije kvalitete obratit će se posebna pozornost prilikom analize.



Slika 2.2 : Dan s „mirnim“ (lijevo) i „burnim“ (desno) stanjem magnetosfere (URL-2)

3. Analiza kvalitete vremenski nezavisnih GNSS signala

Cilj analize u ovom radu je ispitati kvalitetu pojedine CROPOS CORS stanice prema sljedećim kriterijima (Rezo i Bačić 2009):

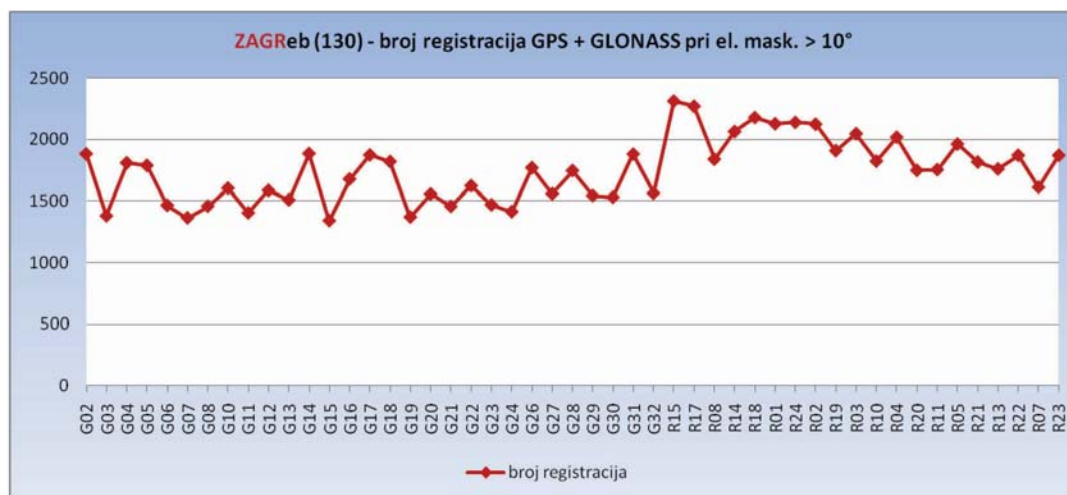
- prosječnom broju registracija GPS-a i GLONASS-a te % ukupne registracije
- efektu multipath-a na L1 i L2 s obzirom na definiranu elevacijsku masku i elevaciju satelita
- odnos signala i šuma (S/N)
- pojavi cycle slip-ova

te odgovoriti na pitanje: „Da li je moguće, na temelju dviju neovisnih analiza, korelirati navedene kriterije s aktivnošću u magnetosferi?“. S obzirom na obim same analize koja uključuje 30 CROPOS stanica, u nastavku rada biti će prikazani rezultati za CROPOS CORS stanicu ZAGReb (130) za dan 05.04.2010. kao i komparacija s rezultatima za dan 09.02.2009. (iz Rezo i Bačić 2009), koja se nalazi na zgradi Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Ulazni parametri za analizu bile su GPS i GLONASS RINEX sirove datoteke mjerenja i pripadne navigacijske poruke (*.100, *.10n, *.10g) pri elevacijskoj maski od 10 stupnjeva i intervalu registracije od 15 sekundi (zbog arhiviranja CROPOS podataka). Datoteke mjerenja sadržavale su podatke trenutno dvaju integriranih sustava: P1 ili C/A, P2, L1, L2 i L2C kod GPS-a. Analiza je provedena primjenom UNAVCO TEQC softvera.

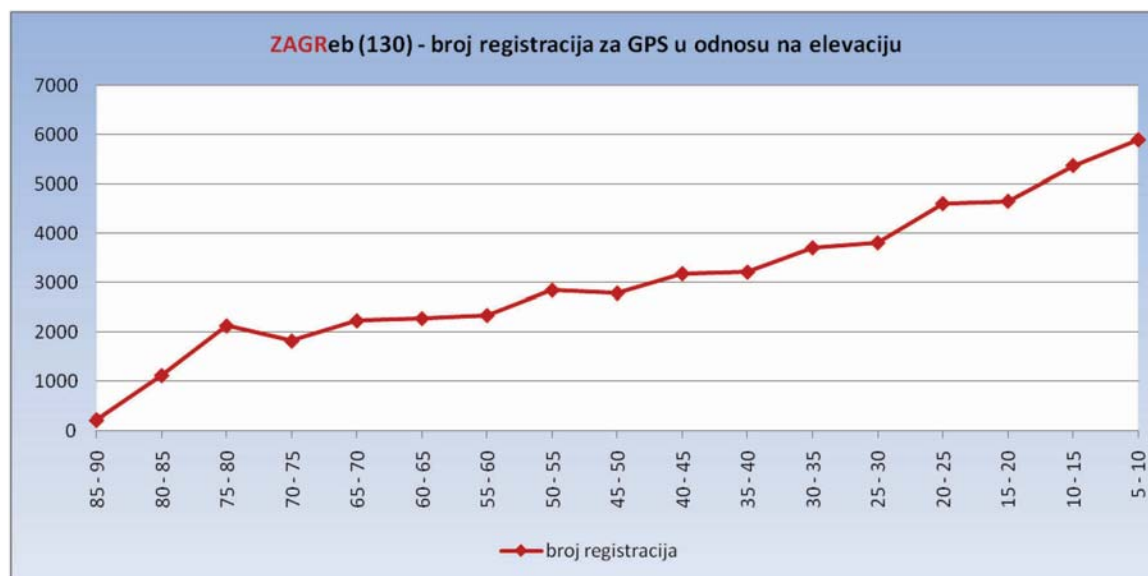
3.1 Prosječan broj registracija

Kao značajan pokazatelj kvalitete stanice POS sustava je broj registriranih podataka za GPS i GLONASS. Za stanicu ZAGReb (130) dana 05.04.2010. ukupno je registrirano 49 satelita (29 GPS + 20 GLONASS) s ukupnim brojem (za elevacijsku masku od 10° i interval registracije od 15 sekundi) od 85533 (50880 GPS + 34563 GLONASS) podataka što čini 100% registracija (omjer ostvarene i očekivane registracije). Na slici 3.1 grafički je prikazan ukupni broj registracija za GPS i GLONASS pri elevacijskoj maski od 10°. GPS sateliti ispred PRN (engl. *Pseudo-random number*) broja imaju oznaku „G“ dok GLONASS sateliti imaju oznaku „R“.



Slika 3.1: Ukupan broj registracija za GPS i GLONASS za CROPOS stanici ZAGReb (130) pri elevacijskoj maski od 10°

Zbog kutnog nagiba orbitalnih ravnina ovih dvaju sustava najveći broj registriranih podataka otpada na elevacije od 10° - 45° . Na slici 3.2 grafički je prikazan broj registracija kod GPS-a u ovisnosti o elevaciji. Posebno je bitno naglasiti da su registrirani podaci unutar navedenog intervala najizloženiji refleksijama signala tj. pojavi višestruke putanje signala (engl. *Multipath*) što će u nastavku rada pokazati direktna korelacija kod ispitivanja srednjeg kvadratnog odstupanja (engl. *Root mean square*) *multipath*-a na L1 i L2 frekvencijama.



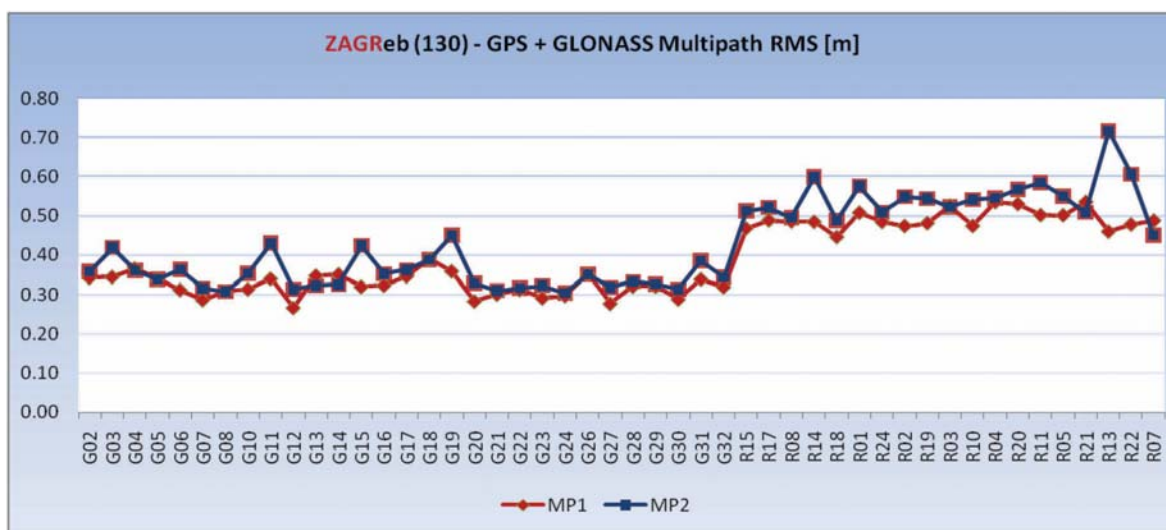
Slika 3.2: Broj registriranih podataka kod GPS-a za CROPOS stanicu ZAGReb (130) u odnosu na elevaciju

3.2 Višestruka refleksija signala i postotak registracije podataka

Do efekta pojave višestruke putanje signala dolazi kada signal pojedinog satelita različitim putanjama pristiže u fazni centar GNSS antene. *Multipath* može biti izazvan refleksijom signala od uglačanih površina u blizini antene ili sekundarno od satelita u trenutku transmisije

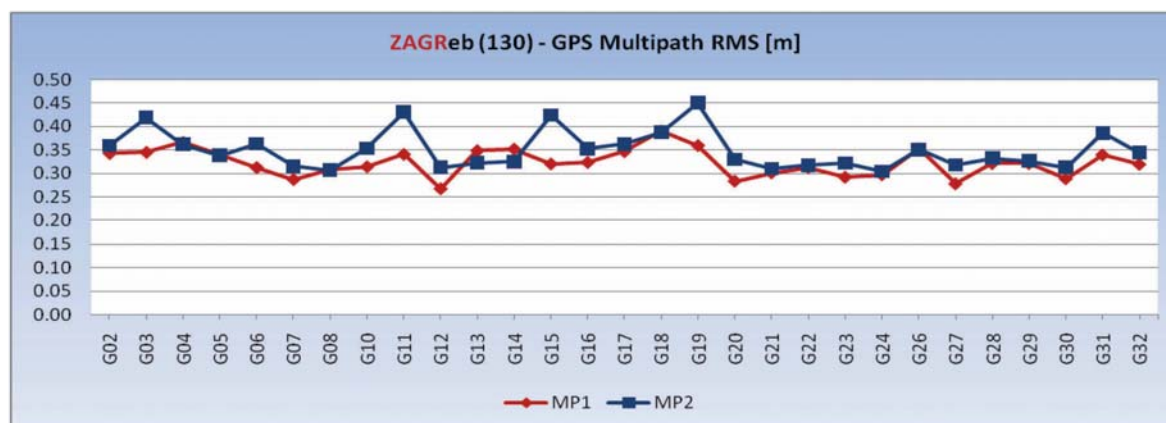
signala (Bačić i Bačić 1998). Razlika u udaljenosti uzrokuje interferenciju signala i odražava se u opažanju pseudoudaljenosti pogreškom na L1 i L2 označenom s MP1 i MP2. Kako signal satelita koji nije stigao do faznog centra antene najkraćom putanjom, uzrokuje fazni pomak, tako su fazne razlike proporcionalne razlici u duljini putanje. *Multipath* utječe i na fazna i na kodna mjerenja te može prouzročiti povećanje ili smanjenje mjerene pseudoudaljenosti. Detaljni izvod izraza za računanje utjecaja *multipath*-a vidi u Rocken i dr. 1995.

Računanje vrijednosti MP1 i MP2 provedeno je za sve GPS i GLONASS satelite te su iskazane kao srednje kvadratno odstupanje (RMS) iz ukupnog broja registracija za dan 05.04.2010. Na slici 3.3 prikazana su srednja kvadratna odstupanja MP1 i MP2 za sve registrirane satelite oba sustava za pozicioniranje u danu testiranja. Srednja kvadratna odstupanja za MP1 i MP2 kod GPS-a u prosjeku su manja od 0.50 m, dok su kod GLONASS sustava veća od 0.50 m.



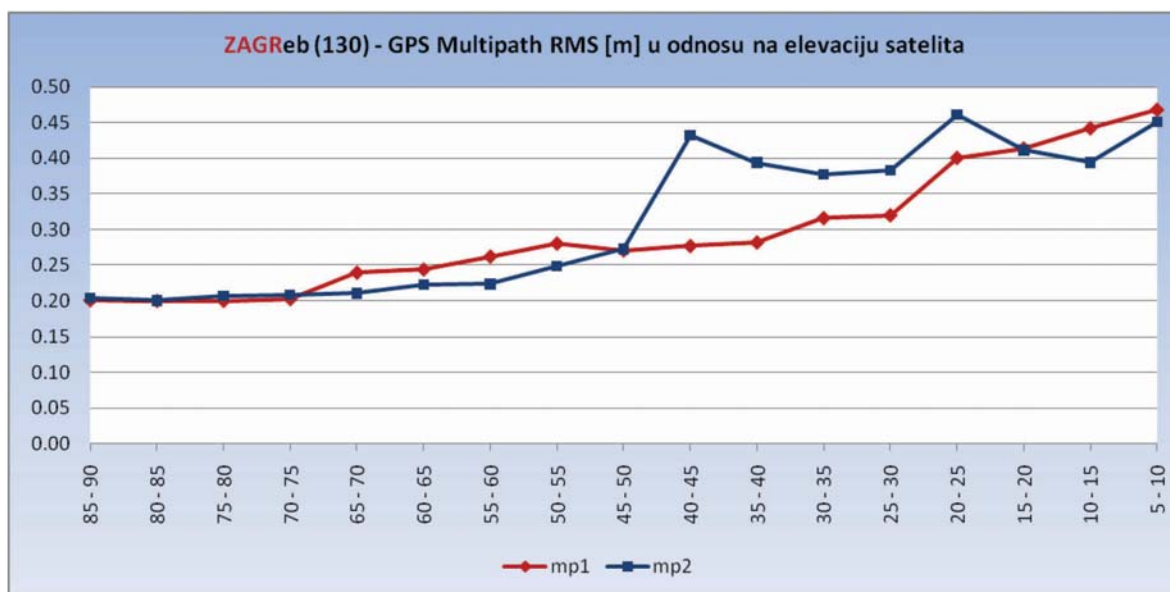
Slika 3.3: Srednje kvadratno odstupanje na MP1 i MP2 za GPS i GLONASS satelite za CROPOS stanicu ZAGReb (130)

Promatraju li se srednja kvadratna odstupanja na MP1 i MP2 samo za GPS sustav (slika 3.4), uočava se njihova konstantna isprepletenost gotovo kod svih satelita. Uz 100% registraciju podatka na stanici ZAGReb (130) srednja kvadratna odstupanja *multipath*-a na L1 i L2 (MP1 = 0.44 m, MP2 = 0.40 m) mogu ukazivati na prisustvo reflektirajućih ploha u krugu antene.



Slika 3.4: Srednje kvadratno odstupanje na MP1 i MP2 za GPS i GLONASS satelite za CROPOS stanicu ZAGReb (130)

Na slici 3.5 prikazana je korelacija multipath-a s elevacijama satelita iz koje se jasno vidi porast srednje kvadratne vrijednosti multipath-a na L1 i L2 u području elevacije do 45° što ukazuje na osjetljivost signala niskoletućih satelita na reflektirajuće plohe u blizini antene.



Slika 3.5: Korelacija multipath-a na L1 i L2 s elevacijama satelita na CROPOS stanici ZAGreb (130)

U tablici 3.1 dan je prikaz postotka registriranih podataka u odnosu na teorijski broj mogućih registracija i vrijednosti multipath-a na L1 i L2 za sve stanice CROPOS mreže za dane 09.02.2009. i 05.04.2010.

Tablica 3.1: Postotak registriranih i vrijednosti multipath-a na L1 i L2 za sve stanice CROPOS mreže za dane 09.02.2009. i 05.04.2010.

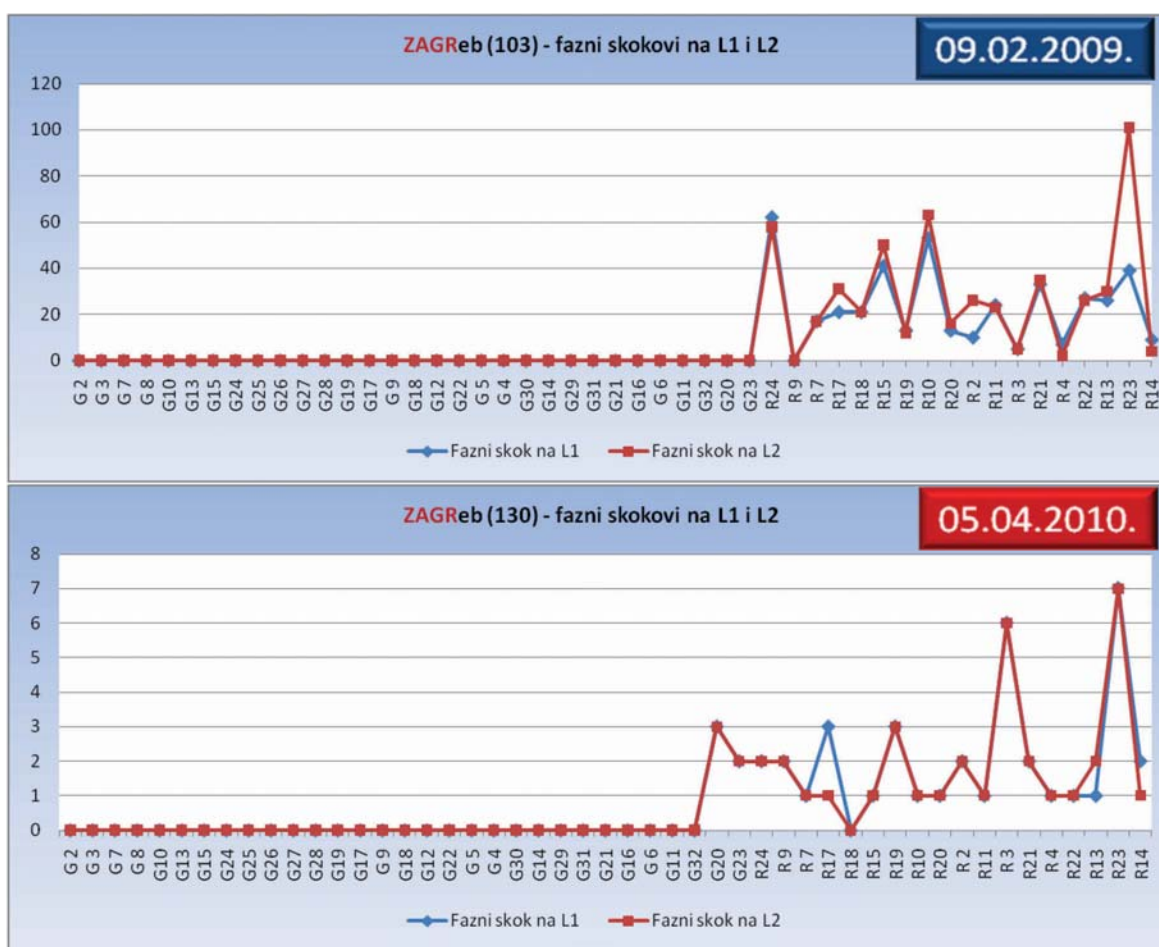
Lokacija	4 ID	No	%	09.02.2009.		%	05.04.2010.	
				RMSmp1 [m]	RMSmp2 [m]		RMSmp1 [m]	RMSmp2 [m]
Bjelovar	BJEL	101	100	0.35	0.38	100	0.36	0.42
Blato	BLAT	124	98	0.36	0.37	98	0.37	0.41
Čakovec	CAKO	102	100	0.35	0.39	100	0.36	0.44
Delnice	DELN	123	100	0.40	0.45	100	0.44	0.55
Dubrovnik	DUBR	122	94	0.37	0.39	94	0.37	0.42
Gospić	GOSP	121	100	0.41	0.51	100	0.43	0.56
Gračac	GRAC	112	100	0.36	0.44	100	0.37	0.47
Imotski	IMOT	127	96	0.38	0.46	96	0.40	0.48
Karlovac	KARL	120	100	0.34	0.39	100	0.36	0.43
M. Lošinj	MALI	119	100	0.40	0.52	100	0.43	0.58
Metković	METK	129	100	0.35	0.42	100	0.37	0.45

Lokacija	4 ID	No	09.02.2009.				05.04.2010.	
			%	RMSmp1 [m]	RMSmp2 [m]	%	RMSmp1 [m]	RMSmp2 [m]
Našice	NASI	103	100	0.44	0.52	100	0.46	0.57
Novska	NOVS	104	100	0.39	0.44	100	0.41	0.48
Poreč	PORE	118	100	0.46	0.59	100	0.48	0.62
Požega	POZE	105	100	0.34	0.39	100	0.36	0.45
Pula	PULA	125	100	0.41	0.47	100	0.42	0.46
Rijeka	RIJE	126	100	0.36	0.44	100	0.37	0.47
Senj	SENJ	117	98	0.38	0.43	97	0.39	0.46
Šibenik	SIBE	113	100	0.34	0.39	100	0.35	0.41
Sisak	SISA	114	100	0.47	0.62	100	0.50	0.67
Slatina	SLAT	106	99	0.41	0.46	99	0.43	0.50
Slunj	SLUN	116	100	0.37	0.46	99	0.38	0.50
Split	SPLI	115	100	0.35	0.37	100	0.36	0.40
Valpovo	VALP	107	100	0.40	0.47	100	0.40	0.50
Vis	VISO	128	98	0.51	0.45	100	0.45	0.47
Vukovar	VUKO	108	100	0.40	0.54	100	0.44	0.61
Zabok	ZABO	109	100	0.38	0.47	100	0.40	0.51
Zadar	ZADA	111	100	0.34	0.39	100	0.35	0.41
Zagreb	ZAGR	130	100	0.45	0.42	100	0.40	0.44
Županja	ZUPA	110	99	0.43	0.51	99	0.45	0.57

Uspoređujući međusobno dane vrijednosti u tablici 3.1 za testirane dane postotci registracija ukazuju na nedostatak podataka za stanice DUBROVNIK (94%) i IMOTSKI (96%) što nužno ne mora ukazivati na loš odabir lokacije jer su srednja kvadratna odstupanja multipath-a na L1 i L2 unutar granica prihvatljivog. Visoke vrijednosti rms-a za MP1 i MP2 uočene su kod stanica SISAK i POREČ za oba testirana dana što ukazuje na prisutnost reflektirajućih ploha u neposrednoj blizini GNSS antena.

3.3 Fazni skokovi

Fazni skok je primjetan i iznenađan skok u cjelobrojnom broju valnih duljina prilikom određivanja ambiguiteta. Nastaje gubitkom ili prekidom signala na putu od satelita do faznog centra antene. Gubitak ili prekid signala očituje se između intervala registracije dviju epoha i može se pojaviti za više od jednog registriranog satelita u istoj vremenskoj epohi. Gubitak ili prekid signala može biti uzrokovan ionosferskom aktivnošću, neispravnom obradom signala u prijemniku i niskom vrijednošću odnosa signala i šuma (S/N.) Pojavu faznih skokova potrebno je eliminirati u naknadnoj obradi (engl. *Post processing*) GNSS mjerenja. Na slici 3.6 prikazani su fazni skokovi na L1 i L2 za testirane dane 09.02.2009. i 05.04.2010. za GPS i GLONASS satelite na CROPOS stanici ZAGREB (130).

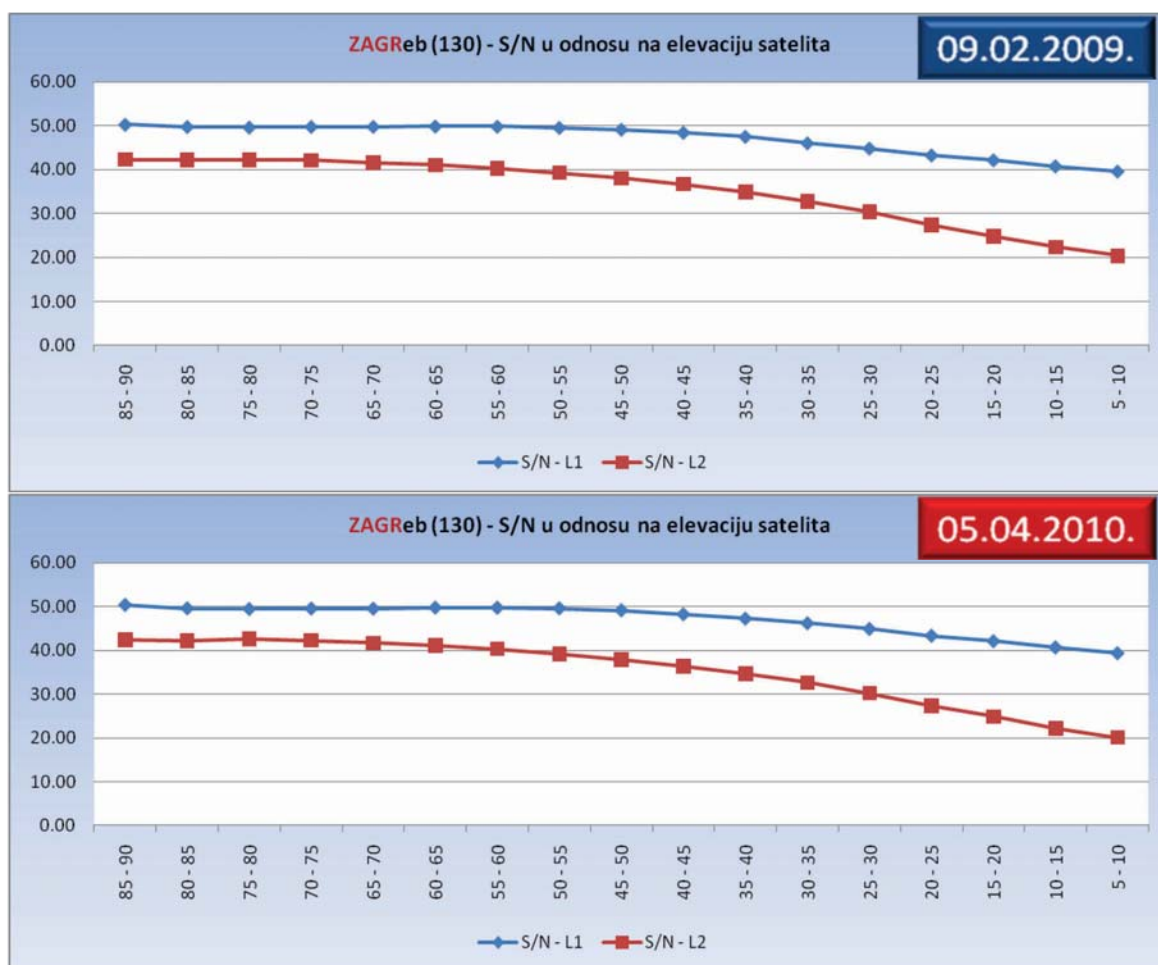


Slika 3.6: Fazni skokovi na L1 i L2 za dane 09.02.2009. (gore) i 05.04.2010. (dolje) na CROPOS stanici ZAGReb (130)

Usporede li se brojčano, fazni skokovi za dan „mirnog“ stanja magnetosfere 09.02.2009. i za dan „burnog“ stanja magnetosfere 05.04.2010. nije moguće uspostaviti korelaciju između Sunčeve aktivnosti, odnosno njegovog utjecaja na ionosferu i pojavu faznih skokova. Iz slike 3.6 vidljivo je da gotovo ni jedan GPS satelit ne bilježi fazni skok dok su oni vidljivi većinom na GLONASS satelitima. Ovaj pokazatelj ukazuje na dokaz da je Sunčeva aktivnost i njegov utjecaj na GNSS signal zanemariv kada govorimo o područjima srednjih geografskih širina (Arslan i Demirel 2007) kako što je teritorij Republike Hrvatske.

3.4 Odnos signala i šuma

Odnos signala i šuma u biti predstavlja omjer signala i šuma (engl. *Signal to noise ratio* - SNR ili S/N). Što je ovaj omjer veći to je kvaliteta prijema GNSS signala bolja i obrnuto. Omjer se iskazuje u decibelima (dB). Na šum signala utječu atmosferske promjene na putu signala od satelita do antene prijemnika, udaljenost satelit-prijemnik i elevacija satelita. Jačina signala opada s elevacijom satelita (slika 3.7), odnosno sateliti s višom elevacijom imaju veći omjer signala i šuma i obrnuto.



Slika 3.7: Omjeri signala i šuma na L1 i L2 za dane 09.02.2009. (gore) i 05.04.2010. (dolje) na CROPOS stanici ZAGreb (130)

Na slici 3.7 prikazani su omjeri signala i šuma na L1 i L2 za testirane dane 09.02.2009. i 05.04.2010. za GPS i GLONASS satelite u ovisnosti o elevaciji satelita. Signal na L1 je zbog svoje valne duljine konstantniji u odnosu na L2, a time je odnos signala i šuma na L2 nosaču u pravilu manji za oko 20% od omjera na L1. Usporede li se grafički prikazi na slici 3.7 za testirane dane „mirnog“ i „burnog“ stanja magnetosfere na stanici CROPOS mreže ZAGreb (130) nije moguće uspostaviti korelaciju između Sunčeve aktivnosti jer vrijednosti omjera signala i šuma gotovo koincidiraju za oba dana. Ova koincidencija ponovno ukazuje na zanemarivost utjecaja Sunčeve aktivnosti na propagaciju GNSS signala u područjima srednjih geografskih širina (Arslan i Demirel 2007).

4. Zaključak

Provedena analiza u ovom radu za dane „mirnog“ (09.02.2009.) i „burnog“ (05.04.2010.) stanja u magnetosferi nije pokazala korelaciju Sunčeve aktivnosti s kvalitetom i propagacijom GNSS signala na testiranom području. Dobiveni rezultati potvrđuju činjenici o malom utjecaju magnetosferske aktivnosti na GNSS signal u područjima srednjih geografskih širina kao što je teritorij Republike Hrvatske. Rezultati i zaključci u ovom radu još jednom upućuje na kvalitetu i stabilnost CROPOS-a te najavljuju daljnju analizu kvalitete CROPOS mreže s ciljem pružanja još kvalitetnije usluge njenim korisnicima.

5. Literatura

Arslan N., Demirel, H., (2007): *The effects of geomagnetic storms on ionosphere and GPS signals*, Turkish national geodetic commission scientific meeting, METU, 14-16 November 2007.

Bačić, Ž., Bašić, T. (1998): *Satelitska geodezija II*. Interna skripta. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

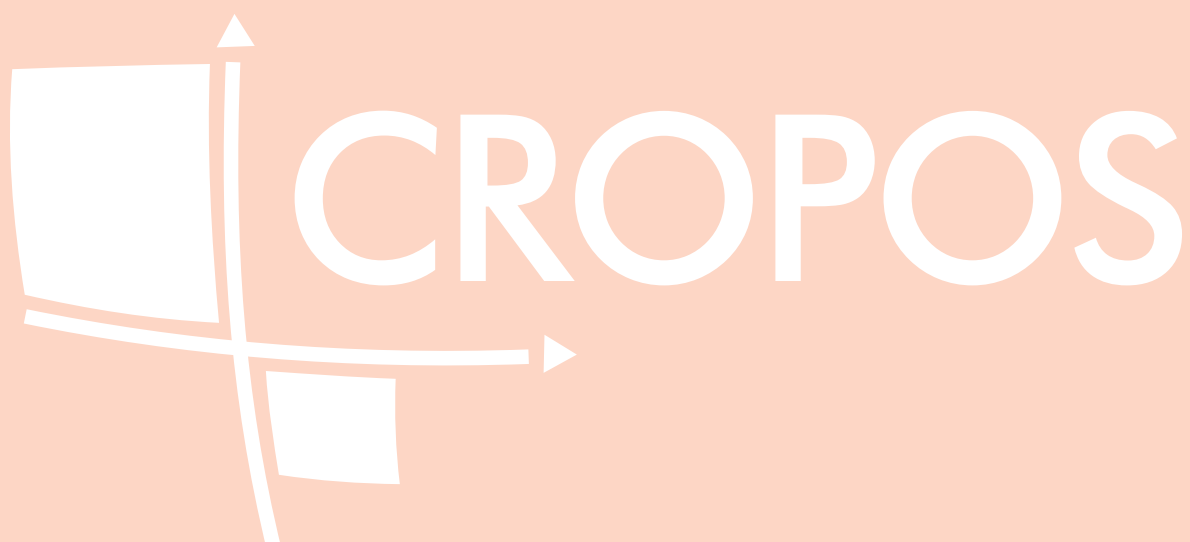
Brkić, M. (2006): *Geomagnetizam*. Interna skripta. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Rezo, M., Bačić, Ž. (2009): *CROPOS-kvaliteta sustava*. Zbornik radova simpozija ovlaštenih inženjera geodezije: "Geodezija i geoinformatika u projektiranju, izgradnji i upravljanju državom i komunalnom infrastrukturom". Urednik: Danko Markovinović. Zagreb : Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, 2009. str. 162-170.

