



HRVATSKO GEODETSKO DRUŠTVO
CROATIAN GEODETIC SOCIETY

ISSN 1847-4098

DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA
STATE GEODETIC ADMINISTRATION



1. CROPOS konferencija

Zbornik radova

Zagreb, listopad 2009.

Izdavači:

HRVATSKO GEODETSKO DRUŠTVO, Berislavićeva 6, HR-10000 Zagreb
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA, Gruška 20, HR-10000 Zagreb

Glavni urednik:

dr. sc. Marijan Marjanović

Urednici:

Marinko Bosiljevac, dipl. ing.
Jožef Delak, dipl.ing.

Tehnički urednik:

Margareta Premužić, dipl.ing.

Organizacijski odbor konferencije:

Jožef Delak, dipl. ing. (predsjednik OO)
mr. sc. Aldo Sošić
prof. dr. sc. Tomislav Bašić
dr. sc. Marijan Marjanović
Margareta Premužić, dipl. ing.
Dragutin Bajilo

Sponzori konferencije:

ZLATNI SPONZOR: Geomatika SMOLČAK d.o.o.
SREBRNI SPONZORI: DIT d.o.o.
VJEŠTAČENJE BAJILO d.o.o.
GEO CENTAR d.o.o.
BRONČANI SPONZOR: GeoWild d.o.o.

Tisk:

Digital point tiskara d.o.o.

Naklada:

750 primjeraka

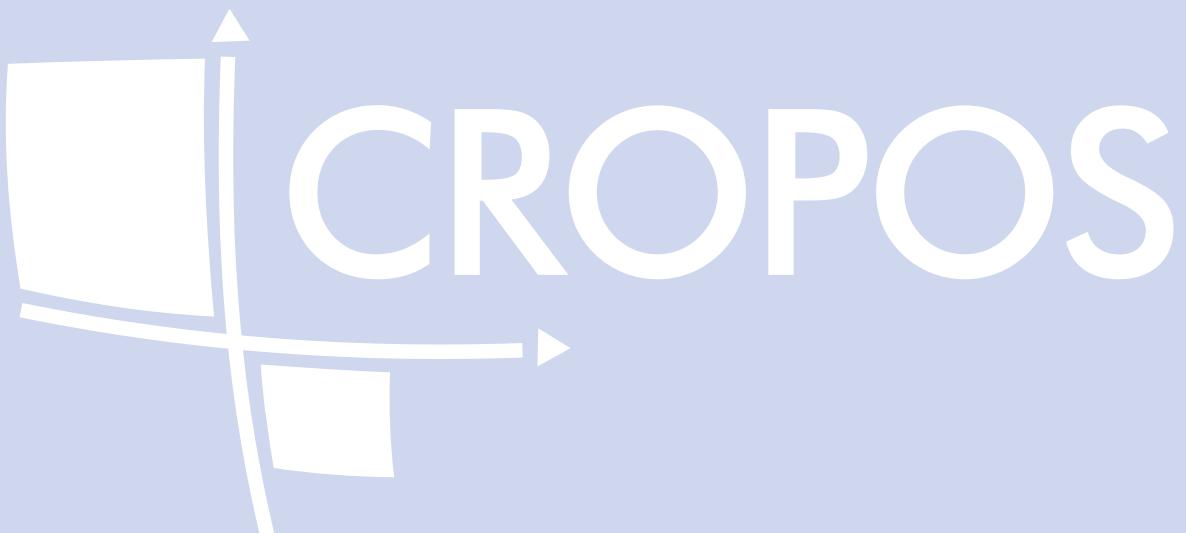
Napomena:

Svi radovi su tiskani u obliku kako su ih autori napisali, bez naknadne recenzije i lekture teksta.

ISSN 1847-4098

Sadržaj

Marinko Bosiljevac	
Uvodna riječ	5
Željko Baćić	
Učinkovita primjena tehnologija i razvoj znanja – preduvjet moderne geodezije	7
Željko Baćić	
CROPOS priznanja istaknutim pojedincima i ustanovama	11
Marijan Marjanović, Ivana Miletic, Vladimir Vičić	
CROPOS – prvih šest mjeseci rada sustava	15
Tamás Horváth	
The Hungarian GNSSnet.hu reference station network and positioning services	23
Dalibor Radovan, Klemen Medved	
SIGNAL – Slovenian permanent GNSS stations network	29
Milan Rezo, Željko Baćić	
Obrada i izjednačenje mjereneih veličina u RINEX formatu iz CROPOS mreže	41
Mladen Pandža, Goran Tisanić, Dario Tušek	
Mreža stalnih geodetskih točaka na području K.O. Varaždinske Toplice	65
Ilija Grgić, Olga Bjelotomić, Marija Repanić, Maro Lučić, Tomislav Bašić	
CROPOS u funkciji velikih geodetskih projekata	75
Danijel Šugar, Marijan Marjanović, Željko Baćić	
Implementacija CROPOS sustava u nastavi na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu	87
Maro Lučić, Ilija Grgić, Marija Repanić, Olga Bjelotomić	
Izvješće o radu permanentnih EPN GNSS stanica u Republici Hrvatskoj	105
Asim Bilajbegović	
Status i perspektive postojećih i planiranih satelitskih navigacijskih sustava	117
Marijan Marjanović, Margareta Premužić, Berto Slevka	
GNSS mjerena trigonometrijskih točaka u svrhu izrade jedinstvenog transformacijskog modela	131
Marinko Bosiljevac	
Implementacija novih službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija RH	139





Uvodna riječ

Marinko Bosiljevac, dipl. ing.

Pozicioniranje i navigacija pomoću satelita danas je postala dio svakodnevnih navika velikog broja profesionalaca i građana. U svrhu što efikasnijeg korištenja satelitskih sustava za pozicioniranje i navigaciju u svijetu se razvijaju mreže permanentnih stanica koje stalno registriraju opažanja tih satelita i putem mobilnih komunikacija te podatke stavlju na raspolaganje korisnicima, čime se efikasnost korištenja sustava udvostručuje, a pouzdanost višestruko povećava.

Ne želeći zaostajati za tim suvremenim rješenjima te zbog rastućih potreba hrvatskog društva te pogotovo anticipirajući skoru budućnost kada će svaki mobilni telefon biti opremljen GPS-prijamnikom i navigacijskim kartama, Državna geodetska uprava je uspostavila servis koji smo nazvali CROPOS što je skraćenica od engleskog prijevoda pojma Hrvatski pozicijski sustav – CROatian POsitioning System.

Servis CROPOS predstavlja geodetski, informacijsko-komunikacijski, organizacijski i gospodarski iskorak u primjeni globalnih sustava za satelitsku navigaciju i ovom trenutku podržava američki GPS i ruski GLONASS, te nadamo se, u skoroj budućnosti i njihovu europsku inačicu GALILEO. Republika Hrvatska je uspostavom CROPOS-a, u ovom trenutku jednog od tehnološki najmodernijih i najsuvremenijih sustava te vrste u Europi, uhvatila priključak sa razvijenim zemljama koje pružaju takve usluge svojem gospodarstvu i građanima. Servis CROPOS je namijenjen svim subjektima geodetsko-katastarskog sustava RH, tijelima državne uprave i lokalne samouprave, javnim sustavima i institucijama, gospodarkim subjektima, ali i građanstvu (nautičarima, planinarima, izletnicima i dr.).

Uspostava CROPOS-a najvećim je dijelom financirana iz sredstava pretpristupne pomoći Europske unije u okviru nacionalnog PHARE2005 programa. Ukupna vrijednost projekta iznosi 1.700.000,00 € od čega je 75% sredstva osigurano iz fondova Europske unije, a 25% sredstva iz Državnog proračuna Republike Hrvatske. Pored toga iz državnog proračuna Republike Hrvatske financirani su pripremni radovi u ukupnom iznosu od 120.000 €. Također treba nagnuti da su pripremna faza projekta, kao i određene provedbene faze projekta, podržane i potpomognute od strane njemačkog društva za tehničku suradnju – GTZ-a, u okviru dugogodišnje zajedničke bilateralne suradnje.

Sustav CROPOS je u službenu uporabu pušten 09. prosinca 2008. godine, a broj korisnika u pola godine rada sustava, njihovo zadovoljstvo pruženim uslugama, kao i podaci o vremenu korištenja sustava su najbolji pokazatelji da je CROPOS nakon samo pola godine u punoj funkcionalnosti i u tom vrlo kratkom vremenu u potpunosti integriran u hrvatski geodetsko-katastarski sustav. Uspostavljeni cjenovni model u potpunosti pokriva održavanja sustava te dodatno stimulira naše gospodarske subjekte na korištenje sustava uz istovremeno povećanje njihove učinkovitosti.

Te spoznaje ispunjavaju nas zadovoljstvom, no poznavajući mogućnosti sustava i njegov potencijal nalazimo da se on može znatno bolje i raznovrsnije koristiti pogotovo kao infrastrukturna podloga za razvoj niza gospodarskih grana u Hrvatskoj. U tom smislu vjerujemo da će i ova 1. CROPOS konferencija doprinijeti promociji sustava i potaknuti njegovu još širu primjenu pogotovo u tijelima državne uprave i javnim sustavima u izgradnji i održavanju pojedinih geografsko-informacijskih sustava.

Također u želji da još više unaprijedimo kvalitetu i pouzdanost usluga CROPOS-a, prvenstveno u pograničnim dijelovima države sa našim cijenjenim susjedima – Crnom Gorom, Republikom Mađarskom i Republikom Slovenijom u okviru ove konferencije potpisat ćemo dogovore o razmjeni podataka pograničnih stanica.

Nadam se da ćemo svi skupa kroz pripremljene prezentacije i razmjenu međusobnih do-sadašnjih iskustava i informacija u korištenju CROPOS-a, kao i kroz iskustava koja će nam prezentirati kolege iz Bavarske, Crne Gore, Mađarske i Slovenije, doći do novih spoznaja kako da još više unaprijedimo i još efikasnije koristimo CROPOS.



Učinkovita primjena tehnologija i razvoj znanja – preduvjet moderne geodezije

Prof. dr. sc. Željko Bačić

Moderno društvo danas, ili kako ga još nazivamo informatičko društvo, temelj svog funkciranja zasniva na informacijama i informatičko-komunikacijskim tehnologijama. Zapravo na sposobnosti stvaranja, prikupljanja, obrade, analize, interpretacije, distribucije i nastavno ponovnog stvaranja informacija. Na snazi tog lanca, odnosno njegove najslabije karike, temelji se sposobnost donošenja odluka i upravljanja bilo kojom razinom društvene organizacije. Značajnu ulogu, odnosno jednu kariku, u donošenju odluka i nastavno upravljanju danas imaju informacije o prostoru. Način života i izazovi s kojima se danas susrećemo traže značajan volumen informacija o prostoru. Ilustracije radi, poznata je činjenica da prema istraživanjima provedenim u Europskoj uniji, 70% dokumenata Europske komisije sadrži prostorne informacije u sebi.

Druga poluga informatičkog društva su napredna informatičko-komunikacijska rješenja koja umrežena po konceptima e-governmenta, odnosno e-Hrvatske, čine sve informacije, pa tako i prostorne informacije dostupnim najširem krugu korisnika ostvarujući javnost i transparentnost rada tijela državne i javne uprave. Iako CROPOS sustav ima karakteristike prvenstveno tehničkog servisa namjenjenog profesionalnim i stučnim korisnicima, za istaknuti je da sve prognoze razvoja mobilnih komunikacija govore o integraciji mobilnih uređaja i GNSS prijamnika, što je već i danas ostvareno, na masovnoj i kvalitetnijoj osnovi. Drugim riječima za očekivati je za nekoliko godina, da će se mobilni uređaji opremljeni GNSS prijamnicima moći koristiti CROPOS sustavom, što podrazumijeva da će se broj potencijalnih korisnika od današnjih nekoliko tisuća, povećati na nekoliko miliona. Tada će i CROPOS sustav postati osim tehničkog servisa isto tako servis koji podupire svekoliku javnost i transparentnost rada državne i javne administracije.

CROPOS sustav predstavlja i značajnu kariku u izgradnji Nacionalne infrastrukture prostornih podataka, odnosno usvajanja INSPIRE direktive Europske unije jer je jedan od glavnih razloga uspostave ovog sustava materijalizacija jedinstvenog i modernog geodetskog referentnog okvira i prevođenje postojećih podataka iz starih geodetskih datuma i različitih projekcija u novo hrvatsko rješenje uskladeno sa EUREF preporukama i potrebama modernog društva. Razmjena prostornih informacija različitim subjekata infrastrukture prostornih podataka na zamislijen učinkovit i transparentan način moguća je samo ukoliko se osigura takvo geodetsko okruženje koje će svim subjektima omogućiti da svoje prostorne informacije georeferenciraju u jedinstvenom refrentnom okviru, što upravo omogućuje CROPOS sustav.

U tom kontekstu je osiguranje sposobnosti pouzdanog i točnog pozicioniranja i navigacije koje je istovremeno racionalno i efikasno od bitnog značaja za izgradnju društva, odnosno svih njegovih sastavnica u koje ubrajamo državnu i javnu upravu, gospodarstvo i građanstvo. Takvo društvo će potpomognuto upravo rješenjima kao što je Hrvatski pozicijski sustav, po-

znatiji pod kraticom CROPOS, ostvariti prepostavke za postizanje visoke razine prikupljanja, obrade, korištenja i distribucije prostornih podataka, te moći postati geo-potpomognuto odnosno geo-osposobljeno društvo. Dakle, društvo zasnovano na i potpomognuto servisima koji osiguravaju kvalitetne, ažurne i jednostavno dostupne prostorne podatke.

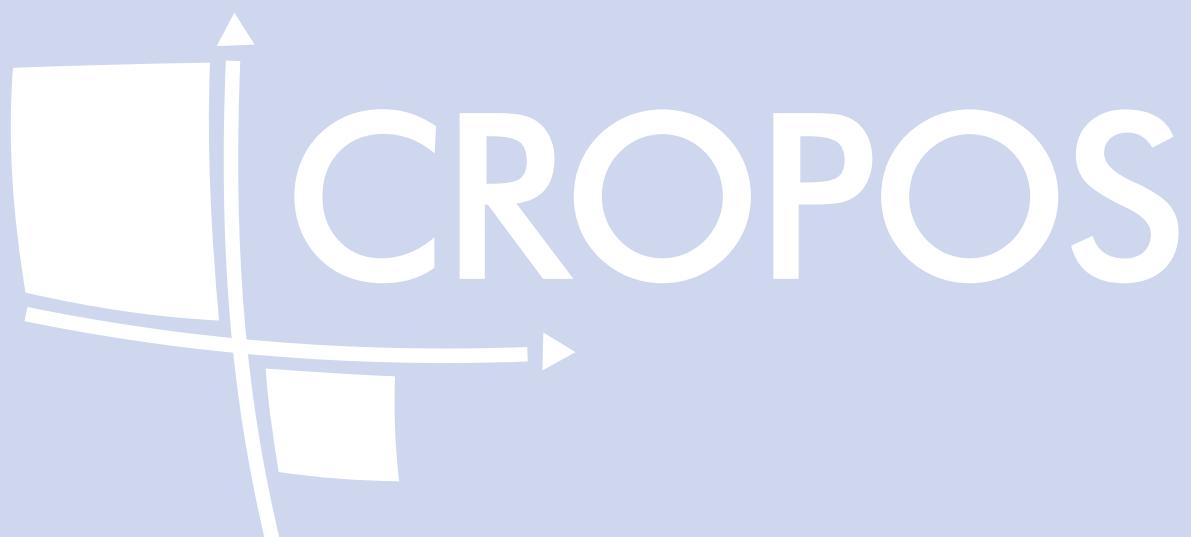
Sve do sada navedeno ima zajedničku osnovu, koja se odnosi na učinkovitu primjenu modernih tehnologija u konkretne svrhe s jasnim ciljem i načinom primjene. Svaki korisnički servis kao što je CROPOS ili prošli tjedan u rad pušten Geoportal Državne geodetske uprave samim svojim puštanjem u rad predstavlja iskorak u primjeni podataka koje takav servis stavlja na uporabu i time potiče da se i cijelokupni sustav, bilo da je riječ samo o geodetsko-geoinformatičkom sustavu ili šire, podigne na višu razinu i time promiče usvajanje novih tehnologija i znanja.

A znanje je i bila temeljna prepostavka uspostave CROPOS sustava, kojeg treba sagledavati samo kao završnicu jednog desetogodišnjeg procesa stvaranja preduvijeta za usvajanje novog hrvatskog geodetskog referentnog okvira, dakle, kako smo prije zvali novih geodetskih datuma i kartografske projekcije. Bilo je neophodno uložiti puno postojećeg znanja i steći nova znanja, bilo samostalno ili u suradnji sa stručnjacima iz drugih zemalja. Danas predstavlja zadovoljstvo govoriti o tim činjenicama, međutim treba imati na umu da puštanju u rad CROPOS-a prethodi cijeli niz studija koje su za potrebe Državne geodetske uprava izradili profesori i njihovi suradnici sa Geodetskog fakulteta upravo definirajući teorijske i praktične osnove novog referentnog okvira. U razdoblju od 2001.-2005. godine u nekoliko ciklusa, tri tima stručnjaka predvođeni profesorima Neviom Rožićem i pokojnim Ladislavom Feilom – za visinski sustav, profesorom Bašićem – za položajni i 3D sustav, te profesorima Nedjeljkom Frančulom i Miljenkom Lapaineom – za kartografsku projekciju, razradili su novi hrvatski referentni okvir te modele i parametre transformacije između postojećih i novog referentnog okvira. Pa i sada taj posao nije dovršen, te se uz prikupljanje dodatnih prostornih podataka, odnosno GNSS izmjeru nekoliko tisuća geodetskih točaka, radi na razradi modela za preciznu transformaciju postojećih podataka kako bi društvo i posebno geo-gospodarstvo imali što jednostavniju tranziciju iz jednog u drugi sustav.

Pored hrvatskih kapaciteta, u pripremi za uspostavu CROPOS sustava korištena su i znanja stručnjaka iz inozemstva, posebno Savezne Republike Njemačke kroz višegodišnju suradnju sa Njemačkim društvom za tehničku suradnju – poznatijim pod kraticom GTZ, kroz koju smo se upoznavali sa sustavima referentnih GNSS stanica, praktičnim aspektima njihove primjene i izgradnje, te razradili poslovni model CROPOS sustava. Brojni njemački stručnjaci su nam pri tome pomogli, pogotovo g. Bernd Leonard u svojstvu projekt managera naše sedmogodišnje suradnje, prof. Asim Bilajbegović i g. Olaf Ludwig izradivši CROPOS studiju, te gospodin Hans Peter Link koji je neposredno podupirao samu izgradnju CROPOS sustava. Tu je nastavno i znanje koje je Bavarska geodetska uprava uložila u razvoj vlastitog softvera za kontrolu kvalitete rada permanentne GNSS mreže koju nam je nesobično stavila na raspolaganje

Nabranjem stručnjaka i institucija koje su svojim znanjem doprinijeli uspostavi CROPOS-a ima za cilj istaknuti količnu znanja i energije koji su potrebni za realizaciju ovakvih kompleksnih projekata i značaj ulaganja u znanje. Znanje je ključno za razvoj bilo kojeg naprednog tehnološkog rješenja, ali znanje je potrebno i za korištenje takvog sustava od strane korisnika i naravno njegovo održavanje. Naime, puštanjem u rad CROPOS-a pojavljuje se potreba proširivanja znanja korisnika i potencijalnih korisnika sustava kako bi njegova primjena bila što efikasnija. U tu svrhu, aktivnosti kao CROPOS radionice, CROPOS priručnik, edukacijskih filmova te ova CROPOS konferencija predstavljaju vidljivi dio našeg napora da se potrebno znanje što brže i učinkovitije transferira stručnjacima koji koriste sustav.

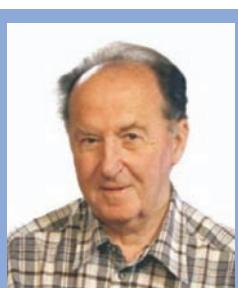
Naravno, na duge staze, ovo nisu i ne mogu biti glavni oblici diseminacije znanja, već to moraju preuzeti obrazovne institucije, srednje geodetske tehničke škole i pogotovo Geodetski fakultet. Novi stručnjaci moraju biti ne samo osposobljeni znanjem za nesmetano i trenutno korištenje servisa kao što je CROPOS, već i svjesni promjena koje informatičko-komunikacijska revolucija donosi svima, a pogotovo pojedinim strukama kao što je geodezija. Slika koju danas prezentiramo javnosti o primjeni i prednostima satelitskog pozicioniranja, CROPOS sustava i drugih web-servisa, koncepta IPP-a, samo je odraz današnjeg stanja, ali moramo biti svjesni da su promjene u području pribavljanja, obrade i distribucije prostornih informacija toliko brze i radikalne da će slika za 5-10 godina biti bitno drugačija. Stoga je nove naraštaje potrebno naoružati znanjima koja će im omogućiti da percipiraju te promjene i razumiju širinu događanja kako bi mogli odgovoriti zatjevima društva i pružiti im potrebne usluge.



CROPOS priznanja istaknutim pojedincima i ustanovama

Prof. dr. sc. Željko Bačić

Povodom uspostave CROPOS sustava i prigodom 1. CROPOS konferencije Državna geodetska uprava dodijelila je istaknutim pojedincima i organizacijama priznanja za poseban doprinos razvoju i primjeni GNSS tehnologije u Hrvatskoj i izgradnji CROPOS sustava. Uspostavom CROPOS sustava zaokružen je ciklus spoznaje, inicijalne primjene i izgradnje naprednoga sustava temeljenog na satelitima za pozicioniranje i navigaciju, poznatijega pod nazivom Global Navigation Satellite System (GNSS). U više od 30 proteklih godina, od prvih primjena satelita za pozicioniranje do danas, brojni su pojedinci i institucije dali značajan doprinos implementaciji GNSS-a u Hrvatskoj, no nekolicina je svojim znanjem, radom, ostvarenim rezultatima, zadužila sve nas u Hrvatskoj i omogućila uspostavu CROPOS sustava. Stoga su na konferenciji dodjeljena priznanja sljedećim pojedincima i institucijama:



Prof. dr. sc. Miljenko Solarić

Prof. dr. sc. Miljenko Solarić pionir je satelitske geodezije u Hrvatskoj i njome se bavi gotovo cijeli svoj znanstveni vijek. Prvi je u nastavu na Geodetskom fakultetu uveo satelitsku geodeziju te je s prof. Asimom Bilajbegovićem najzaslužniji što su 1989. godine, kao najveća kapitalna investicija u znanosti u Hrvatskoj te godine, nabavljeni precizni GPS prijemnici. Nabavom tih prijemnika učinjen je ogroman iskorak u primjeni, popularizaciji i nastavi satelitske geodezije, što je zacrtalo put razvoja satelitske geodezije u Hrvatskoj. Brojnim znanstvenim radovima tijekom posljednjih dvadeset godina prof. Solarić također neu-morno popularizira satelitsku geodeziju i znanstvene spoznaje o njoj.



Prof. dr. sc. Asim Bilajbegović

Prof. dr. sc. Asim Bilajbegović najzaslužniji je, zajedno s prof. Miljenkom Solarićem, što su 1989. godine, kao najveća kapitalna investicija u znanosti u Hrvatskoj te godine, nabavljeni precizni GPS prijemnici. U razdoblju 1989.-1993. organizirao je prve GPS kampanje u Hrvatskoj za određivanje novoga referentnog okvira, geodinamička istraživanja, odnosno praktične zadatke izmjere katastarskih i inženjerskih mreža te integracije senzora. Prvi je obradom GPS mjerenja odredio neslaganja blokova stare triangulacijske mreže. Koautor je i autor prvih udžbenika iz satelitske geodezije na kojemu su se školovale brojne generacije



studenata. Koautor je i CROPOS studije, u okviru tehničke suradnje sa SR Njemačkom, koja je bila podloga za uspostavu CROPOS sustava. Autor je velikoga broja znanstvenih radova iz satelitske geodezije i primjene GNSS tehnologije u geodeziji i srodnim područjima.

Prof. dr. Hermann Seeger

Prof. dr. Hermann Seeger, dugogodišnji direktor Instituta za primjenjenu geodeziju (IFAG) iz Frankfurta, kao osvjedočeni priatelj Hrvatske u najtežim je ratnim danima dao ključnu podršku uključivanju Hrvatske u Europski referentni okvir (EUREF) i provedbi Europskih GPS kampanji na tlu Hrvatske usprkos neposrednim ratnim opasnostima i, tada još nedefiniranoj, političkoj situaciji. Tako su u razdoblju od 1994. do 1998. godine realizirane četiri velike mjerne CROREF i tri geodinamičke CRODYN kampanje, koje su rezultirale određivanjem referentne GPS mreže Republike Hrvatske koju čini 78 točaka, koje su praktična realizacija novoga geodetskog datuma RH. Uz navedeno prof. Seeger je omogućio prenošenje znanja i specijalističko usavršavanje djelatnika DGU kada je bilo to najpotrebnejše.

Božo Sukić, dipl. ing. geod.

Pokojni kolega Božo Sukić, dugogodišnji pročelnik Županijskoga ureda za katastar Vukovar i pročelnik tadašnjega Županijskog ureda za katastar u Slavonskome Brodu, Davorin Špoljarić, vlastitom su inicijativom i velikim zalaganjem nabavili i prvi primijenili GPS uređaje u radu katastarskih ureda i obavljanju geodetskih radova. U razdoblju od 1995. do 2000. godine razvili su praktične procedure za primjenu GPS tehnologije za katastarska mjerena. Sustavno je na području Vinkovaca organizirao i proveo izmjeru 2.000 ha poljoprivrednoga zemljišta i izradu nekoliko tisuća parcelacijskih elaborata sa svrhom raspolažanja državnog poljoprivrednog zemljišta. Provedbom tih aktivnosti stanje katastarskog operata i njegova ažurnost na području Vinkovaca su najbolji u Hrvatskoj.