C. Rocken, C. Meertens, B. Stephens, J. Braun, T. VanHove, S. Perry, O. Ruud, M. McCallum, J. Richardson (1995): *UNAVCO Academic Research Infrastructure (ARI) Receiver and Antenna Test Report*.

URL-1: <http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=41918> (08.05.2011.)

URL-2: <http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse.html> (08.05.2011.)



STATIKA ili VRS?

**Ilija GRGIĆ¹, Maro LUČIĆ², Ivan MALOVIĆ³,
Davor KRŠULOVIĆ⁴, Tomislav BAŠIĆ⁵**

Sažetak

Visoka preciznost i pouzdanost uspostavljene mreže nacionalnih referentnih GNSS (Globalni navigacijski satelitski sustav) stanica CROPOS (Croatian Positioning System) i servisi koji se nude u okviru nje se danas mogu vrlo dobro iskoristiti i u znanstvenom segmentu gdje se traže najveći zahtjevi preciznosti. U okviru projekta prijenosa visina s kopna na otoke južnog Jadrana uspostavljeno je niz mikromreža koje zajedno s otočnim nivelmanskim mrežama čine jedan zatvoreni nivelmanski poligon. Mreže su položajno i visinski izjednačavane na temelju statičkih mjerenja u odnosu na najbliže referentne stanice. Osim toga, one su izjednačene u odnosu na generirane virtualne referentne stanice. Rad ima za cilj prezentirati razlike između postojećih rješenja te dati odgovor na pitanje koje od njih bolje odgovara realnom stanju.

1. Uvod

Posebnu problematiku u obnovi referentnog visinskog sustava čini ustroj i obnova otočkih nivelmanskih mreža i njihovog povezivanja s kopnenim dijelom visinskog sustava. Otočki dio bi trebalo u okviru obnove visinskog sustava konfiguracijski čvrsto vezati s kopnom, postojeće otočke nivelmane uz eventualni redizajn konfiguracije uvažavajući nove infrastrukturne pravce potrebno je ponovno nivelirati i primjerenom metodom ponovno povezati s kopnenim dijelom sustava. Određivanje visinskih razlika između otoka i kopna te otoka i otoka je specifična problematika koja se u ovisnosti o željenoj točnosti dijelom može riješiti primjenom kombiniranih mjerenja trigonometrijskim, GNSS i geometrijskim nivelmanom. Za potrebe određivanja visinskih razlika između kopna i otoka te otoka i otoka u svrhu definiranja jednog zatvorenog nivelmanskog poligona uspostavljeno je niz mikromreža. Sam prijenos visina obavljao se na mjestima koja najviše odgovaraju osnovnim zahtjevima plana mjerenja: najkraća udaljenost između obala, međusobno dogledanje točaka mikromreže, približno ista nadmorska visina točaka, lokacija pogodna za GNSS mjerenja i blizina repera referentnog visinskog sustava.

Pri izvođenju projekta prikupljena je velika količina podataka koji mogu poslužiti za razne analize. U ovom radu su na osnovu realiziranih GNSS mjerenja na šest mikromreža uspoređena rješenja izjednačenja s obzirom na to da li su koordinate mikromreža određene u

¹ Dr. sc. Ilija Grgić, Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb; e-mail: ilija.grgic@cgi.hr

² Maro Lučić, Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb; e-mail: maro.lucic@cgi.hr

³ Ivan Malović, Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb; e-mail: ivan.malovic@cgi.hr

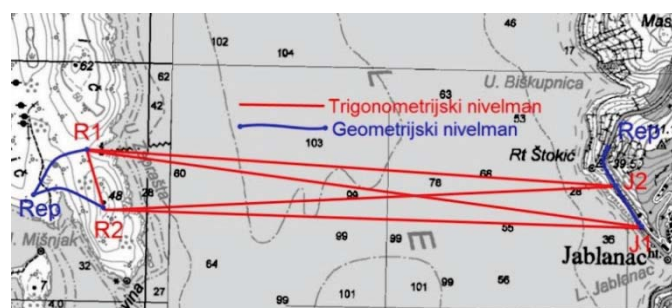
⁴ Davor Kršulović, Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb; e-mail: davor.krsulovic@cgi.hr

⁵ Prof. dr. sc. Tomislav Bašić, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: tomlav.basic@geof.hr

odnosu na CROPOS-ove referentne stanice ili generirane virtualne referentne stanice (VRS) u blizini lokacije mikromreža.

2. Uspostava mikromreža za prijenos visina

Zahtjevi točnosti pri prijenosu visina s kopna na otoke, su u fazi realizacije projekta podrazumijevali uspostavu i izgradnju geodetskih mikromreža, koje su trebale ispuniti neke posebne zahtjeve. Iz tog razloga su svi uobičajeni geodetski radovi koji su izvođeni za potrebe uspostave mikromreža, terestrička mjerenja pravaca (triangulacija), duljina (trilateracija), nivelmanskih vlakova, te metode satelitskog pozicioniranja (određivanja koordinata), obavljani tako da se zahtjev točnosti ne dovede u pitanje. Zbog posebnosti i specifičnosti projekta, jer se njime ne prenosi samo visina na otoke nego i uspostavljaju kalibracijske točke za potrebe poboljšanja apsolutne orijentacije modela geoida na otocima, bilo je nužno brižljivo pripremiti terenska mjerenja, kako bi ulazni podaci za uredsku obradu i interpretaciju podataka bili što kvalitetniji (Grgić 2011).

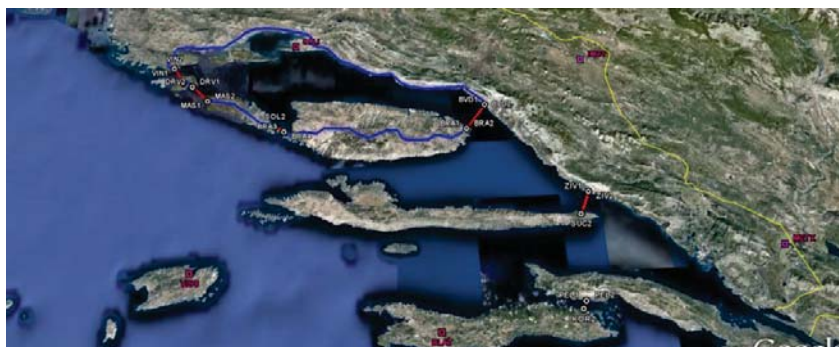


Slika 1: Primjer geodetske mikromreže za prijenos visina

Položaj točaka odabran je tako da se točke mikromreže međusobno dogledaju, i to dvije na suprotnoj strani obale i jedna na strani stajališta s kojeg se mjeri jer je to osnovni kriterij koji mora biti ispunjen da bi bilo moguće izvesti terestrička mjerenja. Na toj osnovi uspostavljen je geodetski četverokut kao najjednostavniji oblik geodetske mreže, koji se u mikromrežama srednjeg i sjevernog Jadrana pokazao kao dovoljno dobro rješenje (slika1) (Grgić i dr.).

Udaljenosti između točaka mikromreže u ovisnosti o pojedinoj lokaciji na kojoj se prebacivala visina iznosile su od 1700 do 6900 m. Veze kopna s otocima ostvarene su na sljedećim lokacijama (prikazane su i prosječne udaljenosti između obala):

- Vinišće (kopno) – Drvenik (Drvenik Veli); [4,2 km]
- Gornje Selo (Šolta) – Milna (Brač); [5,1 km]
- Drvenik (otok) - Maslinica (Šolta); [2,3 km]
- Selca (Brač) – Baška Voda (kopno); [6,9 km]
- Živogošće (kopno) – Sućuraj (Hvar); [5,1 km]
- Orebić (Pelješac) – Korčula; [1,7 km]



Slika 2: Uspostavljene mikromreže za prijenos visina (crveno) i put geometrijskog nivelmana (plavo)

Geometrija mikromreža, budući da je visinska komponenta bila od primarnog a položajne koordinate od sekundarnog značaja, prilagođavana je uglavnom postojećim uvjetima i trebala je ispuniti nekoliko kriterija: da točke mikromreža budu što bliže prometnici, da budu povoljne za terestrička i GNSS mjerenja, da točke s kopnene strane budu što bliže reperu iz državnog visinskog sustava. Sam odabir lokacija točaka ovisio je o iskustvu stručnjaka koji su obavili rekognosciranje terena. Teoretski gledano puno je mogućih rješenja za odabir lokacije točke, ali u praksi zbog brojnih ograničenja samo je mali broj onih lokacija koje su u svemu odgovarale postavljenim zahtjevima. Na slici 2 prikazane su lokacije uspostavljenih veza.

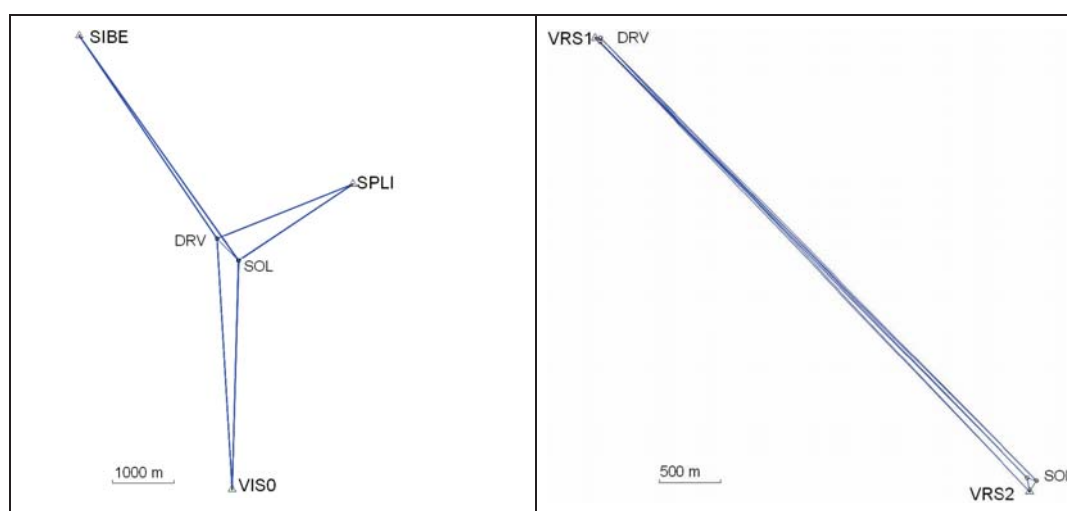
3. Obrada i izjednačenje mjerenja

Mjerenje točaka GNSS metodom u uspostavljenim mikromrežama obavljeno je jednostrukim zaposjedanjem točaka tijekom dana u različitim vremenskim okvirima, što je ovisilo o vremenu dolaska na lokaciju. Izbjegavani su vremenski intervali s najlošijom geometrijom satelita. Duljina trajanja sesije iznosila je približno oko 1 sata. Sve točke mikromreža, nisu vezane za postojeće stabilizirane referentne točke, budući da je projektom zamišljeno da se one izjednačavaju korištenjem CROPOS servisa. Mjerenja, obrada i izjednačenje mikromreža provedena su prema kriterijima iz tablice 1.

Tablica 1. Parametri za mjerenje i obradu GNSS podataka

MJERENJA	OBRADA PODATAKA
točke su opažane dvofrekvencijskim GNSS uređajima istog proizvođača (Trimble R7 i R8)	softver za obradu: <i>Trimble Business Centre</i> ver.1.12
statička metoda	vektori obrađeni i optimirani tako da zadovolje kriterije softvera za prihvaćanje rješenja vektora (<i>Ratio, Reference Variance</i>)
elevacijska maska: 5°	korištenje preciznih efemerida
interval registracije: 10 sekundi	izjednačenje je moralo zadovoljiti statističke testove (Chi-kvadrat test)
vrijeme opažanja: oko 1h	ocjena točnosti izjednačenih mjerenja dana uz vjerojatnost od 95%

Sva izjednačenja mikromreža obavljena su korištenjem specijaliziranog programskog sustava Trimble Business Centre, po metodi najmanjih kvadrata, pri čemu su primijenjene standardne postavke softvera. Mjerenja su obavljena u razdoblju od 14. do 22. rujna 2010., te su za realizirane epohe preuzeti podaci s CROPOS-ovog web servera (www.cropos.hr). Kao što je poznato CROPOS nudi GPPS (Geodetski precizni servis pozicioniranja) namijenjen za određivanje geodetske osnove, referentnih sustava te znanstvena i geodinamička istraživanja primjenom *post-processing*-a. Pri tom je moguće preuzeti podatke referentnih stanica (RINEX) ili proizvoljno generirati virtualnu referentnu stanicu na željenoj lokaciji i epohi mjerenja (VRS RINEX)⁶. Za svaku od šest mreža preuzeti su RINEX podaci tri najbliže referentne stanice CROPOS-a, te su generirane po dvije virtualne stanice, po jedna na svakoj obali. Na slici 3 prikazane su referentne točke za mrežu Drvenik – Šolta.



Slika 3: Preuzeti RINEX (lijevo) i VRS (desno) podaci za mikromrežu Drvenik - Šolta

Mreže su se izjednačile u odnosu na referentne stanice: SIBE, SPLI, VIS0, METK i BLAT. Svaka mreža je izjednačena pet puta u ovisnosti o broju i načinu generiranja referentnih stanica, kao što je prikazano u tablici 2, te su sve mreže izjednačene na identičan način korištenjem jednakih parametara i postavki softvera. Treba napomenuti da je prosječna dužina između najudaljenijih točaka pojedine mikromreže kod VRS izjednačenja oko 4 km, dok je najveća dužina između točaka mreže Baška Voda – Brač (6,9 km). S obzirom da su sve točke opazane prosječno oko 60 min, optimiranje i procesiranje nije bilo problematično te su svi vektori uspješno obrađeni. Kod izjednačenja mreža s obzirom na referentne stanice CROPOS-a, optimiranje je izvršeno podizanjem ili spuštanjem elevacijske maske, skraćivanjem prozora opažanja, izbacivanjem *cycle slipova* ili eliminiranjem nezdravih satelita.

Tablica 2. Vrste izjednačenja mikromreža s obzirom na broj i način generiranja stanica

STATIKA	VRS
tri najbliže referentne stanice (STATIKA3)	dvije generirane VRS stanice (VRS2)
dvije najbliže referentne stanice (STATIKA2)	jedna generirana VRS stanica (VRS1)
najbliža referentna stanica (STATIKA1)	

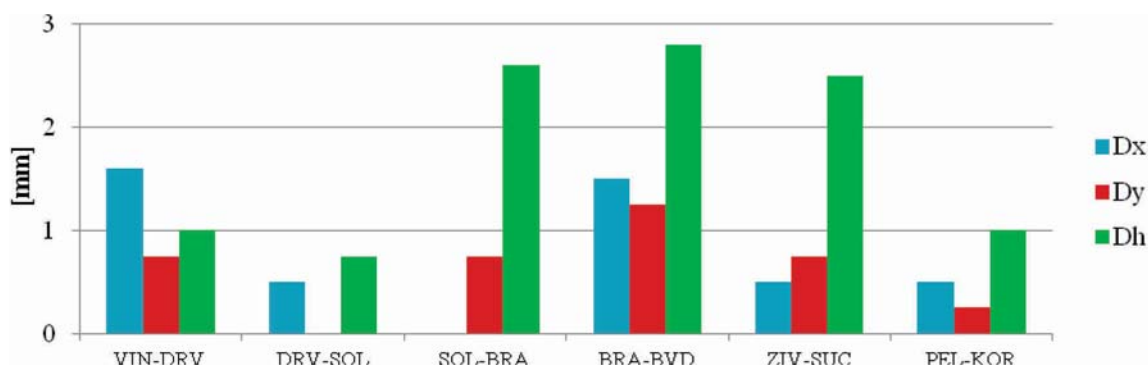
⁶ u radu se podaci referentnih stanica nazivaju "statika", a virtualno generirane baze "VRS"

4. Analiza rezultata

Nakon provedenog izjednačenja u odnosu na referentne stanice iz CROPOS mreže te izjednačenja u odnosu na VRS stanice pristupilo se analizi dobivenih rezultata. Rezultat izjednačenja su elipsoidne koordinate s ocjenom točnosti položaja i visina točaka mikromreže.

4.1. Usporedba VRS rješenja

Prvi podaci koji su se analizirali odnose se na rezultate dobivene VRS izjednačenjem, u ovisnosti da li je u mrežu uključena jedna ili dvije VRS baze. Razlike koordinata između ova dva rješenja po svim osima prikane su na slici 4.



Slika 4: Razlike izjednačenja mreža s obzirom na dvije VRS baze ili jednu

Prosječne razlike za položaj su oko 1 mm, dok za visinsku komponentu one iznose 2 mm. Na svim mrežama razlike elipsoidnih visina su izraženije u odnosu na položajne razlike. U tablici 3 dati su statistički pokazatelji dobivenih razlika.

Tablica 3. Stat. pokazatelji (VRS2-VRS1)

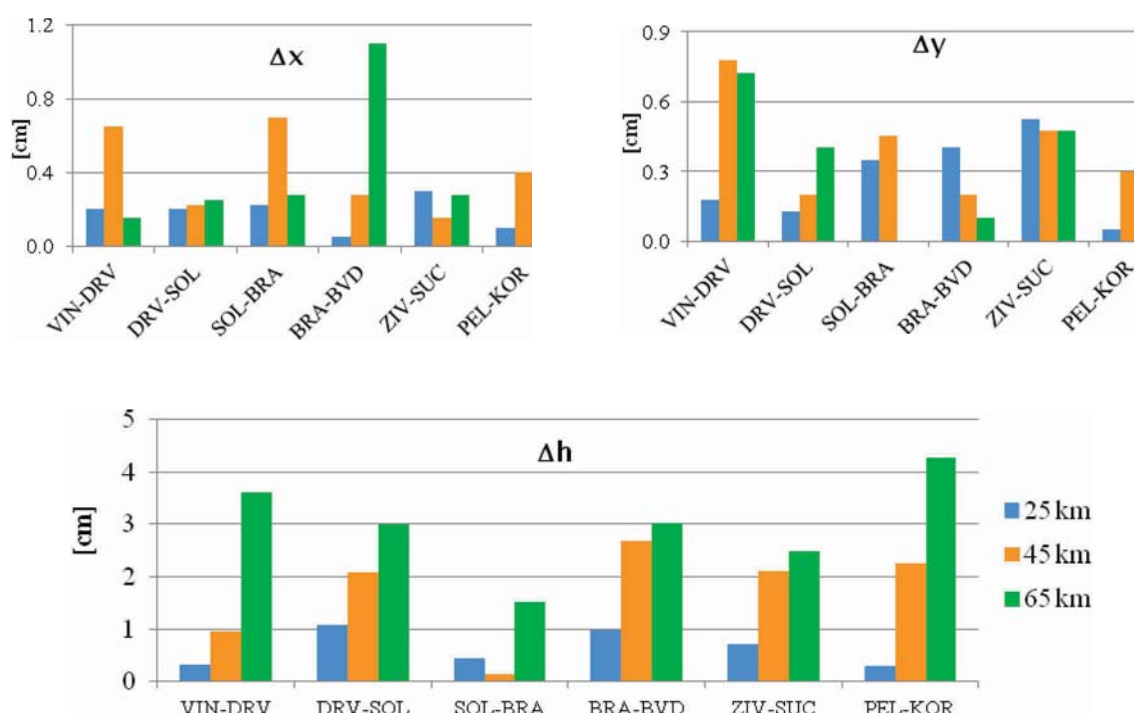
	Δx [mm]	Δy [mm]	Δh [mm]
SREDINA	1	1	2
ST. ODST.	1	0	1
MAKS.	2	1	3
MIN.	0	0	1
RASPON	2	1	2

Može se uočiti da je najveća razlika elipsoidnih visina u mreži Brač – Baška Voda i iznosi 2.9 mm. U istoj mreži dobivene su i najveće položajne razlike, pa se može zaključiti da kvaliteta GNSS opažanja nije bila najbolja. Ipak, rezimirajući sve rezultate, može se konstatirati da je za mreže s međusobnim udaljenostima točaka većim od 5 km, u kojima se traži visoka točnost, bolje generirati dvije VRS baze, po jednu sa svake strane mreže.

4.2. Izjednačenje mreže u ovisnosti o udaljenosti referentne stanice

Kako je već navedeno, preuzeti su podaci CROPOS-ovih referentnih stanica, i to za svaku mrežu po tri najbliže. Uzimajući u obzir prosječne vrijednosti, udaljenosti između pojedine mreže i najudaljenije, druge udaljene ili najbliže referentne stanice iznose 65, 45 ili 25 km. Sve mreže su izjednačene u odnosu na jednu referentnu stanicu i to tri puta, računajući svaki

put sa drugom. Dobivene koordinate su uspoređene s VRS rješenjem s dvije generirane stanice (VRS2) koje je u ovoj analizi korišteno kao referentno. Intencija ove analize bila je pokazati koliko se koordinate mijenjaju s obzirom na udaljavanje postojeće referentne stanice CROPOS-a od uspostavljene mikromreže.



Slika 5: Položajne i visinske razlike VRS1 - STATIKA1 s obzirom na udaljenost referentne stanice

Na slici 5 grafički su prikazane razlike između VRS1 rješenja i rješenja u odnosu na jednu referentnu stanicu s obzirom na udaljenost od 25, 45 i 65 km. Položajne razlike, po x i y osi se kreću unutar 1 cm za sve tri varijante. Analizirajući gornje grafove uočljivo je da unatoč tome što nema izraženijeg trenda, najmanje razlike su za referentne stanice udaljene 25 km (do 4 mm), dok su nešto veće za 65 km udaljene stanice, što je u skladu s očekivanjima. Ipak, veća odstupanja su dobivena kod razlika elipsoidnih visina. Uočljivo je da se razlike elipsoidnih visina proporcionalno povećavaju udaljavanjem referentne stanice. Tako srednje vrijednosti za 25 km udaljenu referentnu stanicu iznose 7 mm, uz standardno odstupanje od 3 mm, a na 45 km one su 1.8 cm (st. odst. 1 cm). Razlike rezultata s obzirom na referentnu stanicu udaljenu u prosjeku 65 km iznosi 2.9 cm što je četiri puta više od referentnih stanica na 25 km. Statističke vrijednosti prikazane su u tablici 4.

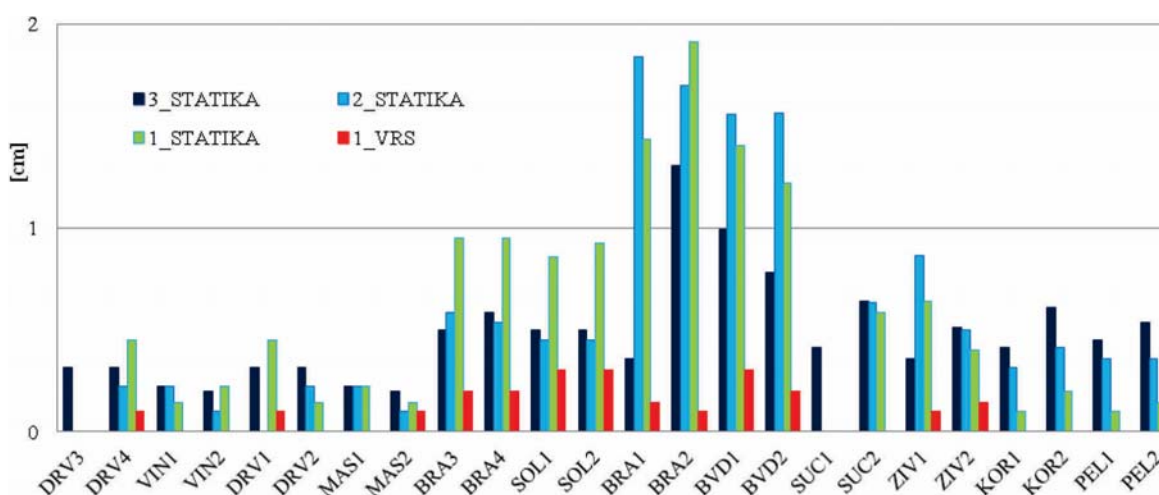
Tablica 4. Statika razlika elipsoidnih visina (VRS2-STATIKA 1) s obzirom na udaljenost baze

[cm]	25 km	45 km	65 km
SR.VRIJEDNOST	0.7	1.8	2.9
ST. ODS.	0.3	1.0	0.9
MAKS.	1.1	2.7	4.3
MIN.	0.3	0.2	1.5
RASPON	0.8	2.5	2.8

Ove visinske razlike su u skladu s poznatom činjenicom o slabosti GNSS-a u svrhu određivanja visina (Drewes 2005, Rothacher 2004). Iz tog se razloga za radove u kojima se traži veća pouzdanost i preciznost određivanja koordinata točaka u mikromrežama, koje su udaljene od najbliže referentne CROPOS stanice 20 km i više, preporučuje koristiti VRS rješenje.

4.3. Usporedba mrežnih rješenja

Analiziranjem koordinata pet nezavisnih rješenja dobivenih na osnovu referentnih točaka kako je prikazano u tablici 2, može se vidjeti koje mrežno rješenje se najbolje podudara sa VRS2 (dvije virtualne referentne stanice) izjednačenjem. Na slici 6 prikazane su položajne razlike između VRS2 i ostalih rješenja za sve točke, te statističke vrijednosti (tablica 5).



Slika 6: Položajne razlike između VRS2 i ostalih mrežnih rješenja

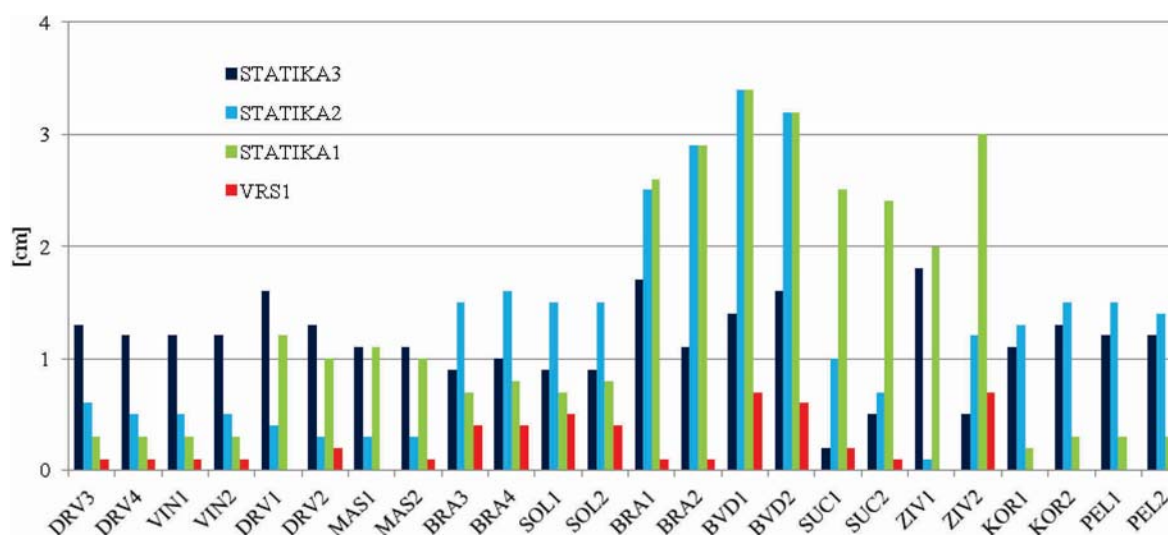
Tablica 5. Statistika položajnih razlika

[cm]	STATIKA3	STATIKA2	STATIKA1	VRS1
SR. VRIJEDNOST	0.5	0.6	0.6	0.1
ST. ODSUPANJE	0.3	0.6	0.5	0.1
MAKS.	1.3	1.8	1.9	0.3
MIN.	0.2	0.0	0.0	0.0
RASPON	1.1	1.8	1.9	0.3

Iako se srednje vrijednosti razlika kreću oko 5 mm, najbolje podudaranje VRS2 rješenja je sa STATIKA3 rješenjem (tri referentne stanice), s obzirom da su vrijednosti standardnog odstupanja 3 mm, te da je raspon između najveće i najmanje razlike skoro dvostruko manji od ostalih rješenja. Za većinu geodetskih radova razlike po položaju između pojedinih rješenja su zanemarive.

Kod visinskih razlika, prikazanih na slici 7 i pripadajućih statističkih vrijednosti (tablica 6), također je primjetno nešto bolje slaganje VRS2 rješenja sa STATIKA3 rješenjem, ukoliko se ne razmatra VRS1 rješenje. Također su i vrijednosti standardnog odstupanja i raspona najmanje u odnosu na ostala rješenja. Uspoređujući položajne i visinske razlike, uočljivo

je da su razlike elipsoidnih visina u prosjeku razlikuju 3 puta više od položajnih razlika. Tako je maksimalna razlika položaja do 1.9 cm, dok visinske razlike između VRS2 i ostalih rješenja poprimaju iznose i do 3.4 cm. Uočljivo je da se najveće razlike odnose na mrežu Baška Voda – Brač (točke, BRA1, BRA2, BVD1, BVD2). Zanimarivši točke iz te mreže razlike na točkama iz ostalih analiziranih mreža iznose ispod dva centimetra po pojedinim koordinatnim osima između razmatranih rješenja.



Slika 7: Razlike elipsoidnih visina između VRS2 i ostalih rješenja

Tablica 6. Statistika visinskih razlika

[cm]	STATIKA3	STATIKA2	STATIKA1	VRS1
SR. VRIJEDNOST	1.1	1.3	1.3	0.2
ST. ODSUPANJE	0.4	0.9	1.1	0.2
MAKS.	1.8	3.4	3.4	0.7
MIN.	0.2	0.1	0.2	0.0
RASPON	1.6	3.3	3.2	0.7

5. Zaključak

Za potrebe prijenosa visina s kopna na otoke južnog Jadrana uspostavljene su četiri mikromreže (kopno – Drvenik Veli, Drvenik Veli – Šolta, Šolta – Brač, Brač – kopno) koje zajedno s otočnim nivelmanskim mrežama čine jedan zatvoreni nivelmanski poligon. Također je obavljen prijenos visina na lokacijama Živogošće – Sućuraj (Hvar) i Orebić – Korčula. Udaljenosti između točaka mikromreže u ovisnosti o pojedinoj lokaciji na kojoj se prebacivala visina iznosile su od 1700 do 6900 m. Sve su mreže položajno i visinski izjednačavane na temelju statičkih mjerenja u odnosu na najbliže referentne stanice CROPOS-a i na generirane virtualne referentne stanice. Pri tom su preuzeti podaci tri najbliže referentne stanice CROPOS-a, ovisno o lokaciji, te su generirane po dvije virtualne stanice za svaku mrežu.