Davorin Špoljarić, dipl. ing. geod.

Pročelnik u miru Područnoga ureda za katastar u Slavonskome Brodu, Davorin Špoljarić i pokojni pročelnik Županijskoga ureda za katastar Vukovar, Božo Sukić, vlastitom su inicijativom i velikim zalaganjem nabavili i prvi primijenili GPS uređaje u radu katastarskih ureda i obavljanju geodetskih radova. U razdoblju od 1995. do 2000. godine sustavno je na području Slavonskog Broda organizirao i proveo izmjeru 6.500 ha poljoprivrednog zemljišta i obnovu trigonometrijske i poligonske mreže. Provedbom tih aktivnosti stanje sređenosti mreža i državnoga poljoprivrednog zemljišta u Slavonskome je Brodu najuređenije Hrvatskoj.



Mr. sc. Marko Širac

Mr. sc. Marko Širac, ministar prostornoga uređenja, graditeljstva i stanovanja u razdoblju 1996.-2000. i dugogodišnji saborski zastupnik, najzaslužniji je za donošenje Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina 1999. godine, kojim je učinjen ključan iskorak u redefiniranju geodetske struke u Hrvatskoj i stvoren temelj današnje Državne geodetske uprave. Donošenjem Zakona stvorene su i temeljne prepostavke za donošenje Odluke o utvrđivanju službenih hrvatskih geodetskih datuma i ravninske kartografske projekcije RH, što je sve omogućilo izgradnju CROPOS sustava.



Bernd Leonard, dipl. ing. geod.

Bernd Leonard u razdoblju 2001. do 2008. bio je voditelj triju projekata tehničke suradnje u području geodezije i katastra između SR Njemačke i Republike Hrvatske. Iznimnim znanjem, razumijevanjem, organizacijskim sposobnostima i angažmanom bitno je doprinio uspješnoj realizaciji tih projekata, koji su u sebi sadržavali i brojne aktivnosti vezane za primjenu GNSS tehnologije u katastru i za druge geodetske aplikacije (npr. Pilot projekt Neretva) te izradu CROPOS studije, koja je bila podloga za uspostavu CROPOS sustava. Osobnim je angažmanom doprinio rješavanju brojnih pitanja i dvojbi pri definiranju CROPOS sustava i aspektima njegove izgradnje i primjene.

Geodetska uprava Bavarske



Bavarska je geodetska uprava nesebično Državnoj geodetskoj upravi stavila na raspolaganje vlastiti softver za neovisnu kontrolu kvalitete performanse permanentnih GNSS mreža, koji omogućava korisnicima CROPOS sustava uvid u status rada sustava za određivanje koordinata u realnome vremenu korištenjem VTPS servisa CROPOS sustava.



Hans Peter Link, dipl. ing. geod.

Hans Peter Link bio je konzultant na ILAS projektu financiranom iz PHARE 2005 programa pomoći EU, koji je na svoj nekonvencionalan način značajno doprinio izgradnji CROPOS sustava i izašavši iz okvira svojega ugovora, osobnim angažmanom bitno pridonio prijenosu njemačkih iskustava i znanja u primjeni GNSS mreža hrvatskim korisnicima i uspješnoj promociji CROPOS sustava te donaciji Bavarske geodetske uprave.



Dr. sc. Marijan Marjanović

Dr. sc. Marijan Marjanović autor je svih epoha izjednačenja novoga referentnog okvira zasnovanog na GNSS mjerjenjima u Hrvatskoj i izjednačenja brojnih geodinamičkih kampanja, čime je osigurana visoka točnost novoga hrvatskog referentnog okvira. Autor je i koautor brojnih znanstvenih radova iz područja obrade i primjene GNSS mjerjenja. U Državnoj je geodetskoj upravi neposredno odgovoran za reviziju mreže osnovnih geodetskih točaka i uspostavu baze točaka osnovne geodetske mreže, čime se stvaraju preduvjeti za efikasnu i sveobuhvatnu primjenu GNSS uređaja u Hrvatskoj. Izvanrednim osobnim angažmanom odredio je precizno koordinate stanica CROPOS sustava i organizirao uspostavu GNSS stanica mreže te je neposredno odgovoran za njegovo besprijeckorno funkcioniranje.



Marinko Bosiljevac, dipl. ing. geod.

Marinko Bosiljevac odgovoran je za državnu izmjeru u Državnoj geodetskoj upravi u proteklih osam godina u kojem razdoblju su učinjeni bitni iskoraci na uspostavi novog referentnog geodetskog sustava i okvira u Hrvatskoj i stvaranju preduvjeta za njegovu implementaciju u geodetsko-katastarski i sve ostale prostorne sustave u Hrvatskoj. Uz opću odgovornost za državnu izmjeru autor je obnove trigonometra prvog reda što je još jedan doprinos efikasnoj i sveobuhvatnoj primjeni GNSS uređaja u Hrvatskoj. Izvanrednim osobnim angažmanom doprinio je uspostavi CROPOS sustava, njegovog predstavljanja korisnicima i brzoj implementaciji sustava u geodetski sustav u Hrvatskoj.

CROPOS – prvih šest mjeseci rada sustava

Marijan Marjanović^{*1}, Ivana Miletic^{*2}, Vladimir Vicic^{*3}

Sažetak

Tijekom 2008. godine Državna geodetska uprava uspostavila je CROPOS (CROatian POsitionig System) sustav. CROPOS – hrvatski pozicijski sustav je državna mreža referentnih GNSS stanica Republike Hrvatske koji omogućava određivanje položaja u realnom vremenu s točnošću od 2 cm u horizontalnom smislu te 4 cm u vertikalnom smislu na čitavom području države. Sustav čini 30 referentnih GNSS stanica koje ravnomjerno prekrivaju područje države i služe za prikupljanje podataka mjerena koji se kontinuirano šalju u kontrolni centar gdje se obavlja provjera podataka mjerena, obrada i izjednačenje te računanje korekcijskih parametara koji su dostupni korisnicima na terenu putem mobilnog Interneta. Sustav je pušten u službenu uporabu 9. prosinca 2008. godine i tijekom prvih šest mjeseci njegovog rada našao je široku primjenu u obavljanju svakodnevnih geodetskih zadataća. U radu su dane osnovne karakteristike CROPOS sustava i njegovih usluga koje su na raspolaganju korisnicima, zatim je opisan postupak registracije korisnika s pregledom broja korisnika i korištenja pojedinih usluga sustava te su navedene buduće aktivnosti Državne geodetske uprave koje imaju za cilj unaprijediti pouzdanost rada sustava, kao i omogućiti korisnicima njegovu što jednostavniju primjenu u svakodnevnom radu.

1. CROPOS – hrvatski pozicijski sustav

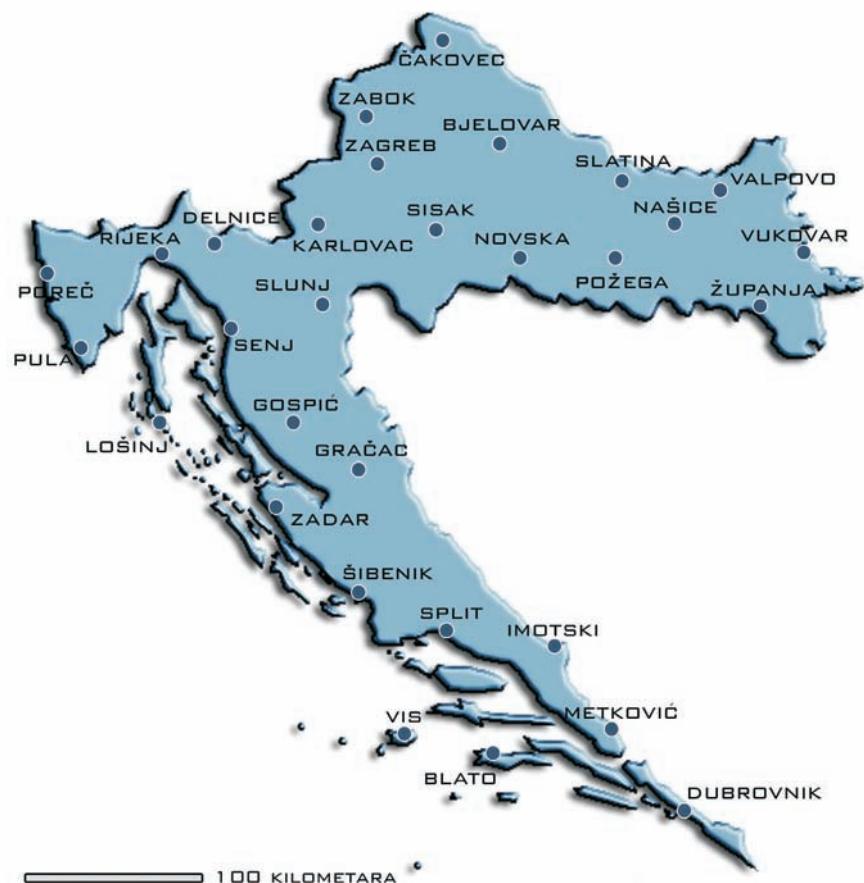
CROPOS sustav je državna mreža referentnih GNSS stanica koji postavlja nove standarde određivanja položaja i navigacije u Republici Hrvatskoj te omogućava primjenu modernih metoda mjerena i moderne tehnologije u svakodnevnom radu geodetskih stručnjaka. Uspostavom sustava Republika Hrvatska je održala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

Prilikom primjene klasične RTK metode mjerena i prijema korekcijskih podataka samo s jedne stanice, ograničenje rada je u krugu do 10-tak km od bazne stanice. Različiti vanjski utjecaji (atmosfera, ionosfera, širenje signala mjerena, orbita satelita i dr.) dovode do ograničenja udaljenosti bazne stanice i rovera te problema rješavanja ambiguiteta. Taj nedostatak se rješava umrežavanjem više referentnih stanica čija udaljenost s obzirom na tehnologiju koja je danas na raspolaganju može biti do 80 km.

^{*} Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb

¹marijan.marjanovic@dgu.hr, ²ivana.miletic@dgu.hr, ³vladimir.vicic@dgu.hr

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



Slika 1: CROPOS sustav – raspored referentnih GNSS stanica

Ugovor za realizaciju CROPOS sustava potpisali su predstavnici Delegacije Europske unije u Zagrebu, Ministarstva financija Republike Hrvatske i izvoditelj radova tvrtka Trimble Europe 28. studenog 2007. godine. Vrijednost ugovora je bila 1,396,460.00 €. Finansijska sredstva osigurana su u okviru PHARE-2005 programa Europske unije (75%) i državnog proračuna Republike Hrvatske (25%). Ugovor je uključivao isporuku mjerne, komunikacijske, računalne i programske opreme, njihovu instalaciju i testiranje rada sustava te edukaciju djelatnika Državne geodetske uprave za poslove održavanja i administracije sustava te praktičnu primjenu sustava. Svi radovi predviđeni ugovorom su dovršeni 19 dana prije roka, tako da je sustav pušten u službenu uporabu 9. prosinca 2008. godine.

2. Referentni okvir CROPOS sustava

Obrada podataka mjerena i izjednačenje koordinata referentnih GNSS stanica CROPOS sustava obavljeno je Bernese GPS Softwareom Ver. 5.0. Za računanje su korišteni podaci konačne IGS orbite i gibanja pola. U obradu podataka mjerena uključeni su sedmodnevni podaci

mjerenja u trajanju sesije od 24 sata za GPS tjedan 1503. Obrada podataka mjerenja obavljena je u ITRF2005 referentnom okviru, epoha 2008.83, a zatim su koordinate točaka transformirane u ETRF00 (R05). Srednje standardno odstupanje koordinata referentnih stanica dobiveno na temelju usporedbe sedam dnevnih rješenja i zajedničkog izjednačenja je $\sigma_\varphi = 1.2 \text{ mm}$, $\sigma_\lambda = 1.1 \text{ mm}$ i $\sigma_h = 3.4 \text{ mm}$.

U obradu podataka mjerenja ukupno su uključene 42 točke:

- 30 referentnih GNSS stanica CROPOS sustava,
- 5 referentnih IGS točaka,
- 7 kontrolnih IGS točaka.

Kontrolne IGS točke koristile su se za provjeru svih koraka obrade podataka mjerenja i konačnog računanja koordinata referentnih GNSS stanica CROPOS mreže na temelju usporedbe s rješenjem EUREF/EPN mreže za GPS tjedan 1503 (Tablica 1). Kao što se vidi iz tablice 1, razlike koordinata kontrolnih IGS točaka su malog reda veličine što je neovisna kontrola da je obrada podataka mjerenja dobro obavljena i da stanice CROPOS mreže čine dio globalnog referentnog okvira.

Tablica 1: Usporedba koordinata kontrolnih IGS točaka

IGS TOČKA	ZEMLJA	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
MEDI (Medicina)	Italija	-0.002	0.008	-0.001
POTS (Potsdam)	Njemačka	0.002	-0.002	-0.002
KOSG (Kootwijk)	Nizozemska	0.005	-0.001	0.001
GOPE (Pecny)	Češka	-0.001	-0.003	-0.005
JOZE (Jozefoslaw)	Poljska	-0.002	-0.004	-0.004
BRUS (Brussels)	Belgija	0.002	-0.001	-0.001
OSJE (Osijek)	Hrvatska	-0.003	-0.004	-0.003

3. Usluge CROPOS sustava

CROPOS sustav pruža korisnicima tri usluge koje se međusobno razlikuju po metodi rješenja, točnosti, načinu prijenosa podataka i formatu podataka (Tablica 2):

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

Tablica 2: Usluge CROPOS sustava

CROPOS USLUGA	METODA RJEŠENJA	TOČNOST	PRIJENOS PODATAKA	FORMAT PODATAKA
DPS	umreženo rješenje kodnih mjerena u realnom vremenu	0.3 – 0.5 m	Wireless Internet (GPRS, UMTS) NTRIP Protocol	RTCM 2.3
VPPS	umreženo rješenje faznih mjerena u realnom vremenu	0.02 m (2D) 0.04 m (3D)	Wireless Internet (GPRS, UMTS) NTRIP Protocol GSM	RTCM 2.3 RTCM 3.1
GPPS	post-processing	< 0.01 m	Internet (FTP, e-mail)	RINEX RINEX VRS

4. Registracija korisnika

Usluge CROPOS sustava su dostupne isključivo registriranim korisnicima koji u tu svrhu podnose zahtjev za registraciju Državnoj geodetskoj upravi u kojem navode podatke o tvrtki, vrsti usluge i broju licenci te izjavu o prihvatanju općih uvjeta korištenja usluga sustava. Na temelju podataka u zahtjevu za registraciju, korisnik dobiva za svaku pojedinu uslugu korisničko ime i lozinku pomoću kojih mu je omogućen pristup pojedinoj usluci te upute za pristup sustavu tj. parametre za podešavanje mjernog uređaja.

Tablica 3: Cijene korištenja usluga CROPOS sustava

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

* Usluga se naplaćuje isključivo godišnje

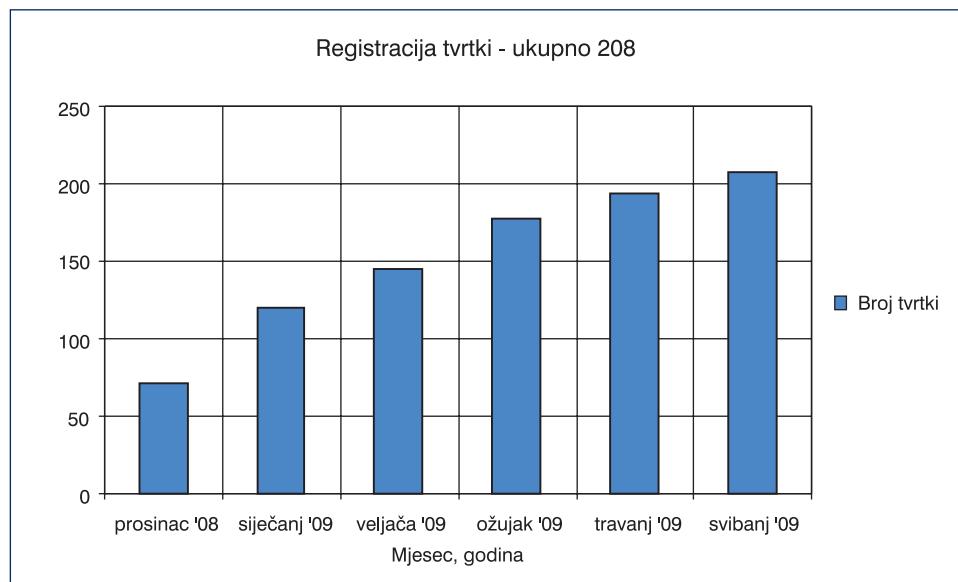
** Usluga se naplaćuje isključivo minutno

Jednim korisničkim imenom i lozinkom korisnici mogu istovremeno pristupiti sustavu samo s jednim mjernim uređajem. Usluge sustava se naplaćuju korisnicima prema Pravilniku o određivanju visine stvarnih troškova uporabe podataka državne izmjere i katastra nekretnina ("Narodne novine" br. 148/2008, Tablica 3). Prilikom registracije korisnik plaća jednokratnu naknadu od 300,00 kn.

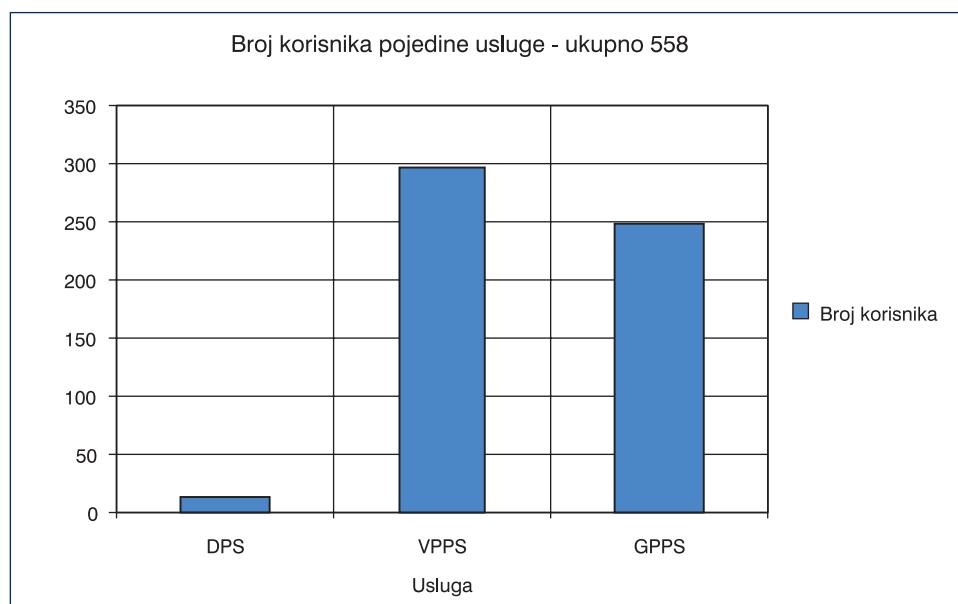
Od 9. prosinca 2008. godine do 31. svibnja 2009. godine ukupno je registrirano 208 tvrtki (Slika 2) s 588 korisnika (Slika 3). Kao što se vidi iz slika 2 i 3, broj registriranih tvrtki i korisnika kontinuirano raste što je pokazatelj da je sustav odlično prihvaćen od strane geodetskih stručnjaka. Razlozi zbog kojih je broj registriranih tvrtki i korisnika vrlo brzo rastao mogu biti podijeljeni u četiri skupine:

1. Ekonomičnost
 - a. Smanjenje broja prijemnika potrebnih za obavljanje mjerena
 - b. Skraćenje potrebnog vremena za obavljanje mjerena
 - c. Cjenovni model korištenja usluga sustava

2. Točnost
 - a. Jedinstvena točnost određivanja koordinata točaka na cijelom području države
 - b. Homogenost mjerena na cijelom području države
3. Pouzdanost rada sustava
 - a. Visoka tehnološka i tehnička kvaliteta sustava
 - b. Dostupnost sustava
4. Povjerenje korisnika
 - a. Projektiranje, uspostavljanje i puštanje sustava u službenu uporabu – pridržavanje planiranih rokova
 - b. Informiranje i podrška korisnika

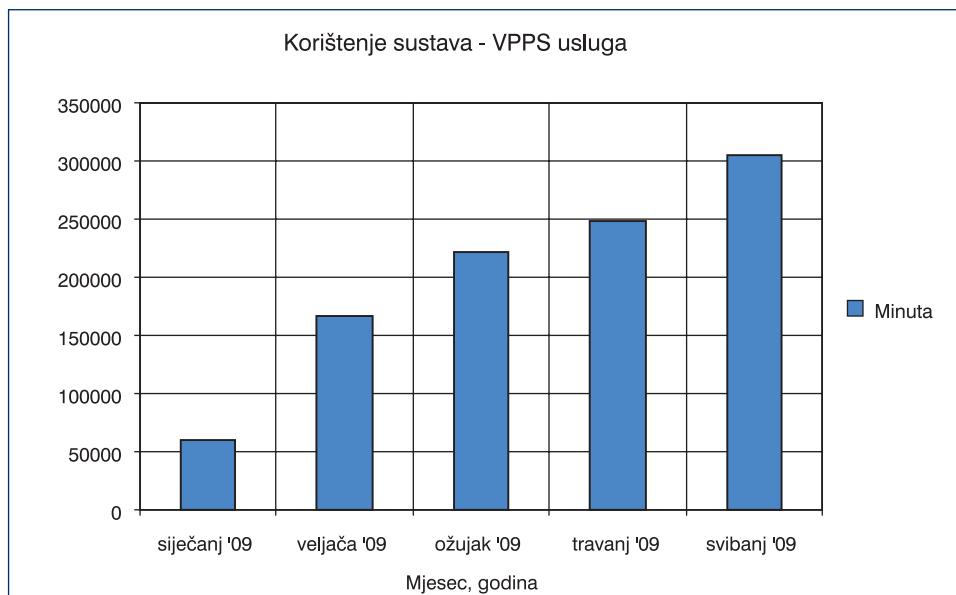


Slika 2: Broj registrirani tvrtki (prosinac '08 – svibanj '09)

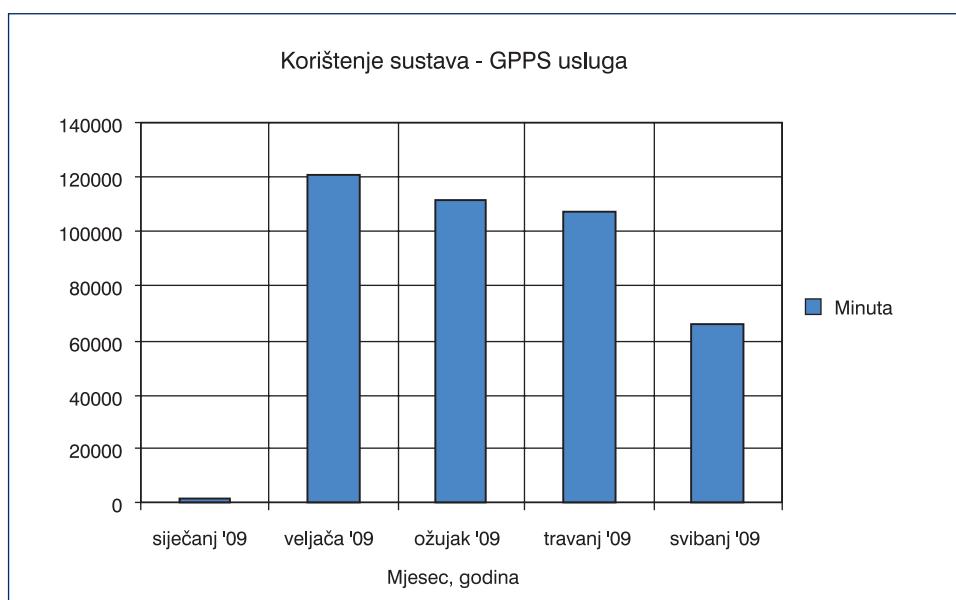


Slika 3: Broj korisnika pojedine usluge (prosinac '08 – svibanj '09)

S brojem registriranih tvrtki i korisnika stalno se je povećavao ukupni broj minuta mješecnog korištenja sustava te je tako korištenje VPPS usluge (RTK) u svibnju dostiglo 300,000 minuta (Slika 4), dok je prosjek mjesecnog korištenja GPPS usluge (*post-processing*) u 2009. godini oko 100,000 minuta (Slika 5).



Slika 4: Korištenje sustava – VPPS usluga (prosinac '08 – svibanj '09)



Slika 5: Korištenje sustava – GPPS usluga (prosinac '08 – svibanj '09)

5. Informiranje korisnika

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

- CROPOS letak,
- CROPOS brošura,
- Web stranica: www.cropos.hr, www.cropos.eu,
- Informativne radionice (Rijeka, Split, Zagreb, Vinkovci) na kojima je sudjelovalo više od 800 sudionika,
- CROPOS – priručnik za korisnike,
- CROPOS video.

6. Buduće aktivnosti

U svrhu što učinkovitijeg korištenja sustava u svakodnevnom radu i iskorištavanja prednosti koje omogućavaju usluge CROPOS-a potrebno je nastaviti s informiranjem i edukacijom korisnika te se u tu svrhu planiraju organizirati informativno-edukacijske radionice s posebnim naglaskom na korištenje DPS usluge kako bi se tijela državne uprave, javne ustanove i institucije upoznale s jednostavnim i pouzdanim načinom prikupljanja prostornih podataka u svrhu izrade i održavanja vlastitih geografsko-informacijskih sustava.