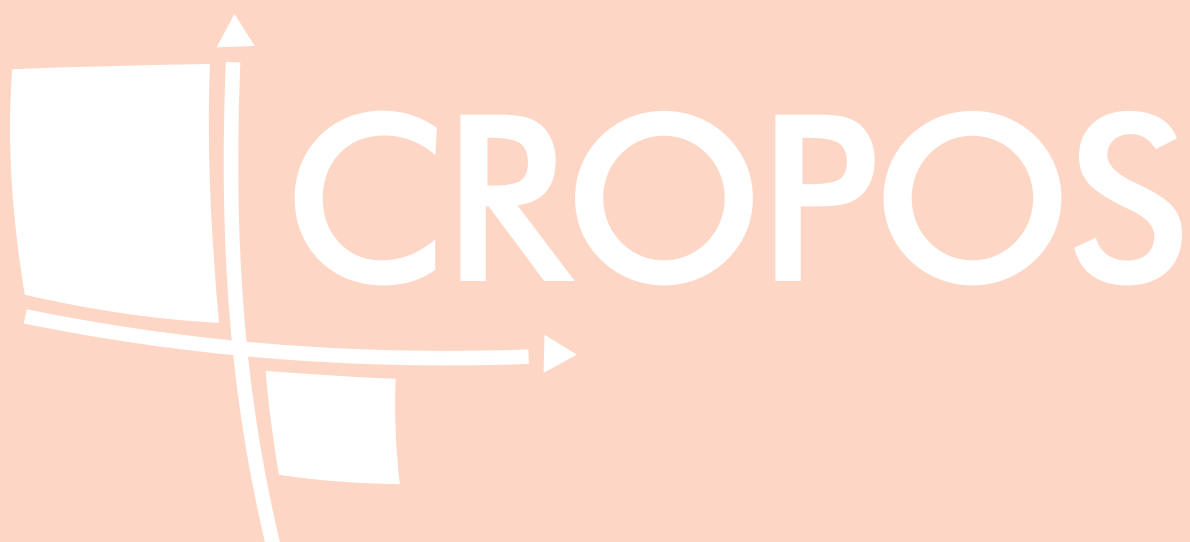
U radu je prikazana usporedba između VRS rješenja u ovisnosti o broju referentnih stanica uključenih u mrežu. S obzirom na dobivene rezultate može se zaključiti da je za mreže u kojima se traži visoka preciznost, s međusobnim udaljenostima točaka većim od 5 km, bolje generirati dvije VRS baze, po jednu sa svake strane mreže.

U obavljenoj analizi izjednačenje mreže u ovisnosti o udaljenosti do referentne stanice VRS2 rješenje je korišteno kao referentno. Dobivene razlike koordinata točaka izjednačenih u odnosu na jednu referentnu stanicu pokazuju korelaciju s promjenom prosječne udaljenosti referentne stanice od mreže. Stoga se za mreže udaljene više od 20 km od referentne stanice preporučuje korištenje VRS rješenja.

Usporedba različitih rješenja izjednačenja mreža u položajnom i visinskom smislu pokazuje da se VRS2 rješenje najbolje podudara s rješenjem STATIKE3, izjednačenje na 3 referentne CROPOS stanice. Prosječne razlike po položaju iznose do 6 mm, a po visini do 15mm.

6. Literatura

- Drewes, H. (2005): Probleme bei der Höhenbestimmung mit GPS, Intergeo, Düsseldorf.
- Grgić, I. (2011): Teorijska i empirijska analiza specifičnih položajnih i visinskih mreža u graditeljstvu. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
- Grgić, I., Lučić, M., Repanić, M., Liker, M. (2008): Visinsko povezivanje kopna s otocima sjevernog Jadrana. Tehničko izvješće. Hrvatski geodetski institut, Zagreb.
- Grgić, I., Lučić, M., Repanić, M., Kršulović, D. (2010): Visinsko povezivanje kopna s otocima srednjeg Jadrana. Tehničko izvješće. Hrvatski geodetski institut, Zagreb.
- Rothacher, M. (2004): Vorlesungsskriptum Wintersemester 2004/2004 Satellitengeodäsie 2, Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie der TU München.



Kontrola visina na točkama GPS mreže Grada Zagreba uporabom VPPS servisa CROPOS sustava

Danko MARKOVINOVIĆ¹, Milan REZO²

Olga BJELOTOMIĆ³, Marko PAVASOVIĆ⁴, Tomislav BAŠIĆ⁵

Sažetak

Primjenom GNSS (Global Navigation Satellite System) tehnologije uvelike se promijenio pristup svakodnevnim zadacima geodetske struke. Do uspostave CROPOS-a, najprecizniji način određivanja koordinata bio je statičko pozicioniranje. Danas, visoko precizni VPPS servis CROPOS sustava, omogućava brzo, efikasno i ekonomično pozicioniranje garantirajući točnost od 2 cm u položajnom, odnosno 4 cm u visinskom smislu. U ovom radu dan je prikaz primjene CROPOS VPPS servisa pozicioniranja pri izmjeri odabranog broja točaka u temeljnoj GPS (Global Positioning System) mreži Grada Zagreba. Mjerenja su obavljena na točkama koje su jednoliko raspoređene u pravilnom rasteru na promatranom području. Na svakoj točki obavljeno je dvostruko zaposjedanje s ponovnom inicijalizacijom. Ispitivanja su obavljena i na pripadajućim točkama osiguranja u podnožju temeljnih točaka. Nakon analize CROPOS mjerenja, obavljena je usporedba visina točaka dobivenih VPPS servisom pozicioniranja s visinama točaka temeljne mreže GPS mreže Grada Zagreba određenih statičkim mjerenjima 2005. godine, kao i s točkama osiguranja.

Ključne riječi: CROPOS, VPPS servis, GPS mreža, Zagreb, kontrola, visine, dvostruka inicijalizacija

1. Uvod

Dvije godine nakon uspostave, CROPOS sustav postao je dio svakodnevice u geodetskoj struci. Sustav se sastoji od 30 pravilno raspoređenih točaka diljem Republike Hrvatske, s međusobnom udaljenošću do 70 kilometara. Tri su raspoloživa servisa za korištenje CROPOS sustava: diferencijalni servis pozicioniranja u realnom vremenu (DSP), koji nudi metarsku točnost, visoko precizni servis pozicioniranja u realnom vremenu (VPPS) koji garantira centimetarsku točnost i geodetski precizni servis pozicioniranja (GPPS), „post processing” servis koji postiže preciznost od 1 centimetra kako u položajnom (2D) tako i u visinskom smislu (URL2). Pored točnosti određivanja položaja, servisi se međusobno razlikuju po metodi rješenja, načinu prijenosa podataka i vremenu dostupnosti te formatu podataka. U ovom radu korišten je visoko precizni servis pozicioniranja, zbog mogućnosti određivanja položaja u realnom vremenu

¹ dr. sc. Danko Markovinović, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet; danko.markovinovic@geof.hr

² dr. sc. Milan Rezo, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet; milan.rezo@geof.hr

³ Olga Bjelotomić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet; olga.bjelotomic@geof.hr

⁴ Marko Pavasović, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet; marko.pavasovic@geof.hr

⁵ prof. dr. sc. Tomislav Bašić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet; tomlislav.basic@geof.hr

s točnosti od 2 centimetra u položajnom i 4 centimetra u visinskom smislu. Ovaj servis pruža umreženo rješenje faznih mjerenja u realnom vremenu putem 2.3 ili 3.1 RTCM poruka.

2. Terenska ispitivanja na test-području temeljne GPS mreže Grada Zagreba

Za testno područje ispitivanja odabrana je Temeljna GPS mreža Grada Zagreba (slika 2.1) koja se sastoji od 36 točaka. Na većini lokacija, temeljne točke stabilizirane su betonskim stupom visine cca 1.3 metra, dok je u podnožju stabiliziran kromirani reper (slika 2.2). Zahvaljujući dobroj stabilizaciji temeljnih točaka, te mogućnosti prisilnog centriranja, bilo je moguće usporediti visine mjerene VPPS-om s već prethodno izmjerenim odnosno izračunatim visinama istih točaka.



Slika 2.1: Temeljna GPS mreža Grada Zagreba

U sklopu ovog rada opažana je ukupno 21 temeljna točka, pri čemu su na svim točkama mjereni centar (središte na vrhu stabiliziranog stupa – slika 3.1b) i ekscentar (bolcna u podnožju točke – slika 3.1a). Sva mjerenja su izvedena u 100 epoha (1 minuta i 40 sekundi) s dvostrukim zaposjedanjem i reinicijalizacijom instrumenta. Antena GNSS uređaja je postavljena pomoću nastavka od mesinga na gornju plohu stabiliziranog betonskog stupa. Na bolcni, u podnožju točke, mjerenja su obavljena uporabom fiksnog dvometarskog štapa. Terenska mjerenja obavljena su tijekom siječnja i veljače 2011. godine. Pri izmjeri se koristila oprema tvrtke Trimble i to GNSS uređaj R8 i najnoviji TSC3 kontroler (URL 1), koji su u vlasništvu Katedre za državnu izmjeru Zavoda za geomatiku Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.



Slika 2.2: Stabilizacija točaka i GNSS izmjera temeljne GPS mreže Grada Zagreba

3. Izmjera na odabranom test-području GPS mreže Grada Zagreba

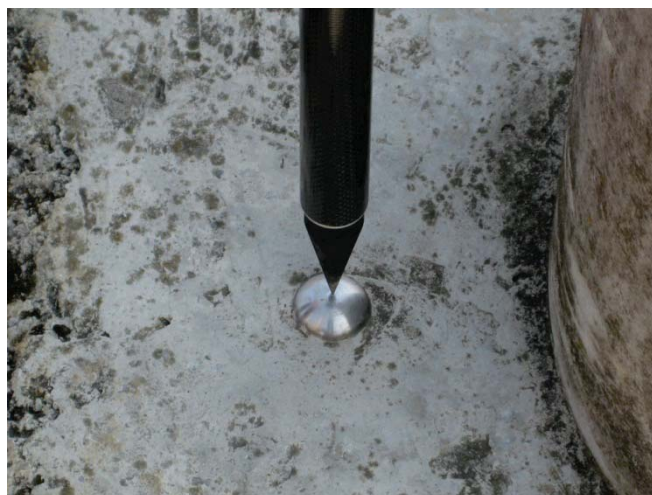
Mjerenja su izvedena korištenjem nove on-line usluge CROPOS VPPS servisa – CROPOS_VRS_HTRS96. U testnom periodu od 20. rujna do 10. prosinca 2010. godine Državna geodetska uprava provela je testiranje usluge na 604 kontrolne točke koje se pokazalo uspješnim.

Usluga CROPOS_VRS_HTRS96 omogućava određivanje koordinata točaka u novom položajnom i visinskom geodetskom datumu Republike Hrvatske, HTRS96/TM i HRVS71, koji su definirani Odlukom Vlade o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske (NN 110/2004). Usluga obuhvaća emitiranje RTCM poruke u koju je implementiran novi model geoida – HRG2009, pri čemu je omogućeno automatsko određivanje normalne ortometrijske visine u aktualnom visinskom nacionalnom datumu i to u realnom vremenu na terenu.

Korištenje usluge ne zahtjeva dodatnu registraciju korisnika nego se prilikom povezivanja s CROPOS serverom na listi ponuđenih korekcija odabire usluga CROPOS_VRS_HTRS96, pri čemu je također potrebno prilagoditi postavke GNSS prijamnika te parametre projekcije HTRS96/TM. Tako prilagođen prijamnik tada određuje službene ETRS89 (HTRS96) elipsoidne koordinate (j , l) koje kroz integriranu uslugu bivaju prikazane na kontroleru u formatu nove ravninske projekcije HTRS96/TM (E,N) s odgovarajućim ortometrijskim visinama (H).

Transformacija između određenih i ispostavljenih koordinata korisniku obavlja se unutar računalnog programa T7D implementiranog u novoj CROPOS usluzi. Programska aplikacija T7D je Odlukom državne geodetske uprave 31.3.2011. postala „službeni program za transformaciju podataka državne izmjere, kartografskih i katastarskih podloga između postojećih i službenih referentnih sustava“. Aplikacija omogućava transformaciju između službenog položajnog datuma (HTRS96) i naslijeđenog položajnog datuma (HDKS/Bessel1841) u bilo ko-

joj točki na području Republike Hrvatske. Za potrebe transformacije između službenog visinskog datuma (HVRS71) i naslijeđenog visinskog datuma (Trst) aplikacija koristi model geoida HRG2009. Integriran jedinstveni transformacijski model rezultat je parametara i grid distorzije izračunatih na temelju 5 200 točaka diljem Hrvatske, pri čemu je trodimenzionalna ocjena točnosti T7D modela jednaka ± 0.058 metara (Bašić, 2010).



Slika 3.1a) Ekscentar temeljne točke

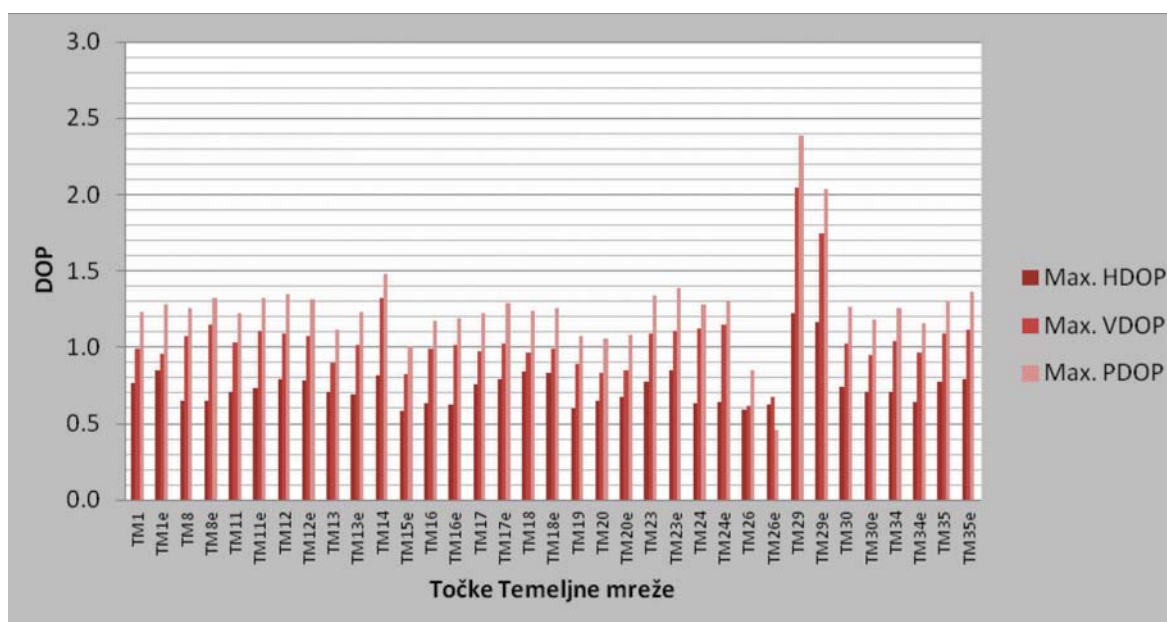


Slika 3.1b) Centar temeljne točke

Mjerene visine su uspoređivane s poznatim vrijednostima visina centara i ekscentara točaka Temeljne GPS mreže. Položajne i visinske koordinate centara Temeljne GPS mreže određene su 2004. godine u sklopu projekta „Uklapanje GPS mreže Grada Zagreba u Hrvatski državni koordinatni sustav“. Centri su mjereni primjenom GPS-RTK tehnologije, pri čemu su se kao rezultati mjerenja odmah na terenu dobivale ravninske Gauss-Kruegerove koordinate (u 5. ili 6. zoni) i ortometrijske visine. Kako bi se koordinate iz globalnog ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) datuma transformirale u lokalni Hrvatski državni koordinatni sustav (HDKS), korišteni su transformacijski parametri Grada Zagreba, izračunati uz upotrebu modela geoida HRG2000. Položajna i visinska točnost te transformacije bila je ± 12.0 cm (Bašić, 2004). Koordinate ekscentara Temeljne mreže određene su u sklopu projekta uspostave Gravimetrijske mreže II. reda na području Grada Zagreba 2005. godine. Tada su provedena nivelmanska mjerenja sukladno temeljnim pravilima za precizni nivelman. Gdje god je bilo moguće nivelmanske figure povezivane su na točke visinske mreže II. NVT-a (Bašić i dr., 2006b).

4. Usporedba visina

Kao jedan od pokazatelja kvalitete obavljenih mjerenja, koristio se DOP (Dilution Of Precision) - numerički pokazatelj dodatnih multiplikativnih utjecaja satelitske geometrije na preciznost GNSS mjerenja.



Slika 4.1: Maksimalne vrijednosti DOP-ova na mjerenim točkama

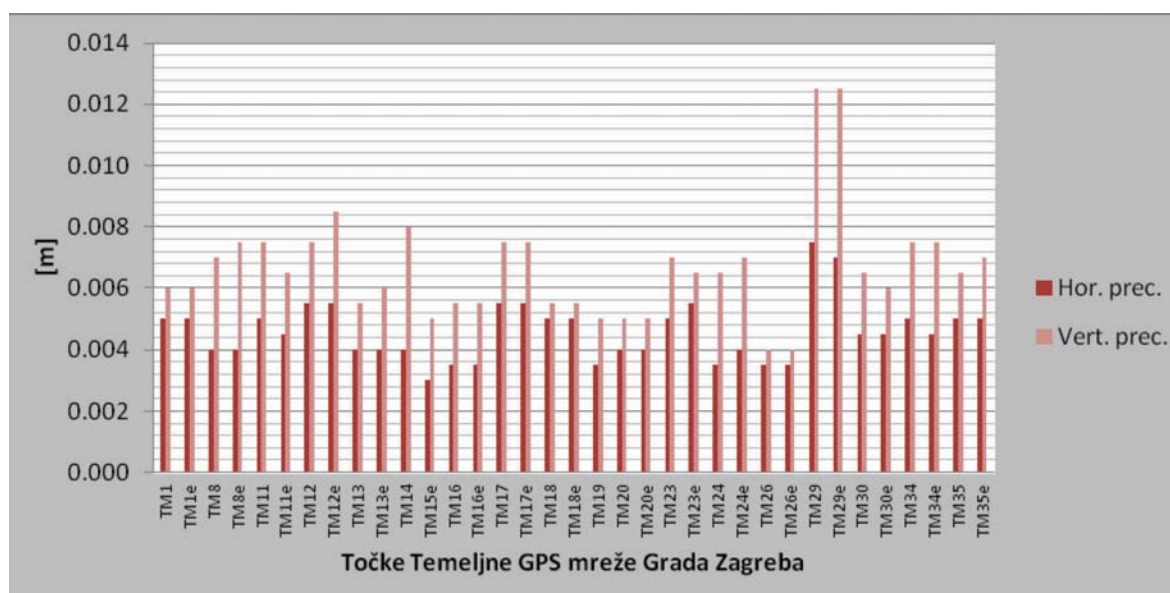
Na slici 4.1 grafički su prikazane maksimalne vrijednosti vertikalnog (VDOP), horizontalnog (HDOP) i položajnog (PDOP) DOP-a za svaku mjerenu točku. Na grafu je vidljivo da su na točki TM29 vrijednosti DOP-a dvostruko veća nego na ostalim točkama, što se može pripisati manjem broju raspoloživih satelita u trenutku mjerenja (samo šest).

Tablica 4.1. Statistika HDOP-a, VDOP-a i PDOP-a

Statistički pokazatelji	Max. HDOP	Max. VDOP	Max. PDOP
Minimum	0.6	0.6	0.5
Maksimum	1.2	2.0	2.4
Sredina	0.7	1.1	1.3
St. dev.	0.1	0.3	0.3

U tablici 4.1 dan je pregled statistike vrijednosti pojedinih DOP-ova. Standardne devijacije, te maksimalne i minimalne vrijednosti pokazuju da tijekom mjerenja nije bilo većih šumova na točkama, osim na točki TM29. Općenito prihvaćena granica tolerancije DOP vrijednosti iznosi 6, dok pri ovoj izmjeri nijedan od DOP-ova nije oscilirao u intervalu većem od 1, dok srednje apsolutne vrijednosti iznose 0.7 u horizontalnom, odnosno 1.1 u visinskom, te konačno 1.3 u položajnom trodimenzionalnom smislu, što je više nego zadovoljavajuće.

Ostvarena horizontalna i vertikalna preciznost pri izmjeri odabranih točaka temeljne GPS mreže Grada Zagreba prikazana je na slici 4.2, dok je statistika prikazana u tablici 4.2. Kvantitativni pokazatelji horizontalne i vertikalne preciznosti ukazuju na stabilnost i kvalitetu cjelokupnog CROPOS sustava, kao i na interval pouzdanosti dobivenih rješenja.



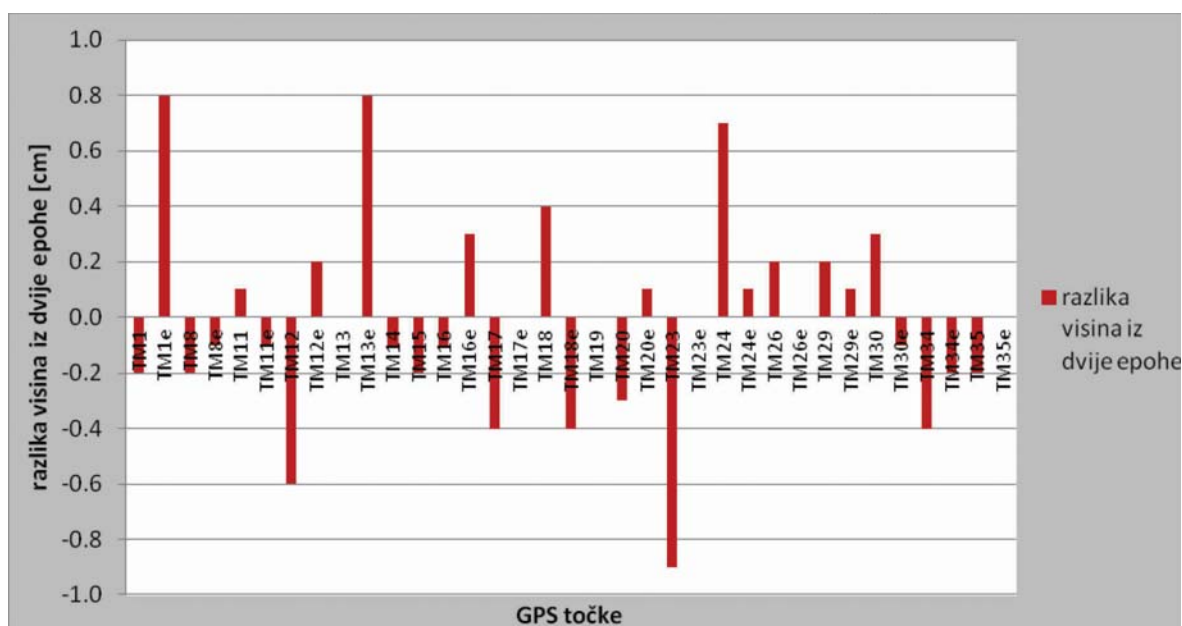
Slika 4.2: Ostvarena horizontalna i vertikalna preciznost na opažanim točkama

Minimalna vrijednost horizontalne i vertikalne preciznosti bila je 3 mm, odnosno 4 mm za vertikalnu preciznost, dok su maksimalne vrijednosti bile 7 mm za horizontalnu i 12 mm za vertikalnu preciznost. Srednja vrijednost horizontalne preciznosti tijekom svih mjerenja bila je 4 mm, uz standardno odstupanje od 1 mm, dok je za vertikalnu preciznost srednja vrijednost bila 7 mm uz standardno odstupanje od također 1 mm. Kad bi se izuzela točka TM29, koja je zbog smanjenog broja prijama signala sa satelita opterećena šumovima, srednja vrijednost vertikalne preciznosti bila bi 8.5 milimetara.

Tablica 4.2. Statistika horizontalne i vertikalne preciznosti na opažanim točkama

Statistički pokazatelji	Hor prec [m]	Vert prec [m]
Minimum	0.003	0.004
Maksimum	0.008	0.013
Sredina	0.005	0.007
St dev	0.001	0.002

Sve točke su mjerene dvostrukim zaposjedanjem ostvarenim reinicijalizacijom instrumenta. Na taj način je visina svake točke mjerena u dva navrata sa po 100 epoha u svakom zaposjedanju. Na slici 4.3 prikazane su razlike dvostrukih zaposjedanja na opažanim točkama, dok je u tablici 4.3. dana statistika dvostrukog zaposjedanja.



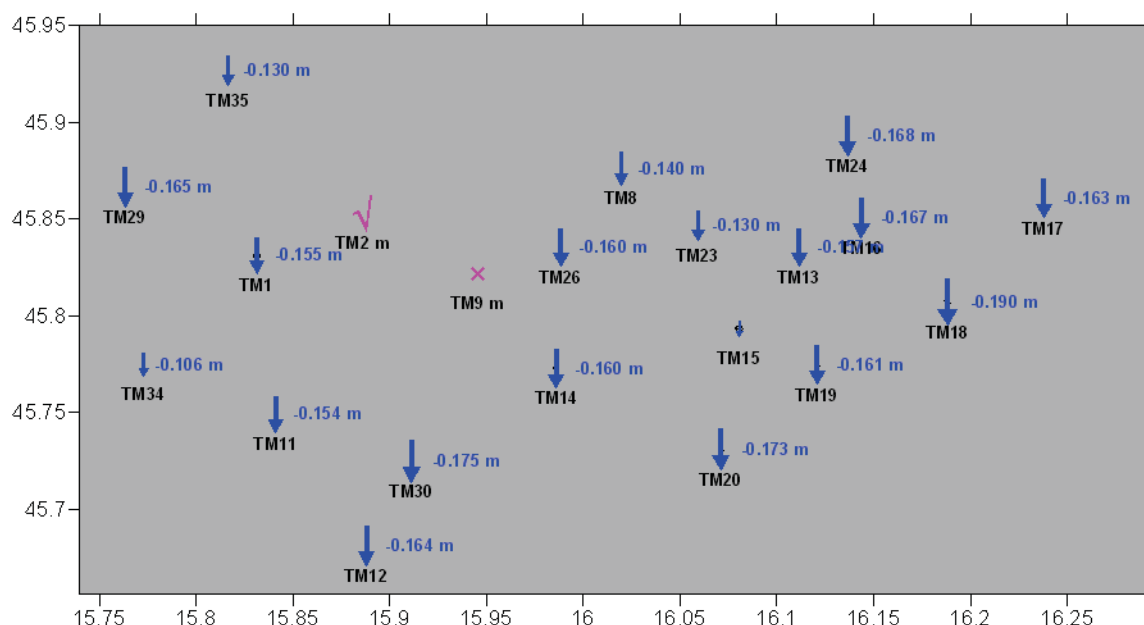
Slika 4.3: Razlika visina iz dvostrukog zaposjedanja

Na slici 4.3 vidljiv je nepravilan trend pozitivnih i negativnih razlika visina iz dvostrukog zaposjedanja. Maksimumi razlika iznose 0.8 i 0.9 cm (tablica 4.3). Trend međusobne ovisnosti razlika dvostrukog zaposjedanja na pojedinoj točki i vremenskih uvjeta u trenutku opažanja na istoj točki nije se mogao definirati iz provedenih mjerenja niti se eventualna međusobna povezanost dala naslutiti, čime se promjenjivost rješenja na istoj točki pripisuje sasvim nasumičnom osciliranju mrežnih rješenja i trenutnoj (ne)povoljnoj konstelaciji satelita.

Tablica 4.3. Statistika dvostrukog zaposjedanja

Statistički pokazatelji	Razlike epoha [cm]
Minimum	- 0.9
Maksimum	0.8
Sredina	0.0
St. dev.	0.3

Glavni dio istraživanja se odnosi na usporedbu visina Temeljne GPS mreže Grada Zagreba koje su prethodno poznate s visinama dobivenih novom test izmjerom na odabranim točkama GPS mreže Grada Zagreba dobivenih pomoću VPPS servisa CROPOS sustava. Na slici 4.4 dan je prikaz provedene usporedbe visina centara GPS točaka izmjerenih CROPOS sustavom i visina dobivenih transformacijom (elipsoidne u ortometrijske).



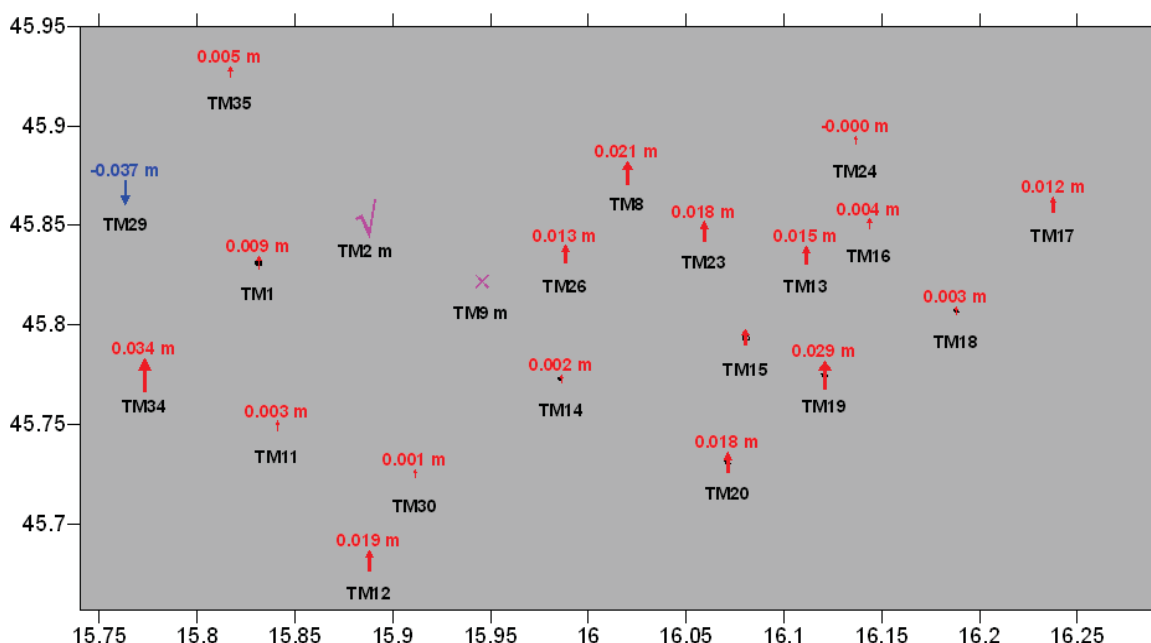
Slika 4.4: Usporedba visina iz CROPOS-a i GPS mreže Grada Zagreba (HRG2000)

U okviru projekta „Uklapanje homogenog polja točaka GPS mreže Grada Zagreba u Hrvatski državni koordinatni sustav“ obavljena je transformacija koordinata i visina s novim transformacijskim parametrima uključujući geoid HRG2000. Prijašnji model geoida - HRG2000 definiran je u starom visinskom sustavu (u odnosu na Trst), što je i vidljivo iz grafičke usporedbe visina (CROPOS VPSS – transformirane visine pomoću HRG2000) na slici 4.4 gdje razlike visina imaju identičan negativni trend, odnosno statistikom danom u tablici 4.4. Sredina ostvarenih razlika iznosi -15.7 cm, što jasno ukazuje da su visine dobivene transformacijom u starom sustavu. Planirana mjerenja na temeljnoj točki TM2 nisu obavljena jer nije bilo signala mobilnog operatera na toj lokaciji, dok je točka TM9 uništena pri izvođenju građevinskih radova.

Tablica 4.4. Statistika usporedbe visina dobivenih VPPS servisom i transformacijom (HRG2000)

Statistički pokazatelji	Razlika visina [m]
Minimum	- 0.190
Maksimum	- 0.101
Sredina	- 0.157
St dev	0.019

Na slici 4.5 dan je grafički prikaz usporedbe visina dobivenih uporabom VPPS servisa CROPOS sustava te visina dobivenih transformacijom koordinata i visina iz temeljne GPS mreže Grada Zagreba koristeći model geoida HRG2009. Za razliku od modela geoida HRG2000, model geoida HRG2009 se temelji na novom visinskom sustavu (HRVS71).



Slika 4.5: Usporedba visina iz CROPOS-a i GPS mreže Grada Zagreba (HRG2009)

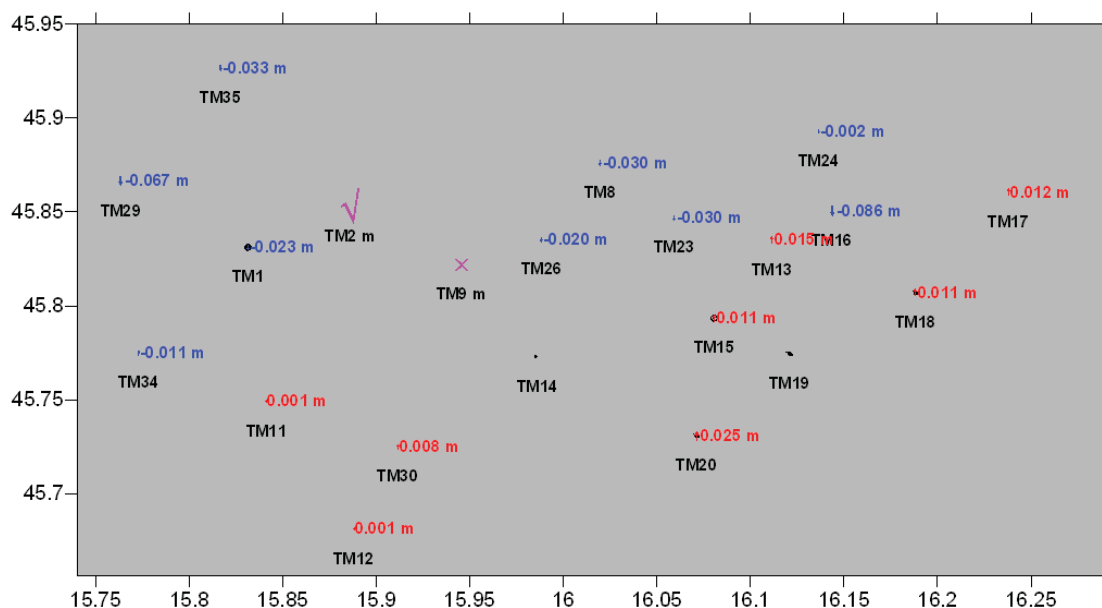
Statistika usporedbe visina dobivenih CROPOS sustavom i transformacijom visina koristeći novi model geoida HRG2009 dan u tablici 4.5. Sredina od 1.2 cm ostvarena na ovom području je pokazatelj kvalitete i pouzdanosti novog geoida HRG2009 kojeg se može koristiti za većinu inženjerskih radova u geodeziji zadovoljavajući traženu točnost. Veće razlike su ostvarene samo na rubnom dijelu test-područja, gdje je na točki TM29 jedino zabilježen negativni trend razlike od 3.7 cm, dok su sve ostale razlike pozitivnog karaktera, dok je najveća razlika suprotnog smjera ostvarena na susjednoj južnijoj točki TM34.

Tablica 4.5 Statistika usporedbe visina dobivenih VPPS servisom i transformacijom (HRG2009)

Statistički pokazatelji	Razlika visina [m]
Minimum	- 0.037
Maksimum	0.034
Sredina	0.012
St dev.	0.010

Poseban dio istraživanja obuhvaćala je usporedba visina ekscentara temeljnih točaka GPS mreže Grada Zagreba opažanih VPPS servisom CROPOS sustava i visina dobivenih niveliranjem obavljenog u okviru projekta „Gravimetrijska mreža Grada Zagreba“ (Bašić i dr., 2006). Nivelmanska mjerenja na točkama temeljne mreže Grada Zagreba provedena su sukladno temeljnim pravilima za precizni nivelman. Sve nivelirane točke su povezane u jednu cjelinu, metodom zatvaranja figura, uz povezivanje na točke visinske mreže iz II. NVT (gdje je to bilo moguće). Izjednačenje nivelmanskih mjerenja obavljeno je u novom visinskom datumu HVRS71 (za više vidi Bašić i dr. 2006b). Ovako dobivene točke nivelmanskim putem bile su idealne za usporedbu s visinama dobivenih VPPS servisa CROPOS sustava.

Na slici 4.6 prikazane su razlike visina dobivene uporabom VPPS servisa CROPOS sustava i normalnih ortometrijskih visina dobivenih nivelmanskim putem, dok je statistika prikazana u tablici 4.6.



Slika 4.6: CROPOS – nivelirani ekscentri

Sredina od 2.2 cm ukazuje na izuzetnu pouzdanost novog geoida HRG2009 na odabranom području Grada Zagreba. Statistički pokazatelji bi bili značajno bolji kad bi se točka TM16 uklonila iz obuhvaćene statistike, zbog iznos minimuma od 8.6 cm koji je na njoj zabilježen. Na navedenoj točki se trebaju napraviti dodatna mjerenja i analiza radi uočavanja i iznalaženja razloga ovoga ekstrema.

Tablica 4.6 Statistika usporedbe visina ekscentara dobivenih pomoću CROPOS-a i niveliranjem

Statistički pokazatelji	Razlika visina [m]
Minimum	- 0.086
Maksimum	0.025
Sredina	0.022
St dev.	0.016

5. Zaključak

Obavljena testna mjerenja na odabranim točkama Temeljne mreže Grada Zagreba pokazala su da je VPPS servis CROPOS sustava stabilan servis. Analiza ostvarenih vrijednosti DOP-a, kao i vertikalna i horizontalna preciznost pokazuje pouzdanost korištenja ovog servisa u smislu dobre pokrivenosti i rasporeda satelita. Pri izvedbi GNSS mjerenja prepreka je bila ograničenost signala mobilnog operatera, o čemu u budućnosti treba voditi računa, pogotovo ako se uzme u obzira da su ovakvi problemi uočeni na rubnim dijelovima Grada Zagreba.

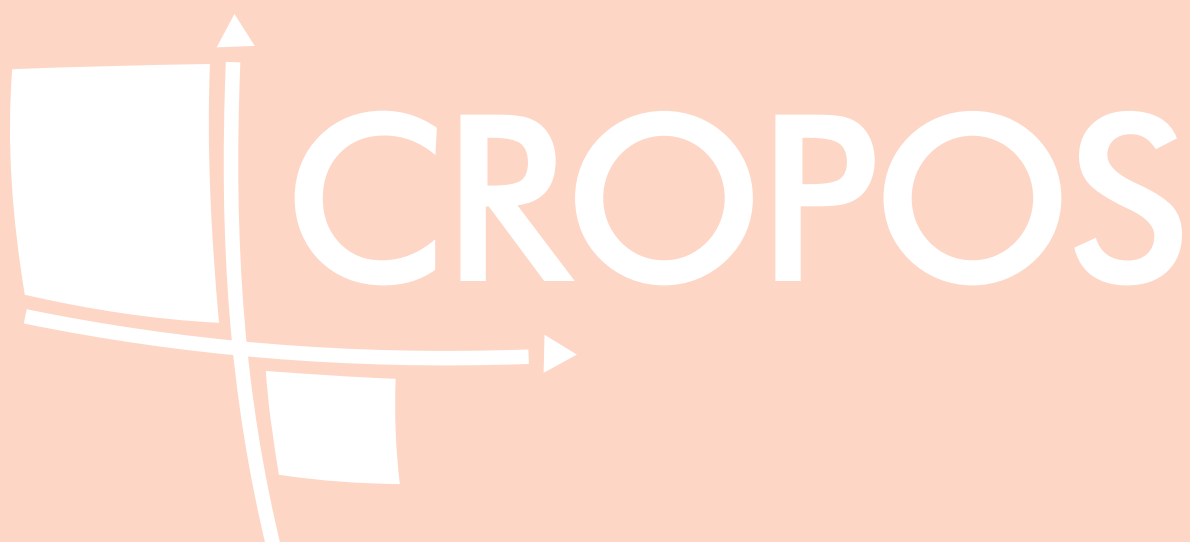
U okviru istraživanja napravljena je usporedba visina na odabranim temeljnim točkama GPS mreže Grada Zagreba dobivenih pomoću GNSS mjerenja VPPS servisom CROPOS sustava te, normalnih ortometrijskih visina na identičnim točkama koje su dobivene transformacijom elipsoidnih visina uporabom geoida HRG2000, HRG2009 te visina dobivenih niveliranjem.

Usporedbom visina dobivene razlike jasno ukazuju da je geoid HRG2000 vezan na stari visinski sustav (Trst), dok je novi geoid 2009 definiran u novom visinskom sustavu (HRVS71), gdje je referentna ploha određena srednjom razinom mora temeljem mjerenja na pet mareografa (Kopar, Rovinj, Bakar, Split i Dubrovnik). Dobivene razlike od 15 cm govore da se o tome mora voditi računa pri geodetskim mjerenjima tj. da se u geodetskoj praksi ne smiju koristiti normalne ortometrijske visine dobivene transformacijom iz elipsoidnih visina prethodno umanjnih za iznos HRG2000 undulacije, uporabom starih transformacijskih parametara koji su se oslanjali na HRG2000.

Novi model geoida Republike Hrvatske HRG2009 kao i jedinstveni grid model transformacije koordinata između naslijeđenog i novog službenog položajnog datuma (HDKS i HTRS96 te Trst i HVRS71) implementiran je i službeno pušten u uporabu odlukom DGU od 31. ožujka 2011. godine. Analizom i usporedbom normalnih ortometrijskih visina dobivenih jedinstvenim transformacijskim modelom te visina dobivenih geometrijskim nivelmanom s visinama iz CROPOS sustava može se zaključiti o visokoj pouzdanosti i homogenosti novog modela geoida HRG2009 koji se može koristiti kroz modernu tehnologiju i primjenu softvera za većinu inženjersko-katastarskih poslova.

6. Literatura

- Bašić, T. (2004): Uklapanje homogenog polja točaka GPS mreže Grada Zagreba u hrvatski državni koordinatni sustav. Tehničko izvješće za Gradski zavod za katastar i geodetske poslove Grada Zagreba, 1-180, Zagreb.
- Bašić, T.; Markovinović, D.; Rezo, M. (2006a): Tehničko izvješće o obavljenim radovima na projektu "Projektiranje i uspostava gravimetrijske mreže II. reda na području Grada Zagreba i izmjera mikrogravimetrijskih mreža" knjiga II. "Idejni projekt gravimetrijske mreže II. reda na području Republike Hrvatske i izmjera točaka mikrogravimetrijskih mreža". Naručitelj projekta: Državna geodetska uprava Republike Hrvatske. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Bašić, T.; Markovinović, D.; Rezo, M. (2006b): Uspostava gravimetrijske mreže II. reda na području Grada Zagreba. Izvješće o znanstveno-stručnim projektima iz 2004. – 2005. godine.
- Bašić, T. (2009): Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida za Republiku Hrvatsku. Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006. - 2008. Državna geodetska uprava Republike Hrvatske
- Bašić, T. (2010): Jedinstveni transformacijski model T7D. Predavanja. Trimble Express 2010.
- URL1: www.trimble.com (12.02.2011.)
- URL2: www.cropos.hr (13.02.2011.)



Usporedba izjednačenih koordinata iz direktno mjenjenih i generiranih CROPOS-om

Milan REZO¹, Marko PAVASOVIĆ², Olga BJELOTOMIĆ³,
Danko MARKOVINOVIĆ⁴, Tomislav BAŠIĆ⁵, Željko BAČIĆ⁶

Sažetak

Prethodna računanja točne pozicije VRS-a koristeći, primjerice, program TTC (*Trimble Total Control*) definirala su se na temelju poznatih koordinata iz podataka okolnih referentnih stanica i to metodom interpolacije, odnosno generiranjem podataka unutar figure trokuta. Ovako generirani podaci u RINEX formatu danas su u širokoj primjeni pri svakodnevnim računanjima koordinata točaka stalne geodetke osnove koji su u potpunosti zamijenili primjenjivane direktno mjerene veličine u CROPOS mreži. Zbog velikog broja otoka na području Republike Hrvatske, koji se nalaze izvan područja trokuta definiranog stanicama CROPOS mreže javila se ideja o opravdanosti primjene ekstrapoliranih podataka te je navela autore ovog rada da se provede usporedba izjednačenih koordinata iz direktno mjenjenih i generiranih CROPOS-om. Za uspješnu provedbu spomenute usporedbe u radu je jasno opisan način potrebne transformacije koordinata između referentnih okvira i različitih epoha mjerenja. Na kraju su dani rezultati usporedbe s preporukama za opravdanosti primjene ove metode generiranja RINEX podataka.

Ključne riječi: virtuana referentna stanica, interpolacija, ekstrapolacija

1. Uvod

Hrvatski pozicijski sustav - CROPOS sastoji se od 30 referentnih GNSS (*Global Navigation Satellite System*) - stanica i dvije rezervne, na međusobnoj udaljenosti od 70 km raspoređenih tako da pokrivaju cijelo područje Republike Hrvatske, slika 1. Umreženi sustav referentnih GNSS-stanica omogućuje kontinuirana GNSS mjerenja koja se računski obrađuju u kontrolnom centru DGU, a dobiveni konačni rezultati dostavljaju se korisnicima na terenu putem mobilnog interneta (GPRS/GSM - *General Packet Radio Service/Global System for Mobile Communications*).

¹ dr. sc. Milan Rezo, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: milan.rezo@geof.hr

² Marko Pavasović, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: marko.pavasovic@geof.hr

³ Olga Bjelotomić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: olga.bjelotomic@geof.hr

⁴ dr. sc. Danko Markovinoić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: danko.markovinoic@geof.hr

⁵ prof. dr. sc. Tomislav Bašić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: tomlslav.basic@geof.hr

⁶ prof. dr. sc. Željko Bačić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za satelitsku geodeziju, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: zeljko.bacic@geof.hr

Koordinate referentnih stanica izračunate su u aktualnom referentnom okviru ITRF2005 (*International Terrestrial Reference Frame 2005*), epohi mjerenja 2008.83 (GPS tjedan 1503) te zatim transformirane u referentni okvir ETRF00 (R05) sustav (ETRS89) pa se i koordinate točaka mjerenih CROPOS sustavom prikazuju u tom sustavu, (tablica 3.1) ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*) predstavlja službeni položajni datum za područje Europe (Rezo i Bačić 2009). Pri tom se za referentni elipsoid koristi GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*).

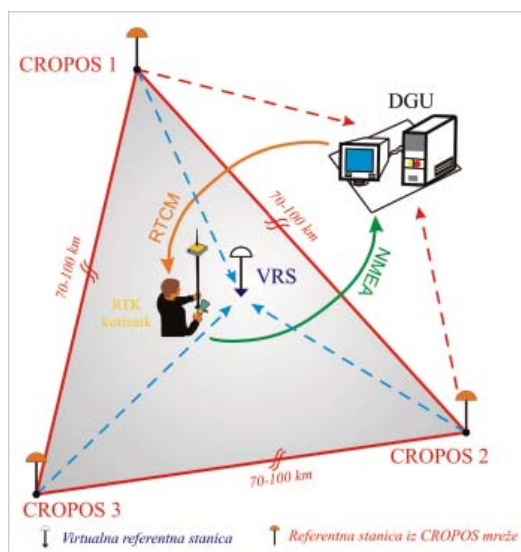
Servisi CROPOS-a svojim korisnicima omogućuju određivanje položaja u tzv. realnom vremenu s točnošću boljom od ± 2 cm na čitavom području Republike Hrvatske.



Slika 1: Raspored CROPOS stanica na području Republike Hrvatske

2. Virtualne referentne stanice VRS

Pojavom VRS-a (*Virtual Reference Station*) znatno se promijenio pristup geodetskim mjerenjima u realnom vremenu. Virtualnu referentnu stanicu smatramo izmišljenom koja se nalazi samo nekoliko metara od RTK (*Real Time Kinematic*) korisnika, vidi sliku 2. Točna pozicija VRS-a definira se na temelju poznatih koordinata iz podataka okolnih referentnih stanica i to metodom interpolacije/ekstrapolacije, odnosno generiranjem podataka unutar/izvan figure trokuta.



Slika 2: Virtualna referentna stanica (Rezo, Bačić 2009)

2.1. Princip i procedura

Metoda određivanja koordinata točaka u realnom vremenu zasniva se na prijenosu podataka od referentnog prijavnika do RTK korisnika putem radio veze ili GSM signala. Takav prijenos podataka i računanje korekcija ograničen je s udaljenošću RTK korisnika od referentne stanice i može se bez značajnijih pogrešaka promatrati unutar 15-20 km. Ukoliko bi se na taj način željela prekriti površina Republike Hrvatske s GNSS stanicama, mreža bi bila gusta i iznimno skupa.

Stoga koncept virtualne stanice - VRS nudi mogućnosti određivanja koordinata na udaljenostima od 70 do 100 km. Princip se temelji na interpolaciji/ekstrapolaciji podataka s nekoliko referentnih stanica u cilju dobivanja podataka za korekciju RTK korisnika. Na ovaj način, ne samo da se povećala produktivnost već se i značajno smanjilo vrijeme inicijalizacije.

Samu proceduru u CROPOS mreži možemo prikazati u 4 koraka (Rezo i Bačić 2009):

- 1) podaci s referentnih stanica iz CROPOS mreže prenose se do centra za obradu i kontrolu sustava (središnji ured DGU),
- 2) RTK korisnik šalje putem NMEA (*National Marine Electronics Association*) protokola približne koordinate,
- 3) centar za obradu i kontrolu sustava određuje trokut omeđen referentnim stanicama unutar kojeg se nalazi RTK korisnik, računa virtualnu referentnu stanicu kao funkciju dobivenih približnih koordinata i
- 4) centar za obradu i kontrolu sustava odašilje podatke VRS stanice prema RTK korisniku u obliku RTCM 2.3 (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) ili danas sve prisutnije proširene verzije 3.1 korekcije.

2.2. Generiranje RINEX-a za VRS

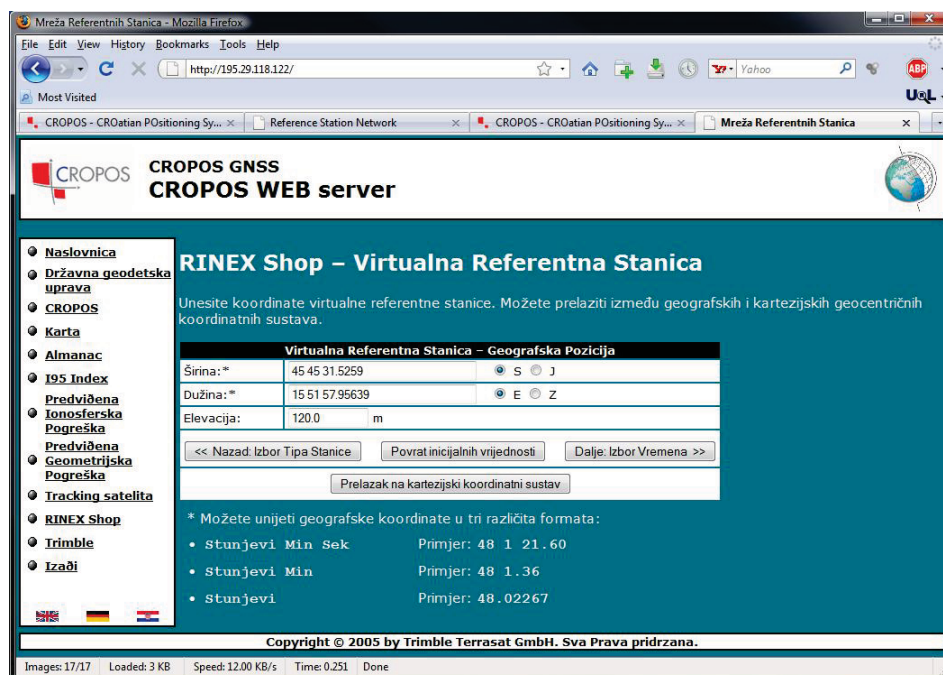
Uspostavom CROPOS mreže znatno su se promijenile metode mjerenja, vrijeme određivanja koordinata, kao i pouzdanost (homogenost) samih mjerenja na cijelom teritoriju Republike Hrvatske. Servis CROPOS-a VPPS (*Visoko precizni pozicijski sustav*) omogućuju određivanje koordinata u realnom vremenu uz prijenos podataka Wireless Internetom (GPRS) slanjem NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) protokola putem GSM mreža sa strane korisnika i povratne informacije koju korisniku šalje kontrolni centar u obliku RTCM korekcije. Točnost određivanja koordinata unutar ovog servisa je ± 2 cm (2D) odnosno ± 4 cm (3D).

Posebno značajan za geodetsku struku je geodetski precizni servis pozicioniranja (GPPS) koji ima široku primjenu kod određivanja koordinata stalnih točaka geodetske osnove, geodinamičkim istraživanjima, definiranju referentnih okvira i u mnogim drugim znanstvenim istraživanjima.

Obrada GPPS mjerenih podataka je naknadna (post-processing), prijenos podataka je putem interneta (FTP - *File Transfer Protocol*, e-mail) u RINEX formatu (*Receiver Independent Exchange Format*). Točnost određivanja koordinata unutar GPPS servisa je subcentimetarska.

Upravo kod ovog servisa moguće je generirati RINEX datoteke za VRS na temelju mjerenih podataka stanica iz CROPOS mreže.

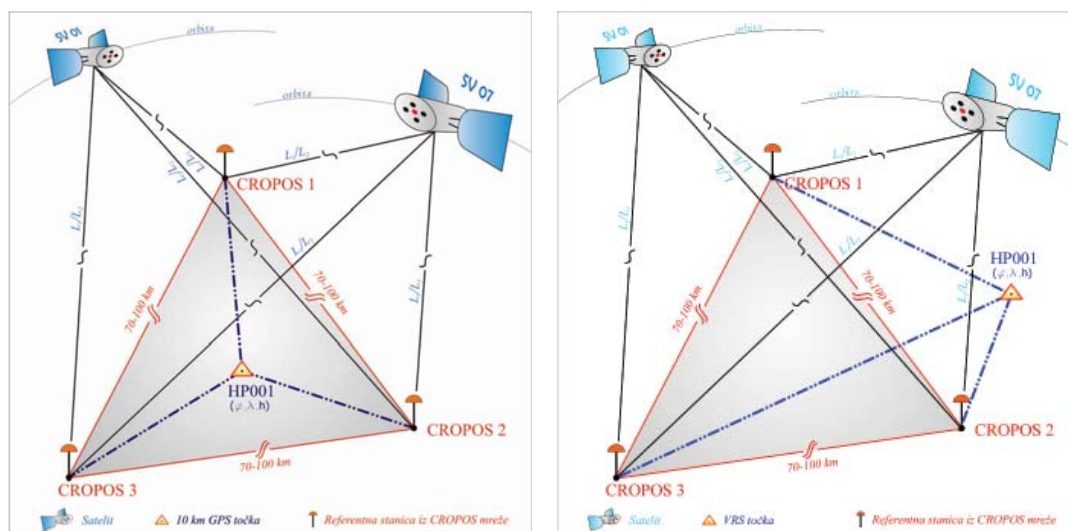
RINEX datoteka za virtualnu referentnu stanicu kreira se unosom elipsoidnih ili Kartezi-jevih koordinata. Koordinate koje se upisuju moraju biti u referentnom okviru i epohi u kojem su dane koordinate referentnih stanica CROPOS mreže.



Slika 3: WEB server – RINEX shop – virtualna referentna stanica (VRS)

2.1.1. Interpolacija i ekstrapolacija

Generiranje RINEX datoteke za jednu točku (HP001) provodi se unutar/izvan tri točke (interpolacija/ekstrapolacija) (CROPOS 1,2,3) za koje posjedujemo mjerene podatke. Interpolacija u matematičkom polju numeričke analize označava metodu konstrukcije novih podataka unutar raspona diskretnog skupa poznatih podataka, slika 4-lijevo.



Slika 4: Princip generiranja RINEX datoteke – interpolacija/ekstrapolacija (Rezo, Bačić 2009)

Ekstrapolacija u matematičkom polju numeričke analize označava metodu konstrukcije novih podataka izvan raspona diskretnog skupa poznatih podataka, slika 4-desno.

3. Transformacija koordinata između referentnih okvira

Za zadani niz GPS opažanja izvedenih u srednjoj epohi t_c izvodi se sljedeći postupak (Boucher i Altamimi 2008):

(1). Podaci se obrađuju u ITRS sustavu i epohi t_c za što se koristi najsvježiji (posljednji objavljen) okvir ITRF_{YY}. Da bi se koristile IGS (*International GNSS Service*) efemeride, realizacija YY mora biti podudarna s IGS-ovom. Stanice korištene za GPS opažanja prilikom kampa-
nje i za koje su točne koordinate (centimetarske) poznate u ITRF_{YY} trebaju biti svedene na:

$$X_{YY}^I(t_c) = X_{YY}^I(t_0) + \dot{X}_{YY}^I \times (t_c - t_0) \quad (3.1)$$

Rezultati su tada konzistentni s rješenjem ITRF_{YY} u epohi t_c .

(2). Prebacivanje u ETRS89 u epohi t_c . Postoje 2 moguća slučaja i načina kako izraziti ITRS koordinate u ETRS89 za epohu t_c .

2a) Ukoliko su GPS podaci procesirani u ITRF_{YY} (npr. ITRF97) i ciljna/rezultantna realizacija ETRS89 sustava je ETRF_{YY} (npr. ETRF97), tada se primjenjuje sljedeći postupak:

$$X^E(t_c) = X_{YY}^I(t_c) + T_{YY} + \begin{bmatrix} 0 & -\dot{R}_{3YY} & \dot{R}_{2YY} \\ \dot{R}_{3YY} & 0 & -\dot{R}_{1YY} \\ -\dot{R}_{2YY} & \dot{R}_{1YY} & 0 \end{bmatrix} \times X_{YY}^I(t_c)(t_c - 1989.0) \quad (3.2)$$

Procedure za dobivanje T_{YY} može se provesti u dva koraka (Boucher i Altamimi 2008):

a) korištenje globalnih pomaka između sukcesivnih ITRF_{YY} rješenja. Tablica 3.1 sadržava parametre za prijelaz iz ITRF_{YY} u ITRF89 u inicijalnoj epohi t_0 , a tablica 3.2 njihove godišnje (sekularne) promjene. Ako označimo koordinate baricentra ETRF89 mreže s $\bar{X}$, tada će transformacijski parametri u epohi 89.0 biti:

$$\begin{aligned} T_{YY,89} &= T_{YY,89}(t_0) + \dot{T}_{YY,89} \times (89.0 - t_0) \\ D_{YY,89} &= D_{YY,89}(t_0) + \dot{D}_{YY,89} \times (89.0 - t_0) \\ R_{YY,89} &= R_{YY,89}(t_0) + \dot{R}_{YY,89} \times (89.0 - t_0) \end{aligned} \quad (3.3)$$

što odgovara pomaku:

$$T_{YY} = T_{YY,89} + \begin{bmatrix} D_{YY,89} & -R_{3YY,89} & R_{2YY,89} \\ R_{3YY,89} & D_{YY,89} & -R_{1YY,89} \\ -R_{2YY,89} & R_{1YY,89} & D_{YY,89} \end{bmatrix} \bar{X} \quad (3.4)$$

b) računanje pomaka ETRF89 stanica (tzv. EUREF 89 vrijednosti), tj. izračun pomaka/reziduala T_{YY} s 3 parametra između $X_{89}^E(89.0)$ i $X_{YY}^I(89.0)$.

U nastavku su dane konkretne numeričke vrijednosti, odnosno sadržaj tablica 3.1, 3.2 prethodno spominjane.

Tablica 3.1: Transformacijski parametri iz ITRF_{yy} u ITRF89 (Šljivarić, 2010)

Ref.	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3	Nulta	Broj ref.
Okvir	cm	cm	cm	10–8	mas	mas	mas	epoha	točaka
ITRF90	0.50	2.40	-3.80	0.34	0.00	0.00	0.00	88.0	9
ITRF91	0.60	2.00	-5.40	0.37	0.00	0.00	0.00	88.0	12
ITRF92	1.70	3.40	-6.00	0.51	0.00	0.00	0.00	88.0	15
ITRF93	1.90	4.10	-5.30	0.39	0.39	-0.80	0.96	88.0	18
ITRF94	2.30	3.60	-6.80	0.43	0.00	0.00	0.00	88.0	21
ITRF96	2.30	3.60	-6.80	0.43	0.00	0.00	0.00	88.0	24
ITRF97	2.30	3.60	-6.80	0.43	0.00	0.00	0.00	88.0	27
ITRF2000	3.00	4.20	-8.70	0.59	0.00	0.00	0.00	97.0	
ITRF2005	3.00	3.90	-9.70	0.63	0.00	0.00	0.06	00.0	

Tablica 3.2: Godišnje promjene transf. parametara iz ITRF_{yy} u ITRF89 (Šljivarić, 2010)

Ref.	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3
okvir	cm/y	cm/y	cm/y	10–8/y	mas/y	mas/y	mas/y
ITRF90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ITRF91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ITRF92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ITRF93	0.29	-0.04	-0.08	0.00	0.11	0.19	-0.05
ITRF94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ITRF96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

2b) U slučaju ako su GPS podaci procesirani u ITRF_{yy} (npr. ITRF2005) i rezultatna/ciljna realizacija ETRS89 sustava je okvir ETRF_{xx} (npr. ETRF93), tada se treba koristiti procedura u 2 koraka:

2b1) Transformiraju se ITRF_{yy} koordinate u epohi t_c u ITRF_{xx} okvir preko vrijednosti objavljenih od strane IERS/ITRF-a, vidljivih u priloženim tablicama tj. tablicama 3.1. i 3.2.

2b2) Koristi se spomenuti postupak (2a) kojim se transformiraju podaci iz ITRF_{xx} u ETRF_{xx}.

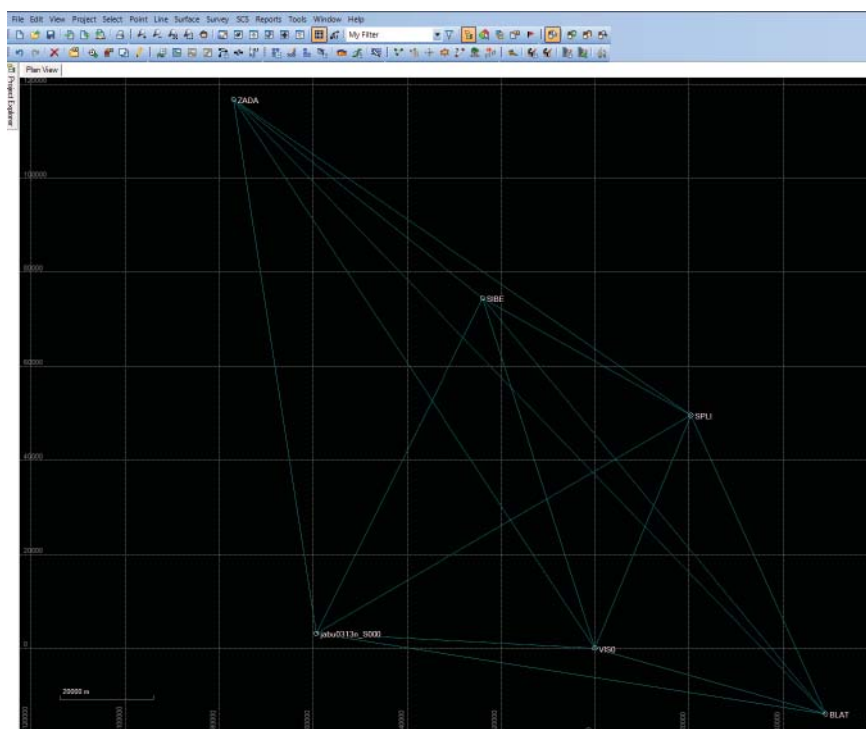
U kontekstu GPS kampanje, više se ne preporučuje objavljivanje koordinata stanica osrednjivanjem brzina pomaka tektonskih ploča u ijednoj drugoj epohi nego srednjoj epohi opažanja t_c u kojoj se i opažalo.

4. Primjena generiranih RINEX datoteka

Cilj primjene generiranih RINEX datoteka je: smanjiti broj terenskih ekipa, smanjiti vrijeme opažanja, obradu mjerenih vektora provesti s mjerenim datotekama na novim točkama i generiranim datotekama na točkama iz mreže čije koordinate prethodno znamo te izjednačenje mreže provesti fiksirajući koordinate točaka za koje smo provodili postupak generiranja datoteka.

4.1 Obrada i izjednačenje mreže iz direktno mjerenih veličina

Obrada i optimiranje baznih linija obavljena je uporabom programskog paketa TBC - (*Trimble Business Center*) tvrtke Trimble. Vektori su također obrađeni i optimirani u istom programskom paketu i to podizanjem elevacijske maske, kraćenjem vremena opažanja i izbacivanjem satelita s izrazito lošim šumom signala. Također, važno je napomenuti da su se tijekom optimiranja vektora koristile precizne efemeride satelita, a preuzete su s internet adrese: <http://earth-info.nima.mil/GandG/sathtml/2003APCexe.html>. Mreža sadrži ukupno 14 vektora, sa 9 koreliranih mjerenja odnosno vektora, vidi sliku 5.