Kako bi se osigurala što bolja pokrivenost graničnog područja te povećala pouzdanost rada sustava u slučaju neplaniranog prekida rada pojedine referentne stanice CROPOS sustava, na 1. CROPOS konferenciji bit će potpisani dogovor Republike Hrvatske sa susjednim državama Republikom Crnom Gorom, Republikom Mađarskom i Republikom Slovenijom o razmjeni podataka mjerjenja pograničnih referentnih stanica. Na taj način će su u CROPOS mrežu uključiti dodatnih 13 referentnih stanica na temelju kojih će se računati korekcijski parametri.

U 2009. godini planira se nadogradnja sustava kako bi se osiguralo pouzdano i dugotrajno arhiviranje podataka mjerjenja te uvođenje sustava za nadzor rada i održavanje svih servera sustava. Također, planira se dovršetak jedinstvenog transformacijskog modela Republike Hrvatske i njegova implementacija u CROPOS sustav početkom 2010. godine čime će biti omogućeno korisnicima na terenu obavljanje transformacije koordinata iz novog u stari geodetski datum u realnom vremenu.

7. Zaključak

Uspostavljanje CROPOS sustava i prvih šest mjeseci njegovog rada pokazuju njegovu opravdanost i značajan doprinos Državne geodetske uprave u geodetskom, informacijsko-komunikacijskom i gospodarskom razvoju Republike Hrvatske.

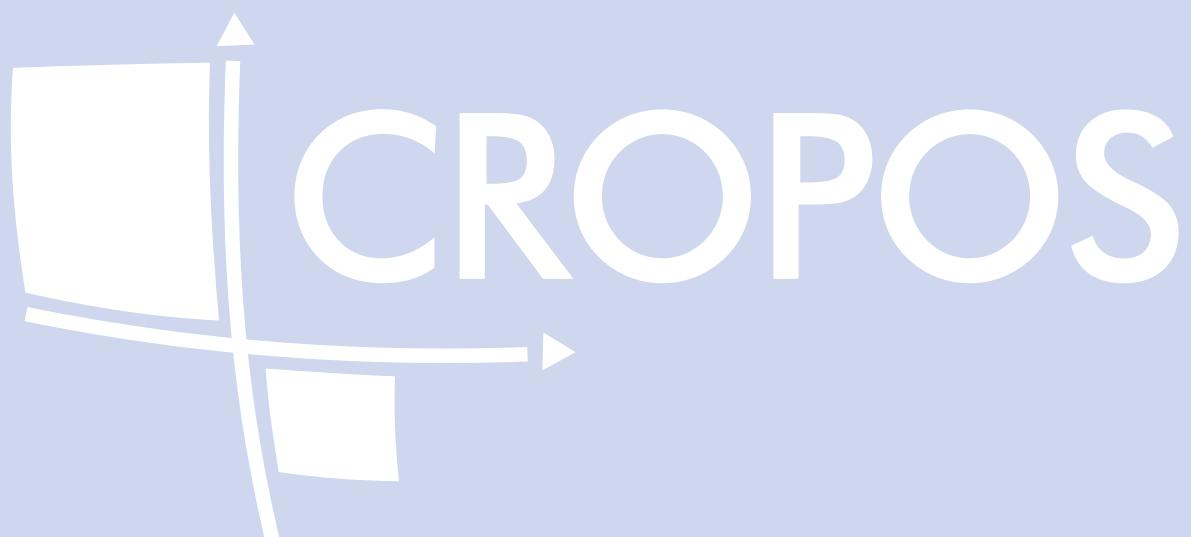
8. Literatura

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

State Geodetic Administration: Technical Specifications for Croatian positioning service (CROPOS) network establishment, Publication reference: EuropeAid/123601/D/SUP/HR.

Bašić, T., Šljivarić, M., Buble, G. (2006): Jedinstveni transformacijski model HTRS96/HDKS, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima iz 2004.-2005. godine, Državna geodetska uprava, 2006.

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



The Hungarian GNSSnet.hu reference station network and positioning services

Tamás Horváth*

Summary

The Hungarian active GNSS network development commenced in 2002. This is when the Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing (FÖMI) started to deploy GPS reference station across Hungary and launched its real-time and post-processing positioning services.

Today, with 35 state-of-the-art GNSS reference stations the whole territory of the country is covered with high-precision correction information. GNSSnet.hu has more than 600 registered clients, mainly from the surveying and mapping industry.

This report gives a short overview of the technical background of GNSSnet.hu, its current state and future prospects.

Key words: GNSS, Network RTK, GNSSnet.hu

1. Introduction

All Hungarian GNSS-related research and development activities started in the early 1990's when the first GPS receivers arrived to FÖMI's Satellite Geodetic Observatory (SGO) in Penc. Already in 1995 the passive national GPS network (OGPSH) was realised with 1150 points, homogeneously covering the whole territory of the country. These points with both ETRS89 and EOV (Hungarian projection system) coordinates enable GNSS users to carry out cm accurate coordinate transformation.

SGO kept its leading role in high accuracy GNSS development in Hungary. Station PENC became the first Hungarian IGS (International GNSS Service) point in 1996. It also became an EPN (EUREF Permanent Network) station, followed by another three Hungarian EPN points: OROS, BUTE and SPRN.

Plans were prepared already in 1998 to install permanent stations at a number of selected locations to set up an active GPS network. The aim of this development was to provide GNSS measurement data for post-processing and correction information for real-time positioning applications anywhere within Hungary. A multifunctional infrastructure was to be established

* Tamás Horváth, Head of GNSS Service Centre, Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing (FÖMI) Satellite Geodetic Observatory; Address: Bosnyák tér 5, 1149 Budapest, Hungary, Tel: +36-27-374-980, Fax: +36-27-374-982, E-mail: horvath@gNSSnet.hu

that can provide full scale accuracy (sub-metre to sub-centimetre level) to a wide variety of user fields, including:

- Surveying and cadastre,
- Forestry,
- Precision agriculture,
- Hydrographic surveying,
- Aerial photogrammetry,
- Mapping and GIS,
- Disaster management,
- Geophysical research,
- Security tasks,
- Environmental protection,
- Climate research,
- Etc.

The network development accelerated in 2002-2003 when several new GPS reference stations were deployed. RINEX observation data of these sites was made available for registered clients.

The number of stations gradually increased in FÖMI's network. In 2004 FÖMI SGO was among the first R&D centres of the world, where the new NTRIP protocol has been utilised to disseminate real-time DGPS and RTK corrections to rover receivers over the Internet. The introduction of real-time services attracted hundreds of new clients, their number is constantly growing ever since.

In 2004 a GNSS Service Centre (<http://www.gnssnet.hu>) has been established at the SGO. The main tasks of FÖMI's new organisational unit are to establish, maintain and develop the Hungarian GNSS reference station network and services.

A significant step has been taken in 2006 when FÖMI purchased a network RTK processing software from Geo++ GmbH. The central software enabled SGO to accurately model the GNSS error sources on a country-wide area and determine their effect on the user positioning in real time. As opposed to single-station RTK, where spatial decorrelation of orbit and atmospheric errors limit the service coverage area to a couple of tens of kilometres radius, network RTK provides homogeneous centimetre accuracy anywhere within the reference station network.

FÖMI joined the Central and East European EUPOS initiative (<http://www.eupos.org>) in 2002. EUPOS is a regional ground-based GNSS augmentation system that relies on a network of permanent reference stations and improves standalone GNSS accuracy by 2-3 orders of magnitude. The network is established and operated by the EUPOS members, each being responsible for the development of their national/regional segments. Hungary follows the EUPOS technical standards and actively took part in the development of EUPOS technical guidelines and best practices.

2. Reference stations

The GNSSnet.hu network consists of 35 Hungarian reference stations and 9 stations from the neighbouring countries (May 2009). The average interstation distance is 59 km. Figure 1 shows the spatial distribution of the stations.

Currently there are 36 stations having GPS/GLONASS hybrid receivers and antennas. Most of the Hungarian stations are equipped with Leica GRX1200GGPro receivers and individually absolute PCV calibrated Leica LEIAT504GG _____ LEIS choke ring antennas. Stations integrated from the neighbouring countries typically have Trimble units.

Most of the GNSSnet.hu reference stations were deployed at land registry offices. Sites were carefully selected to ensure optimal GNSS observation conditions. Buildings were chosen where stable antenna monuments could be erected with no obstructions blocking satellite signals above 10 degrees elevation angle. Sites were preferred with minimal multipath and interference potential. In most cases the receivers were placed in heated/air conditioned server rooms with telecommunication facilities readily available.

Station coordinates were determined with the BERNESE 5.0 scientific GNSS post-processing software. The reference system of GNSSnet.hu is ETRS89, the reference frame of the coordinates is ETRF2000(R05) Epoch 2007.4. The Hungarian coordinate solution is consistent with that of the neighbouring Austrian and Slovakian realisations within 1 cm in all three components.

Raw observation data is collected from the stations with 1 second data rate via highly reliable leased telecommunication lines.



Figure 1. The GNSSnet.hu reference station network

3. Networking centre, Service Types

The networking centre is located in the main FÖMI headquarters in Budapest. This is where real-time observation data is collected and processed by the Geo++ GNSMART software. The networking software individually models all GNSS error sources such as satellite orbits errors, satellite clock errors, satellite signal biases, ionospheric and tropospheric delays, etc. Based on these models it can accurately determine the appropriate network information for the users' position.

FÖMI provides the following data products and services to its customers:

Post-processing data

- RINEX v2.10 logfiles of the reference stations in max. 1 Hz data rate, available for the last 30 days via the GNSSnet.hu RINEX webserver. (Archives available on request.)
- Virtual RINEX logfiles generated for a user defined position in max. 1 Hz data rate. Access is provided via the GNSSnet.hu RINEX webserver.

Real-time data

- Single-station DGNSS corrections in RTCM 2.3 format,
- Single-station RTK corrections in RTCM 2.3 format,
- Single-station RTK data in RTCM 3.0 format,
- Single-station RTK data in Trimble CMR format,
- Network RTK data in RTCM 2.3 format (including Flächenkorrekturparameter = FKP)
- Network RTK data in RTCM 3.1 format (Pseudo Reference Stations = PRS)
- Network RTK data in RTCM 3.1 format (Master and Auxiliary Concept = MAC)
- Network RTK data in Trimble CMR format (Pseudo Reference Stations = PRS)

Real-time data streams are transmitted to the users by GN_CASTER via the Internet using the NTRIP protocol. Hundreds of simultaneous connections can be handled by FÖMI's NtripCaster server.

FÖMI's official ETRS89 – EOV transformation solution is available for both post-processing and real-time purposes. EHT², the office transformation software can be downloaded from <http://www.gnssnet.hu> free of charge. The real-time VITEL transformation solution is implemented in most of the GNSS receiver manufacturers' high-end products. A new RTCM 3.1-based transformation solution will also be introduced in the near future.

4. User segment

The surveying and mapping sector gives the majority of GNSSnet.hu clients. Most of the Hungarian surveying and GIS enterprises who apply GNSS technology are registered clients of GNSSnet.hu. During the last 2 years a new and potentially significant user field emerged: precision agriculture. Several agricultural entrepreneurs decided to use FÖMI's network RTK corrections to accurately auto-steer their tractors and combine harvesters.

Users can access FÖMI's real-time corrections via mobile telecommunication data connection (GPRS/EDGE/UMTS/HSDPA). Three independent mobile networks (T-Mobile, Pannon and Vodafone) cover the country with mobile Internet services.

Depending on the rover equipment and the applied reference data GNSSnet.hu can provide the following positioning accuracies:

- GIS-grade handheld receivers can provide a sub-metre accurate position solution using FÖMI's DGNSS corrections.
- Single station RTK and network RTK users can determine their position with ≤ 2 cm (1σ) horizontal and ≤ 3 cm (1σ) vertical accuracy after a short initialisation time.
- Post processing users can achieve even higher accuracy (≤ 1 cm, 1σ , 3D), depending on the length of the static observation.

5. Quality control

Quality control plays an important role in GNSS service provision. GNSSnet.hu services rely on two types of quality control:

- GNSMART internal qc
- FÖMI SGO developed qc tools

A large part of system monitoring is carried out automatically by the GNSMART central processing software. GNSMART is responsible for the quality control of incoming reference station data, real-time network adjustment and resulting output data provided to the users. It is capable of sending e-mail or SMS alarm messages to the network operators when specified quality test criteria fail.

In addition, GNSS Service Centre experts developed numerous graphical and textual data analysis, service monitoring and quality control tools, which help the operators and also provide information to the clients. The following service quality measures are monitored and checked for conformance to specifications:

- Accuracy
- Availability
- Continuity
- Integrity
- Time to fix Integer ambiguities (TTFA)

In 2009 two new monitor stations have been established in Budapest and Nyírbátor to continuously check the quality of the GNSSnet.hu real-time services. These stations are equipped with rover GNSS receivers and compute position solution using FÖMI's network RTK service.

6. Further development

In order to further improve the quality of the services and extend the coverage area everywhere to the national borders it is required to integrate further reference stations from Croatia, Serbia and Romania. The data exchange negotiations with our neighbours are ongoing.

Our philosophy at FÖMI's GNSS Service Centre is to provide all types of GNSS data in all available formats that is required by our clients. We do not exclude anybody from the user segment because of their obsolete or special rover equipment. If new versions of the RTCM SC-104 standards or other internationally accepted standards will be published we will support them as soon as possible.

The same applies to correction data transmission. Although currently we provide our real-time corrections exclusively via the Internet, we are already investigating alternative data dissemination techniques, including VHF/UHF radio broadcasting.

FÖMI will support the new and modernised GNSS satellite systems when it makes sense. As with GLONASS, we will upgrade our reference station equipment and central processing software when the number of satellites transmitting the new signals will reach a critical level, where their added value begins to really count at the user end.

7. Conclusion

During the last seven years the Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing established and continuously developed the GNSSnet.hu reference station network and services. The Hungarian surveying community heavily relies on this infrastructure. GNSS position determination has been added to the conventional surveying techniques as a highly effective tool, and became indispensable for surveying and mapping enterprises.

SIGNAL – Slovenian permanent GNSS stations network

Dalibor Radovan¹, Klemen Medved²

Summary

The article presents the Slovenian permanent GNSS stations network named SIGNAL, its users, user-access statistics, operation cost items and its potential applicability. The benefits of network usage and the problems faced by users are presented.

Keywords: national permanent stations network, GNSS, SIGNAL, positioning, users

1. Introduction

Geodesy is a technical science, which in the last two decades has above all functioned as a geoinformation service on the market. Regardless of the manner of implementation of these services and their legal, administrative and technical aspects, geodesists today almost exclusively make their earning with the submission and marketing of geodetic data, like surfaces, angles, distances, altitudes or position determined by coordinates. This is even more true, if we also add the visual forms of transmitting data in land registers, geographic information systems, cartography, photographic survey and remote sensing.

The Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia as the central public institution for geodesy stores geocoded and associated data in three complexes: real-estate, topographic-cartographic and geodetic. The latter is called the basic geodetic system, which has undergone considerable changes in the last decades:

- introduction of satellite measurement technology,
- domination of geocentric international and continental coordination systems over local systems,
- introduction of the determination of the coordination system through the combination of passive and active geodetic networks,
- possibility of dynamic monitoring of changes of the coordination system,
- connecting geodetic measurement technologies with telecommunication networks and the internet,
- increasing the popularity of positioning.

¹ Ph.D. Dalibor Radovan, B.Sc. Geod., Geodetic Institute of Slovenia, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, E-mail: dalibor.radovan@geod-is.si

² M.Sc. Klemen Medved, B.Sc. Geod., Mapping and Surveying Authority of the Republic of Slovenia, Zemljemerska 12, 1000 Ljubljana, E-mail: klemen.medved@gov.si

While a couple of years ago only geodesists were able to determine a position, other experts and even lay persons know how to do it today. The consequence is the occurrence of new position-related services, increased use of geocoded data and new approaches to the marketing of data and services.

One of the main geodetic networks for positioning is the national permanent (regular, reference) GNSS stations network. In the Republic of Slovenia, the network is called SIGNAL, short for SlovenIa-Geodetics-NAvigation-Location.

2. The aim of the SIGNAL network

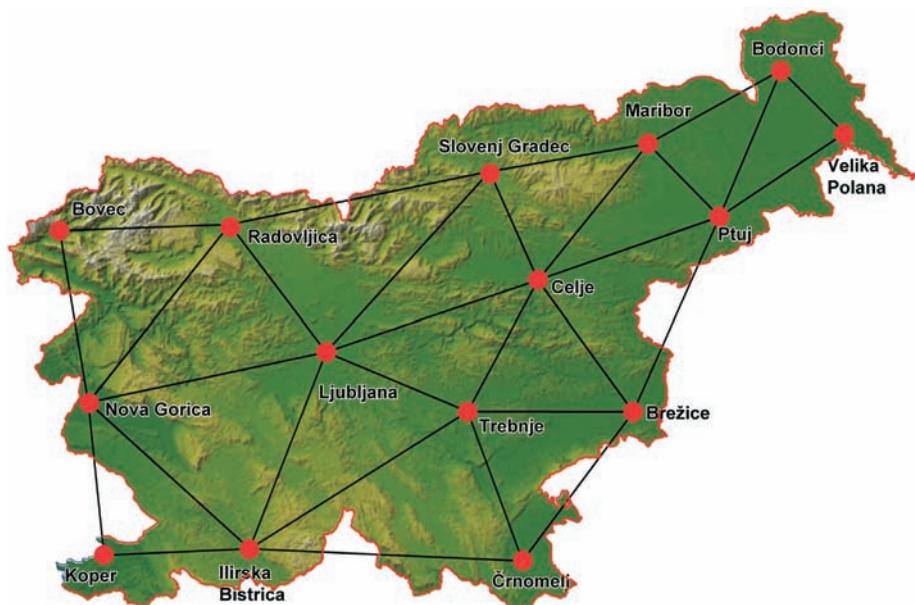
The SIGNAL network is the central national geoinformation infrastructure for positioning with the use of modern satellite GNSS technology on the entire Slovenian territory. The primary aim of the SIGNAL network is above all the practical establishment of the European coordination system ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) in Slovenia. The system is defined by field geodetic points, defined by the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia in system ETRS89, and by the SIGNAL network, which is the only active and permanently functioning realization of the coordination system on the national territory (Radovan 2005). In everyday measurements, the SIGNAL network is more useful than field points, which serve above all for the determining of transformation parameters between the current and new coordination system. In that context, SIGNAL is of service above all to geodesists in their measurements for the land register. However, with its functions and openness it is accessible to everyone requiring measurements with submeter accuracy, for instance in traffic, spatial planning, protection and rescue, army, agriculture, public utility, construction, geographic information systems and elsewhere.

3. The state of the SIGNAL network

Slovenia established the national network of 15 reference stations step-by-step between 2000 and 2006 (Picture 1). The network is owned by the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia and is part of the area of distribution of geodetic data. The SIGNAL network is thus the central national geoinformation infrastructure for the determining of the exact position with the use of satellite technology on the Slovenian territory (Radovan 2007a, 2007b). It has been officially operational since the beginning of 2007.

The network consists of permanent GNSS stations and the control and distribution centre of the GPS Service (www.gu-signal.si), which is located at the Geodetic Institute of Slovenia. The GPS Service has the following tasks:

- functions as the national operative centre and is responsible for the technical functioning of the network,
- carries out analyses of GPS positions and analyses the quality of observations in real time,
- distributes data in real time and manages a data archive at the RINEX portal,
- provides support to network users and other users of GNSS.



Picture 1: The Slovenian permanent GNSS stations network – SIGNAL

The GPS Service thus performs three complexes of functions, namely:

- an operative centre, which provides for unhindered operations of GPS stations in the SIGNAL network and for network administration,
- an analytical centre, which provides for the acquisition of data from permanent GPS stations, carries out analyses of network operations, quality of monitoring and provides for periodic calculation of positions of GPS stations in ETRS89/TM and
- a data centre, which is responsible for the distribution of data to users, data archiving, management of documentation on the network and informs and provides professional support to users.

Every permanent station within the network consists of a receiver, antenna and communication devices. The antennas, which receive signals from GPS satellites, are installed on the roofs of stable buildings (Picture 2), while receivers with the remaining equipment are installed in smaller casings below them in a closed area. Receivers of companies Leica and Trimble are being used.



Picture 2: GPS antenna

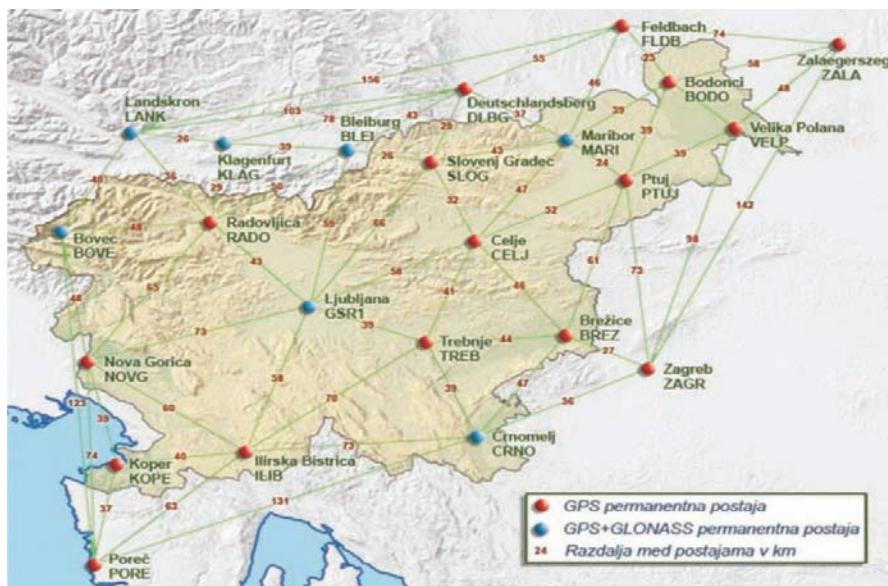


Picture 3: Cabinet with the GPS receiver

The SIGNAL network consists of 15 permanent stations (Picture 1). These stations are located in Bovec, Nova Gorica, Koper, Radovljica, Ilirska Bistrica, Ljubljana, Trebnje, Črnomelj, Brežice, Celje, Slovenj Gradec, Maribor, Bodonci, Velika Polana and Ptuj. The distance between stations does not exceed 70 km. The network currently consists of 10 permanent GPS stations and 4 GNSS stations, which also enable the reception of Russian satellites GLONASS (GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema).

The station in Ljubljana is incorporated into the European permanent stations network EPN (European Permanent Network), which serves for the continuous determining of the European coordination system. The station in Koper also includes hydrological and meteorological equipment with a mareograph for the continuous monitoring of the sea level. This station is part of the European network of mareographic stations ESeas (European Sea Level Service).

The SIGNAL network exchanges data in real time with five stations of the Austrian network APOS (Austrian Positioning Service), one station of the Hungarian national network (GNSSNet.hu) and three Croatian private stations (Picture 4).



Picture 4: The SIGNAL network with neighbouring stations included into the network

With the establishment of the Croatian national network CROPOS (CROationa POsitioning System), the exchange of data between the two networks will commence after the signing of an agreement between the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia and the Republic of Croatia State Geodetic Administration.

The SIGNAL network constantly operates with less than 2 % of time loss. For the realization of measurements, an adequate reception of satellite signals is required, while real time measurements also require signals of the selected mobile telephony network, which as a rule should cover the population or settlements and not the national territory. In principle, the telephone signal in Slovenia is accessible to more than 99 % of the population, but only on around 80 % of the territory, which depends on the positions of base stations and physical obstacles on the field.

The data stream from the satellite to the user can be described as follows:

1. GNSS satellites constantly transmit signals towards Earth. The signal from the satellite includes coded information on the position of the satellite in the orbit.
2. Permanent stations of the SIGNAL network receive the signals of currently visible satellites. The positions of permanent GNSS stations are determined in advance with precise geodetic measurements and are thus known.
3. The signal is converted into data stream, which is transmitted from the permanent GNSS station to the centre of the GPS Department with the safety protocol VPN (Virtual Private Network) through ADSL communication.
4. Satellite signals are subjected to different distortions on their way to permanent stations. In the centre of the GPS Department, the software calculates the position of the permanent station and compares it to the known position.
5. The user on the field turns on his mobile GNSS receiver and connects to the SIGNAL network.
6. Prior to the commencement of measurements, the user's receiver sends its approximate position to the centre of the GPS Department. The SIGNAL network assumes this position as the virtual reference GNSS station (Virtual Reference Station, VRS).
7. The software at the centre calculates the differential correction of the position for the virtual station, which is also valid for the user's receiver, from the difference between the given and calculated positions of permanent stations. The Trimble GPSNet programme is being used.
8. The centre of the GPS Department automatically and constantly communicates the corrections of the position to the connected user. The submission of differential corrections from the centre to the user can take place through the mobile telephony network (GSM) or through the mobile internet (internet radio, GPRS, UMTS, EDGE) according to the NTRIP protocol (Network Transfer of RTCM data via Internet Protocol).
9. The receiver corrects the approximate position, determined through spatial triangulation from at least four visible satellites, with the help of received corrections.

Since the entire path of data from transmission to the SIGNAL network to the user takes less than 2 seconds, the user can acquire the exact position in real time, even while moving.

The user can carry out measurements on the field also without the SIGNAL network and download from the network web page the differential corrections in the RINEX format for only

one station or for the network solution VRS onto his computer only after he arrives back at the office. When the mobile telephony network is not available, but satellites are visible, then this is also the best option for measurements.