Slika 5: Raspored referentnih točaka iz CROPOS mreže i nepoznate točke - Jabuka

Ilustriranje uspješnosti mjerenja i pravilnog pristupa mjerenju baznih linija u nultom prolazu nije pokazala zadovoljavajuće rezultate iz razloga vrlo kratkog vremena opažanja koje je iznosilo 55 minuta. Kroz postupak optimiranja sva su rješenja bila fiksirana, a vektori su zadovoljili postavljene kriterije za Ratio (>1.5) i Reference variance (oko 1 do 1.5). Međutim bitno je istaknuti da ovakav pristup izvlačenja fiksnih rješenja na uštreb pouzdanosti nije prihvatljiv, pa su moguća eventualna odstupanja koja će biti vidljiva u postupku izjednačenja mreže.

Izjednačenje mreže provedeno je također uporabom programskog paketa TBC po metodi najmanjih kvadrata uz definirane uvjete da se koriste nekorelirana mjerenja, te da izjednače-

nje zadovolji statistički test (Chi-kvadrat test) a ocjenu točnosti izjednačenih mjerenja dati uz vjerojatnost od 95% (jednodimenzionalno 1.96σ i dvodimenzionalno 2.45σ).

Prilikom izjednačenja podešeni su sljedeći parametri na vrijednosti različite od standardnog postava softvera:

- pogreška određivanja vertikalnog ekscentriciteta antene: 0.0050 m
- pogreška određivanja horizontalnog ekscentriciteta antene: 0.0030 m
- vjerojatnost jednodimenzionalne pogreške: ($\sigma = 1.96$ (95%))
- vjerojatnost dvodimenzionalne pogreške: ($\sigma = 2.45$ (95%))
- skalarni faktor - alternativan
- korišteni vektori - nekorelirani
- pri izboru nekoreliranih vektora prioritet je dan vektorima koji su zadovoljili oba kriterija prihvatanja u obradi vektora, potom vektorima čija je referentna varijanca neznatno veća od granice prihvatanja, a samo iznimno vektorima koji imaju referentnu varijancu veću od prihvatljive i
- izjednačenje izvršiti u ITRF'2005 referentnom okviru, epoha mjerenja 2010.2.

Za referentne točke odabrane su: Blato (124), Šibenik (113), Split (115), Zadar (111) i Vis (128) koje se nalaze u okruženju otoka Jabuka. Koordinate referentnih stanica dane su u referentnom okviru ETRF00 (R05), tablica 4.1

Tablica 4.1: Popis koordinat u referentnom okviru ETRF00 (R05) i epohi 1989.0

Lokacija	Ime 4 ID	Broj	X (m)	Y (m)	Z (m)
Blato	BLAT	124	4477355.8878	1350947.3769	4322580.5955
Šibenik	SIBE	113	4439437.0266	1263972.7610	4386992.8328
Split	SPLI	115	4443590.2069	1311331.6629	4368983.5560
Zadar	ZADA	111	4425737.1637	1204734.5084	4417173.4702
Vis	VISO	128	4481968.4285	1301195.5828	4332884.5445

Primjenom slijeda transformacije koordinata iz jednog u drugi referentni koordinatni sustav prikazan kroz izraze u poglavlju 3. i potpune realizacije kroz programski paket T7D, izračunate su Kartezijeve (tablica 4.2) i elipsoidne (tablica 4.3) koordinate referentnih točaka iz CROPOS mreže u aktualnom datumu ITRF2005 i epohi mjerenja 2010.2, tablica 4.2.

Tablica 4.2: Popis Kartezijevih koordinata u referentnom okviru ITRF2005 i epohi 2010.2

Lokacija	Ime 4 ID	Broj	X (m)	Y (m)	Z (m)
Blato	BLAT	124	4477355.5027	1350947.7249	4322580.8766
Šibenik	SIBE	113	4439436.6174	1263973.0986	4386993.0850
Split	SPLI	115	4443589.7948	1311332.0003	4368983.8082
Zadar	ZADA	111	4425736.7579	1204734.8456	4417173.7220
Vis	VISO	128	4481968.0187	1301195.9231	4332884.7989

Tablica 4.3: Popis elipsoidnih koordinata u referentnom okviru ITRF2005 i epohi 2010.2

Lokacija	Ime 4 ID	Broj	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)
Blato	BLAT	124	42.56 17 887282	16.47 24 296975	138.6484
Šibenik	SIBE	113	43.44 09 336630	15.53 32 766357	78.9399
Split	SPLI	115	43.30 42 9786710	16.26 30 011294	87.1473
Zadar	ZADA	111	44.06 47 4357113	15.13 39 324531	64.2694
Vis	VISO	128	43.03 56 4293733	16.11 20 268252	73.0898

Kroz prethodno opisano izjednačenje s definiranim parametrima, dobiveni su rezultati za postupak izjednačenja iz direktno mjerenih podataka, tablica 4.4.

Tablica 4.4: Izjednačene koordinate točke Jabuka u referentnom okviru ITRF2005 i epohi mjerenja 2010.2

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Meter)
BLAT	N42°56'17.88728"	E16°47'24.29698"	138.648
JABUKA	N43°05'30.81778"	E15°27'35.60596"	140.399
SIBE	N43°44'09.33663"	E15°53'32.76636"	78.940
SPLI	N43°30'42.97867"	E16°26'30.01129"	87.147
VISO	N43°03'56.42937"	E16°11'20.26825"	73.090
ZADA	N44°06'47.43571"	E15°13'39.32453"	64.269

4.2 Izjednačenje mreže iz generiranih RINEX podataka

Izjednačenje mreže iz generiranih podataka u CROPOS mreži zahtjevalo je predradnju u kojoj je trebalo definirati vrijednosti koordinata u referentnom koordinatnom sustavu u kojem su dane koordinate točaka CROPOS mreže, a za koje se želi generirati datoteke podataka u RINEX formatu. Proizvoljno odabrane koordinate točaka u okruženju otoka Jabuka dane su u tablicama 4.5 i 4.6 u formatu elipsoidnog (stupnjevi, minute, sekunde) i Kartezijevog (u metrima) zapisa.

Tablica 4.5: Popis elipsoidnih koordinata VIR točaka u referentnom okviru ETRF00 (R05) i epohi 89.0

Lokacija	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)
A	43.060030000	15.274160000	100.0000
B	43.044360000	15.275310000	100.0000
C	43.052210000	15.264620000	100.0000

Tablica 4.6: Popis Kartezijevih koordinata VIR točaka u referentnom okviru ETRF00 (R05) i epohi 89.0

Lokacija	Ime 4 ID	Broj	X (m)	Y (m)	Z (m)
A			4495628.2836	1243500.1870	4335695.1101
B			4497117.3717	1244181.9895	4333966.5420
C			4496738.4215	1242507.1810	4334834.2809

Korištenjem programa T7D odabrane koordinate VIR točaka iz referentnog okvira ITRF00 i epohe 1989.0 transformirane su u referentni okvir ITRF2005 u kojem su dane koordinate satelita i referentnu epohu u kojem su provedena mjerenja 2010.2, tablica 4.7 i 4.8

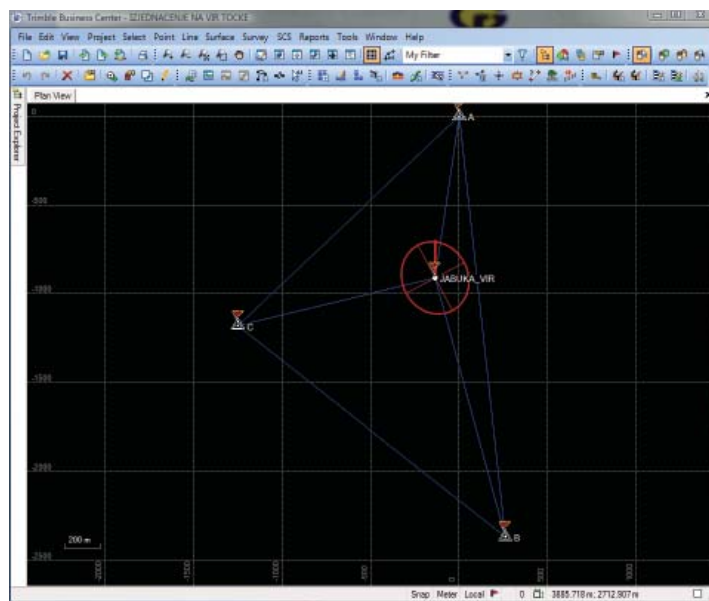
Tablica 4.7: Popis elipsoidnih koordinata VIR točaka u referentnom okviru ITRF2005 epohi 2010.2

Lokacija	Ime 4 ID		φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)
A			43.06 00 312679	15.27 41 61935	99.9961
B			43.04 43 612684	15.27 53 119350	99.9560
C			43.05 22 112684	15.26 46 219345	99.9559

Tablica 4.8: Popis Kartezijevih koordinata VIR točaka u referentnom okviru ITRF2005 epohi 2010.2

Lokacija	Ime 4 ID	Broj	X (m)	Y (m)	Z (m)
A			4495627.9066	1243500.5367	4335695.3930
B			4497116.9664	1244182.3315	4333966.7977
C			4496738.0163	1242507.5229	4334834.5366

Obrada i izjednačanje mreže VIR točaka provedena je s potpuno istim kriterijima kao i izjednačenje mreže iz direktno mjerenih podataka, ali uz napomenu da su svi vektori zadovoljili postavljene kriterije već u prvom prolazu, odnosno računu baznih linija.



Slika 6: Raspored VIR točaka i nepoznate točke - Jabuka

Mreža ima ukupno 6 vektora od toga su 3 korelirana, odnosno međusobno zavisna vektora koji povezuju točke zadane po koordinatama, slika 6.

Izjednačenjem su dobivene vrijednosti koordinata za točku Jabuka prikazane u tablici 4.9.

Tablica 4.9: Izjednačene koordinate točke Jabuka u referentnom okviru ITRF2005 i epohi mjerenja 2010.2 i generirani podaci

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Meter)
<u>A</u>	N43°06'00.31268"	E15°27'41.61935"	99.996
<u>B</u>	N43°04'43.61268"	E15°27'53.11935"	99.956
<u>C</u>	N43°05'22.11268"	E15°26'46.21935"	99.956
<u>JABUKA VIR</u>	N43°05'30.81924"	E15°27'35.60713"	140.498

Usporedbom izjednačenih koordinata dobivenih u postupku izjednačenja iz direktno mjerenih podataka i izjednačenih koordinata iz generiranih RINEX podataka (dobivenih ekstrapolacijom), izračunate su razlike elipsoidnih koordinata, tablica 4.10.

Tablica 4.10: Razlika elipsoidnih koordinata za točku Jabuka izračunate iz direktno mjerenih i generiranih podataka

Lokacija	Ime 4 ID	rms	φ (° ' ")	λ (° ' ")	h (m)
Izjednačenje iz CROPOS mreže na pet točaka u ITRF2005 epohi 2010.2					
JABUKA	JABU	0.156	N43°05'30.81778"	E15°27'35.60596"	140.399
Izjednačenje iz VIR podataka na tri točke u ITRF2005 epohi 2010.2					
JABUKA	JABU	0.192	N43°05'30.81925"	E15°27'35.60707"	140.500
Razlike koordinata					
Razlika elipsoidnih koordinata			- 0°00'00.00146"	- 0°00'00.00117"	- 0.099 m
			- 0.045 m	- 0.025 m	- 0.099 m

Razlika od 4.5 cm u smjeru sjever-jug i 2.5 cm u smjeru istok-zapad, te 9.9 cm u visinskom smislu mogla bi se prije svega pripisati nastojanjima da se dobiju fiksna rješenja iz relativno kratkih mjerenja primjenjenih kod izjednačenja iz direktno mjerenih podataka, a ne nikakvo pogreškama koje bi proizišle izjednačenjem iz generiranih podataka.

5. Zaključak

Cilj primjene generiranih RINEX datoteka je smanjiti broj terenskih ekipa, smanjiti vrijeme opažanja, obradu mjerenih vektora provesti s mjerenim datotekama na novim točkama i generiranim datotekama na točkama iz mreže čije koordinate prethodno znamo, te izjednačenje mreže provesti fiksirajući koordinate točaka za koje smo provodili postupak generiranja datoteka. Uz već poznate rezultate primjene generiranih RINEX datoteka unutar (interpolacija) točaka CROPOS mreže moguće je koristiti RINEX datoteke generirane izvan područja (ekstrapolacija), koje ne obuhvaćaju točke CROPOS mreže u figuri trokuta. Zbog kratkih vremenskih intervala opažanja na točkama stalne geodetske osnove i dugih baznih linija koje nude FLOAT rješenja, preporučljivo je koristiti generirane RINEX datoteke u blizini mjerene točke!

6. Literatura

- Bačić, Ž. (2010): Satelitsko pozicioniranje, Predavanja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bačić, Ž. i Bačić, T. (1999): Satelitska geodezija, skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Boucher, C., Altamimi, Z (2008): Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. Memorandum verzija br. 7, *IERS Technical Note*, 24. listopada 2008., Paris.
- Marjanović, M. (2010): Implementacija jedinstvenog transformacijskog modela u CROPOS sustav, Prezentacija, Trimble Express 2010, 22.-26. 03. 2010, Zagreb
- Rezo, M., Bačić, Ž. (2009): Obrada i izjednačenje mjerenih veličina u RINEX formatu iz CROPOS mreže. Državna geodetska uprava - Prva CROPOS konferencija. Zagreb 08.-09. listopada 2009., Zbornik radova, 41-64, Zagreb.
- Šljivarić, M. (2010): Optimizacija metodologije trodimenzionalnih međudatumskih transformacija u Hrvatskoj, doktorski rad, str. 1-162, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.

Primjena suvremene geodetske opreme i metoda mjerenja kod izvođenja geodetskih radova na novim katastarskim izmjerama

Ivan Vojnović¹, Ivan Miljković², Danko Gjuretek³,
Tomislav Bašić⁴

Sažetak

Suvremeni čovjek je svjedok nevjerojatnog razvoja tehnologije u posljednjih 35 godina i njezinog velikog utjecaja na sve grane ljudskog djelovanja, a moglo bi se reći da je najveći među njima na geodetsku struku – od pojave elektrooptičkog daljinomjera sredinom 70-ih godina, elektrooptičkih daljinomjera s automatskom registracijom mjerenih podataka sredinom i računala krajem 80-ih godina, pa do GPS-a početkom 90-ih godina prošlog stoljeća. Uspostavom CROPOS-a i uvođenjem GRS80 elipsoida kao referentnog, kao i nove projekcije u službenu upotrebu početkom 2010. godine, napravljen je dodatni veliki korak za hrvatsku geodeziju.

GRS80 elipsoid je dio najvećeg svjetskog sustava za precizno određivanje koordinata, američkog GPS sustava. Njegovim uvođenjem oslobođeni smo svih poteškoća uzrokovanih korištenjem Besselovog elipsoida, od različitih razina točnosti postojećih transformacijskih parametara, do nedovoljnog broja i nepovoljnog rasporeda identičnih točaka za izračun parametara transformacije. Danas smo u mogućnosti, praktički bez poznavanja sile teže, određivati sa nevjerojatnom preciznošću koordinate bilo gdje u RH. Zakonom je omogućeno i traženo da od 01.01.2010. godine NIJE POTREBNO TRANSFORMIRATI KOORDINATE DOBIVENE mjerenjem GPS-om ili elektrooptičkim daljinomjerima da bi se obavljali bilo kakvi geodetski poslovi (katastar, kartografija, inženjerska geodezija).

Međutim, ovu spoznaju geodeti u RH praktički ne koriste, a dokazi toga su mnogobrojni. Danas je u službenoj upotrebi sustav "skica – kontrolna mjerenja – front" s dozvoljenim odstupanjima koja su određena 50-ih godina prošlog stoljeća i ranije, za vrijeme stare Jugoslavije, od 1920. – 1945. godine. Misli se na dozvoljena odstupanja kod računanja poligonskih vlakova kao najčešće primjenjivanog računa. Slijepi vlak ima ograničenje na dvije poligonske točke. Detaljne točke se u postupku kartiranja kontroliraju kontrolnim odmjeranjima - frontovima, što je u praksi potpuno besmisleno.

Daljnji razvoj tehnologije je neupitan, svakodnevno se proizvode brojni programi za automatiziranje svih segmenata društva, tehnologija je sve sofisticiranija. Nužno je sagledati te činjenice i ugraditi ih u zakone i pravilnike čim prije, kako bismo sustigli trenutni stupanj razvoja tehnologije i išli u korak sa vremenom.

Ovim radom se želi potaknuti geodetsku i ostalu javnost na neophodnost hitnog definiranja načina prikupljanja podataka i izrade katastarskih planova vodeći računa o mogućnostima tehnologije u ovom trenutku kao i u budućnosti, a isto tako i potrebe društva za brzim, učinkovitim i svekolikim drugim razvojem.

Također, želi se upozoriti na neodrživost trenutnog stanja i na nužnost hitne promjene, koja je apsolutno moguća, a u interesu svekolikog razvoja društva i geodetske struke.

¹ Ivan Vojnović, Geoprojekt d.o.o., Zagreb

² Ivan Miljković, Geoprojekt d.o.o., Zagreb

³ Danko Gjuretek, Geoprojekt d.o.o., Zagreb

⁴ prof. dr. sc. Tomislav Bašić, dipl. ing. geod.; Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku - Katedra za državnu izmjeru, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: tomlslav.basic@geof.hr

1. Uvod

Cilj ovog rada je prikazati mogućnosti suvremene geodetske opreme (elektrooptičkog daljinomjera Leica TC 1103 i GPS uređaja Thales ZMax, kao i drugih elektrooptičkih daljinomjera i GPS uređaja jer imaju istu ili sličnu unutarnju točnost i način primjene) i načina mjerenja (precizna tahimetrija i GNSS RTK) koje tvrtka Geoprojekt primjenjuje zadnjih 10 godina na tkz. novim katastarskim izmjerama.

Provedenim istraživanjem i rezultatima bit će predstavljena točnost i pouzdanost koordinata lomnih točaka međnih linija na osnovu dva neovisna mjerenja (u dva neovisna puta geodetski su snimljene lomne točke međnih linija) i položajnih razlika koordinata (y, x) između tih dvaju mjerenja.

Namjera je dobivenim rezultatima potaknuti ovlaštene inženjere geodezije na razmišljanje o uvođenju apsolutne ocjene točnosti položajnih koordinata lomnih točaka međnih linija u geodetsku praksu, naročito katastarsku, kao dokaza kvalitete obavljenih radova umjesto dvostrukih mjerenja kako je trenutno definirano Pravilnikom o katastarskoj izmjeri i tehničkoj reambulaciji.

Time bi se dobila ocjena točnosti u apsolutnom smislu: standardna devijacija, pouzdanost i preciznost sa uključenim slijedom od CROPOS referentnih stanica do detaljnih točaka.

Mana postojećeg geodetskog sustava je što ne koristi mogućnosti suvremenih tehnologija i metoda rada, a neažurirani zakoni i pravilnici usporavaju ili onemogućuju proces rada. Primjer tome je terenska skica mjerenja. U gotovo svim geodetskim poslovima još je uvijek prisutna, iako sadrži nepotrebne, nepotpune i izmišljene podatke. Upravo iz tog razloga, a za potrebe ovog rada, taj zastarjeli koncept geodezije nazvan je „geodezija skica“.

Kao moguću alternativu postojećem sustavu, ovim radom se želi ukazati na novi način gledanja na prikupljene podatke, njihovo vrednovanje i upotrebu.

Taj novi koncept, koji je usklađen sa suvremenim načinom života i u punom potencijalu koristi dostupne mogućnosti (suvremeni instrumenti i programska rješenja), a pojednostavljuje i ubrzava posao, nazvan je „životna geodezija“. Detaljnija razrada „životne geodezije“ dana je u Zaključku nakon opisa izvršenih radova i analize rezultata.

2. Područje rada

Za test polje odabrano je područje obuhvaćeno katastarskom izmjerom na području naselja Duga Međa. Novoformirana K.o. Duga Međa nastala je iz dijelova katastarskih općina Orahovica, Dolci i Zdenci, te pokriva površinu od 522 ha.

2.1. Uspostava dopunske mreže stalnih geodetskih točaka

Nakon revizije stanja postojeće mreže, utvrđeno je da mrežu treba dopuniti, pa je uz 10 postojećih stabilizirano 14 novih GPS točaka. Mjerenje cjelokupnog bloka geodetskih točaka (postojećih iz prijašnjih epoha i novopostavljenih) izvršeno je dvofrekventnim GPS uređajima Ashtech Z-Surveyor sa pripadajućim antenama 701008_GEO.III_L1/L2, relativnim statičkim postupkom, uz osiguranje relativne točnosti od $\pm (1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm})$ u horizontalnom smislu, te $\pm (2 \text{ cm} + 1 \text{ ppm})$ u vertikalnom smislu.

Kao dodatna kontrola, pronađene su i opažane dvije trigonometrijske točke.

2.2. Obrada i izjednačenje opažanih vektora

Svi opažani vektori su računski obrađeni po danima opažanja softverom Ashtech Office Suite verzija 1.6. Kao osloničke točke korištene su točke dobivene korištenjem geodetskog preciznog servisa pozicioniranja (GPPS) koje služe kao osnova za određivanje novopostavljenih GPS točaka. Ukupno je sa WEB/FTP servera CROPOS sustava preuzeto 12 virtualnih referentnih točaka u VRS RINEX formatu.

Nakon numeričke obrade svih izmjerenih vektora, cjelokupno polje obuhvaćenih geodetskih točaka izjednačeno je na GRS80 elipsoidu.

Koordinate referentnih stanica izračunate su u ITRF2005 koordinatnom sustavu, epoha mjerenja 2008.83 (GPS tjedan 1503) te zatim transformirane u ETRF00 (R05) sustav (ETRS89) pa se i koordinate točaka mjerenih CROPOS sustavom prikazuju u tom sustavu. ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*) predstavlja službeni položajni datum za područje Europe. Pri tom se za referentni elipsoid koristi GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*).

(www.cropos.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=12#a05)

2.3. Analiza položajnih i visinskih razlika na trigonometrijskim i postojećim GPS točkama

Budući da na predmetnom području postoji polje GPS točaka, bilo je nužno provjeriti homogenost starih i novoodređenih točaka. U tu svrhu su opažane i postojeće točke s koordinatama izračunatim sa osloncem na 10 km mrežu, te su uspoređene sa novim koordinatama dobivenima uz pomoć CROPOS sustava. Rezultati su prikazani u sljedećoj tablici:

Tablica 1: Položajne i visinske razlike ETRS89 koordinata na trigonometrijskim i postojećim GPS točkama

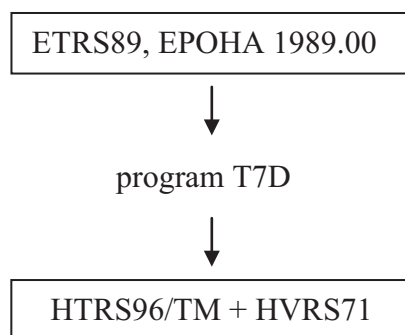
Broj točke	IMA (CROPOS)			TREBA (10 km mreža)			TREBA - IMA		
	φ	λ	h	φ	λ	h	d φ	d λ	dh
TT2Z	45°36'01".01160	17°52'26".47574	162.110 m	45°36'01".01063	17°52'26".47444	162.087 m	-0".00097	-0".00130	-0.023 m
TT184Z	45°32'43".81617	17°53'12".20723	220.442 m	45°32'43".81549	17°53'12".20665	220.442 m	0".00068	-0".00058	0.000 m
1132	45°35'09".80947	17°54'48".77963	168.035 m	45°35'09".80856	17°54'48".77894	168.004 m	-0".00091	-0".00069	-0.031 m
1164	45°34'37".48093	17°55'57".05886	168.134 m	45°34'37".48044	17°55'57".05814	168.172 m	-0".00049	-0".00072	0.038 m
1165	45°34'53".10352	17°54'52".19221	169.993 m	45°34'53".10267	17°54'52".19142	169.985 m	-0".00085	-0".00079	-0.008 m
1191	45°34'18".80972	17°54'52".83053	175.940 m	45°34'18".80864	17°54'52".82959	175.969 m	-0".00108	-0".00094	0.029 m
1193	45°34'02".04385	17°55'47".47457	175.670 m	45°34'02".04358	17°55'47".47209	175.723 m	-0".00027	-0".00248	0.053 m
1194	45°34'10".07775	17°55'59".52580	173.313 m	45°34'10".07688	17°55'59".52171	173.333 m	-0".00087	-0".00409	0.020 m
1196	45°34'10".43694	17°56'35".39548	170.189 m	45°34'10".43632	17°56'35".39431	170.215 m	-0".00062	-0".00117	0.026 m
1219	45°33'48".97172	17°55'27".82131	179.820 m	45°33'48".97133	17°55'27".81961	179.835 m	-0".00039	-0".00170	0.015 m
1220	45°33'40".94164	17°55'15".72635	183.351 m	45°33'40".94159	17°55'15".72466	183.326 m	-0".00005	-0".00169	-0.025 m
1221	45°33'29".22771	17°54'58".00398	185.552 m	45°33'29".22706	17°54'58".00245	185.497 m	-0".00065	-0".00153	-0.055 m

2.4. Prijelaz sa elipsoidnih koordinata koje su u sustavu ETRS89 u ravninske koordinate koje su u sustavu poprečne Mercatorove projekcije HTRS96/TM i ortometrijski visinski sustav HVRS71

Pri satelitskim GPS mjerenjima koordinate točaka izvorno se dobivaju u geocentričnom koordinatnom sustavu GRS80. Kako su prilikom izjednačenja mreže na GRS80 elipsoidu korištene ETRS89 koordinate fiksnih točaka, to su i sve ostale točke dobivene u tom sustavu. Da bi te koordinate bile uporabive za geodetsku praksu, potrebno ih je preslikati u službenu kartografsku projekciju HTRS96/TM.

Dobivene koordinate novih točaka u ETRS89 imaju pripadajuće elipsoidne visine, koje treba umanjiti za geoidnu undulaciju, za što je korištena ploha geoida HRG2009.

Cijeli postupak je obavljen u programu T7D; za visinski datum je odabran HVRS71, a za centralni meridijan $16^{\circ}30'$ s dodanom konstantom od 500 000 m prema istoku i mjerilom preslikavanja na srednjem meridijanu 0.9999.



3. Geodetska izmjera lomnih točaka međnih linija

3.2. Obilježavanje međa i drugih granica vidljivim trajnim oznakama

Vlasnici i nositelji stvarnih prava na nekretninama pismenim su putem (poziv s povratnicom) pozivani da u određenom terminu obilježe svoje nekretnine uz prisustvo vlasnika susjednih parcela i djelatnika Geoprojekta. Nakon završetka obilježavanja na terenu, potpisivali su zapisnik o utvrđivanju međa. Sve točke međnih linija stabilizirane su plastičnim oznakama sa čeličnim klinovima. Na takav način su omeđena 522 ha, tj. 297 novih katastarskih čestica. Sve navedene radnje sprovedene su u suradnji s nadležnim katastarskim uredom i nadzornim inženjerima određenima po središnjem državnom uredu DGU.

3.2. Geodetska izmjera točaka međnih linija

Na području Duge Međe snimljena je 1081 lomna međna točka, svaka dva puta. Dostupnost kvalitetnog GPS signala je bila presudna pri odabiru metode snimanja pojedinog dijela terena, pa je prema tome većina ekstravilana snimljena RTK metodom, dok je većina intravilana snimljena totalnom stanicom.

Snimanje su izvršile dvije terenske ekipe tijekom prosinca 2009. godine.

Korišteni instrumenti su:

- totalna stanica Leica TC 1103,
- Thales Z-Max komplet (baza i rover; UHF radio prijenos korekcije).

Precizna tahimetrijska mjerenja su se vršila sa ispravnom rektificiranom opremom i opremom za prisilno centriranje.

Drugo snimanje je izvedeno 15 dana nakon prvog, a utrošeno je 60 % vremena prvog snimanja (za intravilan 50%).

Kod snimanja nije bilo nikakve posebne pripreme u pogledu ispravnosti korištene opreme kao i primjenjenih metoda rada; geodetska snimanja izvršena su opremom i načinom rada kakav tvrtka Geoprojekt koristi već više od 15 godina u svim terenskim mjerenjima za potrebe izrade elaborata promjena katastra.

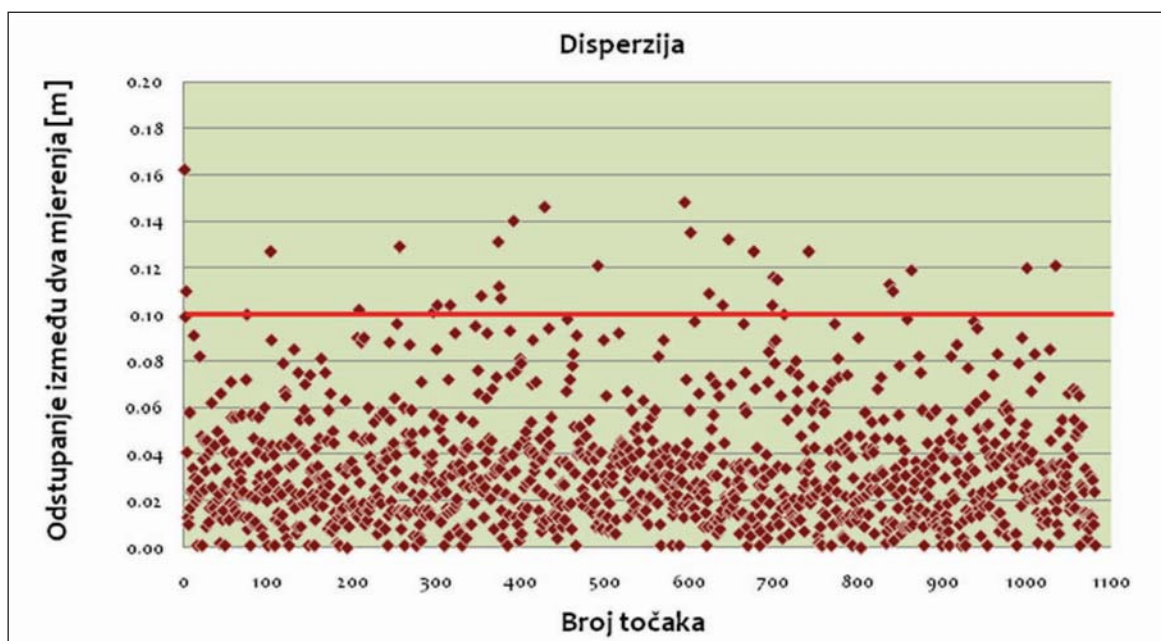
4. Analiza rezultata dvostrukog mjerenja lomnih točaka međnih linija

Dobiveni rezultati mogu se prikazati na način kako je to propisano Pravilnikom o katastarskoj izmjeri i tehničkoj reambulaciji, odnosno razlikom dvaju mjerenja.

Kako bi se dao jasniji uvid u kvalitetu radova i mogućnosti koje nude korištene metode rada, formirane su kategorije odstupanja u koje su raspoređeni rezultati analize.

Tablica 2. Raspodjela odstupanja po kategorijama

KATEGORIJE	BROJ TOČAKA	POSTOTAK
0 - 0.05 m	872	80.67 %
0.05 - 0.10 m	179	16.56 %
0.10 - 0.15 m	29	2.68 %
0.15 - 0.20 m	1	0.09 %
UKUPNO	1081	100 %



Slika 1. Odstupanje svake pojedine točke

Drugi način iskazivanja ovih rezultata je sljedeći:

Iz dva neovisna mjerenja (dvostruka mjerenja) za svaku pojedinu detaljnu točku izračunata je običnom aritmetičkom sredinom konačna koordinata y i x, koja je ujedno i definitivna za izradu katastarskog plana.