4. Users

The network is owned by the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia as it was in its entirety financed from the national budget and its users come from the private as well as the public sector. The GPS Department manages the register of users. In order to establish a temporary connection to the network for free, the user needs a password, which cannot be used by another individual simultaneously. The number of registered users does not equal the number of registered companies, because one company can have several passwords, but this is more an exception than a rule. At the beginning, when the network consisted of less than half of the planned stations, there were around 30 registered users, only a few of them were permanent, while the rest tested the network with their own or rented equipment. With the entry into force of the Real-Estate Recording Act, which defines that all coordinates of points at new measurements must be recorded into the land register in the new coordination system after 1 January 2008, the number of users started to increase exponentially.

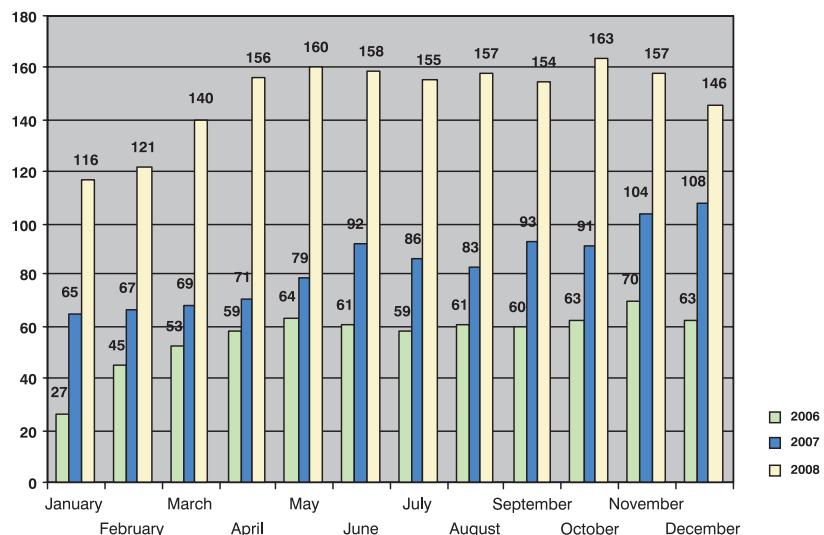
Around 500 users, who accessed data at least once, are registered with the SIGNAL network at the moment. More than 150 users used SIGNAL only on a test basis, occasionally or only once. We can say that there are more than 250 relatively active users (see user-access statistics in the next chapter), which is with regard to the nearly 600 registered geodesists with a geodesy membership card and more than 250 geodetics companies a high number and comparable to other European countries. Nevertheless, we can assess that the number of permanent users will increase on the long-term, because the network is also meant for GIS-users in the broadest sense and they will be encouraged to use the network above all through the imminent introduction of the new coordination system in Slovenia and constantly new location services.

5. User-access statistics

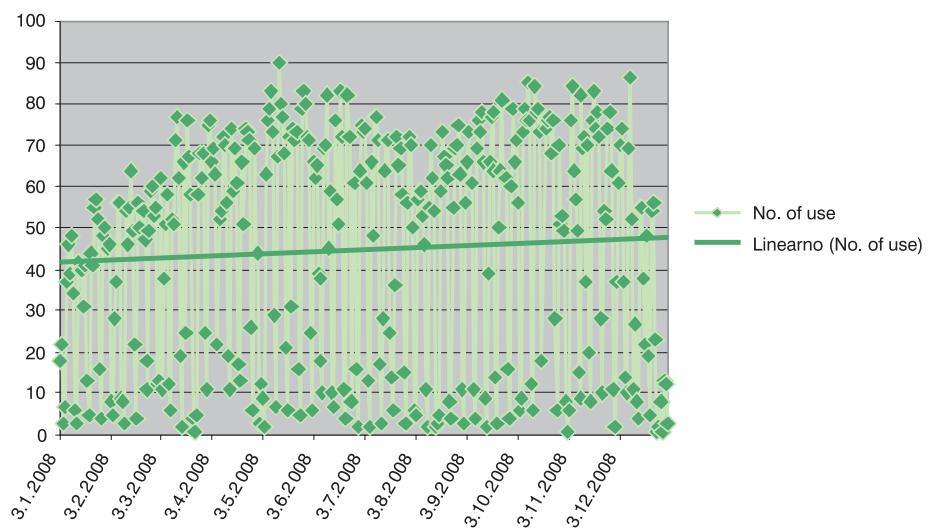
For the period from 1 January 2008 till 1 January 2009, we wanted to know how many of the 500 registered users of the SIGNAL network were actually active, how long (in one day and over the year) the average user used RTK services and what the ratio of use of individual services was (Bajec 2009). We were also interested in the maximum number of simultaneous users of RTK services on a daily basis and the ratio of use of CSD/NTRIP access, which represent useful information for the planning of maintenance and development of software and hardware for the distribution of network data. We also wanted to look into the number of active users of the RINEX service, the quantity of submitted RINEX data and the ratio of use of VRS RINEX data and the use of RINEX data of individual stations. For comparison, we also presented analyses from the previous year (for the period from 1 January 2007 till 1 January 2008).

The last analysis of network accesses in 2008 indicates that the share of permanent users is still increasing. Graph 1 shows the number of different users by months in the years 2006, 2007 and 2008.

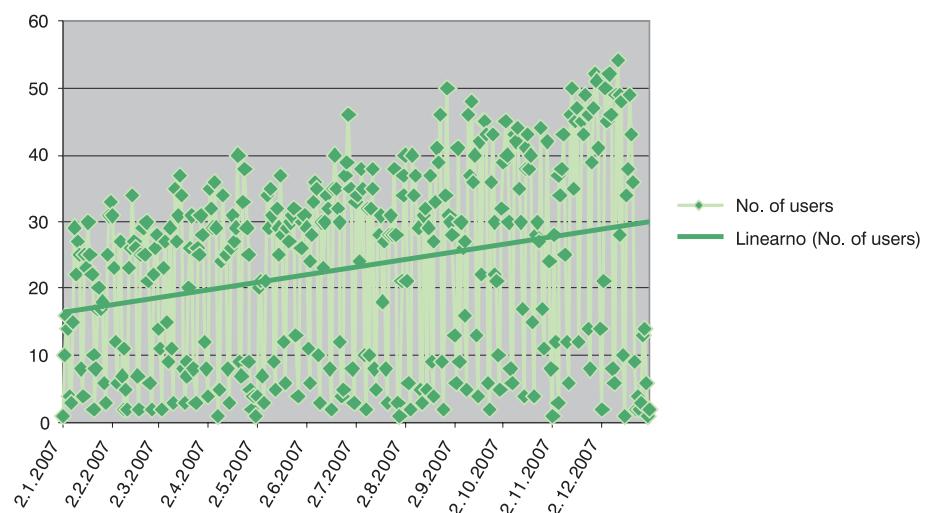
Graph 2 and 3 show the number of different user accesses by days for 2007 and 2008.



Graph 1: Number of different users by months (comparison to months in the previous years)



Graph 2: Number of different users in one day for 2008



Graph 3: For comparison, number of different users in one day in 2007

5.1. NTRIP users

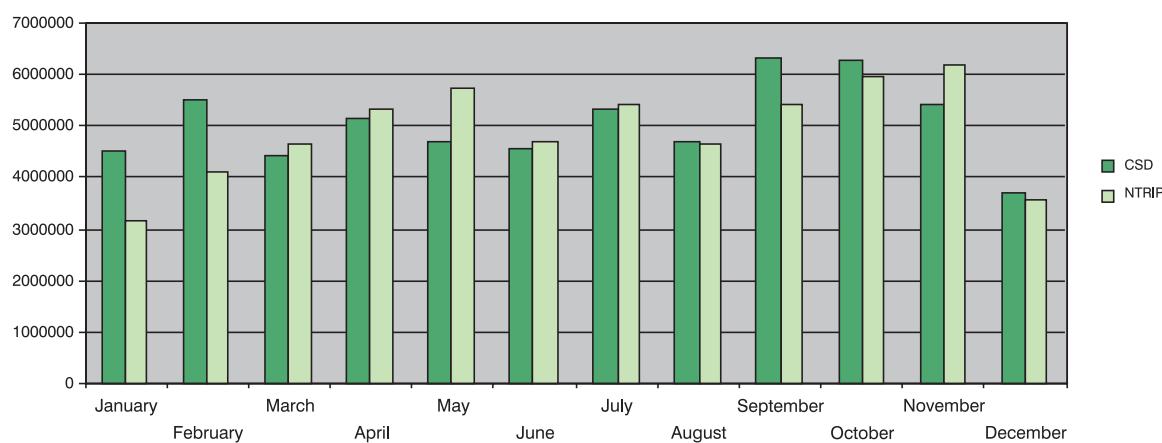
In 2008, 229 different users accessed the NTRIP server (163 in 2007). Of these users, 145 were active users (at least 100 calls to the server, which lasted longer than 10 seconds¹⁾) of the NTRIP server (82 in 2007). The maximum number of users in one day was 90 (54 in 2007).

5.2. CSD users

In 2008, 346 different users accessed the call server (188 in 2007). Of these users, 178 were active users (at least 100 calls to the server, which lasted longer than 30 seconds) on the call server (77 in 2007). The estimated time of connections through the mobile operator server in 2008 is 16,404 hours.

5.3. Use of RTK data

The total number of all accesses to data in real time in the period from 1 January 2008 till 1 January 2009 was 184555, which amounts to 33,200 hours of connections (there were 16,820 hours of connections in 2007). The analysis only included connections which lasted longer than 10 seconds. The average length of a connection was 12.3 minutes in case of NTRIP access and 9.7 minutes in case of call access. The use of data with regard to the manner of access in minutes is shown (graph 4).

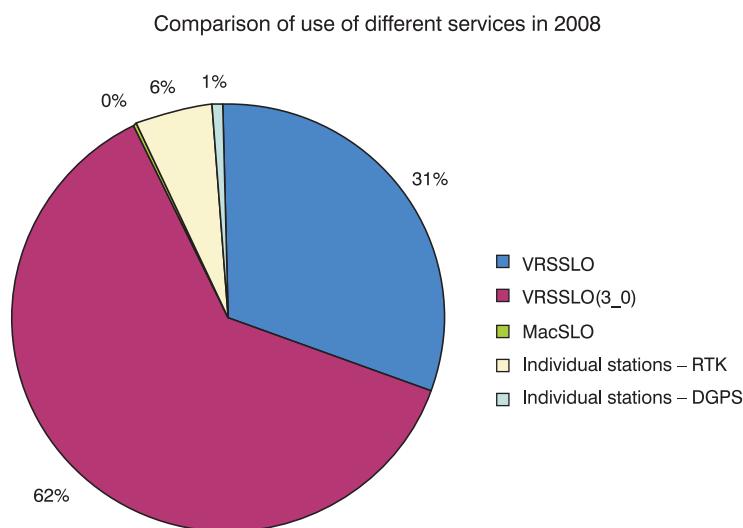


Graph 4: Use of data with regard to the manner of access in minutes

What is interesting is that the number of users of the RTK service through NTRIP, which uses GPRS, whereby the user only pays for the quantity of transferred data regardless of the duration of the connection, is lower than the number of users of RTK through the call access, where the user pays for the duration of connection regardless of data transfer. Economical users pay more attention to the duration of the connection in case of the call access. The difference in the average duration of the connection is not as high as we might anticipate (the ratio is only 12 to 10 minutes). The reason for the relatively low use of RTK through NTRIP could be that many users have older receivers, the GPRS network is not reliable (main reason) or users are not acquainted enough with the differences between the two manners. Almost all users who use access to RTK over NTRIP regularly use call access to RTK as backup.

¹ The analysis of the use of data and users only includes connections which lasted longer than 10 seconds. In the time span shorter than 10 seconds, the initialization and measurements at a point practically cannot be carried out.

The majority of users (93%) uses network service VRS (Virtual Reference Station) for access services in real time, while the minority connects to individual stations (6%) (Graph 5). It is interesting that the use of DGPS remains relatively low (1%) and there are less than 50 users with DGPS receivers, which could mean that in certain professions the requirement for decimetre (submeter) positioning has not yet been recognized by users, the network is not recognizable enough among users outside of geodesy or users are not familiar enough with the GNSS measurement technology. It should also be stressed that the majority of providers and users of location services is completely satisfied with the accuracy of absolute positioning within the framework of 5 to 15 m. The use of the new coordination system is for now only mandatory for new land and property register measurements from 2008 on. Databases in the coordination system D48 are therefore completely legal until the overall transition to the new system and for now the only useful way in overlapping with other database layers.



Graph 5: Shares of service use in 2008

5.4. RINEX services

In the period from 1 January 2008 till 1 January 2009, we recorded **91** (78 in 2007) different users of RINEX data for subsequent handling². **38** of these users (34 in 2007) were more active and transferred more data (each for more than 100 hours of observations). In total, RINEX files for 375,800 effective hours were transferred in 2008.

5.5. Summary of the statistical analysis

We can summarize that the number of active users of RTK services in 2008 in comparison to 2007 nearly doubled, just like the duration of use of RTK services of the SIGNAL network. In comparison to the previous years, the share of data use of individual stations in real time fell strongly in comparison to the use of VRS services. Users equally use NTRIP and CSD access. GLONASS services were practically not used in 2008. RINEX services are used by a relatively low number of users with regard to the number of active users of RTK services.

² From the analysis of use of RINEX services, we first eliminated data which were transferred for the needs of the GPS Service. The results of analyses refer to effective minutes of successfully delivered RINEX files.

6. Network costs

No annual cost of network operations, either human or material, is negligible. Every economic manager of such a network with a growing number of users starts to consider at least a partial coverage of costs through part-financing by users. The operating costs of SIGNAL include development, consulting, administrative and operative costs of expert work in the centre of the GPS Service and material costs. At the moment, after the completed construction of the network, the entire operative work can be performed by one expert, whereby at least three more people must be acquainted with the functioning of the network due to the development and administration in case of different requirements, absence of main operator or in case of emergency. The emergence of new technological solutions also requires further training of operators. Material costs include (Radovan et al. 2006):

- maintenance, upgrade and replacement of stations (receivers, antennas, communication equipment),
- modernization of servers in the centre of the GPS Department,
- maintenance of software for network control and data distribution (GPSNet/RTKNet, GPServer, GPSWeb, TNC and TED)
- payment of communications between stations and the centre (currently ADSL),
- renting premises for stations.

7. Problems of users

Every replacement of standard technology and methods of work is usually met with resistance among users. There are several reasons for this and the introduction of the SIGNAL network is no exception. Users expressed several doubts at public presentations as well as during personal contacts, for instance (Radovan 2007c):

- the purchase of new and relatively expensive equipment for accurate measurements is necessary,
- further training in the area of new technologies is required,
- the Slovenian territory has too many mountains and forests for GPS use; it does not receive a sufficient number of satellites,
- mobile telephony does not function everywhere; real time measurements are not possible,
- position measurements in such difficult conditions are more efficient with the use of classic geodetic instruments, which GIS users for the most part do not have,
- the transformation from the current national to the new coordination system requires transformation parameters, which must be acquired from the Mapping and Surveying Authority of the Republic of Slovenia. For exact work on the detail, these parameters must be defined on the basis of geodetic points and this luckily affects only geodesists.

We should again stress that positioning through the SIGNAL network is not meant only for geodetics and the land register. The measured position data will in the future be used even more intensively in combination and the overlapping of data from other geoinformation layers, to wit those originating from real estates and topography or those from non-geodetics sources (Stopar et al. 2005). A partial solution to the above-mentioned problems lies for instance also in the linking of small geodetics companies, partner cooperation with other professions, bor-

rowing of equipment, development of new services and in the future increase of the number of satellites and additional signal frequencies. After the concluded transitional period for the transition to the new coordination system the calculation of transformation parameters will not be necessary any more. As regards the classic terrestrial networks, the maintenance of the network of permanent stations represents only 10% of the amount necessary for the maintenance of terrestrial classic networks on the same area (Wegener 2007).

The new technology brings higher position accuracy in real time in the unified and standard coordination system, directly measured 3D position and the possibility of at least a partial replacement of the levelling in the future. GPS measurement is a routine operation; an engineer can in some places be replaced by an employee with a lower level of education and measurements are faster than classic measurements under appropriate conditions of signal reception. Supporting consulting, measurement and calculating services with data of the SIGNAL network will appear on the market. The imminent launch of the European satellite system Galileo will additionally increase the importance of the SIGNAL network. A look into the future under the veil of "demagogic" publicity for the use of the network in any case reveals tangible and long-term benefits also for geodesists.

8. Conclusion

The permanent reference networks for positioning represent a long-term trend. The permanent stations networks connect positioning and telecommunication services and thus promote the development of mobile and dynamic services, internet applications, visualization of location information, telecartography and mobile GIS. Communications with GSM modems and radio-modems give way to internet radio and satellite connections. The permanent GNSS stations networks are growing and linking together. In large countries, local networks connect into national networks and the number of national networks on the global level is increasing. Such virtual and communication networks are becoming just as important as physical (for instance public utility) infrastructure (Richter 2007). GPS networks (or GNSS) are part of the national geoinformation infrastructure.

Positioning is turning into an increasingly important omnipresent added value to e-services, led by mobile telephony. The SIGNAL network operates around the clock. It can be used by everyone who registers with the GPS Department and thus acquires a password for data access. It is already used by nearly 500 users, mostly geodesists, but it also enables measurements to numerous non-geodesics users in transport, science, military, protection and rescue, agriculture, construction, environment protection, geoscience and others. The imminent launch of the European satellite system Galileo will additionally increase the importance of the SIGNAL network. A look into the future next to some initial technological problems and changes to paradigms, which have been valid so far for the determining of the exact position, also reveals above all long-term benefits.

9. Literature

- Berk, S., Kozmus, K., Radovan, D., Stopar, B. (2006). Planning and realization of the Slovenian permanent GPS network. AVN. Allg. Vermess.-Nachr., letn. 113, št. 11-12.
- Bajec, K. (2009). Statistika uporabe podatkov omrežja SIGNAL, Operativno delovanje službe za GPS: tehnično poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Radovan, D. (2005). Slovenian GPS network SIGNAL, Slovenia-Geodesy-Navigation-Location : Civil GPS Service Interface Comittee International Information Subcommittee European meeting, Prague, Czech Republic, March 14-15.

1. CROPOS konferenčna zbornica · ZBORNIK RADOVA

Radovan D. (2007a). Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS, Življenje in tehnika, letnik LVIII, št. 10, str. 22-27.

Radovan, D. (2007b). Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja. V: Kozmus, K. (ur.), Kuhar, M. (ur.). Raziskave s področja geodezije in geofizike 2006 : zbornik predavanj. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str. 21-28.

Radovan, D. (2007c). Razvoj omrežja SIGNAL in tržna vrednost določanja položaja. Geodetski vestnik, št. 4.

Radovan, D., Žnidaršič, H., Mesner, N., Hari, J., Fegic, J., Rosulnik, P., Berk, S. (2006). Operativno delovanje Službe za GPS : tehnično poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.

Richter, M. (2007). Welcome to the 2007 Trimble GNSS operators seminar. Otvoritvena predstavitev na Trimble GNSS operators seminar. Barcelona.

Stopar, B., Kogoj, D., Ambrožič, T., Kuhar, M., Koler, B., Petrovič, D., Savšek-Safič, S., Pavlovčič Prešeren, P., Kozmus, K., Ferlan, M., Kosmatin Fras, M., Sterle, O., Mesner, N., Pegan Žvokelj, B., Rojc, B., Karničnik, I., Radovan, D., Berk, S., Oven, K. (2005). Zasnova protokola prehoda nacionalne geoinformacijske infrastrukture v evropski koordinatni sistem in raziskava njegovih posledic za različne državne resorce in evidence : ciljni raziskovalni program "Konkurenčnost Slovenije 2001-2006", raziskovalni projekt št. V2-0979 : končno poročilo. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: Geodetski inštitut Slovenije.

URL1: www.gu-signal.si (SIGNAL – slovensko omrežje permanentnih postaj GPS)

Wegener, V. (2007). Current developments, Regional Workshop on Satellite Reference Systems for Cadastral Surveying, neobjavljena prezentacija, Republički geodetski zavod, GTZ, Beograd.

Obrada i izjednačenje mjerениh veličina u RINEX formatu iz CROPOS mreže

Milan Rezo¹, Željko Bačić²

Sažetak

Povjesnim trenutkom izgradnje i njegove potpune inicijalizacije od kraja 2008. godine, CROPOS sustav nije donio promjene samo kod tehnika opažanja u realnom vremenu (RTK), već i kod relativnih kinematičkih, a posebno, relativnih statičkih metoda za određivanja koordinata na fizičkoj površini Zemlje. Postojanost prethodno uspostavljenih homogenih polja stalnih referentnih geodetskih točka, ni u kom slučaju ne znači njihovo napuštanje u postupcima obrade i izjednačenja mreža, već će iste preko svog poznatog položaja u ITRF/ETRF referentnom okviru služiti za generiranje podataka mjerjenja na temelju mjerenih veličina unutar figure (trokuta) CROPOS sustava. Tako generirane datoteke u RINEX formatu koristit će se u obradi i izjednačenju homogenih polja kao da je direktno mjereno na točkama. Stoga će se u dijelu rada prikazati i u potpunosti objasniti RINEX formati verzije 2.11 i 3.0, te (ne)kompatibilnost spomenutih formata s prethodno definiranim formatima u komercijalnim programima za obradu GNSS mreža. U nastavku rada prikazat će se obrada RINEX datoteka, definiranje virtualnih referentnih stanica (VRS-a) i to u naknadnoj obradi kod uspostave homogenih polja u katastraskim izmjerama, izmjerama poljoprivrednog zemljišta ili kod uspostave homogenih polja u različitim inženjerskim radovima.

Ključne riječi: CROPOS, RINEX format, generiranje podataka

1. Uvod

Integracijom GPS i GLONASS sustava znatno se ubrzao postupak inicijalizacije prijamnika, a samim time i brzina određivanja koordinata na i iznad fizičke površine Zemlje. Uz stalnu modernizaciju obaju sustava kroz povećanje broja satelita u svemirskom segmentu, iznimno značajan doprinos kvaliteti pozicioniranja vidi se kroz povećanje točnosti satova ugrađenih u novije serije satelita kod GPS i GLONASS sustava. Uz visoku točnost satova kvaliteta i pouzdanost određivanja koordinata vezana je i uz dostupnost novog L2C koda (GPS) za civilne i uz naslijedjeni vojni P(Y) kod, nalazi se novi vojni M – kod. Stoga je u prvom dijelu rada, objašnjena struktura signala, novi kodovi, očekivanja nakon lansiranja bloka IIF i emitiranja na L5 signalu s novom frekvencijom.

Znatan doprinos sveukupnom razvoju satelitskog pozicioniranja vidi se u stalnom razvoju GLONASS sustava. Velika očekivanja su usmjereni k novoj generaciji "K" satelita, poboljšanju satova i emitiranju na L3 signalu. Budućnost razvoja sustava vidi se i kroz lansiranje satelita iz programa Gallileo, pa je za očekivati visokointegrirani globalni navigacijski sustav s povećanjem broja satelita, povećanjem broja nosećih valova na različitim frekvencijama kao i povećanjem broja različitih kodova, a sve u cilju brzog i visokopreciznog određivanja koordinata.

¹ Mr. sc. Milan Rezo, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: mrezo@geof.hr

² Prof. dr. sc. Željko Bačić, dipl. ing. geod., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb; e-mail: zeljko.bacic@geof.hr

Uspostavom CROPOS sustava znatno se promijenio pristup obradi statičkih mjerena kroz mogućnost korištenja datoteka mjerena 24 sata na dan. Sustav generira datoteke u RINEX formatu, stoga je u dijelu rada prikazan i u potpunosti objasnjen RINEX format verzije 2.11. U nastavku rada opisana je primjena RINEX-a, generiranje podataka (datoteka) za virtualne referentne stanice (točke 10-km mreže) kod uspostave stalnih točaka geodetske osnove.

I na kraju obzirom na povećanje broja satelita, kvalitetu signala... provedena je analiza izjednačenja mreža ovisna o duljini opažanja baznih linija.

2. Signal satelita kod GPS-a, GLONASS i Galileo sustava

Potpuno razumjevanje RINEX formata zahtjeva poznavanje signala satelita kod GPS i GLONASS sustava. Signali nositelji koje satelit šalje su širokog spektra, a ključnu kontrolnu ulogu za sve komponente signala kod svih sustava imaju atomski (rubidijumski i ceziumski) satovi. Njihova karakteristika je visoka i stabilna frekvencija tijekom dana u intervalu od 10^{-14} do 10^{-15} , što omogućava visokopreciznu reprodukciju i emitiranje signala.

Kod GPS sustava atomski satovi generiraju fundamentalnu frekvenciju od 10.23 MHz u L području (L-Band). Množenjem fundamentalne frekvencije sa 154 i 120 dobiju se dva noseća vala s različitim valnim dužinama (tablica 1.):

Tablica 1: Noseći valovi s pripadajućim frekvencijama i valnim dužinama kod GPS sustava

Noseći val	Frekvencija – MHz	Valna duljina – cm
L1	1.575,42	19,0
L2	1.227,60	24,4

Dva vala su osnova za eliminaciju određenih pogrešaka prilikom računanja pseudoudaljenosti, a među njima je svakako najznačajnija eliminacija utjecaja ionosfere.

Na noseće valove modulirana su dva pseudoslučajna šumna koda (PRN – *Pseudo Random Noise*) C/A i P kod. Na nosećem valu L1 moduliran je C/A kod (*Coarse/Acquisition code*) označen kao standardni pozicijski servis (SPS – *Standard Positioning Service*) i namjerno izostavljen s L2 nosača. Za razliku od C/A koda, P kod označen kao precizni pozicijski servis (PPS – *Precise Positioning Service*) moduliran je na L1 i L2 nosaču. Uz spomenute kodove na nosačima su modulirani W – kod koji se koristi za šifriranje P – koda u Y kod i nedostupan je za neautorizirane korisnike, a dok D – kod je moduliran na nositelje i sadrži između niza i podatke o efemeridima satelita, koeficijentima za modeliranje atmosfere, pogreške vremenskog sustava i sata satelita.