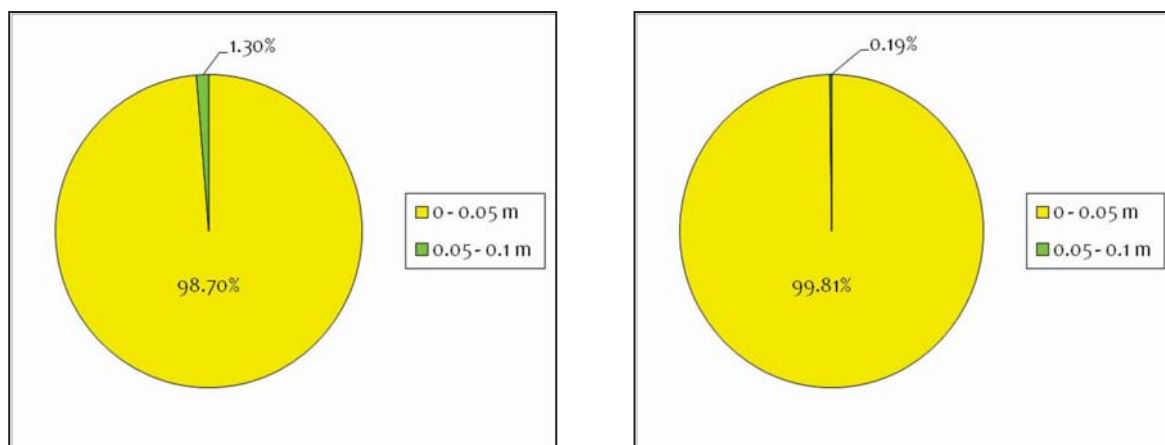
Kako se ovdje radi o dvostrukim mjerenjima, po principu ocjene točnosti obične aritmetičke sredine izračunata je za svaku točku srednja pogreška pojedinog mjerenja “m” po osi y i x, a nakon toga po osi y i x srednja pogreška “M” aritmetičke sredine pojedine detaljne točke po sljedećim modelima:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[v v]}{n-1}}$$

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{[v v]}{n(n-1)}}$$

Rezultat ovoga izračuna je vidljiva vrijednost standardne devijacije na osnovi dvostrukih mjerenja i obične aritmetičke sredine, koja se po osi y kreće od 0.00 do ± 0.078 , a po osi x od 0.00 do ± 0.074 , dok je pouzdanost 100% - na, ni jedna točka nema neprihvatljivu standardnu devijaciju.

Konačno, izračunata je i srednja vrijednost standardne devijacije za cijeli zadatak i iznosi ± 0.01 po osi y i ± 0.01 po osi x.



Slika 2. Srednja pogreška “M” aritmetičke sredine po osima y i x

U gore prikazanim dijagramima su dobivene srednje pogreške aritmetičke sredine svrstane u kategorije od 0 do 5 cm i od 5 do 10 cm.

5. Zaključak

Iz svega izloženog može se promišljati u dva osnovna smjera s obzirom na Pravilnik o katastarskoj izmjeri i tehničkoj reambulaciji, gdje u članku 23. stoji:

„Dopušteno maksimalno odstupanje izmjerenih položajnih koordinata lomnih točaka međa i drugih granica između dva neovisna mjerenja je 0,2 m na zemljištu u građevinskom

području i građevinskom zemljištu izvan građevinskog područja, odnosno 0,4 m za ostalo zemljište. 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 izmjerenih položajnih koordinata lomnih točaka međa i drugih granica između dva neovisna mjerenja je 0,1 m.“

Prvi način bi bio:

K.o. Duga Međa spada u područje sa maksimalnim dopuštenim odstupanjem između dva mjerenja od 0.20 m u građevinskom, odnosno 0.40 m na ostalom zemljištu. Dokazana je 100% sigurnost, odnosno pouzdanost koordinata 1081 točke. Drugim riječima, ni za jednu točku razlika između dva neovisna mjerenja nije prešla dozvoljena odstupanja predviđena Pravilnikom, štoviše 97% mjerenja zadovoljava najstroži propisani kriterij, a to je odstupanje od 0.1 m za građevinska područja u velikim gradovima i zaštićenim obalnim područjima. Iz navedenog se može sa sigurnošću tvrditi da detaljne točke nije potrebno kontrolirati mjerenjem kontrolnih odmjerenja (frontova) i to iz razloga što bi se izvodila mjernim vrpčama, gdje bi izmjereni front bio daleko manje točnosti od fronta koji se izračuna iz koordinata točaka dobivenih posrednim mjerenjem kuteva i dužina, odnosno GNSS RTK metodom. Također, nije potrebno izvoditi ni drugo neovisno geodetsko snimanje da bi se zadovoljio Pravilnik.

Iz svega navedenog proizlazi da su potpuno neprimjereno, štetno za društvo, štetno za geodetsku struku, određene vrijednosti dopuštenih odstupanja u članku 23. Pravilnika. One mogu i moraju biti daleko manje, trebaju se donijeti u svekolikoj raspravi unutar geodetske struke kao i unutar društva, jer predstavljaju osnovu za pravilno, učinkovito i uspješno funkcioniranje geodetske struke i društva, odnosno geodetske struke unutar društva. Važno je ovdje reći da uvođenje manjih odstupanja, odnosno apsolutne točnosti koordinata s primjerenim dozvoljenim odstupanjima i sigurnošću ne povećava znatno cijenu geodetskih radova, a ako se uzme u obzir kraće vrijeme izrade elaborata i dugotrajna dobit kod korištenja podataka izmjere od strane društva i geodetske struke, povećanje cijene svakako je zanemariva veličina.

Drugi način bio bi:

Iz rezultata izjednačenja je vidljivo da je srednja vrijednost standardne devijacije za cijeli zadatak, na osnovi dvostrukih mjerenja i obične aritmetičke sredine, po osi $y \pm 0.01$, uz maksimalnu vrijednost od ± 0.078 i minimalnu vrijednost od 0.00, odnosno po osi $x \pm 0.01$, uz maksimalnu vrijednost od ± 0.074 i minimalnu vrijednost od 0.00, dok je pouzdanost, odnosno sigurnost 100%. Niti jedna točka od 1081 nema grubu grešku, odnosno točnost je u granicama daleko ispod unaprijed postavljenih okvira.

Iznos srednje vrijednosti standardne devijacije aritmetičke sredine za cijeli zadatak daje opravdani temelj za uvođenje apsolutne ocjene točnosti koordinata u Pravilnik. Takav pristup snimljenim točkama daje puno veću težinu u odnosu na postojeću formulaciju koja ne govori o ocjeni točnosti, već ima namjeru uvesti neku vrstu kontrole, sa odstupanjima koja su daleko veća od mogućnosti suvremenog instrumentarija i tehnika rada.

Konceptualno, današnja katastarska geodetska praksa nije „životna“ i to u smislu da terenska mjerenja i uredska obrada tih mjerenja ne daju odmah konačan rezultat, a to su zatvoreni poligon parcele, zatvorena linija linijski snimanog objekta ili definitivna točka. Sva mjerenja potrebno je prikazati u obliku skice mjerenja na kojoj se pored broja točke moraju prikazati i tkz. kontrolna mjerenja – frontovi, pomoću kojih dokazujemo da su koordinate lomnih točaka međnih linija ispravne, odnosno kontroliramo geodetsko terensko snimanje. Kao što je navedeno u uvodu, ovakav način rada bi se moglo nazvati „geodezija skica“.

Propisanim načinom rada prisiljeni smo kvalitetne podatke pretvarati u zastarjeli prikaz i to u uredu, a znamo da je izrada skice terenski posao. Istodobno danas nitko ne kartira detalj koristeći skicu izmjere. Zbog toga je skica nepotrebna i inače ima upotrebu kratkog vijeka, nitko ju ne koristi u održavanju operata, već treba biti sastavni dio elaborata jer to traži Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina.

Današnje stanje je takvo da međa na planu u pravilu ne odgovara međi na geodetskom planu. Međa prema Zakonu o vlasništvu i drugim stvarnim pravima pojednostavljeno interpretirano je: linija u naravi s kojom se slažu oba vlasnika susjednih čestica u tom trenutku, dakle međa u naravi je podložna promjenama, ovisno o subjektivnom viđenju vlasnika.

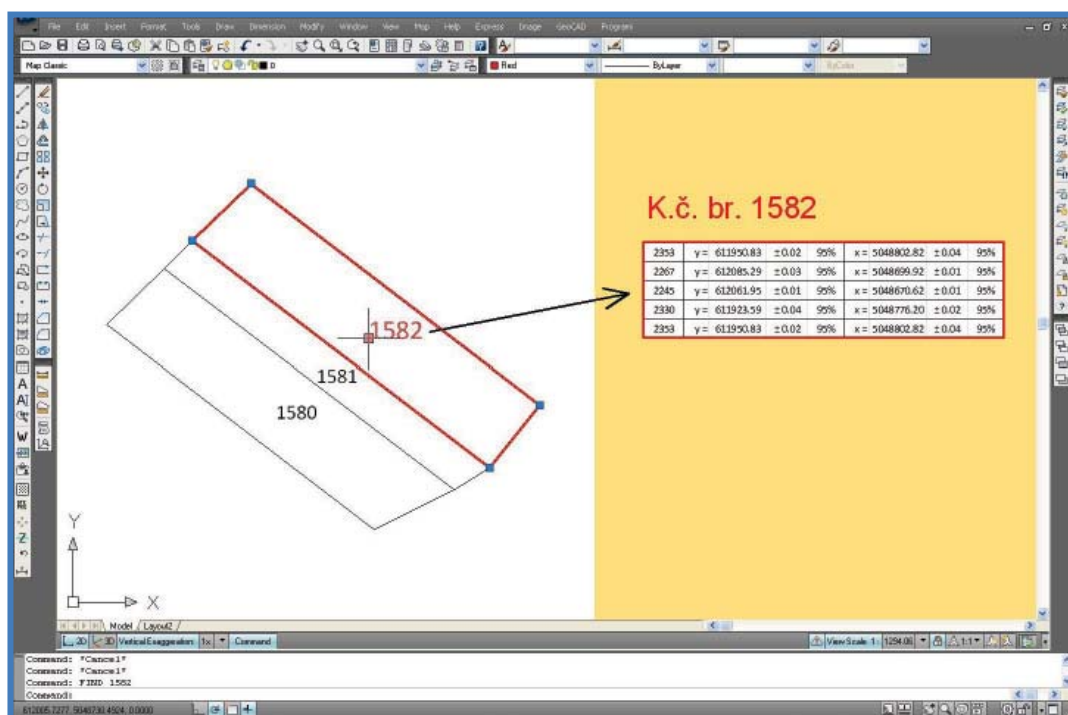
Naše zalaganje ide u smjeru da međa, odnosno lomne točke međnih linija, jednom kada su definirane u postupku omeđavanja, geodetski snimljene s ocjenom točnosti i sigurnosti i kada je definitivno utvrđena parcela na digitalnom planu, postanu prostorno jednoznačno definirane. Primjena ovoga načela bi bila na obnovi lomnih točaka međnih linija (jednostavnim i brzim geodetskim postupcima, a ne više u dugačkim sudskim procesima), kod korištenja u projektiranjima i drugim postupcima gdje je potrebno koristiti katastarsku parcelu.

Uvođenje ocjene točnosti koordinata omogućava inženjerima u praksi sasvim novi način promišljanja u svakodnevnom radu – katastarski plan postaje vjerodostojan prikaz stvarnog stanja u naravi.

Na primjeru parcele, to bi bile točke smisleno poredane u zatvoreni poligon sa pripadajućim koordinatama, ocjenom njihove točnosti, sigurnosti i pouzdanosti; kod snimanja linijskih objekata (komunalne instalacije) definirana polilinija prvom točkom slijedom sljedećih točaka i opet prvom točkom, sa pripadajućim koordinatama, ocjenom njihove točnosti, sigurnosti i pouzdanosti. Isto tako, svaka pojedinačna točka bilo gdje na planu treba imati pripadajuću koordinatu, s ocjenom točnosti, sigurnosti i pouzdanosti.

Iz navedenog primjera katastarskog plana koji uz ostale podatke daje i one najvažnije – koordinate sa ocjenom točnosti i pouzdanosti, vidimo smjer kojem teži „životna geodezija“.

Određivanje koordinata s visokom točnošću, koje je danas moguće, a i u budućnosti će biti sve lakše, najbitnija je stavka koja geodete stavlja u ravnopravan položaj spram ostalih struka kada su u pitanju prostorni podaci.

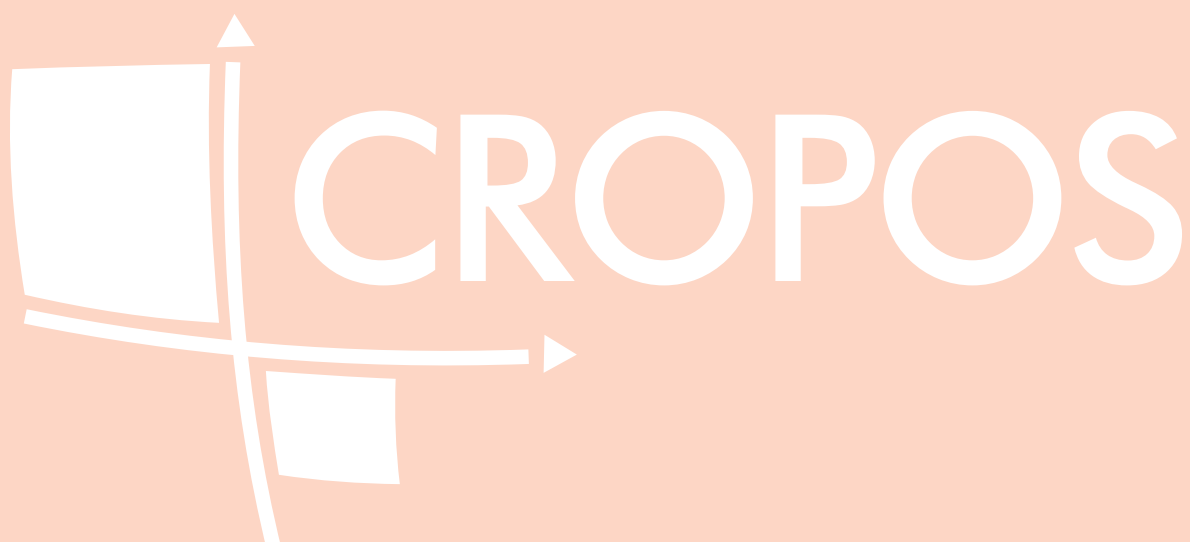


Slika 3. Primjer prikaza katastarskog plana sa ocjenom točnosti lomnih točaka međnih linija

Uvođenje ocjene točnosti koordinatama, njihove sigurnosti i pouzdanosti ima ogromnu tehničku i ekonomsku važnost. Najvažnije je svakako da će geodetski stručnjaci imati sasvim drugačiji pogled na geodeziju od sadašnjeg. Bit će omogućena “normalna” tehnička razmjena podataka s drugim strukama, naročito onima koje koriste katastarski plan, kao što su urbanisti, projektanti-arhitekti-građevinari, komunalne organizacije – katastri vodova – služnost i drugo. Isto tako, od neprocjenjive je važnosti ekonomska dobit koja bi se ostvarila u budućem dugom vremenskom periodu u kojem bi se ovako dobiveni planovi mogli primjenjivati.

Budućnost naše struke je pored drugih proširenja djelatnosti (pravni dio, prostorni dio, projektantski dio) i inzistiranje na točnosti, jer to nam valjda nitko ne može uzeti. Sve to skupa, geodetskim stručnjacima daje jedan sasvim novi položaj i odgovornost u društvu. Naše društvo, po našem mišljenju, sasvim sigurno treba ovakav koncept geodetske djelatnosti ako ni zbog čega drugog, onda da bi krenulo na put veće učinkovitosti.

Ovaj rad ukazuje na opravdanost uvođenja novog koncepta „životne geodezije“, jasno definirane zakonima i pravilnicima, bez skica i suvišnog papira.



Određivanje koordinata stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom CROPOS-a¹

Mladen ZRINJSKI², Nikola SOLARIĆ³, Tomislav BAŠIĆ⁴

Sažetak

U ovom radu opisano je određivanje koordinata stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu primjenom GPPS servisa CROPOS-a. GPS-mjerenja obavljena su na 7 stupova kalibracijske baze: 0, 1, 2, 3, 5, 7 i 10. U mjerenje je uključena i trigonometrijska točka I. reda Brusnik kako bi se povećala duljina kalibracijske baze, a odabrana je točka Brusnik jer je to točka s najpreciznije određenim položajnim koordinatama u Hrvatskoj. Mjerenja na stupovima kalibracijske baze obavljena su u 8 sesija po 24 sata, od 25. srpnja do 2. kolovoza 2009. godine, a na točki Brusnik u prve dvije sesije. Obrada GPS-vektora i izjednačenje koordinata stupova kalibracijske baze i Brusnika obavljeno je softverom Trimble Total Control (TTC), v. 2.73. Za izjednačenje koordinata korištene su 4 referentne stanice CROPOS-a: Bjelovar, Karlovac, Sisak i Zabok. Kao konačan rezultat dane su koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika u ETRS89, epoha 1989.00, u službenome položajnom datumu Republike Hrvatske.

Ključne riječi: kalibracijska baza, Brusnik, GPPS, CROPOS, GNSS, ETRS89.

Abstract

The paper describes the determination of pillar coordinates at the calibration baseline of the Faculty of Geodesy, University of Zagreb by means of GPPS service of CROPOS. GPS measurements have been made on 7 pillars of the calibration baseline: 0, 1, 2, 3, 5, 7 and 10. The I. order trigonometric point Brusnik was included into the measurements for the purpose of enlarging the length of the calibration baseline. The point Brusnik was selected because it is the point with the most precisely determined positional coordinates in Croatia. The measurements on the pillars of the calibration baseline were made in 8 sessions lasting 24 hours each, from July 25 till August 2, 2009, and on the point Brusnik in the first two sessions. The processing of GPS vectors and the adjustment of the pillar coordinates of the calibration baseline and of Brusnik were made with the software Trimble Total Control (TTC), v. 2.73. For the adjustment of coordinates there were 4 reference stations of CROPOS used: Bjelovar, Karlovac, Sisak and Zabok. As the final result the pillar coordinates of the calibration baseline and of Brusnik were given in ETRS89, epoch 1989.00, in the official positional datum of the Republic of Croatia.

Keywords: calibration baseline, Brusnik, GPPS, CROPOS, GNSS, ETRS89.

¹ Rad je prihvaćen za objavljivanje u Zborniku iako zbog vremenskog ograničenja nije bio prezentiran na 2. CROPOS konferenciji

² Dr. sc. Mladen Zrinjski, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: mladen.zrinjski@geof.hr

³ Prof. emer. dr. sc. Nikola Solarić, član emeritus Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: nikola.solaric@geof.hr

⁴ Prof. dr. sc. Tomislav Bašić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, e-mail: tomlav.basic@geof.hr

1. Uvod

CROPOS (CROatian POSitioning System) čini 30 referentnih GNSS-stanica na međusobnoj udaljenosti od približno 70 km, raspoređenih tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske, u svrhu prikupljanja podataka satelitskih mjerenja i računanja korekcijskih parametara (URL 4). CROPOS podržava tri servisa: DSP (Differential Positioning Service), VPPS (*High-Precision Positioning Service*) i GPPS (*Geodetic-Precision Positioning Service*).

Primjenom GPPS servisa CROPOS-a garantira se postizanje točnosti određivanja 3D-koordinata od ± 1 cm (URL 4). GPPS servis primijenjen je za određivanje koordinata stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta.

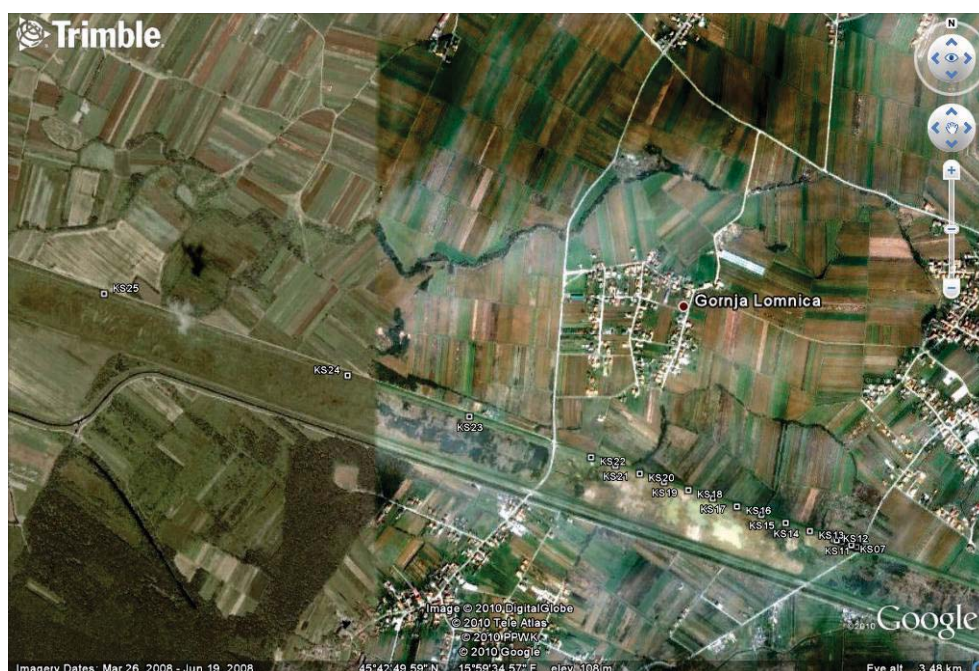
2. Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (slika 1), prema dostupnoj literaturi, najdulja je kalibracijska baza i baza je s najvećim brojem stupova u svijetu (Solarić i dr. 1992, Zrinjski 2010, tablica 1). Izgrađena je 1982. godine za potrebe ispitivanja i umjeravanja elektrooptičkih daljinomjera i postizanja jednoga zajedničkog mjerila pri mjerenju duljina do 3100 m (6000 m) na području Republike Hrvatske (Solarić i dr. 1992).



Slika 1. Kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Zrinjski 2010).

Slika 2 prikazuje položaj stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u aplikaciji Google Earth.



Slika 2. Položaj stupova kalibracijske baze na Google Earthu (URL 8).

U tablici 1 dan je popis kalibracijskih baza: prema mjestu i državi u kojem se baza nalazi, s ukupnim brojem stupova, maksimalnom duljinom, godinom stabilizacije i izvorom literature u kojoj je taj podatak pronađen.

Tablica 1. Popis kalibracijskih baza sa stupovima (Zrinjski 2010).

Mjesto Država	Broj stupova	Maksimalna duljina [m]	Godina stabilizacije	Izvor Literature
Nummela Finska	6	864	1946.	Jokela i Häkli 2006
Heerbrugg-Wild Švicarska	7	990	1971.	Schwendener 1971
Ottawa Kanada	8	1300	1971.	Bresse i Vamosi 1990
Aarau-Kern Švicarska	7	520	1974.	Aeschlimann i Stocker 1975
Nottingham Velika Britanija	7	817	1977.	Ashkenazi i Dodson 1977
Logatec Slovenija	4 + test mreža	260	1977.	Vodopivec 1977
Hlohovec Slovačka	5	2549	1979.	Abelovič i dr. 1990
Priština Kosovo	7	1800	≈ 1979.	Ivanović i Milovanović 1984, Kontić i dr. 1987

Mjesto Država	Broj stupova	Maksimalna duljina [m]	Godina stabilizacije	Izvor Literature
Sydney Australija	8	980	prije 1980.	Rüeger i Covell 1980
Neubiberg Njemačka	8	1080	1981.	Caspary 1983
Zagreb Hrvatska	25	3100 (6000)	1982.	Solarić 1982
Graz Austrija	7	1080	1982.	Reithofer 1985
Gödöllő Mađarska	5	864	1986.	Kääriäinen i dr. 1988
Cape Town Južnoafrička Republika	5	960	1986.	Newling 1990
Innsbruck Austrija	7	1080	1986.	Abou-Zeid i dr. 2008
Kyviškes Litva	7 (oblik trokuta)	1320	1996.	Buga i dr. 2008
Chengdu Kina	13	1488	prije 1998.	Jokela i dr. 2000
Berlin Njemačka	8	516	2004.	AVN 2004
Vääna Estonija	13	1344	2008.	Jokela i dr. 2009

3. Obavljena GPS-mjerenja

Obavljena GPS-mjerenja mogu se podijeliti u dvije grupe:

- GPS-mjerenja na kalibracijskoj bazi i točki Brusnik
- GPS-mjerenja na CROPOS referentnim stanicama.

GPS-mjerenja na kalibracijskoj bazi Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu obavljena su od 25. srpnja (od 9 h 35 min UTC) do 2. kolovoza (do 23 h 15 min UTC) 2009. godine. Mjerenja su provedena na 7 stupova baze: 0, 1, 2, 3, 5, 7 i 10 (Zrinjski 2010, slika 3a, tablica 2). Korištena su 4 prijamnika Trimble 5700 i 3 prijamnika Trimble R7 te 7 antena tipa Zephyr Geodetic (IGS-Code: TRM41249.00).

U mjerenje je uključena i trigonometrijska točka I. reda Brusnik, kako bi se povećala duljina kalibracijske baze. Odabrana je točka Brusnik jer je to točka s najpreciznije određenim položajnim koordinatama u Hrvatskoj (Solarić i dr. 2003). Na točki Brusnik mjerenja su obavljena prijamnikom Trimble 5700 i antenom Zephyr Geodetic (slika 3b).



Slika 3. GPS-mjerenja: a) na kalibracijskoj bazi, b) na točki Brusnik (Zrinjski 2010).

U tablici 2 dan je pregled svih stupova na kojima su obavljena GPS-mjerenja te je prikazana njihova približna udaljenost od stupa 0.

Tablica 2. Pregled stupova na kojima su obavljena GPS-mjerenja (Zrinjski 2010).

Oznaka stupa	Približna udaljenost od početnog stupa 0 [m]
0	0
1	100
2	200
3	300
5	500
7	700
10	1000
Brusnik	37 115

Pri mjerenju na svim je stupovima primijenjen pribor za prisilno centriranje koji je ispitani i rektificiran prije mjerenja u Laboratoriju za mjerenja i mjernu tehniku Geodetskog fakulteta. U GPS-kampanju bilo je uključeno ukupno 8 GPS-instrumenata. Važno je naglasiti da su sve antene bile tipa Zephyr Geodetic. U GPS-kampanji bila su korištena 4 instrumenta tvrtke Geofoto d.o.o. iz Zagreba, 3 instrumenta Hrvatskoga geodetskog instituta i 1 instrument Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Mjerenja na kalibracijskoj bazi obavljena su u 8 sesija po 24 sata, dok su na točki Brusnik mjerenja obavljena u prve dvije sesije.

Raspored opažanja definiran je tako da su na istim stupovima bili isti instrumenti po dvije sesije uzastopce (1 i 2, 3 i 4, 5 i 6, 7 i 8), pri čemu su u neparnim sesijama antene bile orijentirane prema magnetskome sjeveru, a u parnim sesijama prema magnetskome jugu. Točka Brusnik opažana je u prve dvije sesije, pri čemu je u prvoj sesiji antena bila orijentirana prema magnetskome sjeveru, a u drugoj sesiji prema magnetskome jugu (Zrinjski 2010).

Na svim CROPOS referentnim stanicama nalaze se GNSS-prijamnici Trimble NetR5 i antene Zephyr Geodetic 2 (IGS-Code: TRM55971.00 TZGD). S web-stranice CROPOS-a (URL 4) preuzete su RINEX datoteke za 4 referentne stanice: Bjelovar, Karlovac, Sisak i Zabok, za razdoblje mjerenja od 25. srpnja (od 9 h 35 min UTC) do 2. kolovoza (do 23 h 15 min UTC) 2009. godine. Za sve četiri referentne stanice odabran je interval registracije podataka od 5 sekundi. U tablici 3 prikazana je mjerna nesigurnost prijamnika Trimble 5700 (URL 2), Trimble R7 (URL 3) i Trimble NetR5 (URL 5), kojima su obavljena sva mjerenja.

Podaci mjerenja na referentnim stanicama Bjelovar, Karlovac, Sisak i Zabok korišteni su za izjednačenje, kako bi se izračunale koordinate točaka kalibracijske baze i Brusnika u datumu ETRS89, $e=1989.00$.

Tablica 3. Mjerna nesigurnost prijamnika Trimble 5700, Trimble R7 i Trimble NetR5.

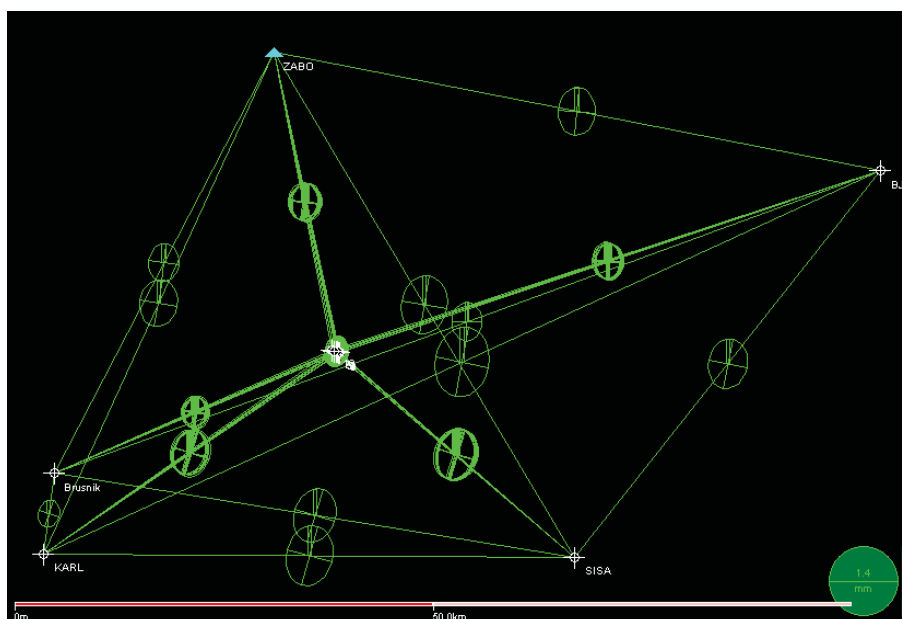
Instrument	Statičko pozicioniranje
	Mjerna nesigurnost [$k = 1$]
Trimble 5700 Trimble R7 Trimble NetR5	H: 5 mm + 0,5 ppm V: 5 mm + 1 ppm

4. Obrada GPS-vektora

Podaci GPS-mjerenja obrađeni su softverom Trimble Total Control (TTC), v. 2.73 (slika 4). Za obradu GPS-vektora korištene su precizne efemeride (URL 6), datoteke ionosfere (URL 7) i datoteke modela antena Zephyr Geodetic i Zephyr Geodetic 2 (URL 1). Odabrana je postavka za elevacijsku masku od 10° i interval obrade podataka od 5 sekundi. U tablici 4 prikazani su statistički rezultati obrade GPS-vektora za svih 8 sesija, za interval opažanja 24 sata. Obrađeni su podaci mjerenja za ukupno 66 GPS-vektora (Zrinjski 2010, slika 4).

Za GPS-vektore iskazane su minimalne i maksimalne vrijednosti sljedećih parametara:

- približna duljina
- standardno odstupanje duljine
- RMS (Root Mean Square) – radijus kružnice povjerenja za vjerojatnost od 63,68% ($1,41\sigma$)
- Ratio (omjer varijance drugog najboljeg rješenja za ambiguitete i varijance najboljeg rješenja za ambiguitete)
- PDOP (Position Dilution of Precision)
- broj satelita s kojih je primljen signal.



Slika 4. Rezultati obrade GPS-vektora (Zrinjski 2010).

Tablica 4. Statistički rezultati obrade GPS-vektora (Zrinjski 2010).