Korištenjem fundamentalne frekvencije te njenim dijeljenjem dobiju se kodovi s pripadajućim frekvencijama i valnim duljinama, vidi tablicu 2.

Tablica 2: Kodovi s pripadajućim frekvencijama i valnim duljinama kod GPS sustava

Kod	Frekvencija – MHz	Valna duljina – m
P	10,23	30
C/A	1,023	300
W	0,5115	-
D	50 Hz	-

Razvojem i modernizacijom GPS sustava od kraja 2005. godine civilnim korisnicima dostupan je L2C kod moduliran na L2 nosaču frekvencije 1227.60 MHz. L2C signal prenosi se putem šest lansiranih od osam predviđenih satelita iz bloka IIR-M. Uz spomenuti L2C i naslijedeći vojni P(Y) kod, nalazi se novi vojni M – kod. Daljnjim razvojem sustava i lansiranjem satelita iz bloka IIF očekuje se emitiranje signala L5 na frekvenciji 1176,45 MHz.

Upravo spomenuti novi kodovi značajno mijenjaju format zapisa u RINEX datotekama.

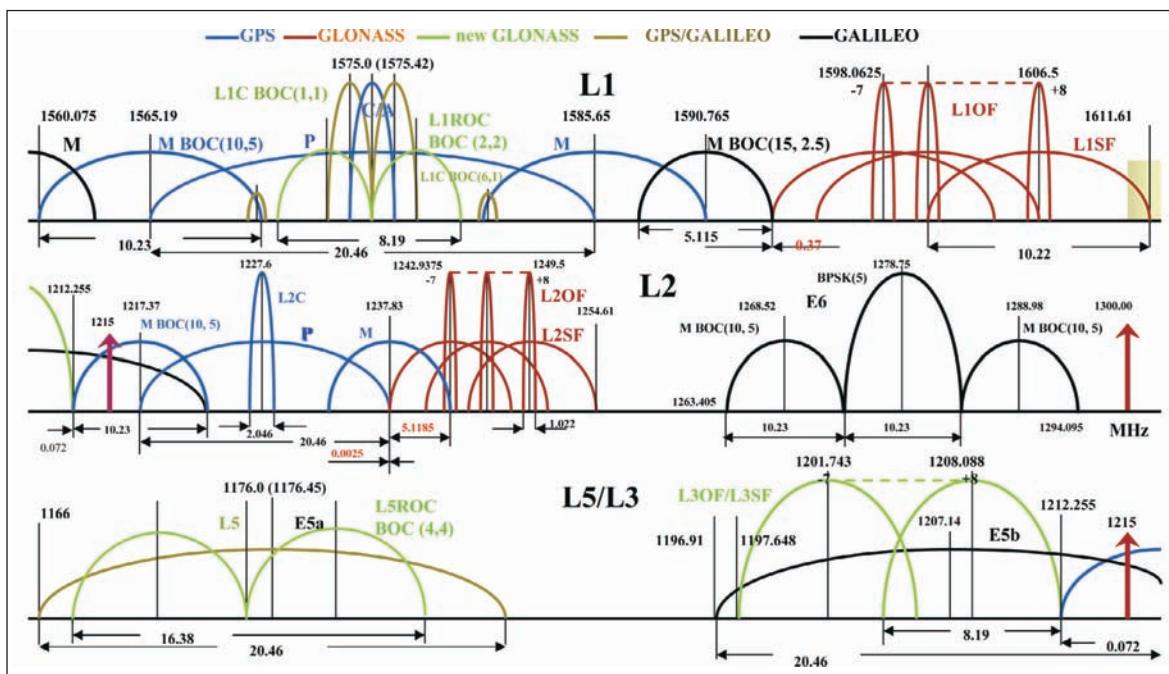
Kroz dugi niz godina od lansiranog bloka I, bloka IIa i IIb te bloka IIv, civilni kod bio je moduliran samo na L1 nosaču kod GLONASS sustava. Takav sustav bio je nezanimljiv za visokoprecizna mjerena sve do pojave satelita iz serije "M", koji su emitirali signal na dva noseća vala L1 i L2 s pripadajućim frekvencijama i valnim duljinama, vidi tablicu 3.

Modernizacijom sustava i lansiranjem treće napredne generacije satelita iz serije "K" očekuje se i emitiranje na L3 nosećem valu s pridruženom frekvencijom i višekratnikom unutar frekventnog područja. Značajna karakteristika satelita iz serije "K" je poboljšanje atomskih satova sa sadašnjih 3×10^{-13} na 1×10^{-13} .

Tablica 3: Noseći valovi s pripadajućim frekvencijama i višekratnikom kod GLONASS-a

Noseći val	Frekvencija – MHz	Višekratnici Δf – mph
L1	1.598,0625 – 1.607,0625	0,5625
L2	1.242,9375 – 1.249,9375	0,4375
L3	1.201,7430 – 1.208,511	0,4230

Daljnjom modernizacijom spomenuta dva sustava i lansiranjem satelita iz programa Gallileo sustava očekivati je visokointegrirani globalni navigacijski sustav, popularno nazvanim 3G, čije će djelovanje u L području biti definirano na L1, L2 i L3/L5 nosećim valovima s pripadajućim frekvencijama, vidi sliku 1.



Slika 1: Noseći valovi s pridruženim kodovima, snagom i frekvencijskim područjima

Gallileo sustav će u mnogome doprinjeti razvoju sveukupnog globalnog pozicioniranja, ne samo u činjenici povećanja broja satelita, brzini inicijalizacije, određivanju ambiguiteta i konačno točnosti određivanja koordinata, već i u činjenici da cijelim sustavom upravljaju zajedničke države (EU) tj. njen civilni segment.

Sustav će se sastojati od 27 satelita i tri satelita u rezervi, postavljena u tri potpuno kružne orbitalne ravnine pod kutem inklinacije 56° i visini 23 260 km, te periodom rotacije od 14 sati.

U tablici 4. prikazani su signali s frekvencijama koje su dodijeljene Galileo sustavu. Uz frekvenciju, definirani su i pojedini servisi sustava:

- Open Service /*otvoreni servis*/ (OS) – otvoreni servis za frekvencije E1, E5a, E5b i E5ab
- Commercial service /*komercijalni servis*/ (CS) – predviđen je da bude zatvorenog karaktera, a samo koroštenje morat će se naplaćivati. Karakteriziraju ga velika količina prijenosa podataka – 1000 znakova/sec,
- Safety of Life /*sigurnosni servis*/ (SOL) – u odnosu na otvoreni servis proširen je informacijama o točnosti i stanju satelita,
- Public Regulated Service /*državni servis*/(PRS) – namjenjen isključivo državnim službama: vojsci, policiji, zdravstvu itd.

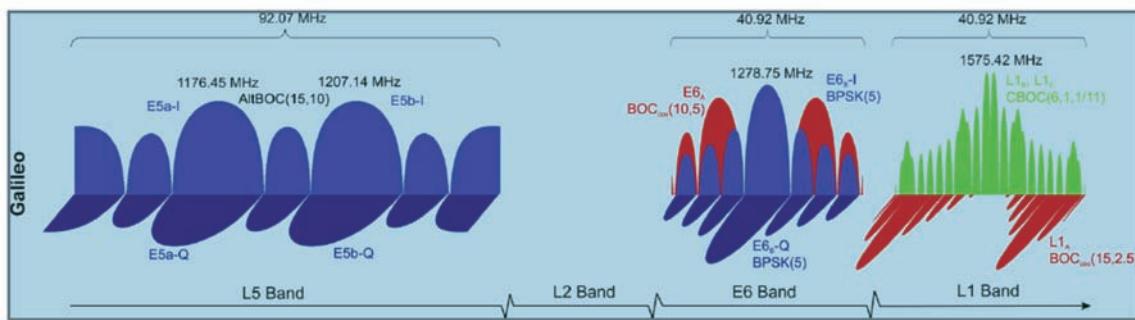
Ono što karakterizira signal E5a i E5b je njegova robusnost i velika mogućnost smanjenja multipath efekta. Budući prijamnici moći će primati pojedinačne signale, a posebna kvaliteta pojedinih prijamnika očitovat će se u zajedničkom E5ab signalu, vidi sliku 2. signala Galileo sustava.

Tablica 4: Signal Galilea s pripadajućim servisima, modulacijom frekvencijama

Signal	Frekvencija	Servisi	Modulacija	Kod-frekvencija	Podatak
E5a	1176,45	OS	AltBOC (15;10)	10,23	50
E5b	1207,14	OS/Sol/CS	AltBOC (15;10)	10,23	250
E6	1278,75	CS	BPSK (5)	5,115	1000
E6	1278,75	PRS	BOC (10;5)	5,115	100
E1b	1575,42	OS/Sol/CS	CBOC (6,1;1/11)	1,023	250
E1a	1575,42	PRS	BOC (15;2,5)	2,5575	100

Fazna digitalna modulacija PSK (Phase-shift keying) koristi promjene faze vala nosioca za predstavljanje binarnih vrijednosti. Svakoj fazi dodjelen je jedinstveni uzorak bitova, a što je veća udaljenost faza manja je vjerojatnost pogreške, te se zato biraju maksimalne udaljenosti.

Najjednostavniji oblik PSK modulacije je BPSK (binarni PSK) koji koristi dvije faze udaljene za 180° . Ovo je ujedno i najrobuzniji PSK, a očituje se velikom brzinom prijenosa informacija uz istu širinu kanala. Promjenljiva BOC modulacija (Alternative Binary Offset Carrier) na E5 bandu jedna je od najnaprednijih modulacija signala iz sustava Galileo. Za razliku od tradicionalnih BPSK i za obične BOC modulacije AltBOC karakteriziraju 4 komponente signala (E5a(I), E5a(Q), E5b(I), E5b(Q)) koje se mogu obrađivati samostalno kao BPSK ili zajedno što dovodi do značajnog smanjenja šima signala i određivanja ambiguiteta.



Slika 2: Signal Galileo sustava.

Potpunom izgradnjom 3G sustava očekuje se trenutačna raspoloživost satelita za područje Republike Hrvatske, vidi tablicu 5:

Tablica 5: Raspoloživost satelita nakon uspostave 3G sustava

Sustav	Min	Srednje	Maksimalno
GPS	11	12	13
GLONASS	5	7	9
GALILEO	11	12	12
GPS + GALILEO	22	22	25
3G	27	31	34

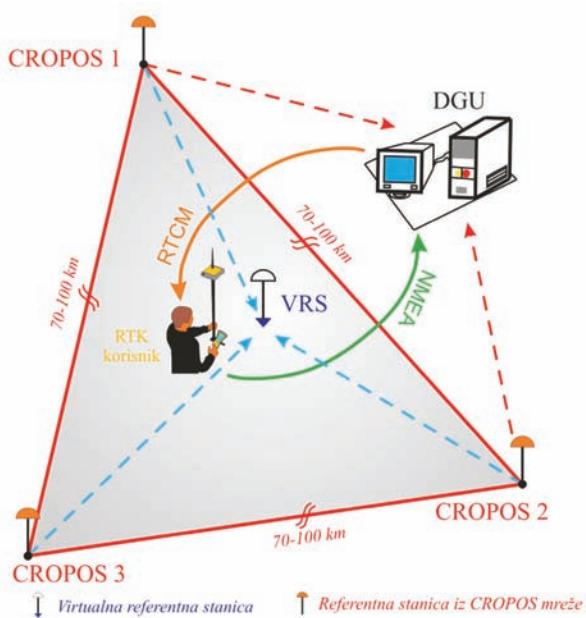
Sama optimizacija Galileo sustava za veće vertikalne kuteve, a samim time i za uspješnije korištenje sustava u gradskim područjima dovodi do viskopouzdane ocjene GDOP-a u integraciji sa GPS sustavom, tablica 6.

Tablica 6: GDOP nakon uspostave 3G sustava

Sustav	HDOP			VDOP		
	minimum	srednji	maksimum	minimum	srednji	maksimum
GPS	0.93	1.33	3.00	1.69	2.67	4.95
Galileo	0.79	1.15	1.40	1.68	2.28	2.56
GPS+Galileo	0.56	0.74	1.02	1.07	1.36	2.02

3. Virtualne referentne stanice – VRS

Pojavom VRS-a znatno se promijenio pristup geodetskim mjerjenjima u realnom vremenu. Virtualnu referentnu stanicu smatramo izmišljenom koja se nalazi samo nekoliko metara od RTK korisnika. Točna pozicija VRS-a definira se na temelju poznatih koordinata iz podataka okolnih referentnih stanica i to metodom interpolacije, odnosno generiranjem podataka unutar figure trokuta, a točnost određivanja koordinata u direktnoj je vezi prethodnih ispitivanja i pokazatelja kvalitete stanica, vidi sliku 3.



Slika 3: Virtualna referentna stanica

3.1. Princip i procedura

Kod RTK metode određivanja koordinata točaka u realnom vremenu, podrazumjevamo da se mjereni podaci s jedne referentne stанице, prenose putem radio veze ili GSM signala do RTK korisnika. Takav prijenos podataka i računanje korekcija ograničen je s udaljenošću RTK korisnika od referentne stанице 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 stанице (VRS) nudi mogućnosti određivanja koordinata na udaljenostima od 70 do 100 km. Princip se temelji na interpolaciji podataka s nekoliko referentnih stаница 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:

1. podaci s referentnih stаница iz CROPOS mreže prenose se do centra za obradu i kontrolu sustava (središnji ured DGU),
2. RTK korisnik šalje putem NMEA 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 stанице prema RTK korisniku u obliku RTCM 2.3 (3.0) korekcije.

3.2. Sadržaj NMEA protokola

Ovaj protokol uspostavljen je od strane National Marine Electronics Association (NMEA) s ciljem razmjene podataka između različitih sustava unutar nacionalnih pomorskih tvrtki na području USA. Svi različiti protokoli pisani su kao ASCII tekst, dok GPSBase program izrađen

od tvrtke Trimble, podržava format GGA-Global Positioning System Fix Data. Cijeli format jedne poruke pisan je u jednom retku, a što sve sadrži GGA poruka, vidi se u tablici 7.

Tablica 7: Sadržaj NMEA poruke

Redni broj poruke	Naziv poruke	Format	Primjer	Opis
	ID	string	\$GPGGA	GGA zaglavje
1	UTC vrijeme	hhmmss.sss	163409.348	UTC vrijeme
2	Geodetska širina (WGS84)	ddmm.mmmm	5916.4824	Stupnjevi + minute
3	N/S indikator	character	N	N=sjever/S=jug
4	Geodetska dužina (WGS84)	dddmm.mmmm	01707.3605	Stupnjevi + minute
5	E/W indikator	character	E	E=istok/W=zapad
6	Broj korištenih satelita	broj	10	od 0 do 12 (24)
7	HDOP	broj	1.6	Horizontal Dilution of Precision
8	M: ortometrijska visina	broj	1.1234	Udaljenost točke od fizičke površine Zemlje do plohe geoida
9	Jedinice	character	M	metri
10	Geoid-jedinice	-	-	Nije u upotrebi
11	Podaci o referentnoj točci	broj	0001	
12	M: geoid-razlika između WGS84 i srednje razine mora	-	-	Nije u upotrebi
13	Indikator GPS kvalitete	0: Nije dostupan 1: GPS SPS mod, fiksna vrijednost 2: DGPS, SPS mod, fiksna vrijednost 3: RTK, fixed N 4: RTK, float N	4	0-5
14	Starost diferencijalnih korekcija	broj		Polje je prazno kada DGPS nije u upotrebi. Jedinice u sekundama
15	Checksum	*36		
16	CR/RF	Text		Napomena u 82 znaka

3.3. Sadržaj RTCM podataka

Tehnička komisija (Radio Technical Commission for Maritime Services) iz Virginia, USA, kreirala je široko rasprostranjeni radio-prijenosni format za distribuciju podataka, koji ima ustaljeni skraćeni naziv među korisnicima RTCM. Ovaj format prihvacen je kao standard za sve GNSS aplikacije, koje omogućuju slanje diferencijalnih korekcije prema pokretnim uređajima (roverima). U tablicama 8. i 9. prikazane su sve poruke tog formata obzirom na trenutne potrebe kao i integraciju GPS i GLONASS sustava.

Tablica 8: Prikaz moguće kreiranih poruka u RTCM 2.3 formatu

RTCM#	STATUS	OPIS
1	<i>Stalan</i>	Diferencijalna GPS korekcija
2	<i>Stalan</i>	Delta diferencijalna GPS korekcija
3	<i>Stalan</i>	Parametri referentne GPS stanice
4	<i>Probni</i>	Datum referentne stanice
5	<i>Stalan</i>	Stanje GPS satelita
6	<i>Stalan</i>	Nulti GPS okvir
7	<i>Stalan</i>	DGPS almanah
8	<i>Probni</i>	Almanah pseudolita
9	<i>Stalan</i>	Parcijalni set GPS korekcija
10	<i>Nedovršen</i>	P-Code diferencijalna korekcija
11	<i>Nedovršen</i>	C/A-Code L1, L2 delta korekcija
12	<i>Nedovršen</i>	Pseudolitni parametri stanice
13	<i>Probni</i>	Parametri odašiljača
14	<i>Stalan</i>	GPS vrijeme u GPS tjednu
15	<i>Stalan</i>	Poruka o Ionosferi
16	<i>Stalan</i>	Specijalna GPS poruka
17	<i>Probni</i>	GPS ephemeride
18	<i>Stalan*</i>	RTK nekorigirani podaci nosača faze
19	<i>Stalan*</i>	RTK nekorigirani podaci pseudoudaljenosti
20	<i>Stalan*</i>	RTK korekcija nosača faze
21	<i>Stalan*</i>	RTK/Hi-Acc. Pseudo korekcija
22	<i>Probni</i>	Prošireni parametri referentne stanice
23**	<i>Probni</i>	Tip antene
24**	<i>Probni</i>	ARP parametri
25,26	-	Nedefinirano
27**	<i>Probni</i>	Prošireni DGPS almanah
28...30	-	Nedefinirano
31	<i>Probni</i>	Diferencijalna GLONASS korekcija
32	<i>Probni</i>	Diferencijalni parametri za stanice GLONASS sustava
33	<i>Probni</i>	Stanje GLONASS satelita
34	<i>Probni</i>	GLONASS parcijalne diferencijalne korekcije za set (N>1) GLONASS n (N<=1)
35	<i>Probni</i>	GLONASS almanah
36	<i>Probni</i>	GLONASS specijalna poruka
37	<i>Probni</i>	GNSS vremenska razlika u sustavima
38...58	-	Nedefinirano

59	<i>Stalan</i>	Zaštićena poruka
60...63	<i>Nedovršen</i>	Višenamjensko korištenje

* – Ove poruke iz RTCM verzije 2.3 vezane su uz GPS, dok su u probnom pokusu za GLONASS sustav.

** – RTCM poruke, su nove u u odnosu na verziju 2.2.

Zbog sve veće zahtjevane točnosti i brzine inicijalizacije integriran je signal GPS i GLONASS sustava. Iz prethodnog kao i zbog novih L2C i L5 signala nužno je bilo modificirati RTCM 2.3 poruke u novi RTCM 3.0. U tablici 9. prikazan je sadržaj RTCM 3.0 poruke.

Tablica 9: Prikaz moguće kreiranih poruka u RTCM 3.0 formatu

RTCM#	STATUS	OPIS
1001	<i>Stalan</i>	L1- GPS RTK mjerena
1002	<i>Stalan</i>	Proširena L1- GPS RTK mjerena
1003	<i>Stalan</i>	L1&L2 GPS RTK mjerena
1004	<i>Stalan</i>	Proširena L1&L2 GPS RTK mjerena
1005	<i>Stalan</i>	ARP parametri
1006	<i>Stalan</i>	ARP parametri s visinom antene
1007	<i>Stalan</i>	Opis antene
1008	<i>Stalan</i>	Serijski broj antene
1009	<i>Stalan</i>	L1- GLONASS RTK mjerena
1010	<i>Stalan</i>	Proširena L1-Only GLONASS RTK mjerena
1011	<i>Stalan</i>	L1&L2 GLONASS RTK mjerena
1012	<i>Stalan</i>	Proširena L1&L2 GLONASS RTK mjerena
1013	<i>Stalan</i>	Parametri sustava

4. RINEX

Prvi prijedlog za korištenje ASCII čitljivog formata nazvanog RINEX (Receiver Independent Exchange Format) dolazi od strane Astronomskog instituta sveučilišta u Bernu (AIUB). Cilj definiranja formata bio je brza razmjena podataka koji su se prikupljali u vrijeme velikih EUREF GPS kampanja u 1989 godini od različitih proizvođača GPS uređaja.

Format zapisa od samog definiranja njegovog izgleda od 1988. godine do danas doživio je oko 35 izmjena. Promjene zapisa RINEX formata u manjoj mjeri su iziskivale pogreške nastale u prethodnim formatima, dok su veće promjene formata bile uvjetovane stalnom nadogradnjom, modernizacijom te posebno integracijom različitih sustava.

Datoteka se sastoji od zaglavja i mjereni podataka.

4.1. Definicija mjereni veličina, referentno vrijeme i naziv RINEX datoteke

Mjerena veličina kod oba sustava je pseudoudaljenost koju možemo odrediti iz kodnih i faznih mjerena. Pseudoudaljenost iz kodnih mjerena odnosi se na razliku primljenog (prijamnik) i odaslanog signala (satelit) pomnožen brzinom širenja elektromagnetskih valova. In-

tegracijom GPS/GLONAS sustava za referentno uzeto je GPS vrijeme, što znači da je vrijeme GLONASS sustava (UTC) potrebno svesti na GPS vrijeme preko izraza:

$$\begin{aligned} \text{GLO} &= \text{UTC} = \text{GPS} - \Delta_{\text{LS}} \\ \text{GPS} &= \text{GAL} = \text{UTC} + \Delta_{\text{LS}} \end{aligned}$$

gdje je $\Delta_{IS} = 14$ sekundi.

Razmjena podataka u RINEX formatu je česta, stoga je preporučljivo koristiti već ustaljena pravila za imena datoteka s odgovarajućim ekstenzijama (vrstama datoteka). U tablici 10. opisano je značenje pojedinog simbola u imenu datoteke.

Tablica 10: Značenje pojedinih simbola u imenu datoteke

Ime datoteke: sssssdddf.yyt	Vrsta datoteke: t
sss – ime (naziv) točke	Ukupno 7 vrsta datoteka
dd – dan u godini (DOY)	O – mjerene veličine
f – dnevna ili satna datoteka	N – GPS navigacijska poruka
f = 0 – dnevna datoteka	G – GLONASS navigacijska poruka
f = A: 1. prvi sat u danu (00-01); f = B: 2. drugi sat u danu (01-02)	L – buduća GALILEO nav. poruka
yy – dvije posljednje znamenke godine	ZAGR157F.09O

Ime točke: ZAGR (Zagreb); 157: DOY (06. 06. 2009); F: početno vrijeme (5 sati);
09: 2009 godina; O: mjerene veličine

4.2. Zaglavlje datoteke

Zaglavlj se nalazi na početku datoteke i sadrži opće informacije za cijelu datoteku. Na stupčanim pozicijama od 61-80 polja može se pročitati opis pojedine linije u zaglavlj, vidi tablicu 11.

Tablica 11: Prikaz zaglavlja RINEX formata verzije 2.11

12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
 2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
 GPServer 2.62 3098 Rinox Merge 25 -May-09 10:39:53 PGM / RUN BY / DATE
 ZAGR MARKER NAME
 130 MARKER NUMBER
 CROPOS STATE GEODETIC ADMINISTRATION OBSERVER / AGENCY
 4813K54753 TRIMBLE NETR5 Nav 3.80 REC # / TYPE / VERS
 0 RCV CLOCK OFFS APPL
 30738933 TRM55971.00 TZGD ANT # / TYPE
 4282038.1397 1224885.8997 4550534.3034 APPROX POSITION XYZ
 0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
 1 1 0 WAVELENGTH FACT L1/2
 10 C1 P1 P2 C2 L1 L2 S1 S2 D1# / TYPES OF OBSERV
 D2 # / TYPES OF OBSERV
 5.000 INTERVAL
 2009 5 7 5 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
 END OF HEADER

U dvanaestom redu zaglavlja nalazi se popis tipova mjereneih veličina, čiji se podaci nalaze u podatkovnom dijelu datoteke. U tablici 12. dan je popis točnog značenja svih 10 registriranih podataka i njihova mogućnost registracije kod GPS-a i GLONASS-a.

Tablica 12: Vrsta mjereneih podataka u RINEX formatu

Broj mjereneih veličina	Oznaka mjerene veličine	Opis mjerene veličine	GPS	GLONASS
Prvi red zapisa				
1.	<i>C1</i>	<i>C/A pseudoudaljenosti</i>	DA	DA
2.	<i>P1</i>	<i>P (L1) pseudoudaljenosti</i>	NE	DA
3.	<i>P2</i>	<i>P (L2) pseudoudaljenosti</i>	DA	DA
4.	<i>C2</i>	<i>L2C pseudoudaljenosti</i>	DA	NE
5.	<i>L1</i>	<i>L1 faza</i>	DA	DA
Drugi red zapisa				
6.	L2	L2 faza	DA	DA
7.	S1	Odnos signala i šuma L1	DA	DA
8.	S2	Odnos signala i šuma L2	DA	DA
9.	D1	Doppler na L1	DA	DA
10.	D2	Doppler L2	DA	DA
Broj podataka kod GPS i GLONASS sustava			9	9

GPS sustav nema registriranog koda P na nosaču L1 jer se radi o vojnem kodu nedostupnom za civilne korisnike (tablica 12). Za GLONASS sustav nema registracija L2C jer se radi o kodu koji je prisutan samo kod zadnjih 6 GPS satelita iz bloka IIR-M.

U zadnjoj liniji zaglavlja prikazano je vrijeme prve registracije podataka: godina, mjesec, dan, sat, minuta, sekunda te naziv sustava u kojem je iskazano referentno vrijeme. Pisano programskim jezikom Fortrana format zapisa je /5I6, F13.7, 5X, A3/.

4.3. Podaci mjereneih veličina u RINEX datoteci

U prvoj liniji podatkovnog dijela (tablica 13.) nalazi se vrijeme registracije prve epohe s definiranim intervalom od 5 sekundi: godina 2009 (**09**), mjesec svibanj (**5**), sedmi dan u mjesecu (**7**), pet sati (**5**), nula minuta (**0**) i nula sekundi (**0 . 0000000**). Format zapisa je /1x, I2.2, 4(1x, I2), F11.7/.

U nastavku retka nalazi se znamenka nula (**0**) = OK! koja govori o kvaliteti epohe i zapisana je slijedom u formatu /2x, I1/, te u nastavku ukupan broj satelita u sadašnjoj epohi (**16**), formata zapisa /I3/. Iza ukupnog broja satelita nalazi se popis PRN – broj satelita iz pojedinog sustava, a zapisan je općim izrazom “snn” gdje je “s” identifikator sustava i označava: **G** = GPS sustav; **R**: GLONASS sustav, a “nn” = PRN (GPS/GLONASS). Format zapisa je /12(A1, I2/, ako je više od 12 satelita nastavak zapis je u formatu /32x, 12)A1, I2/ i zapisuje se u drugom redu, vidi tablicu 13.

Tablica 13: Prikaz mjerjenih veličina za trenutak 7. 05. 2009. godine
u 5 sati 0 minuta i 0 sekundi

09	5	7	5	0	0.0000000	0	16	R15G14G19G11R21R06G28R23R22G06G32R08
G18G03G22R07								
24042621.023				24042620.699				128476435.22904
0.00016				39.000				0.000
22326497.258					22326493.184			117326498.42506
91423254.98207				46.000	33.000		0.000	0.000
20440467.570					20440460.980			107415428.93507
83700274.85007				50.000	43.000		0.000	0.000
.								
19221811.523				19221810.375		19221812.195		102895830.28706
80030132.88807				46.000	37.000		0.000	0.000
09	5	7	5	0	5.0000000	0	16R15G14G19G11R21R06G28R23R22G06G32R08	
G18G03G22R07								

4.4. Kvaliteta, jačina signala i odnos signala i šuma S/N

U zapisu mjerjenih veličina u prvom i drugom redu uz numeričku vrijednost L1 i L2 dan je indikator koji ukazuje na pojavu niza pogrešaka u mjerenim veličinama. Za sva mjerena u fazi pred obrade potrebno je uočiti prisutnost cycle slip-a koji je označen numeričkom vrijednosti 1 i ukazuje na prisutnost skoka faze, odnosno prekida signala između dvije epohe, vidi tablicu 14 (crveni broj nula “0” uz L1 i crveni broj jedan “1” uz L2 vrijednost mjerene veličine). Nula (0) označava signal bez prisutnosti pogrešaka, tj. označen je kao “OK”, dok jedan (1) označava prisutnost cycle slip-a, četiri (4) antispoofing itd.

Tablica 14: Pokazatelj prisutnosti cycle slip-a i jačine signala

09	5	7	5	0	0.0000000	0	16	R15G14G19G11R21R06G28R23R22G06G32R08
G18G03G22R07								
24042621.023				24042620.699				128476435.22904
0.00016				39.000				0.000

Iza numeričkih vrijednosti “0” i “1” nalaze se vrijednosti “4” i “6” koje označavaju jačinu signala na L1 i L2. Numeričke vrijednosti pokazatelja jačine signala su u intervalu od 1-9 (1 = minimum, 9 = maksimum), a za vrijednosti veće od 5 kažemo da imaju zadovoljavajuću jačinu signala, vidi tablicu 14. U drugom redu zapisa mjerjenih veličina za jedan satelit ($S1 = 46.000$ i $S2 = 33.000$) nalaze se podaci vezani uz odnos signala i šuma u literaturi označen S/N. Ukoliko se za pojedinu vrijednost L1 ili L2 pojavi cycle slip, onda su vrijednosti S1 ili S2 jednake nuli ili na mjestima njihovog ispisa se nalazi prazno polje, tablica 15.

Tablica 15: Pokazatelj odnosa signala i šuma S/N

09	5	7	5	0	0.0000000	0	16	R15G14G19G11R21R06G28R23R22G06G32R08
G18G03G22R07								
22326497.258				22326493.184				117326498.42506
91423254.98207				46.000	33.000		0.000	0.000
20440467.570					20440460.980			107415428.93507
83700274.85007				50.000	43.000		0.000	0.000

4.5. Kepler-ovi i Newton-ovi zakoni, orbita

Tijekom renesansnog doba "filolozi prirode" tj. fizičari oslanjali su se na matematičare da im pomognu objasniti pojave u svemiru i prirodi. Jedan od prvih koji je pronašao empiričko rješenje bio je astronom i matematičar Johannes Kepler (1571-1630), na osnovi opažanja gibanja planeta danskog astronoma Tycho Brache-a (1564-1601).

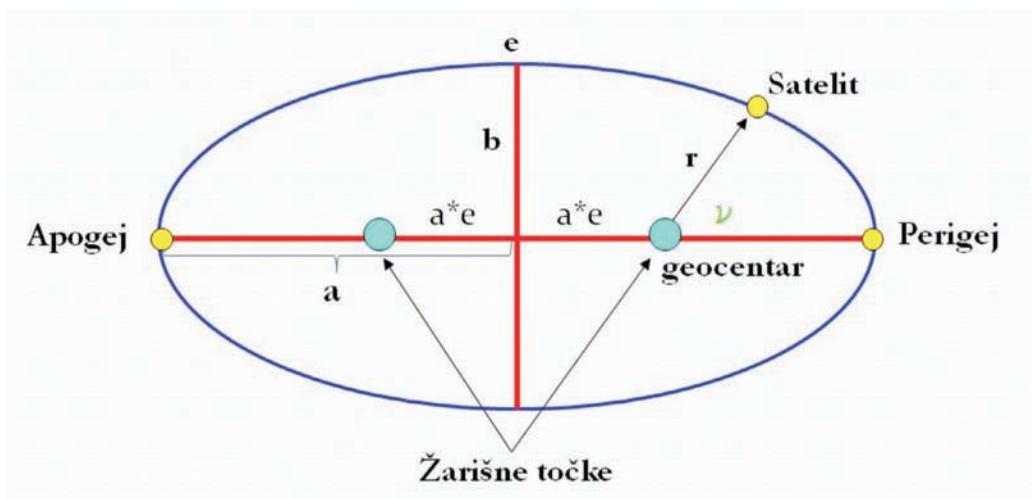
Kepler je poznat po svojim trima zakonima koji u potpunosti opisuju Sunčev sustav i njegove zakonitosti, a modernim riječnikom mogu se zapisati:

1. *svi planeti se kreću po elipsama sa Suncem u nekom od žarišta,*
2. *planet u jednakim vremenskim razmacima prebriše jednakе površine i*
3. *vrijeme ophodnje planeta proporcionalno je veličini orbite potenciranoj s $2/3$, odnosno kvadratom korijena iz kuba veličine orbite.*

O Kepleru i Braheu dovoljno je reći da su njihove zajedničke metode, metode pokušaja i pogreške, te ideja o promatranju stvari i bilježenja detalja, zapravo ključ i osnova u istraživanju svake moderne znanosti. Znanstvenici suvremenog doba vođeni Keplarovim zakonima definišali su eliptičku putanju umjetnih satelita u čijem se središtu nalazi Zemlja, a ishodište polarnog koordinatnog sustava u geocentru. Osnovni pojmovi uz eliptičku putanju satelita i položaj satelita u orbiti za trenutak T_0 definiran je parametrima koji se nalaze u tablici 16, a njihov položaj vidljiv je na slici 4:

Tablica 16: Osnovni parametri elipse

Parametar	Opis parametra
a, b	Velika i mala poluos elipse
e	Linearni ekscentricitet, označava polovicu udaljenosti između fokusa: $e = 1/2(F_1F_2)$.
r	Radije vektor – udaljenost satelita od geocentra.
v	Kutna udaljenost između ravnine perigeja i ravnine položaja satelita.
Apogej	Točka na putanji nekog tijela u orbiti oko Zemlje u kojoj je tijelo najdalje od Zemlje.
Perigej	Točka na putanji nekog tijela u orbiti oko Zemlje u kojoj je tijelo najbliže Zemlji.
Elipsa	Skup svih točaka ravnine za koje vrijedi da je zbroj udaljenosti od dviju fiksnih točaka (žarišta) konstantna veličina.



Slika 4: Gibanje umjetnih satelita u orbiti

Keplerovi dokazi bili su dovoljno dobri za vrijeme u kojem je živio, a za prve deduktivne dokaze svijet je morao čekati na Isaaca Newtona koji je pronašao analitičko rješenje, a objasnjava ih kroz zakone:

1. *u inercijalnom sustavu materijalna točka se giba konstantnom brzinom,*
2. *brzina promjene impulsa (količine gibanja) nekog tijela proporcionalna je sili i usmjereni u smjeru sile koja djeluje na to tijelo i*
3. *svakoj sili akcije odgovara jednaka po veličini i suprotna po smjeru sila reakcije.*

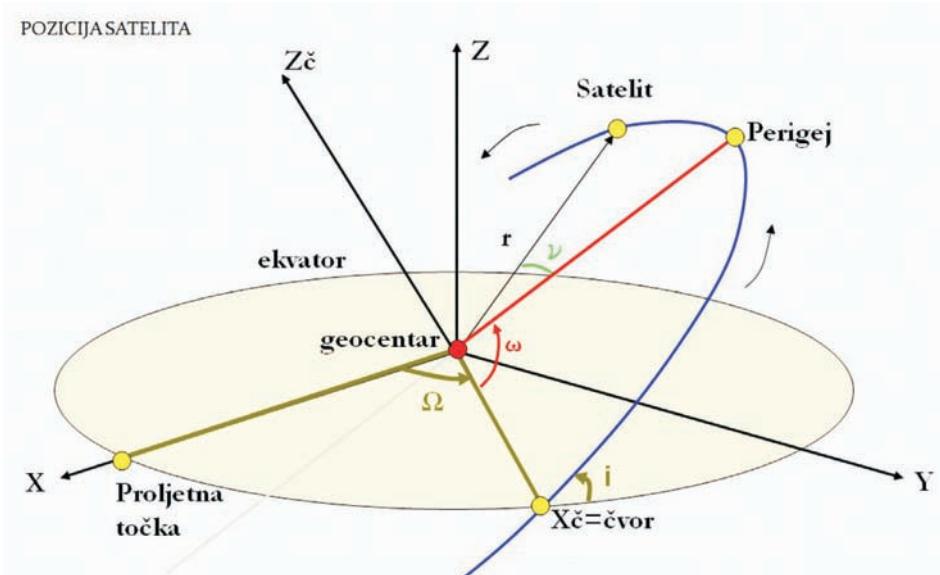
Gibanje satelita dano je sa 6 Keplerovih elemenata, odnosno konstanti integracije, tablica 17. Ponekad se umjesto velike poluos putanje satelita zadaje parametar p i srednja kutna brzina n .

Značenje ostalih parametara konstanti integracije dan je u tablici 23.

Tablica 17: Keplerove konstante integracije

Parametar	Opis parametra
Ω	Duljina uzlaznog čvorišta – koja određuje orijentaciju ravnine gibanja satelita u prostoru.
i	Nagib putanje satelita u odnosu na Zemljin ekvator.
ω	Kutna udaljenost perigeja od uzlaznog čvorišta
a	Velika poluos elipse.
e	Linearni ekscentricitet, označava polovicu udaljenosti između fokusa: $e = 1/2(F_1F_2)$.
T_0	Moment prolaska satelita kroz perigej.

Putanja satelita razmatra se u tri kordinatna sustava: Kartezijev, sustav čvorišta i sustav perigeja. Za sva tri kordinatna sustava ishodište je zajedničko i nalazi se u centru zemljinih masa – geocentar. Kartezijev koordinatni sustav definiran je ishodištem, osi Z koja se poklapa s rotacijskom osi Zemlje, XZ ravninom koju određuje os Z i os X koja prolazi kroz proljetnu točku. Os Y okomita je na ravninu XZ i formira desni koordinatni sustav, slika 5.



Slika 5: Prikazivanje putanje satelita u koordinatnom sustavu

U koordinatnom sustavu čvorišta os "X_ε" (čvor) prolazi kroz centar Zemjinih masa i pre-sjedištem ravnine ekvatora i putanje satelita. Os "Z_ε" okomita je na ravninu putanje satelita, a Y_ε (geocentar – perigej) čini desni koordinatni sustav i okomita je na ravninu X_εZ_ε.

Kut između koordinatne osi Z u Kartezijevom koordinatnom sustavu i osi Z_ε u sustavu čvorišta je nagib putanje satelita u odnosu na Zemljin ekvator (*i*).

4.6. Navigacijska poruka – GPS

Za obradu mjerjenih podataka uz datoteku s ekstenzijom "yyo" (mjereni podaci) potrebno je imati i navigacijske datoteke s ekstenzijama "yn" za GPS i "yg" za GLONASS sustav.

Datoteka s navigacijskom porukom, kao i datoteka s mjerenim podacima, sadrži zaglavlj i niz poruka u 7, odnosno 3 podokvira kod GPS i GLONASS sustava.

Prva dva reda zaglavja sadrže opće informacije: verzija RINEX formata, tip datoteke, program kojim se definirao aktivni format zapisa. Na stupčanim pozicijama od **61-80** polja može se pročitati značenje pojedine numeričke vrijednosti u zaglavlj, vidi tablicu 18.

U trećem redu zaglavja, pisano u formatu /2x,4D12.4/ nalaze se parametri ionosfere iz orbite: A₀, A₁, A₂ i A₃, a u 4 redu parametri ionosfere iz godišnjaka: B₀, B₁, B₂ i B₃.

Peti red zaglavja (zeleno) rezerviran je za $\Delta_{\text{UTC}} = A_0$ – otklon sata satelita u sekundama, A₁ – fazni hod sata satelita, T – referentna epoha u sekundama i W – GPS tjedan, a svi parametri pisani su u formatu /3x,2D19.12,2I9/.

Tablica 18: Navigacijski podaci za GPS sustav-zaglavlj

12345678901234567890	12345678901234567890	12345678901234567890	12345678901234567890	12345678901234567890
2.10	NAVIGATION DATA		RINEX VERSION / TYPE	
GPSNet 2.62	3098		PGM / RUN BY / DATE	
8.3819D-09	2.2352D-08	-5.9605D-08	-1.1921D-07	ION ALPHA
8.6016D+04	6.5536D+04	-1.3107D+05	-4.5875D+05	ION BETA
-5.587935447693D-09	-1.865174681370D-14	589824	1530	DELTA - UTC:A0,A1,T,W
15				LEAP SECONDS
				END OF HEADER

Prvi red (žuto) s podacima sadrži podatke o broju satelita PRN (7), godini (09), mjesecu(5), danu(7), satu(2), minuti(0) i sekundi(0). U nastavku zapisa nalaze se tri podatka o sistematskoj pogrešci sata satelita i to u jedinicama: sekunde, sek/sek i sek/sek². Cijeli zapis reda je u formatu /I2,1x,I2.2,1x,I2, 1x,I2, 1x,I2,F5.1,3D19.12/, tablica 19.

Tablica 19: Navigacijski podaci za GPS sustav

7	09	5	7	2	0	0.0	1.927651464939D-05	-5.684341886081D-13	0.0000000000000D+00
							1.000000000000D+01	-2.615625000000D+01	4.256248718415D-09
							-1.467764377594D-06	2.498979680240D-03	1.195445656776D-05
							3.528000000000D+05	8.754432201386D-08	3.120886574001D+00
							9.674860040869D-01	1.520937500000D+02	2.887394242394D+00
							4.657336853917D-10	0.000000000000D+00	1.530000000000D+03
							2.000000000000D+00	0.000000000000D+00	-1.071020960808D-08
							3.526320000000D+05	0.000000000000D+00	1.000000000000D+01
									0.000000000000D+00
3	09	5	7	3	59	44.0	3.895708359778D-04	5.229594535194D-12	0.000000000000D+00

Tablica 20: Značenje pojedine numeričke vrijednosti u podokvirima

Značenje pojedine numeričke vrijednosti u podokvirima			
1.00000000000D+01-2.61562500000D+01	4.256248718415D-09-1.147733299265D+00		
Podokvir 1.	IODE efemeride	3x,4D19.12	
	C_{rs} – metar (korekcijski parametri geocentričke udaljenosti)		
	Δ_n – radian/sekunda (razlika srednjeg gibanja)		
M_0 – radian (srednja anomalija za srednju epohu)			
-1.467764377594D-06	2.498979680240D-03	1.19544565776D-05	5.153674547195D+03
Podokvir 2.	C_{uc} – radian (korekcijski parametri argument perigeja)	3x,4D19.12	
	e – ekscentricitet		
	C_{us} radian (korekcijski parametri argument perigeja)		
$Sqrt(a)$ – $sqrt(m)$ (kvadratni korijen velike poluosi)			
3.52800000000D+05	8.754432201386D-08	3.120886574001D+00	1.862645149231D-08
Podokvir 3.	T_{oe} – sekunde u GPS tjednu (referentna epoha sata satelita)	3x,4D19.12	
	C_{ic} – radian (korekcijski parametri za inklinaciju)		
	Ω – radian (promjena longitude desnog uzlazog čvorišta)		
C_{is} – radian (korekcijski parametri za inklinaciju)			
9.674860040869D-01	1.52093750000D+02	2.887394242394D+00-7.802110703513D-09	
Podokvir 4.	i_0 – radian (inklinacija)	3x,4D19.12	
	C_{rc} – metar (korekcijski parametri geocentričke udaljenosti)		
	ω – radian (argument perigeja)		
$\Delta\omega$ – radian/sekunda (promjena longitude desnog uzlaznog čvorišta)			
4.657336853917D-10	0.00000000000D+00	1.53000000000D+03	0.00000000000D+00
Podokvir 5.	ΔI – radian/sekunda (promjena inklinacije)	3x,4D19.12	
	Kod na L2 “0” = OK		
	GPS tjedan		
L2 P-kod “0” = OK			
2.00000000000D+00	0.00000000000D+00-1.071020960808D-08	1.00000000000D+01	
Podokvir 6.	Pogreška satelita – SV – metar	3x,4D19.12	
	Zdravlje satelita – SV “0” = OK		
	T_{GD} – sekunda		
IODC – podatak sata			
3.52632000000D+05	0.00000000000D+00	0.00000000000D+00	0.00000000000D+00
Podokvir 7.	Prijenos podataka u sekundama GPS tjedna	3x,4D19.12	
	Fit interval “0” = nepoznato		
	Rezervni		
Rezervni			

4.7. Navigacijska poruka – GLONASS

Kao i kod GPS sustava navigacijska poruka GLONASS sustava sadrži zaglavljne i navigacijske podatke. U prvom redu zaglavljva se vidjeti o kojoj verziji RINEX formata je riječ, te o tipu datoteke. U drugom redu ispisano je ime programa kojim je definirana navigacijska

poruka u RINEX formatu, te datum kreiranja poruke u formatu (dd-mmm-yy hh:mm = 07-May-09 03:02:13).

U trećem redu navigacijske poruke nalazi se referentno vrijeme za koje je dana navigacijska poruka (godina, mjesec, dana = 2009 05 04). U nastavku zapisa nalazi se vremenska korekcija GLONASS-a u odnosu na UTC vrijeme (1.746229827404D-07), vidi tablicu 21.

Tablica 21: Navigacijski podaci za GLONASS sustav – zaglavlj

Prvi red (žuto) s podacima, sadrži podatke o broju satelita PRN (**6**), godini (**09**), mjesecu (**5**), danu (**7**), satu (**3**), minuti (**15**) i sekundi (**0**). U nastavku zapisa nalaze se tri podatka o sistematskoj pogrešci sata satelita, a zapis cijelog reda je u formatu */I2,1x,I2.2,1x,I2, 1x,I2, 1x,I2, 1x,I2,F5.1,3D19.12/*, tablica 28.

Tablica 22: Navigacijski podaci za GLONASS sustav

```

6 09 5 7 3 1 5 0.0-1.712199300528D-04-9.094947017729D-13 1.17000000000000D+04
 1.544803222656D+04 -2.280899047852D+00 -2.793967723846D-09 0.00000000000000D+00
 1.115699267578D+04 -4.974203109741D-01 9.313225746155D-10 1.00000000000000D+00
 1.684302197266D+04 2.3974370 95642D+00-9.313225746155D-10 0.00000000000000D+00
7 09 5 7 3 1 5 0.0-1.611961051822D-04 2.728484105319D-12 1.17000000000000D+04

```

U tablici 23. dan je cjeloviti prikaz značenja svake pojedine numeričke vrijednosti.

Tablica 23: Značenje pojedine numeričke vrijednosti u podokvirima za GLONASS sustav

Značenje pojedine numeričke vrijednosti u podokvirima			
1.544803222656D+04-2.280899047852D+00-2.793967723846D-09 0.0000000000000D+00			
Podokvir 1.	Pozicija satelita – X koordinata (km)		
	Vektor brzine gibanja u smjeru osi X (km/sekunda)		
	Promjena brzine gibanja (ubrzanje) u smjeru osi X (km/sek ²)		3x,4D19.12
	Zdravlje satelita ("0" = OK)		
.115699267578D+04-4.974203109741D-01 9.313225746155D-10 1.0000000000000D+00			
Podokvir 2.	Pozicija satelita – Y koordinat (km)		
	Vektor brzine gibanja u smjeru osi Y (km/sekunda)		
	Promjena brzine gibanja (ubrzanje) u smjeru osi Y (km/sek ²)		3x,4D19.12
	Broj frekvencije (-7....+13)		
1.684302197266D+04 2.397437095642D+00-9.313225746155D-10 0.0000000000000D+00			
Podokvir 3.	Pozicija satelita – Z koordinata (km)		
	Vektor brzine gibanja u smjeru osi Z (km/sekunda)		
	Promjena brzine gibanja (ubrzanje) u smjeru osi Z (km/sek ²)		3x,4D19.12
	Starost informacije (dan)		

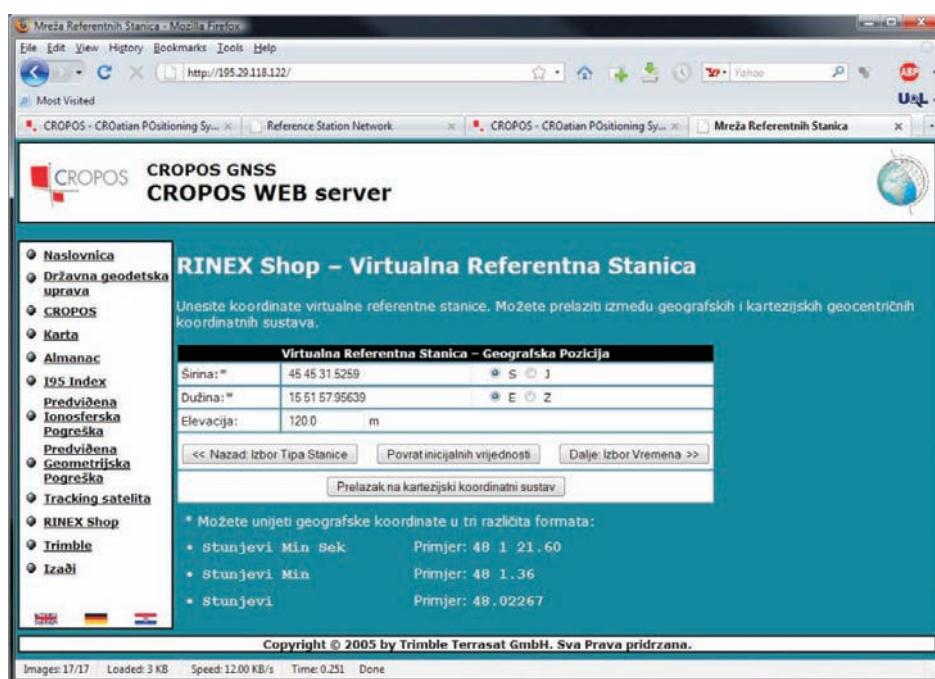
Usporedbom navigacijskih podataka za GPS i GLONASS sustav, uočava se bitna razlika u iskazivanju pozicija satelita, gdje je za GPS dana u polarnim dok za GLONASS sustav u Kartezijskim koordinatama.

5. CROPOS

CROPOS sustav sastoje se od 30 referentnih GNSS-stanica i dvije rezervne, na međusobnoj udaljenosti od 70 km, raspoređenih tako da pokrivaju cijelo područje Republike Hrvatske. Umreženi sustav referentnih GNSS-stanica omogućuje kontinuirana GNSS mjerena koja se računski obrađuju u kontrolnom centru DGU, a dobiveni konačni rezultati dostavljaju se korisnicima na terenu putem mobilnog interneta (GPRS/GSM).

Koordinate referentnih stanica izračunate su u aktualnom referentnom okviru ITRF2005, epohi mjerena 2008.83 (GPS tjedan 1503) te zatim transformirane u referentni okvir ETRF00 (R05) sustav (ETRS89) pa se i koordinate točaka mjerena 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*).