Statistika vektora	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost
Približna duljina [m]	9695	105 293
Standardno odstupanje duljine [mm]	0,5	0,9
RMS [mm]	8,8	19,6
Ratio	2,0	3,1
PDOP	1,1	12,6
Broj satelita	28	30

5. Izjednačenje koordinata

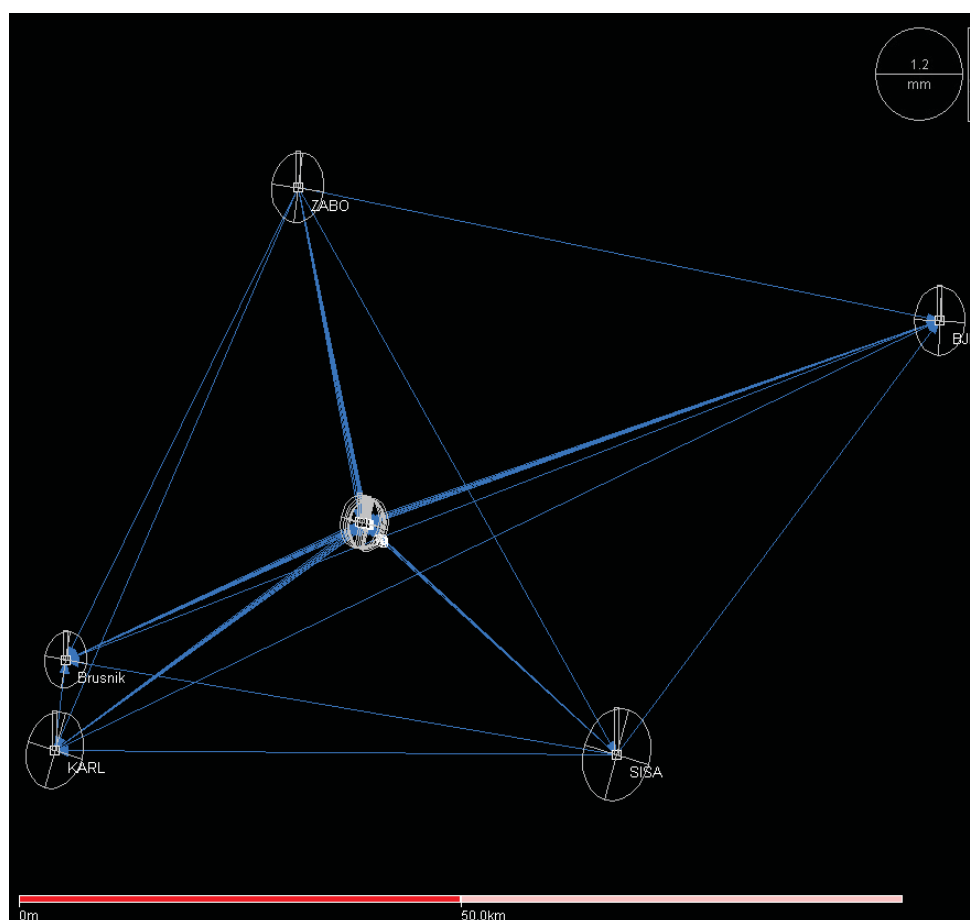
Koordinate stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta i Brusnika određene su relativnom statičkom metodom primjenom CROPOS-a (CROatian POSitioning System) i njegova servisa GPPS (Geodetski Precizni Pozicijski Servis, URL 4). Za izjednačenje koordinata stupova kalibracijske baze i Brusnika korištene su 4 referentne stanice CROPOS-a (kako je definirano Pravilnikom o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova, NN 2009): Bjelovar, Karlovac, Sisak i Zabok.

U tablici 5 dane su koordinate četiriju referentnih stanica CROPOS-a u ITRF2005 (International Terrestrial Reference Frame 2005) i epohi mjerenja 2009.57 ($e=2009.57$), koje su korištene u izjednačenju (Zrinjski 2010).

Tablica 5. Koordinate referentnih stanica CROPOS-a u ITRF2005, $e=2009.57$ (Zrinjski 2010).

Točka	Latituda φ	Longituda λ	h [m]
Bjelovar	45° 53' 46,843806"	16° 50' 41,010456"	188,3736
Karlovac	45° 29' 31,493474"	15° 33' 15,686317"	174,1484
Sisak	45° 29' 07,484380"	16° 22' 04,763564"	158,8974
Zabok	46° 01' 48,164303"	15° 54' 33,293917"	222,2342

Izjednačenje koordinata stupova kalibracijske baze i Brusnika izvedeno je softverom Trimble Total Control, v. 2.73, i to u dva koraka. Prvo je provedeno izjednačenje bez prisile (slobodno izjednačenje), pri čemu koordinate ni jedne točke nisu bile fiksirane.

**Slika 5.** Grafički prikaz rezultata nakon provedenog izjednačenja bez prisile (Zrinjski 2010).

Na slici 5 grafički je prikazan rezultat nakon provedenog izjednačenja bez prisile (Zrinjski 2010). Prikazane su elipse pogrešaka za položajne koordinate izračunatih točaka, standardna odstupanja za visine te radijus kružnice povjerenja za najveću elipsu pogrešaka, sve za razinu pouzdanosti od 95%.

U tablici 6 prikazani su elementi elipse pogrešaka (A , B , θ), standardna odstupanja visina te radijusi kružnica povjerenja, sve za razinu pouzdanosti od 95%, dobiveni nakon provedenog izjednačenja bez prisile (Zrinjski 2010).

U drugom koraku slijedilo je izjednačenje s prisilom, pri čemu su kao fiksne točke bile odabrane četiri referentne stanice CROPOS-a: Bjelovar, Karlovac, Sisak i Zabok. U tablici 7 dane su koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika u ITRF2005, $e=2009.57$ te standardna odstupanja koordinata za razinu pouzdanosti od 95%, dobiveni nakon provedenog izjednačenja s prisilom (Zrinjski 2010).

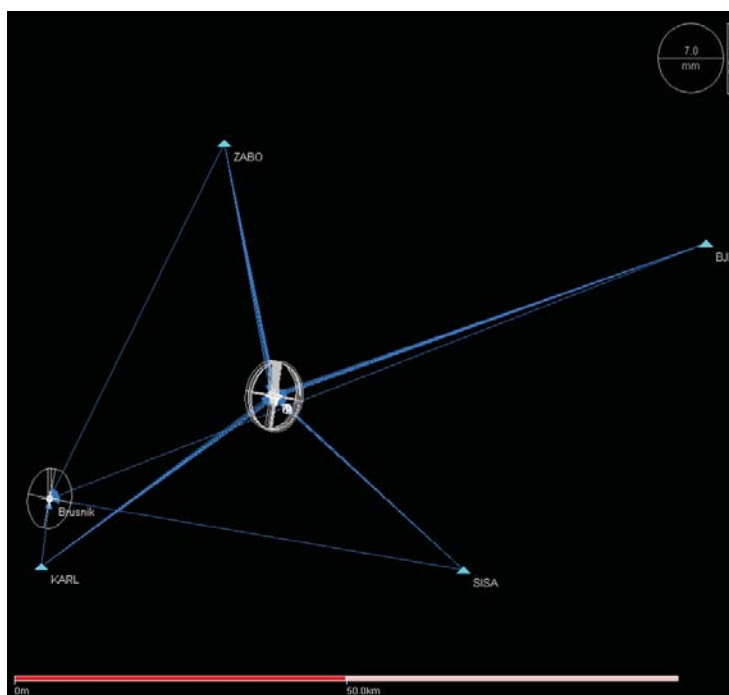
Tablica 6. Elipse pogrešaka, standardna odstupanja visina i kružnice povjerenja za razinu pouzdanosti od 95%, nakon izjednačenja bez prisile (Zrinjski 2010).

Točka	Elipsa pogrešaka			Standardno odstupanje	Kružnica povjerenja
	Velika poluos A [mm]	Mala poluos B [mm]	Kut rotacije θ	s_h [mm]	Radijus R_p [mm]
0	0,7	0,6	12,5°	0,8	0,8
1	0,7	0,5	12,6°	0,7	0,7
2	0,7	0,5	12,5°	0,7	0,7
3	0,7	0,5	12,6°	0,7	0,7
5	0,7	0,5	12,5°	0,7	0,7
7	0,7	0,5	12,6°	0,8	0,8
10	0,7	0,6	12,4°	0,8	0,8
Brusnik	0,8	0,6	9,5°	0,8	0,9
Bjelovar	0,9	0,7	2,8°	1,0	1,0
Karlovac	1,0	0,8	16,4°	1,1	1,1
Sisak	1,2	0,9	16,2°	1,3	1,4
Zabok	0,9	0,7	7,4°	1,0	1,0

Tablica 7. Koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika u ITRF2005, $e=2009.57$ i standardna odstupanja koordinata za razinu pouzdanosti od 95%, dobiveni nakon izjednačenja s prisilom (Zrinjski 2010).

Točka	Latituda φ	s_φ [mm]	Longituda λ	s_λ [mm]	h [m]	s_h [mm]
0	45° 42' 25,10642"	7,0	16° 00' 34,91726"	5,5	159,4315	7,5
1	45° 42' 26,13343"	6,7	16° 00' 30,53374"	5,3	159,5039	7,2
2	45° 42' 27,16319"	6,7	16° 00' 26,14993"	5,3	159,5643	7,2
3	45° 42' 28,18971"	6,7	16° 00' 21,76702"	5,3	159,6269	7,2
5	45° 42' 30,24546"	6,7	16° 00' 12,99866"	5,3	159,8352	7,2
7	45° 42' 32,30093"	6,7	16° 00' 04,22928"	5,3	159,9933	7,2
10	45° 42' 35,38635"	6,8	15° 59' 51,07782"	5,4	160,2893	7,4
Brusnik	45° 34' 42,91234"	6,0	15° 34' 12,84454"	4,8	268,8601	6,4

Na slici 6 grafički je prikazan rezultat nakon provedenog izjednačenja s prisilom (Zrinjski 2010). Prikazane su elipse pogrešaka za položajne koordinate izračunatih točaka, standardna odstupanja visina te radijus kružnice povjerenja za najveću elipsu pogrešaka, sve za razinu pouzdanosti od 95%.



Slika 6. Grafički prikaz rezultata nakon provedenog izjednačenja s prisilom (Zrinjski 2010).

U tablici 8 prikazani su elementi elipse pogrešaka (A , B , θ) i radijusi kružnica povjerenja, sve za razinu pouzdanosti od 95%, dobiveni nakon provedenog izjednačenja s prisilom (Zrinjski 2010).

Tablica 8. Elipse pogrešaka i kružnice povjerenja za razinu pouzdanosti od 95%, nakon izjednačenja s prisilom (Zrinjski 2010).

Točka	Elipsa pogrešaka			Kružnica povjerenja
	Velika poluos A [mm]	Mala poluos B [mm]	Kut rotacije θ	Radijus R_p [mm]
0	7,0	5,5	9,0°	7,7
1	6,7	5,3	9,2°	7,4
2	6,7	5,2	9,1°	7,4
3	6,7	5,2	9,1°	7,4
5	6,7	5,3	9,2°	7,5
7	6,7	5,2	9,2°	7,4
10	6,9	5,4	9,5°	7,6
Brusnik	6,0	4,7	12,0°	6,7

Kao konačan rezultat u tablici 9 prikazane su koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika u ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), epoha 1989.00 ($e=1989.00$), službenom položajnom datumu Republike Hrvatske (NN 2004a, NN 2004b), (Zrinjski 2010).

Tablica 9. Koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika u ETRS89, $e=1989.00$ (Zrinjski 2010).

Točka	Latituda φ	Longituda λ	h [m]
0	45° 42' 25,094100"	16° 00' 34,898099"	159,4319
1	45° 42' 26,121110"	16° 00' 30,514579"	159,5043
2	45° 42' 27,150870"	16° 00' 26,130770"	159,5647
3	45° 42' 28,177390"	16° 00' 21,747860"	159,6273
5	45° 42' 30,233140"	16° 00' 12,979500"	159,8356
7	45° 42' 32,288610"	16° 00' 04,210121"	159,9937
10	45° 42' 35,374029"	15° 59' 51,058661"	160,2843
Brusnik	45° 34' 42,899992"	15° 34' 12,825490"	268,8605

Za transformacije koordinata između različitih datuma i epoha korišten je softver T7D, autora prof. dr. sc. Tomislava Bašića i dr. sc. Marka Šljivarića (Bašić 2009a, Bašić 2009b).

6. Zaključak

Koordinate stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu određene su primjenom GPPS servisa CROPOS-a. GPS-mjerenja obavljena su na 7 stupova kalibracijske baze: 0, 1, 2, 3, 5, 7 i 10. U mjerenje je uključena i trigonometrijska točka I. reda Brusnik kako bi se povećala duljina kalibracijske baze za ispitivanje GNSS-instrumenata. Odabrana je točka Brusnik jer je to točka s najpreciznije određenim položajnim koordinatama u Hrvatskoj. Mjerenja na stupovima kalibracijske baze obavljena su u 8 sesija po 24 sata, od 25. srpnja (od 9 h 35 min UTC) do 2. kolovoza (do 23 h 15 min UTC) 2009. godine. Korištena su 4 prijamnika Trimble 5700 i 3 prijamnika Trimble R7 te 7 antena Zephyr Geodetic. Mjerenja na točki Brusnik obavljena su u prve dvije sesije pomoću prijamnika Trimble 5700 i antene Zephyr Geodetic. Obrada GPS-vektora i izjednačenje 3D-koordinata stupova kalibracijske baze i Brusnika obavljeno je softverom Trimble Total Control (TTC), v. 2.73. Za izjednačenje koordinata korištene su 4 referentne stanice CROPOS-a: Bjelovar, Karlovac, Sisak i Zabok. Kao konačan rezultat dane su koordinate stupova kalibracijske baze i Brusnika u ETRS89, epoha 1989.00, u službenome položajnom datumu Republike Hrvatske.

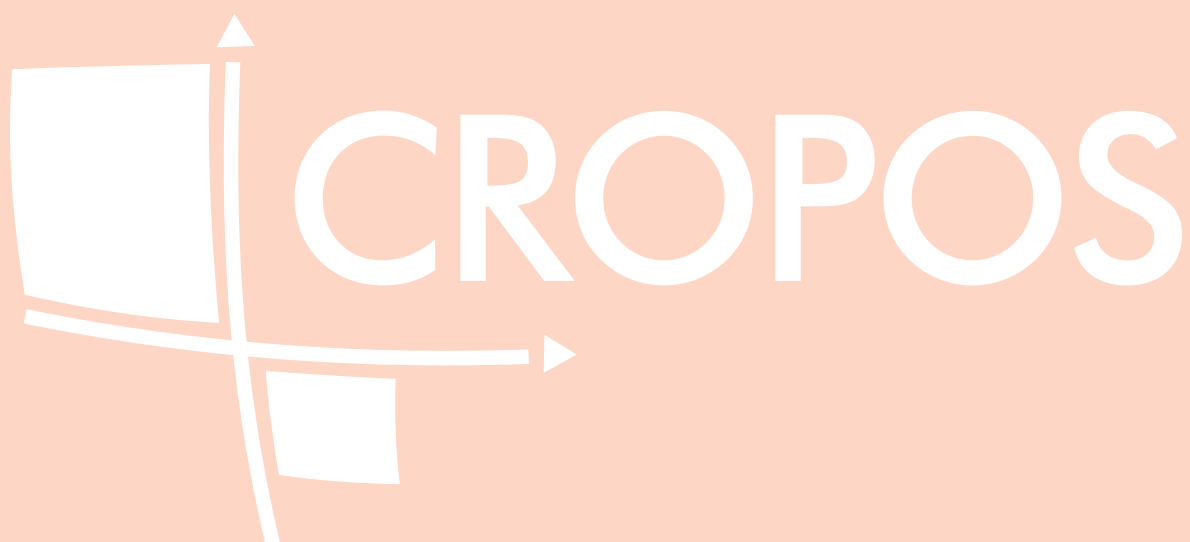
Time su prvi put određene koordinate stupova kalibracijske baze Geodetskog fakulteta u službenome nacionalnom datumu primjenom CROPOS-a. Određivanjem koordinata stupova kalibracijske baze u sustavu ETRS89 osigurano je povezivanje kalibracijske baze Geodetskog fakulteta s ostalim kalibracijskim bazama u Europi i svijetu, kada one budu umjerene GNSS-om.

Danas kalibracijska baza Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu služi za ispitivanje i umjeravanje elektrooptičkih daljinomjera i GNSS-instrumenata (ali i drugih mjernih instrumenata i uređaja), što je i obveza prema Zakonu o mjeriteljstvu (NN 2003b, NN 2007) i donesenim Naredbama (NN 2003a, NN 2005) u Republici Hrvatskoj.

7. Literatura

- Abelovič, J., Bucko, E., Slaboch, V., Šanda, V. (1990): EDM calibration in Czechoslovakia. Facilities, methods and results, Proceedings of the XIX International FIG Congress, Helsinki, Finland, June 10–19, 51–65.
- Abou-Zeid, A., Badr, T., Balling, P., Jokela, J., Kugler, R., Matus, M., Merimaa, M., Poutanen, M., Prieto, E., van den Berg, S., Wallerand, J. P., Zucco, M. (2008): Towards New Absolute Long Distance Measurement Systems in Air, NCSL International 2008 Workshop and Symposium, Orlando, Florida, USA, August 3–7, 1–11.
- Aeschlimann, H., Stocker, R. (1975): Gerätefehler von elektrooptischen Distanzmessern, Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Vol. 73, No. 2, 36–44.
- Ashkenazi, V., Dodson, A. H. (1977): The Nottingham Multi-Pilar Baseline, Journal of the Association of Surveyors in Civil Engineering, June, 39–62.
- AVN (2004): Einweihung der Landeskabrierstrecke Berlin am 22.06.2004, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Vol. 111, No. 10, 369.
- Bašić, T. (2009a): Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006.-2008. godina, 1. CROPOS konferencija, Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Zagreb, 8.–9. lipnja, 5–21.
- Bašić, T. (2009b): Novi model geoida Republike Hrvatske i poboljšanje T7D modela transformacije, Znanstveno-stručni projekt za Državnu geodetsku upravu Republike Hrvatske, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bresse, B., Vamosi, S. (1990): Comparison of the Canadian national baseline with the Väisälä-standard in Munich, Proceedings of the XIX International FIG Congress, Helsinki, Finland, June 10–19, 430–436.
- Buga, A., Jokela, J., Putrimas, R. (2008): Traceability, Stability and Use of the Kyviškes Calibration Baseline – The First 10 Years, The 7th International Conference “Environmental Engineering” Selected Papers, Vol. 3, Vilnius Gediminas Technical University Publishing House “Technika”, Vilnius, Lithuania, May 22–23, 1274–1280.
- Caspary, W. (1983): Die Genauigkeit der Mekometermessungen auf die Prüfstrecke Neubiberg, Schriftenreihe – Universität der Bundeswehr München, Heft 11, 115–130.
- Ivanović, V., Milovanović, V. (1984): Prištinska osnovica i rezultati ispitivanja elektrooptičkih daljinomera, Geodetska služba, 39, 22–33.
- Jokela, J., Häkli, P. (2006): Current Research and Development at the Nummela Standard Baseline, Proceedings of the XXIII International FIG Congress, Bavarian State Office for Surveying and Geo Information, Munich, Germany, October 8–13, 1–15.
- Jokela, J., Poutanen, M., Zhao, J. Z., Pei, W. L., Hu, Z. Y., Zhang, S. S. (2000): The Chengdu Standard Baseline, Publications of the Finnish Geodetic Institute, Kirkkonummi, No. 130, 46 p.
- Jokela, J., Häkli, P., Ahola, J., Büga, A., Putrimas, R. (2009): On Traceability of Long Distances, XIX IMEKO World Congress – Fundamental and Applied Metrology, IMEKO, Lisbon, Portugal, September 6–11, 1882–1887.
- Kääriäinen, J., Konttinen, R., Németh, Z. (1988): The Gödöllő Standard Baseline, Publications of the Finnish Geodetic Institute, Helsinki, No. 109, 1–66.
- Kontić, S., Mrkić, R., Kokalović, M. (1987): Primarni etaloni uglova i dužina SFRJ i njihov značaj za osnovne geodetske radove, Zbornik radova savjetovanja “Osnovni geodetski radovi i oprema za njihovo izvođenje”, Priština, 349–368.
- Narodne novine (2003a): Naredba o mjerilima nad kojima se obavlja mjeriteljski nadzor, 100.
- Narodne novine (2003b): Zakon o mjeriteljstvu, 163.

- Narodne novine (2004a): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, 110.
- Narodne novine (2004b): Ispravak Odluke o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, 117.
- Narodne novine (2005): Naredba o ovjernim razdobljima za pojedina zakonita mjerila i načinu njihove primjene i o umjernim razdobljima za etalone koji se upotrebljavaju za ovjeravanje zakonitih mjerila, 47.
- Narodne novine (2007): Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o mjeriteljstvu, 111.
- Narodne novine (2009): Pravilnik o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova, 87.
- Newling, M. (1990): The Cape Town Baseline, Proceedings of the XIX International FIG Congress, Helsinki, Finland, June 10–19, 437–444.
- Reithofer, A. (1985): Die Prüfstrecke in Graz-Feldkirchen, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, Vol. 130, No. 5, 174–176.
- Rüeger, J. M., Covell, P. C. (1980): Zur Konstanz und Vielfältigkeit zyklischer Fehler in elektrooptischen Distanzmessern, Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Vol. 78, No. 6, 261–267.
- Schwendener, H. R. (1971): Elektronische Distanzmesser für kurze Strecken – Genauigkeitsfragen und Prüfverfahren, Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik, Vol. 69, No. 3, 59–67.
- Solarić, N. (1982): Izvještaj kolaudacione komisije pri preuzimanju kalibracijske baze na nasipu oteretnog kanala Sava-Odra, interni izvještaj.
- Solarić, N., Solarić, M., Benčić, D. (1992): Projekt i izgradnja kalibracijske baze Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Geodetski list, 1, 7–25.
- Solarić, M., Marjanović, M., Rašić, Lj. (2003): Trigonometrijska točka 1. reda Brusnik – položajno najtočnije određena točka u Hrvatskoj, Geodetski list, 2, 91–102.
- Vodopivec, F. (1977): Dolžinska komparatorska baza SRS v Logatcu, interni izvještaj, august, 1–449.
- Zrinjski, M. (2010): Definiranje mjerila kalibracijske baze Geodetskog fakulteta primjenom preciznog elektrooptičkog daljinomjera i GPS-a, Doktorska disertacija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- URL 1: National Geodetic Survey, <http://www.ngs.noaa.gov/>, (28.11.2009.).
- URL 2: Trimble 5700 GPS Receiver Datasheet, http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-163620/022543-074E_5700_DS_0808_LR.pdf, (22.08.2009.).
- URL 3: Trimble R7 GPS Receiver, http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-140051/Spec_Sheet_-_R7_-_English.pdf, (22.08.2009.).
- URL 4: CROPOS, <http://www.cropos.hr/>, (25.10.2009.).
- URL 5: Trimble NetR5 Datasheet, http://www.hydronav.com/images/landsurvey/pdf/NetR5_DS_0306_lr.pdf, (15.11.2009.).
- URL 6: International GNSS Service (IGS), <http://igsb.jpl.nasa.gov/>, (28.11.2009.).
- URL 7: Universität Bern, <http://www.unibe.ch/>, (28.11.2009.).
- URL 8: Google Earth, <http://www.google.com/earth/index.html>, (25.10.2010.).



CROPOS DSP servis u nastavi kolegija Navigacija na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu¹

Danijel ŠUGAR², Željko BAČIĆ³

Sažetak

Primjena tehnika satelitskog pozicioniranja sadržana je u brojnim kolegijima na studiju geodezije i geoinformatike, a eksplicite se predaje na kolegijima Satelitsko pozicioniranje u 5. semestru preddiplomskog studija, Navigacija u 2. semestru diplomskog studija usmjerenja Geodezija i Integrirani sustavi u geomatici u 3. semestru diplomskog studija usmjerenja Geoinformatika. U kolegijima diplomskog studija programski naglasak je na primjeni tehnika za različite praktične primjene s naglaskom na primjenu servisa CROPOS sustava, posebno VPPS (RTK) i DSP (DGPS) servisa zbog njihove široke primjene u navigaciji, GIS-u, upravljanju prometom i transportom, zaštiti okoliša, poljoprivredi i šumarstvu. Navedeno je posebno izraženo u sadržaju kolegija Navigacija pri čemu se studentima, budućim stručnjacima praktičnim vježbama želi približiti spoznaja o mogućnostima koje GNSS sustavi pružaju, kao i njihovim ograničenjima. U tom kontekstu spoznaja o ostvarivim točnostima pojedinih uređaja i servisa ima posebnu praktičnu vrijednost. Za potrebe edukacije studenata, ali i praćenja točnosti sustava i servisa razrađene su vježbe s ciljem ispitivanja ostvarive točnosti različitih uređaja i servisa: GNSS uređaja za apsolutno pozicioniranje i GNSS uređaja s korištenjem EGNOS, odnosno uređaja koji koriste DSP korekcije CROPOS-a. Analizirani su i prikazani dobiveni rezultati kao i njihova točnost. U sklopu vježbi studenti su se upoznali s radom i mogućnostima GPS uređaja za cestovnu navigaciju.

Ključne riječi: CROPOS DSP, GPS/GNSS, EGNOS, RINEX, cestovna navigacija

1. Uvod

S relativnim statičkim pozicioniranjem kao najpreciznijom metodom satelitskog pozicioniranja studenti se u teorijskom i praktičnom smislu upoznaju na obaveznom kolegiju Satelitsko pozicioniranje u 5. (zimskom) semestru Preddiplomskog studija geodezije i geoinformatike na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Teorijske osnove relativnih kinematičkih metoda kao i apsolutnih metoda pozicioniranja su dane u sklopu spomenutog kolegija.

Praktičnu primjenu apsolutnih metoda pozicioniranja, koristeći jedan uređaj kojim se određuju koordinate u realnom vremenu studenti upoznaju kroz nastavu kolegija na Diplomskom studiju geodezije i geoinformatike. Na usmjeranju Geoinformatika u 3. (zimskom) seme-

¹ Rad je prihvaćen za objavljivanje u Zborniku iako zbog vremenskog ograničenja nije bio prezentiran na 2. CROPOS konferenciji

² Mr. sc. Danijel Šugar, dipl. ing. geod., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: dsugar@geof.hr

³ Prof. dr. sc. Željko Bačić, dipl. ing. geod., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: zeljko.bacic@dgu.hr

stru predaje se obvezni kolegij Integrirani sustavi u geomatici, dok se na usmjeranju Geodezija predaje također obvezni kolegij Navigacija.

Apsolutne metode pozicioniranja, iako smanjene točnosti, svoju primjenu nalaze u navigaciji na moru i kopnu. U vježbe iz kolegija Navigacija u ak. god. 2010/2011. uključena je primjena nekoliko uređaja za apsolutno satelitsko pozicioniranje: od GPS uređaja za cestovnu navigaciju, preko GPS/GNSS uređaja uz primanje EGNOS korekcije do GPS uređaja koji koriste mrežnu korekciju iz DSP servisa CROPOS-a. Time je spomenuti servis po prvi put implementiran u nastavi na Geodetskom fakultetu.

2. Organizacija vježbi

Na Diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, usmjerenje Geodezija u ak. godini 2010/2011. upisano je 45 studenata koji pohađaju nastavu iz kolegija Navigacija. Sadržaj gradiva obuhvaćenog predavanjima se može pronaći u članku (Šugar i dr., 2009) objavljen u Zborniku radova 1. CROPOS konferencije. Vježbe se sastoje od projektantskog zadatka naslovljenog *Opažanje GPS točaka uređajima za apsolutno pozicioniranje* koji se sastojao od pronalaska odabranih točaka pomoću GPS uređaja za cestovnu navigaciju i položajnih opisa te od opažanja tih istih točaka pomoću uređaja za apsolutno pozicioniranje. Na raspolaganje su studentima dana dva GPS uređaja za cestovnu navigaciju:

- Mio Moov 300
- Garmin Nüvi 760

te uređaji i oprema za apsolutno određivanje položaja (osnovne karakteristike su dane u Tablici 1.):

- Trimble GeoXH 2008 Series s Trimble TDL 3G bežičnim modemom za primanje korekcije iz DSP servisa CROPOS-a
- Trimble GeoXH 2005 Series s mogućnošću primanja korekcija EGNOS sustava
- Trimble JunoSC GPS uređaj
- Topcon GMS-2 GNSS uređaj s mogućnošću primanja korekcija EGNOS sustava.

U cilju upoznavanja studenta s korištenjem navedenih uređaja i opreme, kao priprema za terenski dio nastave održane su auditorne vježbe s detaljnim uputama za rad s navedenim uređajima. Po obavljenim auditornim vježbama izloženi nastavni materijali u digitalnom obliku (PDF datoteke) su studentima dani na raspolaganje putem sustava E-učenja. Neposredno nakon održanih auditornih vježbi, studentima je prezentiran rad sa spomenutim uređajima u terenskim uvjetima rada na obližnjem srednjoškolskom igralištu.

Studenti su podijeljeni u tročlane ekipe za terenska opažanja. Za točke koje će biti obuhvaćene terenskim opažanjima odabrano je šest GPS točaka na srednjoškolskom igralištu (vidi Šugar i dr., 2009.) na kojima se uobičajeno provode vježbe iz brojnih kolegija na Geodetskom fakultetu te dodatnih 10 točaka iz homogenog polja GPS mreže Grada Zagreba. Sve navedene točke su poznate po koordinata u globalnom referentnom koordinatnom okviru (ETRF) i za njih postoje položajni opisi.

Da bi svaka terenska ekipa opazala dodijeljene im točke, postojeći uređaji i oprema su podijeljeni u dvije skupine kako slijedi:

- skupina A (Mio Moov 300, Trimble GeoXH 2008 Series + Trimble TDL 3G modem, Topcon GMS-2)
- skupina B (Garmin Nüvi 760, Trimble GeoXH 2005 Series, Trimble JunoSC).

Terenska opažanja je svaka ekipa obavila u dvije sesije s time da su opažane iste točke, pri čemu je u drugoj sesiji korištena različita skupina uređaja i opreme.

Raspored termina napravljen je na način da u određenom trenutku (sesiji) opažanja obavljaju dvije tročlane terenske ekipe, svaka koristeći dodijeljenu skupinu uređaja i opreme te dodijeljene im GPS točke. Zbog toga je svih 16 točaka podijeljeno u dva sektora: istok i zapad. U sektoru zapad se nalaze tri GPS točke (GFP1, GFP2, GFP6) na zapadnom dijelu srednjoškolskog igrališta i dodatnih pet GPS točaka (3152, 3138, 3115, 3199, 3239) u smjeru prema Zapadnom željezničkom kolodvoru. Slično tome, istočni sektor uključuje tri GPS točke (GFP3, GFP4, GFP5) na istočnom dijelu srednjoškolskog igrališta i dodatnih pet GPS točaka (3257, 3293, 3312, 3314, 3240) u smjeru prema Glavnom željezničkom kolodvoru u Zagrebu.

Tablica 1. Specifikacije korištenih GPS/GNSS uređaja i opreme

Trimble GeoXH 2008 Series + TDL 3G 	Operativni sustav: Windows Mobile 6.1 Procesor: Marvell XScale 520 MHz RAM memorija: 120 MB GPS prijamnik: 26 kanalni (12 L1, 12 L2, 2 SBAS) Integrirana GPS/SBAS L1/L2 antena TerraSync software verzija 5.01 Točnost: Real Time: H-Star s internom antenom (<30 cm) Kodne korekcije (SBAS ili eksterni izvor): < 1 m PostProcessing: H-Star položajna točnost 10 cm + 1 ppm (URL1), (URL2)
Trimble GeoXH 2005 Series 	Operativni sustav: Windows Mobile 5.0 Procesor: Intel X-Scale 416 MHz RAM memorija: 64 MB GPS prijamnik: 12 kanalni L1 Integrirana GPS/SBAS L1/L2 antena TerraSync software verzija 5.01 Točnost: Real Time: Kodne korekcije (SBAS ili eksterni izvor): < 1 m PostProcessing: H-Star tehnologija točnosti 30 cm (URL3)
Trimble JunoSC 	Operativni sustav: Windows Mobile 6.1 Procesor: Samsung 533 MHz RAM memorija: 128 MB GPS prijamnik: 12 kanalni L1 (code only) Integrirana GPS/SBAS L1 antena TerraSync software verzija 5.01 Točnost: Real Time: kodne korekcije (SBAS): 2-5 m (URL4)
Topcon GMS-2 	Operativni sustav: Microsoft Windows CE Procesor: Intel PXY270 Bulverde 520 MHz RAM: 128 MB GNSS prijamnik: 50 kanalni L1 (kodovi i faze) GPS/GLONASS TopSURV softver Točnost: DGPS: < 1 m s internom antenom (URL5)

Takvim rasporedom se postigao cilj da svaka terenska ekipa opaža iste točke pomoću svih raspoloživih uređaja čime je omogućena kasnija usporedba dobivenih rezultata s poznatim koordinatama točaka.