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



Slika 6: WEB server – RINEX shop – virtualna referentna stanica (VRS)

5.1. Generiranje RINEX-a za VRS

Uspostavom CROPOS mreže znatno su se promijenile metode mjerena, vrijeme određivanja koordinat kao i pouzdanost (homogenost) samih mjerena na cijelom teritoriju Republike Hrvatske. Servis CROPS-a (VPPS) omogućuju određivanje koordinata u realnom vremenu uz prijenos podataka Wireless Internetom (GPRS/UMTS) slanjem NTRIP 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 mjerjenih podataka je naknadna (post-processing), prijenos podataka je putem interneta (FTP, e-mail) u RINEX formatu koji je detaljno opisan u poglavlju 5. Točnost određivanja koordinata unutar GPPS servisa je subcentimetarska. Upravo kod ovog servisa, moguće je generirati RINEX datoteke za VRS, na temelju mjerjenih podataka stanica iz CROPOS mreže.

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

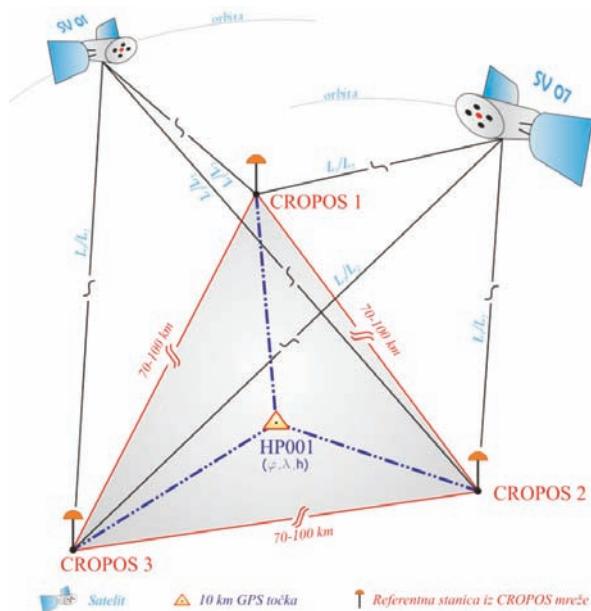
Kao VRS stanice logičnim se nameću točke iz 10-km GPSmreže, zatim mreže "0" i "I" reda, čije koordinate su dane u ITRF96 referentnom okviru i epohi 1995.55.

Koordinate točaka iz referentnog okvira ITRF96 i epohi mjerjenja 1995.55 potrebno je transformirati u referentni okvir i epohu u kojem su dane koordinate točaka iz CROPOS mreže, vidi tablicu 24.

Tablica 24: Transformacijski parametri između referentnih okvira

Iz	T1 [cm]	T2 [cm]	T3 [cm]	D [10 ⁻⁸]	R1 [10 ⁻⁶ "]	R2 [10 ⁻⁶ "]	R3 [10 ⁻⁶ "]	t ₀ [god]	Broj IERS točaka
ITRF90	0.5	2.4	-3.8	0.34	0.0	0.0	0.0	88.0	9
ITRF91	0.6	2.0	-5.4	0.37	0.0	0.0	0.0	88.0	12
ITRF92	1.7	3.4	-6.0	0.51	0.0	0.0	0.0	88.0	15
ITRF93	1.9	4.1	-5.3	0.39	0.39	-0.80	0.96	88.0	18
ITRF94	2.3	3.6	-6.8	0.43	0.0	0.0	0.0	88.0	21
ITRF96	2.3	3.6	-6.8	0.43	0.0	0.0	0.0	88.0	24
ITRF97	2.3	3.6	-6.8	0.43	0.0	0.0	0.0	88.0	27
ITRF2000	3.0	4.2	-8.7	0.59	0.0	0.0	0.0	97.0	
ITRF2005	3.0	3.9	-9.7	0.63	0.0	0.0	0.06	00.0	

Generiranje RINEX datoteke za jednu točku (HP001) provodi se unutar tri točke (CROPOS 1,2,3) za koje posjedujemo mjerene podatke, slika 7.

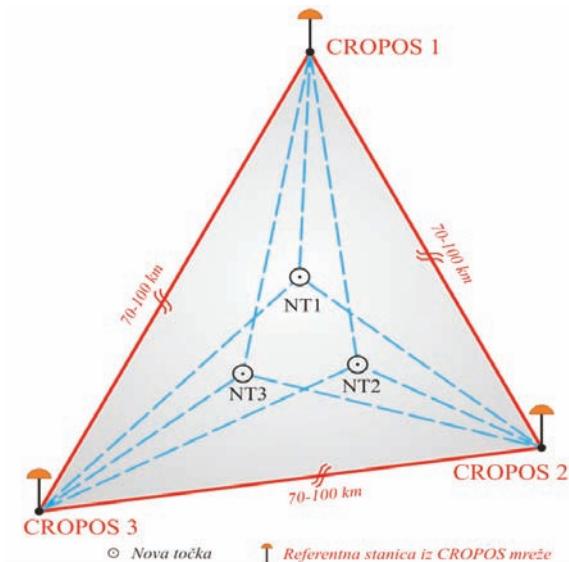


Slika 7: Princip generiranja RINEX datoteke unutar trokuta tri stanice CROPOS mreže

5.2. Primjena generiranih RINEX datoteka

Cilj primjene generiranih RINEX datoteka je: smanjiti broj terenskih ekipa, smanjiti vrijeme opažanja, obradu mjerjenih 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.

U tu svrhu provedena su 4 izjednačenja, a kao referentno uzeto je izjednačenje mreže (izjednačenje 1.) na tri referentne točke iz CROPOS-a. Sukladno pravilniku o duljini opažanja baznih linija 20 min + 1 min/km za statička mjerjenja s dvofrekventnim uređajima, opažalo se 120 minuta.



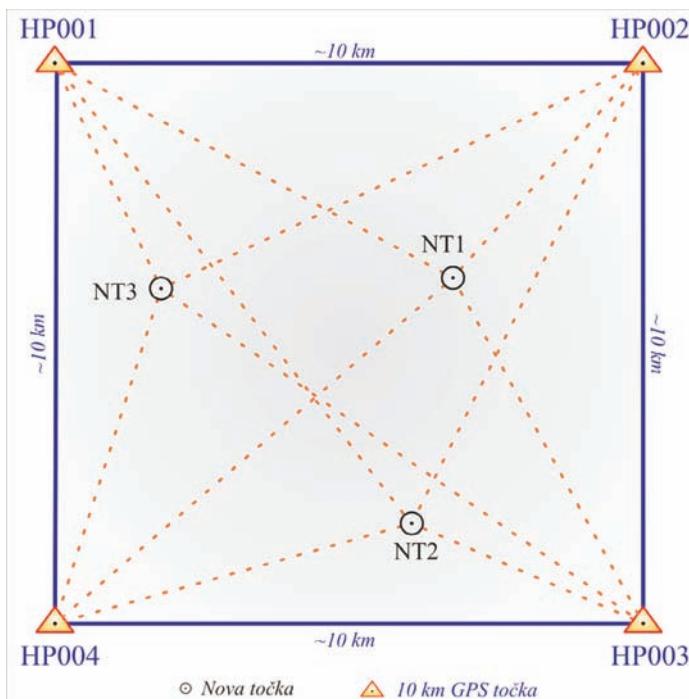
Slika 8: Izjednačenje mreže s fiksnim točkama iz CROPOS-a

Ocjena točnosti izjednačenih koordinata dana je kroz aritmetičku vrijednost srednjih kvadratnih odstupanja (rms) po pojedinim osima, tablica 25.

Tablica 25: Aritmetička sredina “Srednjih kvadratnih odstupanja” (rms) za tri izjednačene točke

IZJEDNAČENJE (1)		
Referentne točke:		3
Vrijeme opažanja 20 min+1 min/km		120 min
Srednje kvadratno odstupanje Rms (m)		
X (m)	Y (m)	Z (m)
0.0031	0.0025	0.0057

U izjednačenju 2. koristile su se koordinate točaka iz 10-km GPS mreže za koje su generirane RINEX datoteke. Ukupan broj generiranih datoteka bio je 4, a vrijeme opažanja odnosno kreirane RINEX datoteke iznosi 30 minuta.



Slika 9: Izjednačenje mreže s fiksnim točkama iz 10-km GPS mreže

Izjednačene vrijednosti koordinata u izjednačenju 2. uspoređene su s izjednačenim koordinatama točaka iz izjednačenja 1., tablica 26.

Tablica 26: Razlike koordinata u odnosu na referentno izjednačenje (izjednačenje 1.)

IZJEDNAČENJE (2)		
Referentne točke:		4
Vrijeme opažanja 20 min+1 min/km		30 min
Razlike u odnosu na referentno izjednačenje 1.		
X (m)	Y (m)	Z (m)
0.0069	0.0084	0.0096

Nadalje, cilj izjednačenja 3. i 4. bio je pokazati da se uz današnju konstelaciju satelita (vidi tablicu 5) u sustavima GPS+GLONASS od minimalnih 16 do maksimalnih 22 satelita nije nužno opažati prema temeljnoj formuli (20min+1min/km), već da se uz znatno kraće vremensko opažanje mogu postići zadovoljavajuće točnosti pri određivanju koordinata uz sva fiksna rješenja.

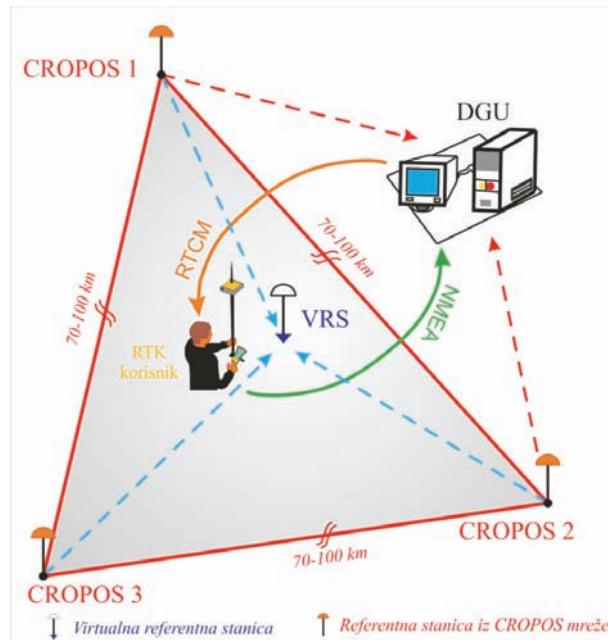
Tablica 27: Razlike koordinata u odnosu na referentno izjednačenje (izjednačenje 1.) s duljinom opažanja baznih linija od 20 minuta

IZJEDNAČENJE (3)		
Referentne točke:		4
Vrijeme opažanja 20 min+1 min/km????		20 min
Razlike u odnosu na referentno izjednačenje 1.		
X (m)	Y (m)	Z (m)
0.0093	0.0104	0.0146

Tablica 28: Razlike koordinata u odnosu na referentno izjednačenje (izjednačenje 1.) s duljinom opažanja baznih linija od 10 minuta

IZJEDNAČENJE (4)		
Referentne točke:		4
Vrijeme opažanja 20 min+1 min/km????		10 min
Razlike u odnosu na referentno izjednačenje 1.		
X (m)	Y (m)	Z (m)
0.0146	0.0158	0.0184

Pitanje koje se stalno nameće je: Kolike su razlike koordinata između statičkih mjerjenja (izjednačenje 1.) i koordinata određenih u realnom vremenu, slika 10?.



Slika 10: Određivanje koordinata u realnom vremenu: RTK-VPPS

Na temelju provedenih mjerjenja RTK metodom s registracijom od 200 epoha izračunate su razlike u odnosu na izjednačenje 1., a koje po svojoj veličini upućuju na razmišljanja da se ozbiljnim pristupom pri samim mjerjenjima uz fiksno postavljanje antene, veći broj epoha registracije, koordinate točke stalne geodetske osnove mogu određivati i RTK metodom mjerjenja, tablica 29.

Tablica 29: Razlike koordinata određenih RTK-VPPS u odnosu na referentno izjednačenje 1.

RTK - VPPS		
Referentne točke:	CROPOS	
Vrijeme opažanja 200 epoha		200 sekundi
Razlike u odnosu na referentno izjednačenje 1.		
X (m)	Y (m)	Z (m)
0.0285	0.0311	0.0421

7. Zaključak

Dalnjom modernizacijom GPS i GLONASS sustava i lansiranjem satelita iz programa Gallileo sustava očekivati je visokointegrirani globalni navigacijski sustav, popularno nazvanim 3G, čije će djelovanje u L području biti definirano na L1, L2 i L3/L5 nosećim valovima s pripadajućim frekvencijama. Minimalan broj raspoloživih satelita nakon izgradnje 3G sustava je 27, a maksimalni 34 satelita, što će u mnogome doprinijeti brzini inicijalizacije prijamnika, smanjenju multipatha, smanjenju GDOP-a, a samim time do visokopreciznog određivanja koordinata na i iznad fizičke površine Zemlje. Nadalje, u radu je dokazano, da se uz današnju konstellaciju satelita (GPS+GLONASS) od minimalnih 16 do maksimalnih 22 satelita nije nužno opažati prema temeljnoj formuli ($20\text{min} + 1\text{min}/\text{km}$), već da se uz znatno kraće vremensko opažanje mogu postići zadovoljavajuće točnosti pri određivanju koordinata uz fiksna riješenja.

8. Literatura

- Bačić, Ž. (2009): Satelitsko pozicioniranje. Predavanja 1-10. Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet.
- Blewitt, G. (1990): "An automatic editing algorithm for GPS data," *Geophysical Research Letters*, Vol. 17, No. 3, pp. 199-202.
- Bronstein, I.N. i suradnici: *Matematički priručnik*, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2004.
- Dixon, R.C., *Spread Spectrum Systems, 2nd Edition*, John Wiley & Sons, 1984. ISBN 0-471-88309-3
- Evans, A. (1989): "Summary of the Workshop on GPS Exchange Formats." Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Systems, pp. 917ff, Las Cruces.
- Gao, Y. and Z. Li, (1999): "Cycle slip detection and ambiguity resolution algorithms for dual-frequency GPS data processing," *Marine Geodesy*, Vol. 22, no. 4, pp. 169-181.
- Gurtner, W., G. Mader, D. Arthur (1989): "A Common Exchange Format for GPS Data." CSTG GPS Bulletin Vol.2 No.3, May/June 1989, National Geodetic Survey, Rockville.
- Gurtner, W., G. Mader (1990): "The RINEX Format: Current Status, Future Developments." Proceedings of the Second International Symposium of Precise Positioning with the Global Positioning system, pp. 977ff, Ottawa.
- Gurtner, W., G. Mader (1990): "Receiver Independent Exchange Format Version 2." CSTG GPS Bulletin Vol.3 No.3, Sept/Oct 1990, National Geodetic Survey, Rockville.
- Gurtner, W. (1994): "RINEX: The Receiver-Independent Exchange Format." GPS World, Volume 5, Number 7, July 1994.
- Gurtner, W. (2002): "RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10". <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex210.txt>
- Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, and J. Collins. (1997): *GPS Theory and Practice*. 4th Edition, Springer-Verlag, Wien, 389 pp.
- Kleusberg, A., Y. Georgiadou, F. van den Heuvel, and P. Heroux (1993): "GPS data preprocessing with DI-POP 3.0," internal technical memorandum, Department of Surveying Engineering (now Department of Geodesy and Geomatics Engineering), University of New Brunswick, Fredericton, 84 pp.
- Leick, A. (1995): *GPS Satellite Surveying*. 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 560 pp. Seeber, G. (1993). *Satellite Geodesy*. Walter de Gruyter and Co., Berlin, 531 pp. Westrop, J., M.E. Napier, and V. Ashkenazi (1989). "Cycle slips on the move: detection and elimination." *Proceedings of the 2nd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Colorado Springs, Colorado, U.S.A., 27-29 September, 1989, The Institute of Navigation, Alexandria, Virginia, U.S.A., pp. 31-34.
- Ray, J., W. Gurtner (1999): "RINEX Extensions to Handle Clock Information".
ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex_clock.txt
- Suard, N., W. Gurtner, L. Estey (2004): "Proposal for a new RINEX-type Exchange File for GEO SBAS Broadcast Data".
ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/geo_sbas.txt
- Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification, 2nd Edition, June 2, 1995. pp. 18.
Available at <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/default.htm>

Mreža stalnih geodetskih točaka na području K.O. Varaždinske Toplice

Mladen Pandža*, Goran Tisanić*, Dario Tušek*

Sažetak

Godine 1995. na području grada Varaždinskih Toplica uspostavljena je mreža stalnih geodetskih točaka. Postavljene su 62 GPS točke i pronađeno 16 trigonometrijskih točaka koje su izmjerene i izjednačene na GPS mrežu I reda. U nastavku radova početkom 2009. godine izvršena je revizija mreže točaka iz 1995. godine, gdje je pronađeno 40 GPS točka i 15 trigonometrijskih točaka. Mjerena i izjednačenje mreže stalnih geodetskih točaka su izvršeni u CROPOS sustavu.

U ovom radu prikazujemo odstupanja u položajnom i visinskom smislu tih dvaju projekata, s osvrtom i na sam rad na terenu, te procjenom efikasnosti rada s CROPOS sustavom.

1. Uvodno o projektu

Zavod za fotogrametriju d.d. je 1995. godine započeo radove katastarske izmjere za k.o. Varaždinske Toplice koji su zbog određenih poteškoća privremeno prekinuti. Ponovni radovi započeti su početkom 2009. godine. Na osnovu dobivenog zadatka od Državne geodetske uprave, Sektora za državnu izmjjeru, Odjela osnovnih geodetskih radova izrađen je projekt obnove mreže stalnih geodetskih točaka na području grada Varaždinske Toplice. Točke su projektirane s gustoćom od 1 točke na 20-25 ha ekstravilana i 1 točke na 10-15 ha intravilana i s osiguranim dogledanjem na dvije novopostavljene točke u svim vegetacijskim razdobljima.

2. Projekt mreže stalnih geodetskih točaka

U postupku katastarske izmjere projektnim zadatkom je predviđena i uspostava mreže stalnih geodetskih točaka, gdje su izvršeni pripremni radovi na:

- prikupljanju postojećih podataka (TK 1:25000, skice, položajni opisi),
- rekognosciranju terena s revizijom GPS točaka stabiliziranih 1995. godine i trigonometrijskih točaka,
- izradi projekta mreže stalnih geodetskih točaka.

Godine 1995. izvršena je stabilizacija 62 točke homogenog polja Varaždinskih Toplica. U reviziji trigonometrijske mreže, te godine, pronađeno je 16 trigonometrijskih točaka. Stabilizacija stalnih geodetskih točaka je izvršena lijevano-betonskim stupićima dimenzija 15x15x60 cm, s ugrađenim reperom (s rupicom) i jednim podzemnim centrom. Pri odabiru mesta stabilizacije pokušalo se zadovoljiti uvjete: čisti obzor, međusobno dogledanje, te trajnost točke.

* Zavod za fotogrametriju d.d., Borongajska 71, Zagreb

Numeracija stabiliziranih točaka geodetske osnove je od 1 do 62.

U nastavku radova početkom 2009. godine izvršena je revizija mreže točaka iz 1995. godine, gdje je pronađeno 40 GPS točka i 15 trigonometrijskih točaka. Revizija mreže izvršena je GPS uređajima, VPPS-om (visoko precizni servis pozicioniranja u realnom vremenu) u CROPOS sustavu. Za uništene točke homogenog polja izvršena je obnova stabilizacije.

3. Mjerenje mreže stalnih geodetskih točaka

Za sve točke homogenog polja i trigonometrijske točke izvršena su ponovna opažanja i izjednačenje u CROPOS sustavu, osim za trigonometrijsku točku 7 koja je zarasla u šumi i trigonometrijsku točku 54 koja je u međuvremenu uništena.

Tehničkim nivelmanom povećane točnosti vezali smo četiri točke homogenog polja (točke: 47, 48, 51 i 59) na državni visinski sustav (R304, R313 i R322 iz vlaka 645). Opažanja su izvršena laserskim nivelirom DNA 03 s kodiranim invarskim letvama.

3.1. Korištena GPS-oprema

Na izvođenju radova Zavod za fotogrametriju koristio je 4 GPS-uređaja, 3 prijemnika R8 i 1 prijemnik 5800. Svi prijemnici su tvrtke Trimble, 24-kanalni, dvofrekventni, koji se temelji na Maxwell 4-chip tehnologiji, s antenom integriranom u kućište uređaja,

3.2. Planiranje opažanja

Zbog tražene točnosti za opažanje je odabrana relativna statička metoda, kojom se prema proizvođaču ovih uređaja postiže točnost od $\pm (1 \text{ cm} + 2 \text{ ppm})$ u horizontalnom smislu, te $\pm (2 \text{ cm} + 2 \text{ ppm})$ u vertikalnom smislu. Predviđeno je da se na taj način u mreži izmjere svi vektori na najmanje tri povoljno raspoređene virtualne referentne točke (određene korištenjem WEB/FTP servera CROPOS sustava).

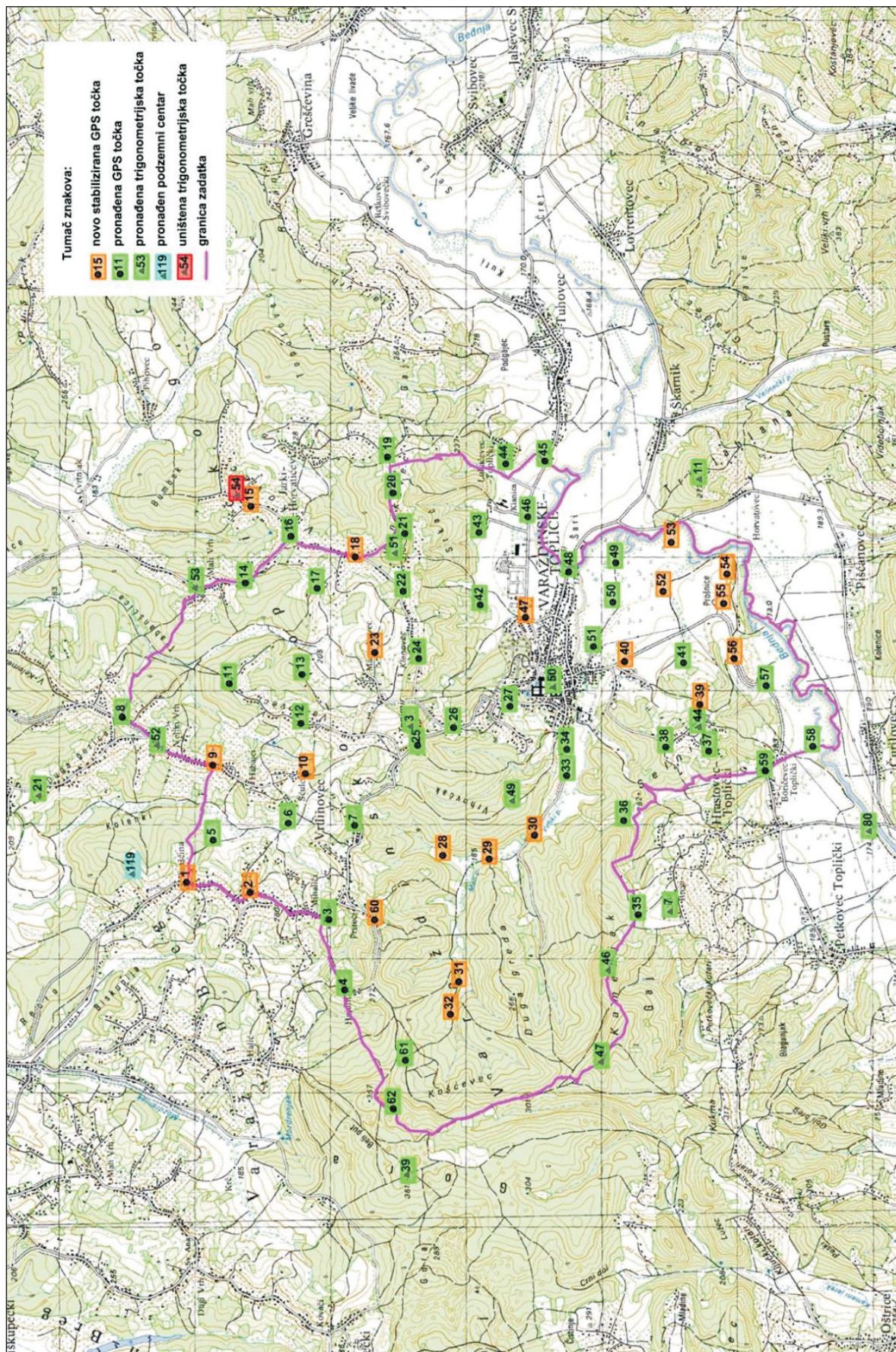
Sukladno *Pravilniku o načinu izvođenja geodetskih radova, prilog 3. CROPOS Hrvatski pozicijski sustav*, članak 11., predviđeno je minimalno vrijeme mjerena od 15 minuta.

Prilikom provjere prijema satelitskih signala na točkama okvirne mreže, kao i pri planiranju opažanja (Trimble Software PLAN), utvrđeno je da je nebo čitav dan prekriveno s prosječno 7-8 satelita, te da je PDOP, kao mjera točnosti položaja “*a priori*”, skoro uvijek ispod 3 a najčešće oko 2.0. Nešto lošiji uvjeti za opažanje su od 12:00 do 12:30 sati.

3.3. Izvršenje satelitskih mjerena na terenu

Mjerena mreže stalnih geodetskih točka obavljena su od 09. do 12. ožujka 2009. godine, uz slijedeće parametre:

- elevacijska maska je 15 stupnjeva,
- interval registracije je svakih 10 sekundi,
- opažana su istovremeno najmanje 5 satelita,
- za PDOP je utvrđena kao granična vrijednost 7.



Slika 1: Pregledna karta mreže stalnih geodetskih točaka

Temeljem izloženih činjenica, projektnog zadatka, Pravilnika o načinu izvođenja geodetskih radova i proizvođača opreme, a kako bi mogli izvršiti optimiranje vektora na minimalno zadano vrijeme, opažanja vektora iznosilo je 20 – 30 min. Stalne geodetske točke opažane su sa tri povoljno raspoređene virtualne referentne točke (određene korištenjem WEB/FTP servera CROPOS sustava).