Pri preuzimanju opreme i uređaja, svaka terenska ekipa je dobila položajne opise GPS točaka koje je bilo potrebno opažati. Na položajnim opisima su naznačene detaljne skice položaja s križanjima ulica ili obližnjih zgrada s kućnim brojevima. Upravo pomoću tih elemenata i GPS uređaja za cestovnu navigaciju je omogućen pronalazak dodijeljenih točaka. Na taj način su se studenti, doduše u ulozi pješaka, upoznali s radom i mogućnostima navedenih uređaja koji danas nalaze široku primjenu u cestovnoj navigaciji.

Ovdje valja naglasiti da je prije konačnog odabira GPS točaka za opažanje obavljeno rekognosciranje terena kako bi se utvrdilo da odabrane točke postoje na terenu i kako bi se provjerilo stanje horizonta i otvorenosti neba za prijam signala satelita. Prilikom rekognosciranja je utvrđeno da je kod nekih točaka došlo do promjena stabilizacije čime je zasigurno došlo i do promjene visine, a moguće i položaja. Do promjena je došlo zbog vjerojatnih rekonstrukcija nogostupa na kojima se točke nalaze.

3. Terenska opažanja

Korišteni uređaji su zapravo ručna terenska računala s uobičajeno instaliranom verzijom Windows operativnog sustava. Na svakom takvom terenskom računalu je instaliran softver za upravljanje GPS/GNSS uređajem i prikupljanje opažanja. Na svim Trimble uređajima je to TerraSync ver. 5.01 dok je na Topcon uređaju to softver TopSURV 7 (Tablica 1.). Prije početka mjerenja na uređajima je potrebno odabrati ime datoteke ili posla (JOB) u koje će se pohraniti opažanja. Datotekama su dodijeljivana jednoznačna imena koja su uključivala broj grupe, broj sesije, oznaku sektora i skupinu korištenih uređaja (npr. G7-1-zapad-A).

Parametri opažanja uključuju postavke poput:

- Ime točke
- Visina antene (0.000 m)
- Elevacijska maska (10°)
- Interval registracije (1 sek)
- Broj sekundi koliko traje opažanje (30 sek)
- Vrsta korekcije (npr. Integrated SBAS, External Source, Use Uncorrected GPS)
- Korišteni satelitski sustav (npr. GPS, GPS+GLONASS).

Na svim uređajima je unaprijed odabrano da interval registracije bude 1 sekunda, da se koordinate dobiju osrednjavanjem iz 30 opažanja te je elevacijska maska postavljena na 10°.

Neposredno prije početka samog opažanja uređaj je spušten na tlo (fizičku površinu Zemlje) s antenom prijarnika (fazni centar) postavljenom približno u vertikalni iznad centra točke. Na onim stabilizacijama gdje je centar točke direktno vidljiv, antena je postavljana s točnošću od kojeg cm, dok je kod stabilizacija gdje se centar točke nalazi ispod metalnog poklopca točnost nešto slabija. Sukladno konzervativnoj procjeni vertikalni i položajni ekscentricitet antena na svim točkama su manji od 5 cm što je zanemariva veličina u usporedbi s očekivanom točnošću određivanja koordinata.

Po završetku terenskih opažanja obavljeno je prebacivanje podataka iz ručnih uređaja na uredsko računalo. Za prebacivanje podataka s Trimble uređaja u obliku *.SSF datoteka korišten

je program Data Transfer, dok je za prebacivanje Topconovih *.TSJ datoteka korišten program Topcon Link. Spomenute datoteke sadrže sva prikupljena opažanja pa je za daljnju obradu bilo potrebno napraviti izvoz opažanih koordinata u ASCII datoteke. Za podatke prikupljene Topcon uređajem to je obavljeno u programu Topcon Link dok je izvoz koordinata i atributnih podataka iz odgovarajućih SSF datoteka napravljen u programskom paketu Trimble GPS Pathfinder Office ver. 5.10.

4. Obrada podataka

Uređaji Trimble GeoXH 2005 Series i 2008 Series imaju mogućnost određivanja koordinata iz kodnih mjerenja u realnom vremenu. Pored opažanih koordinata, uređaji pohranjuju opažene veličine (kodove i/ili faze) u zasebnoj *.SSF datoteci čime se otvara mogućnost računanja diferencijalnih korekcija u naknadnoj obradi (PostProcessing). Naknadna obrada je obavljena s podacima prikupljenim uređajima koji podržavaju tzv. H-Star tehnologiju.

4.1. H-Star tehnologija

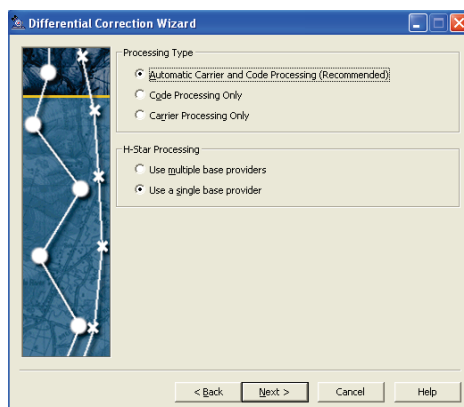
H-Star tehnologija je razvijena s ciljem zadovoljenja visoke razine točnosti za potrebe kartiranja i prikupljanja podataka za uspostavu GIS-a. Riječ je o tehnologiji koja objedinjuje napredna hardverska rješenja i softverske algoritme kako bi se postigla 30-cm razina točnost realnom vremenu i 10-cm točnost u naknadnoj obradi (URL6). U H-Star tehnologiju su implementirane tehnike redukcije efekta višestruke refleksije signala (multipath) kao i eliminacija pogrešaka zbog ionosferske refrakcije. Rezultati se postižu u kombinaciji naprednog GPS prijamnika, terenskog softvera s naprednim mogućnostima pohrane opažanja te uredskog programskog paketa za naknadnu obradu. Terenski softver nudi tzv. *Predicted PostProcessed Accuracy (PPA)* indikator koji pokazuje točnost koja će se vjerojatno postići u naknadnoj obradi. Naknadna obrada je dizajnirana da postigne 30-cm razinu točnosti s ne više od 2 minute kontinuiranog opažanja. Ako se zadrži prijam signala satelita, za sljedeće pozicije su potrebna samo minimalna vremena zaposjedanja. Kako bi podaci mogli biti obrađeni koristeći H-Star tehnologiju na terenskom računalu treba biti instaliran TerraSync verzija 2.5 ili novija (URL7).

4.2. Programski paket Trimble GPS Pathfinder Office

Programski paket se sastoji od više modula. Programski modul *Differential Correction* omogućava računanje diferencijalne korekcije opažanja GPS i GLONASS satelita. Pri učitavanju SSF datoteka u taj modul, datoteke se provjeravaju kako bi se utvrdilo da li su podaci prikupljeni prijamnikom koji koristi H-Star tehnologiju.

Na raspolaganju je više tipova obrade podataka (*Processing styles*):

- *Automatic Carrier and Code Processing (Recommended)*
- *Code Processing Only* (obrađuju se samo opažanja kodova)
- *Carrier Processing Only* (obrađuju se samo opažanja faza)



Slika 1. Opcije računanja u modulu Differential Correction

Podaci su obrađeni koristeći preporučeni *Automatic Carrier and Code Processing*. Odabir te opcije obrađuju se kodna i fazna opažanja pomoću podataka referentne CORS stanice. Rezultati se daju kao prosjek kodno-korigiranih pozicija ili prosjek fazno-korigiranih pozicija. Bolji od dva prosjeka se uzima kao konačno rješenje (Trimble, 1995-2011). Za potrebe računanja diferencijalnih korekcija korišteni su podaci najbliže CROPOS CORS stanice ZAGreb. Podaci su preuzeti u sklopu GPPS servisa CROPOS-a gdje je odabran interval registracije od 1 sekunda što je usklađeno s intervalom registracije na Trimble GeoXH uređajima.

Učitavanjem *.SSF datoteke i odgovarajuće RINEX *.11o datoteke s opažanjima CROPOS CORS stanice ZAGreb započinje računanje diferencijalno korigiranih mjerenja, odnosno koordinata točaka. Rezultati obrade se pohranjuju u odgovarajuće *.COR datoteke, pri čemu se generira izvješće o provedenim računanjima (Tablica 2.)

Tablica 2. Primjer izvješća naknadne obrade (računanja diferencijalnih korekcija)

```
Carrier processing...
  Selected 240 positions for post-processing
  Corrected 240 positions
Code processing...
  Selected 240 positions for post-processing
  Corrected 240 positions
Chose 202 code solutions over the carrier solutions
  202 code solutions were of higher quality

-----
Differential Correction Summary:
  1 file processed.  In this file:
    240 (100.0%) of 240 selected positions were code corrected by post-processing
    240 (100.0%) of 240 selected positions were carrier corrected by post-processing
    202 (84.2%) of code positions chosen over carrier, as they were of higher quality

Estimated accuracies for 240 corrected positions are as follows:
      Range      Percentage
      -----
      0-15cm      2.1%
      15-30cm     7.5%
      30-50cm     51.7%
      0.5-1m      16.3%
      1-2m        12.5%
      2-5m         5.0%
      >5m         5.0%

Differential correction complete.
```

Tablica 2. s primjerom izvješća uključuje podatke o broju odabranih, obrađenih i korigiranih pozicija. Zatim se daje izvješće o kodno i fazno korigiranim pozicijama te odabir rješenja ovisno o njegovoj kvaliteti. Na kraju se daju rasponi ostvarene točnosti s odgovarajućim relativnim udjelima (%) u ukupnom broja rješenja.

Za daljnu obradu i usporedbu opažanih koordinata potrebno je iz datoteka s opažanjima (SSF) i datoteka s diferencijalno korigiranim rješenjima (COR) izvesti geometrijske (koordinatne) i atributne podatke u prikladnu ASCII datoteku (POS). Takva datoteka sadrži sljedeće podatke: broj točke, metoda mjerenja, GPS dan mjerenja, GPS vrijeme mjerenja, max PDOP, max HDOP, status korekcije (npr. *Real-time code*, *Real-time SBAS corrected*, *Uncorrected*, *Postprocessed Code*, *Postprocessed Carrier Float*), tip prijamnika, broj pozicija, podaci o horizontalnoj i vertikalnoj preciznosti te elipsoidne koordinate (φ , λ , h).

U slučaju izvoza geometrijskih i atributnih podataka iz *.TSJ datoteka pomoću Topcon Link softvera, podaci o geometriji se pohranjuju u *.CSV, a podaci o atributima u *.TXT datotekama.

5. Usporedba rezultata

Zbog velikog broja prikupljenih podataka tijekom terenskih vježbi u ovome radu je dana usporedba koordinata opažanih točaka na srednjoškolskom igralištu (GFP1....GFP6). Spomenute točke su odabrane iz razloga što su njihove koordinate precizno određene na osnovi statičkih relativnih opažanja i naknadne obrade vektora i izjednačenja uz pomoć VRS RINEX podataka iz GPPS servisa CROPOS-a (ETRF2000) te zadovoljavajuće otvorenosti neba, a time i vidljivosti GNSS satelita.

Usporedbom su dane razlike opažanih koordinata (ima) i zadanih koordinata (treba) čime odstupanja poprimaju karakter pogreške. Svaka koordinata pojedine točke je određena iz 7 ili 8 sesija (a negdje i više gdje su točke višestruko zaposjedane unutar iste sesije).

Analiza uključuje koordinate određene u realnom vremenu:

- GPS uređajem Trimble GeoXH 2008 Series s primjenom korekcije DSP servisa CROPOS-a,
- GNSS uređajem Topcon GMS-2 s primjenom EGNOS korekcije,
- GPS uređajem Trimble GeoXH 2005 Series s primjenom EGNOS korekcije,
- GPS uređaj Trimble JunoSC (bez korekcija)

te koordinata određenih u naknadnoj obradi:

- GPS uređajem Trimble GeoXH 2008 Series s računanjem diferencijalno korigiranih pozicija,
- GPS uređajem Trimble GeoXH 2005 Series s računanjem diferencijalno korigiranih pozicija.

Nakon računanja razlika koordinata $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda$ u kutnim jedinicama mjere, zbog zornosti i smislene interpretacije rezultata spomenute razlike su iz kutnih jedinica preračunane u linearne jedinice mjere. Zbog toga je bilo potrebno najprije izračunati koordinate težišta razmatrane mreže, a zatim radijuse zakrivljenosti M , N te radijus oskulacione sfere R . U računanju su korišteni geometrijski parametri elipsoida GRS80 (Torge, 2001). Zbog jednostavnosti daljnjih razmatranja područje je aproksimirano sferom radijusa R , a za točku težišta su izračunate duljine luka meridijana i paralele koji odgovaraju kutnoj vrijednosti od 1". Pomoću tako izračunanih duljina luka su koordinatne razlike $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda$ preračunane iz kutnih u linearne jedinice mjere.

Tablica 3. Duljine luka meridijana i paralele od 1"

R [m]	duljina luka ($\Delta\phi = 1''$) [m]	duljina luka ($\Delta\lambda = 1''$) [m]
6378705.53	30.92	21.56

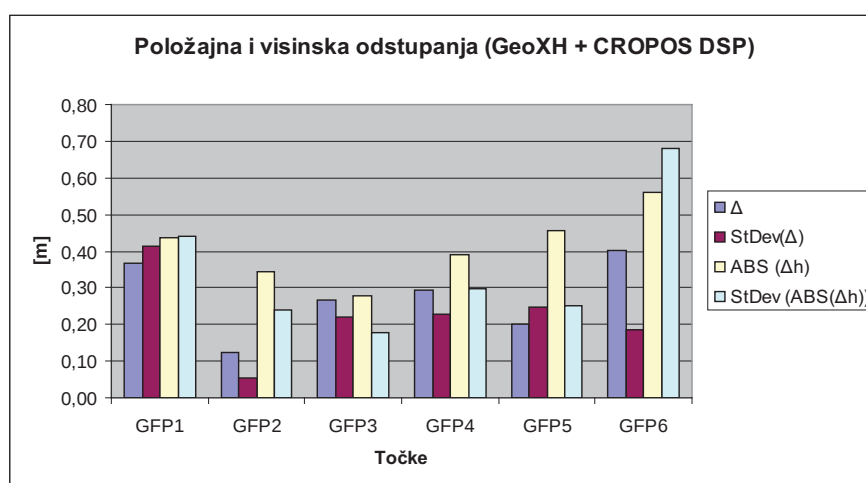
Obzirom da je cilj provedene analize rezultata davanje točnosti koja se postiže primjenom metoda i uređaja za apsolutno pozicioniranje, položajna odstupanja su računana sukladno izrazu:

$$\Delta[m] = \sqrt{(\Delta\phi[m])^2 + (\Delta\lambda[m])^2}$$

Na ovaj način se gubi podatak o smjeru i predznaku odstupanja, a dobiva njegova apsolutna vrijednost. Slično se postupilo i s visinama gdje su razmatrane apsolutne vrijednosti odstupanja.

Na sljedećim grafičkim prikazima (Slika 2. – Slika 7.) dana su prosječna položajna odstupanja i njihove standardne devijacije te visinska odstupanja i njihove standardne devijacije po pojedinim točkama (GFP1... GFP6) određene pomoću različitih uređaja u realnom vremenu, odnosno u naknadnoj obradi.

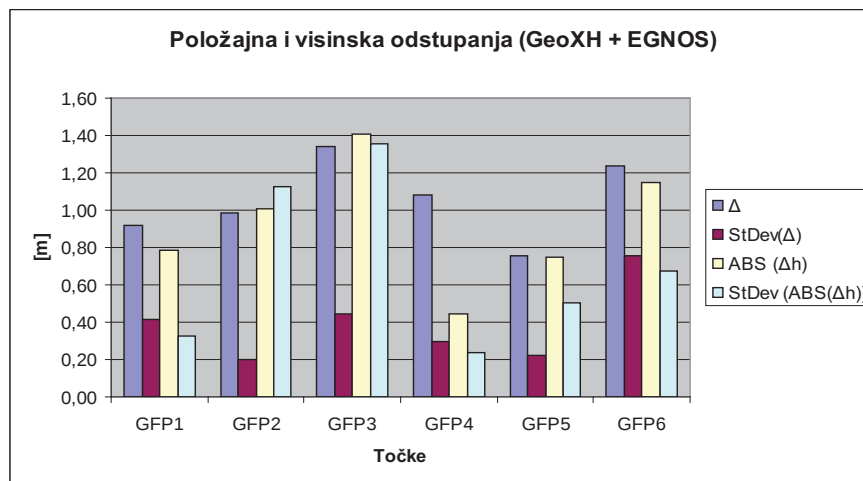
Položajna odstupanja koordinata određenih primjenom uređaja Trimble GeoXH i DSP servisa CROPOS-a (Slika 2.) po razmatranim točkama se kreću od 0.12 m do 0.40 m, prosječno 0.28 m, dok se visinska odstupanja kreću od 0.28 m do 0.56 m, prosječno 0.41 m. Navedena odstupanja su u skladu s deklariranom točnosti DSP servisa CROPOS-a od 0.3 m do 0.5 m (URL8). Vrijednosti standardnih devijacija položaja se kreću od 0.05 m do 0.42 m, prosječno 0.23 m, a vrijednosti standardnih devijacija apsolutnih vrijednosti visinskih odstupanja se kreću od 0.18 m do 0.68 m, prosječno 0.35 m. Najveće prosječno odstupanje po položaju (0.40 m) i po visini (0.56 m) zabilježeno je na točki GFP6 što odgovara činjeničnom stanju otvorenosti horizonta za prijema signala satelita.



Slika 2. Položajna i visinska odstupanja (GeoXH + CROPOS DSP)

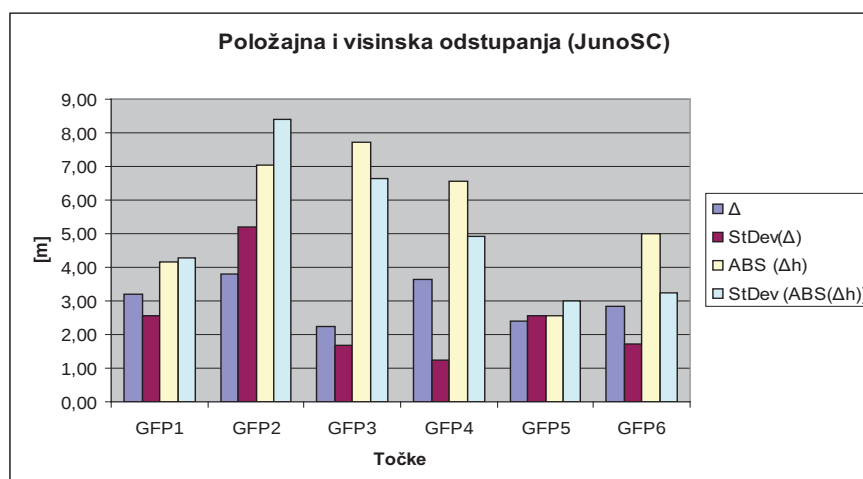
Položajna odstupanja koordinata određenih primjenom uređaja Trimble GeoXH i EGNOS korekcije (Slika 3.) po razmatranim točkama se kreću od 0.76 m do 1.34 m, prosječno 1.05 m, dok se visinska odstupanja kreću od 0.44 m do 1.41 m, prosječno 0.92 m. Navedena odstupanja su u skladu s deklariranom točnosti koja se postiže pozicioniranjem uz korištenje

EGNOS korekcije od 1.5 m (URL9). Vrijednosti standardnih devijacija položaja se kreću od 0.20 m do 0.75 m, prosječno 0.39 m, a vrijednosti standardnih devijacija apsolutnih vrijednosti visinskih odstupanja se kreću od 0.24 m do 1.35 m, prosječno 0.70 m. Zbog velike fluktuacije rezultata, ovdje nije moguće dovesti u vezu otvorenost horizonta pojedine točke s položajnim i visinskim odstupanjima.



Slika 3. Položajna i visinska odstupanja (GeoXH + EGNOS)

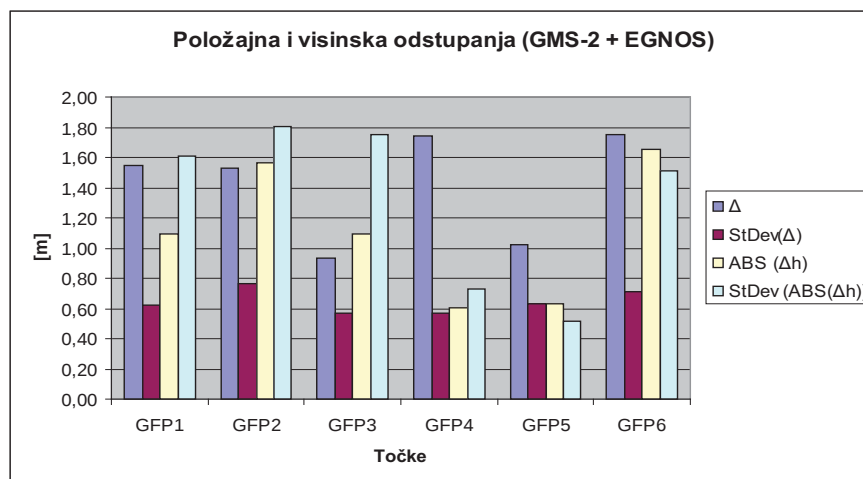
Kako je bilo i za očekivati, najveća položajna odstupanja su dobivena iz koordinata opažanih pomoću Trimble JunoSC uređaja (Slika 4.) koji koristi samo signale GPS satelita bez ikakve dodatne korekcije. Prosječno položajno odstupanje iznosi 3.02 m (raspon 2.23 m do 3.80 m) s prosječnom standardnom devijacijom 2.49 m (raspon od 1.22 m do 5.22 m), dok je prosječno odstupanje po visini 5.51 m (raspon od 2.57 m do 7.71 m) s prosječnom standardnom devijacijom 5.07 m (raspon od 2.99 m do 8.39 m). Povećane vrijednosti prosječnih položajnih i visinskih odstupanja kao i njihovih standardnih devijacija su pod utjecajem ekstremnog odstupanja po položaju od 16.5 m i po visini od 26.5 m.



Slika 4. Položajna i visinska odstupanja (JunoSC)

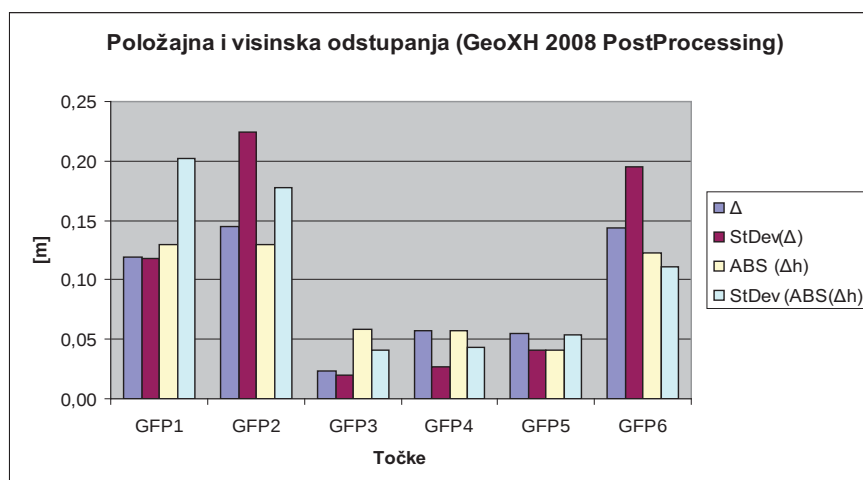
Položajna odstupanja koordinata određenih primjenom uređaja Topcon GMS-2 i EGNOS korekcije (Slika 5.) po razmatranim točkama se kreću od 0.93 m do 1.75 m, prosječ-

no 1.42 m, dok se visinska odstupanja kreću od 0.60 m do 1.66 m, prosječno 1.11 m. Iako su ovdje prosječna odstupanja veća od onih određenih pomoću uređaja GeoXH i EGNOS korekcije, navedene vrijednosti ostaju su u skladu s deklariranom točnošću. Vrijednosti standardnih devijacija položaja se kreću od 0.57 m do 0.76 m, prosječno 0.64 m, a vrijednosti standardnih devijacija apsolutnih vrijednosti visinskih odstupanja se kreću od 0.52 m do 1.80 m, prosječno 1.32 m.



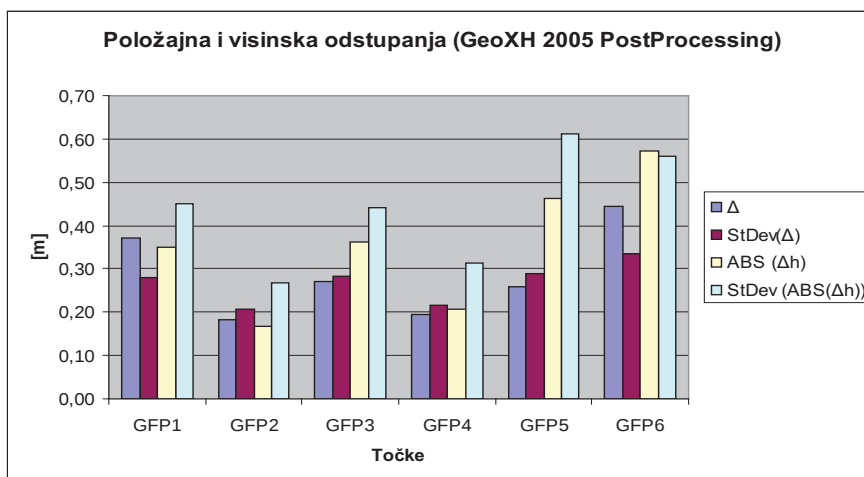
Slika 5. Položajna i visinska odstupanja (GMS-2 + EGNOS)

Najbolji rezultati su postignuti u naknadnoj obradi opažanja prikupljenih uređajem Trimble GeoXH Series 2008 (Slika 6.). Položajna odstupanja koordinata se kreću od 0.02 m do 0.14 m, prosječno 0.09 m, dok se visinska odstupanja kreću od 0.04 m do 0.13 m, prosječno 0.09 m. Postignuti rezultati odgovaraju specifikacijama H-Star tehnologije u naknadnoj obradi (URL6). Vrijednosti standardnih devijacija položaja se kreću od 0.02 m do 0.22 m, prosječno 0.10 m, a vrijednosti standardnih devijacija apsolutnih vrijednosti visinskih odstupanja se kreću od 0.04 m do 0.20 m, prosječno 0.10 m. Podaci o horizontalnoj i vertikalnoj preciznosti po pojedinim opažanim točkama koji se daju po provedenoj naknadnoj obradi se dobro slažu s izračunanim položajnim i visinskim odstupanjima (vanjska ocjena točnosti).



Slika 6. Položajna i visinska odstupanja (GeoXH 2008 PostProcessing)

Naknadna obrada opažanja prikupljenih uređajem Trimble GeoXH 2005 Series (Slika 7.) je rezultirala prosječnim položajnim odstupanjima koordinata 0.29 m (raspon od 0.18 m do 0.45 m) i prosječnim visinskim odstupanjima 0.35 m (raspon od 0.17 m do 0.57 m). Vrijednosti standardnih devijacija položaja se kreću od 0.21 m do 0.34 m, prosječno 0.27 m, a vrijednosti standardnih devijacija apsolutnih vrijednosti visinskih odstupanja se kreću od 0.27 m do 0.61 m, prosječno 0.44 m. Bolji rezultati koji su postignuti iz opažanja prikupljenih uređajem GeoXH 2008 Series su vjerojatna posljedica naprednih hardverskih i softverskih rješenja.



Slika 7. Položajna i visinska odstupanja (GeoXH 2005 PostProcessing)

6. Zaključak

U sklopu vježbi iz kolegija Navigacija na Diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, usmjerenje Geodezije, po prvi put je u nastavi primijenjen DSP servis CROPOS-a. Pored rada s uređajem za apsolutno pozicioniranje koji koristi mrežnu korekciju iz spomenutog servisa CROPOS sustava, studenti su stekli potrebno znanje i iskustvo u radu s drugim uređajima koji koriste korekcije EGNOS sustava ili se za pozicioniranje koriste samo signali GPS satelita. Opažanjem geodetskih točaka pomoću svih GPS/GNSS uređaja i kasnijom usporedbom rezultata s koordinatama precizno određenih u referentnom koordinatnom okviru ETRF2000 dala se ocjena položajne i visinske točnosti ostvarene primjenom korištenih metoda, odnosno pojedinih uređaja. Prilikom opažanja na svim uređajima je postavljen interval registracije od 1 sekunde, a opažanja su na svakoj točki trajala 30 sekundi. Na osnovi tih opažanja za svaku točku su određene elipsoidne koordinate (ϕ , λ , h). Obzirom na broj od 15 tročlanih terenskih ekipa, četiri raspoloživa GPS/GNSS prijamnika i dvije sesije opažanja, sve su točke (GFP1,... GFP6) razmatrane geodetske mreže određene iz 7-9 ponavljanja koristeći pojedini uređaj. Tako veliki broj podataka poslužio je za računanje ostvarenih prosječnih položajnih i visinskih odstupanja, a samim time i ocjenu ostvarive točnosti pojedine metode tj. uređaja. Tako je pokazano da se primjenom DSP servisa CROPOS-a postižu položajne i visinske točnosti bolje od 0.5 m (u prosjeku 0.28 m po položaju, 0.41 m po visini), a primjenom EGNOS korekcije se postižu točnosti od 1.5 m po položaju i visini. Iako koordinate dobivene pomoću uređaja koji koriste signale samo GPS satelita bez primjene bilo kakve korekcije daju najveću fluktuaciju položajnih i visinskih odstupanja, općenito se može reći da je ostvarena točnost bolja od 5 m po položaju i 10 m po visini. Najbolji rezultati su postignuti u naknadnoj obradi gdje su korištena opažanja uređajem Trimble GeoXH 2008 Series i podaci CROPOS CORS stanice ZAGReb. Postignuta je prosječna položajna i visinska točnost reda veličine 1 dm. Općenito, za postizanje boljih i

pouzdanijih rezultata od presudne je važnosti otvorenost neba i dostupnost signala satelita uz prethodno planiranje vremenskih prozora opažanja s niskim DOP vrijednostima.

ZAHVALA: Autori se zahvaljuju gosp. Nenadu Smolčaku iz tvrtke Geomatika Smolčak d.o.o. na posudbi Trimble mjernih uređaja, opreme i softvera koji su korišteni u izradi ovog rada. Također, zahvaljujemo se gosp. Franji Vargi, dipl. ing. geod., načelniku Odjela državne granice u Sektoru za državnu izmjeru DGU na posudbi Topcon GNSS uređaja.

7. Literatura

Šugar, D., Marjanović, M., Bačić, Ž. (2009): Implementacija CROPOS sustava u nastavi na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zbornik radova 1. CROPOS konferencije.

Torge, W. (2001): Geodesy, Walter de Gruyter, Berlin, New York.

Trimble (1995-2011): Sustav pomoći programskog paketa GPS Pathfinder Office, verzije 5.10.

URL1: <http://www.gsiworks.com/GeoXH%20Handheld.pdf> (30.04.2011.)

URL2: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-489264/022501-226B_TDL%20G%20CellularModem_DS_0211_MGIS_lr.pdf (30.04.2011.)

URL3: http://nees.utexas.edu/files/Trimble_GeoXH_Datasheet.pdf (30.04.2011.)

URL4: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-435729/022501-185C_Juno%20SC_DS_0310_MGIS_lr.pdf (30.04.2011.)

URL5: <http://www.topconpositioning.com/products/hand-held-devices/gnssgis-devices/gms-2> (30.04.2011.)

URL6: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-415145/022501-148D_H-Star_DS_0211_MGIS_LR.pdf (29.04.2011.)

URL7: http://www.compasstoolsinc.com/products/docs/trimble_bulletin.pdf (30.04.2011.)

URL8: http://www.cropos.hr/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=2&Itemid=3&lang=hr (30.04.2011.)

URL9: http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC_egnos_0.html (30.04.2011.)