Slika 2: Slika mjerena točaka

4. Obrada rezultata mjerena

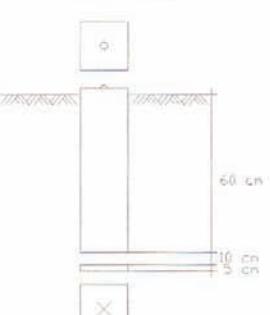
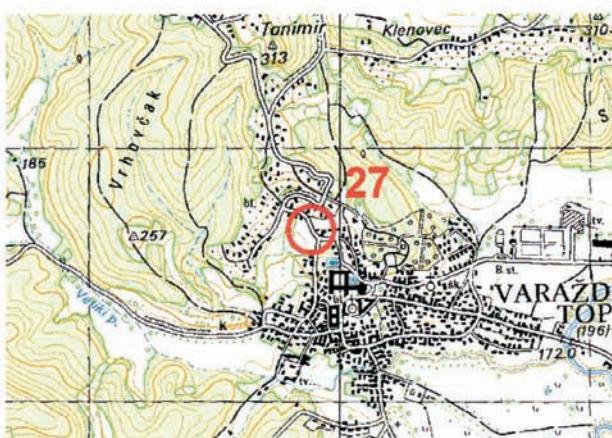
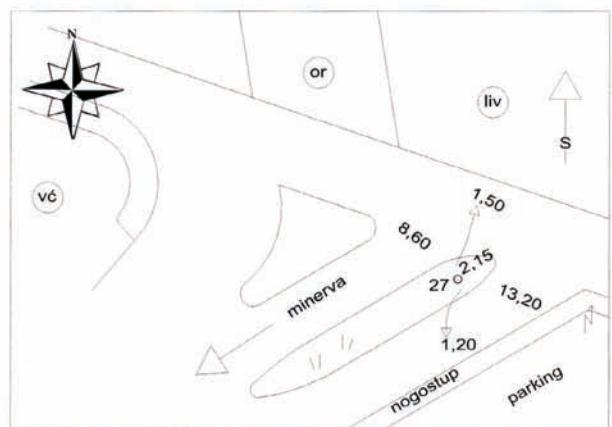
4.1. Obrada i izjednačenje u sustavu ETRS'89

Svi vektori su računski obrađeni softverom TGOffice verzija 1.62 uz korištenje preciznih efemerida orbite satelita.

Za sve obrađene prostorne dužine dobiveni su pokazatelji kojima ocjenjujemo kvalitetu opažanih vektora, kao što su korišteni model za ionosferu (Solution type), prostorna dužina



PODACI O GEODETSKOJ TOČKI

Broj točke: Trig. Kotar: Područni ured: Ispostava: K.o.:	27 VARAŽDIN VARAŽDIN NOVI MAROF VARAŽDINSKE TOPLICE, 318680	TK 1:25000 VAR. TOPLICE 271-4-2	Naselje: VARAŽDINSKE TOPLICE	Red točke: GPS KAT. IZMJERA					
		HOK 1:5000 VAR. TOPLICE SK25-39	Vrsta točke: GPS TOČKA	Identifikacijski broj:					
		Kopija karte 1:25000 s ucrtanim položajem točke:	Tip stabilizacije: Betonski stup dimenzija 15x15x60 cm - centar prokrom reper sa rupicom Način stabilizacije: 						
									
		Detaljna skica opisa položaja točke	Način signalizacije / Fotografija točke / Vizurna točka: 						
									
ETRS '89		ITRF	HRVATSKI DRŽAVNI KOORDINATNI SUSTAV						
ETRS'89		ITRF: Epoха:	Gauss-Krügerove koordinate						
$\varphi = 46^\circ 12' 44.46142''$		φ	Nove:	Stare:					
$\lambda = 16^\circ 25' 09.68025''$		λ	$y = 5609885.13$	$y =$					
h = 268.103		h =	x = 5119673.62	x =					
			Nadmorska visina: H trig. = 223.02 H geom. =	Nadmorska visina: H trig. = H geom. =					
Stabilizirao: Zdenko Potlaček			Dana:						
Primjedba:									
Pristup:									
Revizija:	Pronadena	Oštećena	Uništена	Pogodna-GPS	Mogućnost obn.	Obnovljena	Ocjena	Službenik	Datum

Izradba: ZAVOD ZA FOTOGRAFETRIJU D.D.

Slika 3: Položajni opis geodetskih točaka

(Slope), omjer između jačine signala i šuma (Ratio) i referentne variance. Vektori su optimirani po načelima što povoljnijeg omjera Ratia i referentne varijance (da bude što manja i bliže 1), a pri tome se nastojalo da minimalni broj satelita bude 5 koristeći dosadašnja pozitivna iskustva.

Nakon numeričke obrade svih izmјerenih vektora cjelokupno je polje geodetskih točaka izjednačeno u koordinatnom sustavu ETRS'89, epoha 1989.0. Kao fiksne točke u izjednačenju odabrane su tri povoljno raspoređene virtualne referentne točke (određene korištenjem WEB/FTP servera CROPOS sustava), s zadanim prostornim koordinatama B, L, h u koordinatnom sustavu ETRS'89, epoha 1989.0. Nakon izjednačenja dobivena je uobičajena ocjena točnosti izvršenih mjerjenja kao i konačnih rezultata. U okviru toga izračunate su srednje položajne pogreške novoodređenih točaka i pripadajuće elipse pogrešaka za vjerojatnost 95%. Tipična položajna pogreška dobivena izjednačenjem je do ± 15 mm, a visinska ± 40 mm za novostabilizirane točke homogenog polja, dok je za trigonometrijske točke nešto veća (ali u dozvoljenim okvirima) što je razumljivo s obzirom da nisu pri stabilizaciji predviđene za GPS opažanja. Za trigonometrijsku točku 39 obradom podataka nisu dobiveni zadovoljavajući rezultati jer se točka nalazi u visokoj šumi.

Na temelju ocjene točnosti dobivena je distribucija pogrešaka koja se temelji na zadovoljenom χ^2 testu.

4.2. Transformacija koordinata iz sustava ETRS'89 u državni koordinatni sustav

Pri satelitskim GPS mjerjenjima koordinate točaka izvorno se dobivaju u geocentričnom koordinatnom sustavu WGS84. Budući da smo prilikom izjednačenja koristili koordinate fiksnih točaka u sustavu ETRS'89 (elipsoid GRS'80), te su i sve dobivene točke definirane u tom sustavu. Da bi te koordinate bile uporabive za geodetsku praksu u Hrvatskoj danas, potrebno ih je transformirati u državni koordinatni sustav.

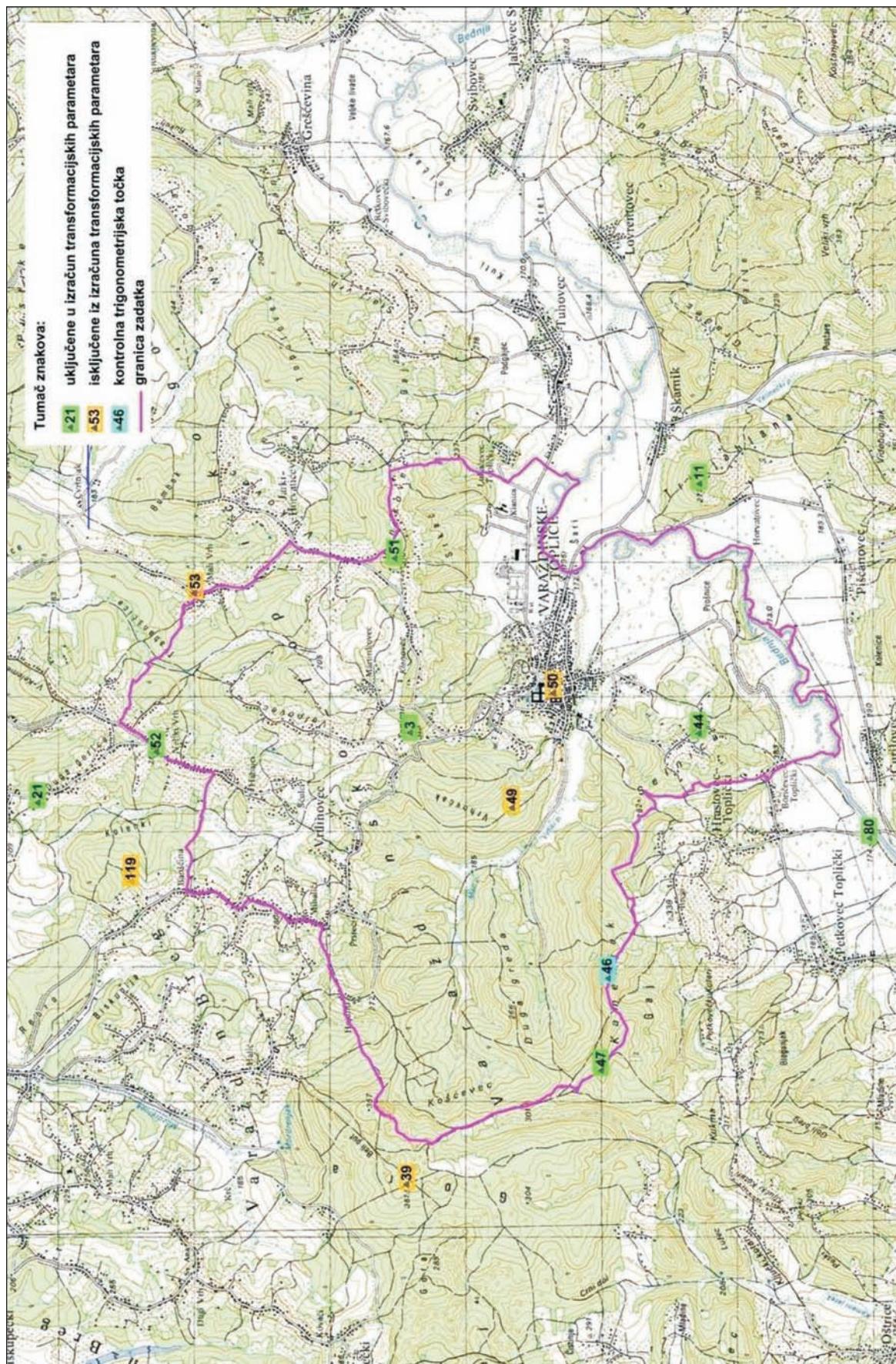
U ovom konkretnom slučaju to znači da su za izračunavanje transformacijskih koeficijenata (3 translacije, 3 rotacije i promjena mjerila) korištene koordinate 13 trigonometrijskih točaka (TT39 i TT50 su u transformaciji pokazala grubu pogrešku opažanja u GPS mjerjenjima).

Izračun transformacije je napravljen programskim paketom Dat_abmo. Prikaz izračunatih 7 parametara lokalne transformacije (iz sustava ETRS'89 u HDKS), koji u identičnim točkama suprostavlja koordinate (φ, λ i h) trigonometrijskih točaka i yxH prema podacima iz 25. obrasca (službena evidencija DGU).

Prikaz prve iteracije nakon koje su iz računa isključene dvije trigonometrijske točke 39 i 50, kod kojih razlike ukazuju na grubu pogrešku. U sljedećim iteracijama isključene su trigonometrijske točke 119, 53 i 49. U petoj iteraciji dobili smo definitivne transformacijske parametre za Grad Varaždinske Toplice koji su sračunati na osam trijonometrijskih točaka s referentnom pogreškom $>> \pm 0.083$ [m]

Ortometrijske visine svih opažanih točaka izračunate su korištenjem programskog paketa IHRG2000. Na osnovu određenih ortometrijskih visina geometrijskim nivelmanom za četiri nove točke homogenog polja i osrednjivanja visinskih razlika dobivenih undulacijom geoida i geometrijskim nivelmanom, te njihovim osrednjavanjem izvršili smo apsolutnu orijentaciju modela geoida (0,074 m), te smo time povećali točnost određenih visina.

Nakon toga izvršili smo, za praktične potrebe, računanje koordinata svih točaka u HDKS-u koristeći sračunate transformacijske parametre.

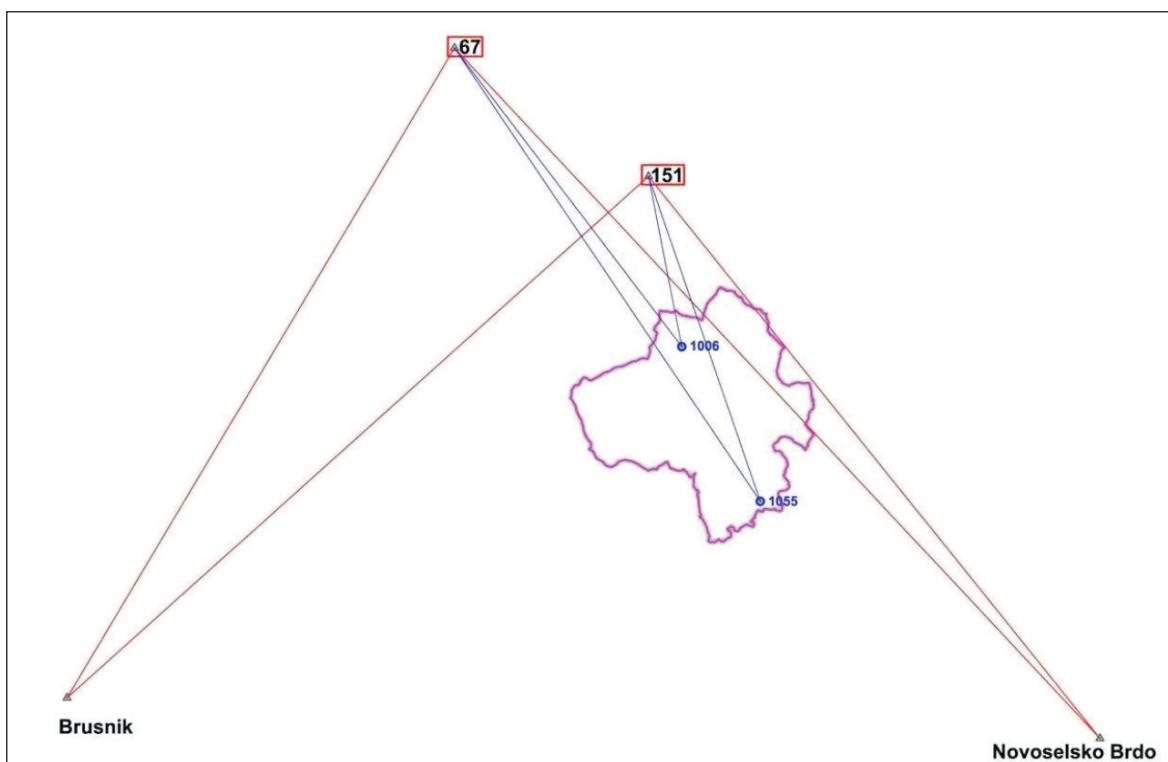


Slika 4: Pregledna karta trigonometrijskih točaka uključenih u izračun transformacijskih parametara

5. Usporedba s rezultatima obrade iz 1995. Godine

Vezne točke 1006 i 1055 mreže stalnih geodetskih točaka Varaždinskih Toplica uspostavljene 1995. godine, izmjerene su i izjednačene na točke okvirne mreže homogenog polja grada Varaždina TT67 i TT151. Kao osnova za opažanje točaka okvirne mreže homogenog polja grada Varaždina korištene su referentne točke republike Hrvatske (BRUSNIK i NOVOSELSKO BRDO) opažane u kampanji EUREF 1994 (datum ETRS'89).

Vrijeme mjerjenja mreže stalnih geodetskih točaka Varaždinskih Toplica iznosilo je od 8 do 20 minuta po točki. Mjerjenja su izvršena s 3 GPS uređaja 4000 SSE i SSi tvrtke Trimble, s time da su dva uređaja bili na bazama dok je jedan uređaj mjerio mrežu stalnih geodetskih točaka. Mjerjenja su provedena 1995. godine tijekom 11 radnih dana.



Slika 5: Skica povezivanja točaka okvirne mreže na I red iz 1995. godine

Izvršena je usporedba tih koordinata s točkama dobivenih u CROPOS sustavu te prikazana u tablici 1. Srednja vrijednost odstupanja po osima izračunata je na bazi 40 GPS točaka mjerenih u oba projekta, te iznosi:

$$\Delta y = \pm 3,2 \text{ cm}$$

$$\Delta x = \pm 3,0 \text{ cm}$$

$$\Delta h = \pm 7,2 \text{ cm}$$

Tablica 1: razlike koordinata u položajnom i visinskom smislu tih dvaju projekata

Br. točke	Δy (m)	Δx (m)	Δh (m)
3	0,000	-0,037	-0,059
4	-0,008	0,000	-0,066
5	0,068	-0,030	-0,079
6	-0,093	-0,025	-0,073
8	0,130	-0,027	-0,117
11	0,020	-0,044	-0,047
12	0,149	-0,120	-0,195
13	-0,016	0,012	-0,056
14	-0,045	-0,008	-0,086
16	0,073	0,019	-0,059
17	0,024	0,005	-0,063
19	0,000	0,000	-0,045
20	0,012	-0,016	-0,055
21	0,046	-0,041	-0,068
22	0,013	-0,032	-0,077
24	0,014	0,009	-0,120
25	0,015	-0,021	-0,105
26	0,025	-0,008	-0,008
27	0,148	0,014	-0,008
33	-0,013	0,002	-0,100
34	0,028	-0,043	-0,065
35	0,010	-0,037	-0,292
36	0,019	-0,027	-0,084
37	-0,049	0,002	-0,057
38	-0,013	-0,009	-0,065
41	0,022	0,003	-0,031
42	0,009	-0,060	-0,028
43	0,006	-0,026	0,000
44	-0,003	-0,027	-0,060
45	0,018	-0,027	-0,072
46	0,042	0,010	-0,088
48	-0,014	-0,087	-0,111
49	0,018	0,006	-0,034
50	0,008	-0,003	-0,043
51	0,009	-0,012	-0,075
57	0,002	-0,018	-0,048
58	0,010	-0,016	-0,030
59	0,011	-0,010	-0,046
61	0,012	0,011	-0,050
62	-0,002	-0,009	-0,098

6. Zaključak

Na temelju primijenjenog postupka ostvarene su zadovoljavajuće točnosti u položajnom i visinskom definiranju mreže stalnih geodetskih točaka. Kao dokaz kvalitete izvršenih radova treba istaći dobru položajnu i visinsku podudarnost novih koordinata trigonometrijskih točaka s postojećim koordinatama (Referentna pogreška ± 0.083 [m]), te minimalna odstupanja visina dobivenih korištenjem geoida (IHRG2000) u odnosu na visine dobivene geometrijskim nivelmanom.

Usporedbom novih koordinata mreže stalnih geodetskih točaka s koordinatama dobivenim 1995. godine (vidi tablicu 1), potvrđujemo kompatibilnost podataka dobivenih CROPOS sustavom s prethodnim podacima izjednačenih na mreže GPS točaka (I i II red).

Ovom prilikom želimo se osvrnuti i na sami rad na terenu, gdje su ostvareni bolji učinci jer nema pronalaženja baznih točaka, te postavljanja uređaja na baze koje ponekad nemaju povoljan raspored i pristup. Nema postavljanja i mjerena dopunske mreže veznih točaka. Za izvođenje radova potreban je manji broj uređaja. S postavljenim virtualnim bazama skraćujemo (optimiramo) vrijeme mjerena, što sve zajedno ukazuje na veću efikasnost u radu s CROPOS sustavom.

CROPOS u funkciji velikih geodetskih projekata

**Ilija Grgić*, Olga Bjelotomić*, Marija Repanić*,
Maro Lučić*, Tomislav Bašić***

Sažetak

Republika Hrvatska uspostavila je mrežu referentnih stаница CROPOS koja će biti osnovna infrastruktura za obavljanje mnogih geodetskih zadaća na području osnovnih geodetskih radova, kataстра i inženjerske geodezije. Projekt uspostave referentnih stаница proizlazi iz studije izvedivosti koju je izradio projektni tim tvrtke GEOHAUS iz Njemačke. Svrha sustava CROPOS je omogućiti određivanje položaja u realnom vremenu s točnošću od 2 cm u horizontalnom te 4 cm u vertikalnom smislu na čitavom području države. Referentne stанице CROPOS sustava postavljene su na međusobnoj udaljenosti od 70 km i raspoređene su tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske. CROPOS sustav trebao bi biti dostupan u bilo kojoj točci ali je to direktno ovisno o dostupnosti GSM/GPRS signala te se on nameće kao vrlo važna komponenta sustava nužna za njegov rad. Bez pouzdanog GSM/GPRS signala nemoguće je povezivanje na sustav i korištenje njegovih servisa u realnom vremenu. Obzirom da je Institut u svojoj dosadašnjoj praksi bio isključivo orijentiran na vlastite infrastrukturne resurse pri izvođenju terenskih radova, početkom godine pokrenuti veliki projekt definiranja novog modela geoida poslužio je ujedno za usporedbu efikasnosti i efektivnosti izvođenja velikih projekata na nivou države kao i za detektiranje trenutne dostupnosti CROPOS-a krajnjim korisnicima putem VIP signala.

Ključne riječi: CROPOS, novi model geoida

1. Uvod

Hrvatski geodetski institut je u okviru izvođenja osnovnih geodetskih radova u posljednjih nekoliko godina pokrenuo niz velikih projekata kao što su uspostava gravimetrijske mreže II. reda, prijenos visina na otoke u svrhu integriranja otoka u jedinstveni visinski sustav. Zajedničko svim projektima je da su u svrhu određivanja položaja točaka u prostoru, odnosno međusobne udaljenosti među točkama korištena GNSS tehnologija mjerjenja.

Precizno relativno GNSS pozicioniranje provodi se na temelju obrade vektora. Prostorno ograničenje postupka obrade vektora može se prevladati razvijanjem mreže referentnih stаница, pri čemu se fazna mjerjenja više referentnih stаница na mjernom području koriste za modeliranje s najvećom preciznosti onih pogrešaka koje ovise o duljini i smjeru kao što su: ionosferska i troposferska refrakcija, pogreška orbite, a osim tih na taj način će se smanjiti utjecaj višestruke refleksije signala, pogreške koja ovisi o izboru položaja stajališta. Umanjenje pogrešaka opažanja pojednostavljuje rješenje fazne višeznačnosti i omogućuje poboljšanje u određivanju koordinata.

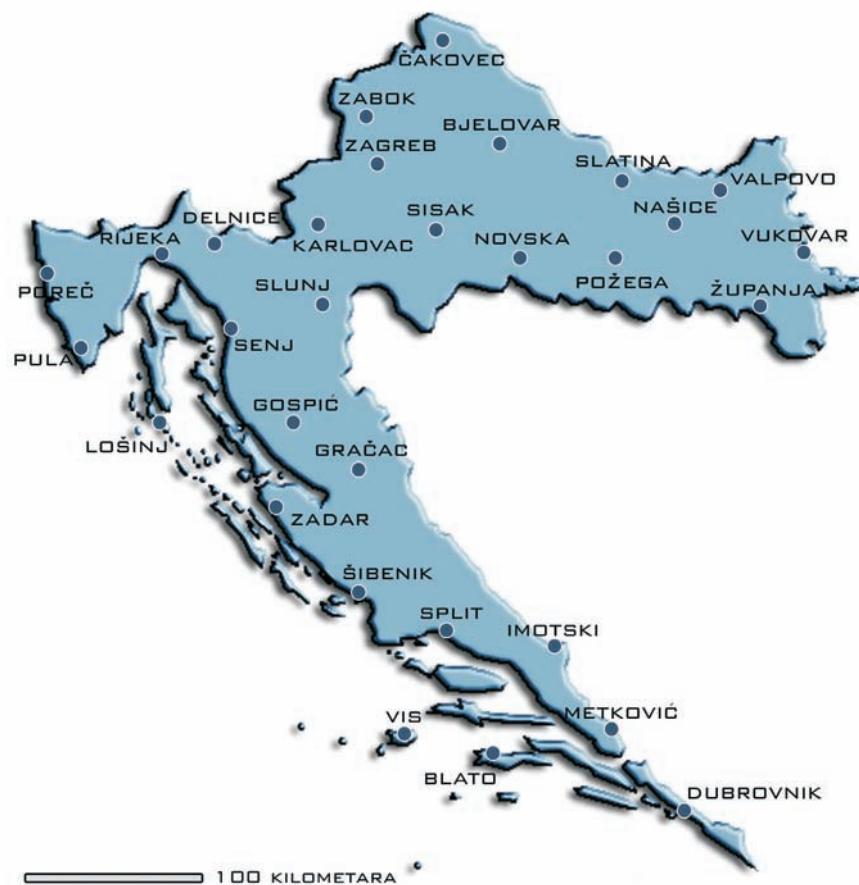
* Hrvatski geodetski institut, Savska cesta 41/XVI, 10144 Zagreb, p.p. 19, Croatia, tel: +385 1 6312 400, fax: +385 1 6312 410, e-mail: hgi@cgi.hr, web: www.cgi.hr

Modeliranje i umanjenje vrijednosti pogrešaka pri pozicioniranju u mreži referentnih stanica moglo bi implicitno uslijediti pomoću izjednačenja mreže uvođenjem dodatnih parametara. Međutim, višestruko svrhovitije je provesti preliminarnu obradu (preprocessing) podataka referentnih stanica u svrhu eksplicitnog računanja modela pogrešaka. Tada postoji mogućnost formiranja opažanja virtualne referentne stanice (VRS) za približni položaj mobilne rover stanice i na osnovu toga provesti izračun položaja putem kratkih vektora u odnosu prema virtualnoj referentnoj stanici.

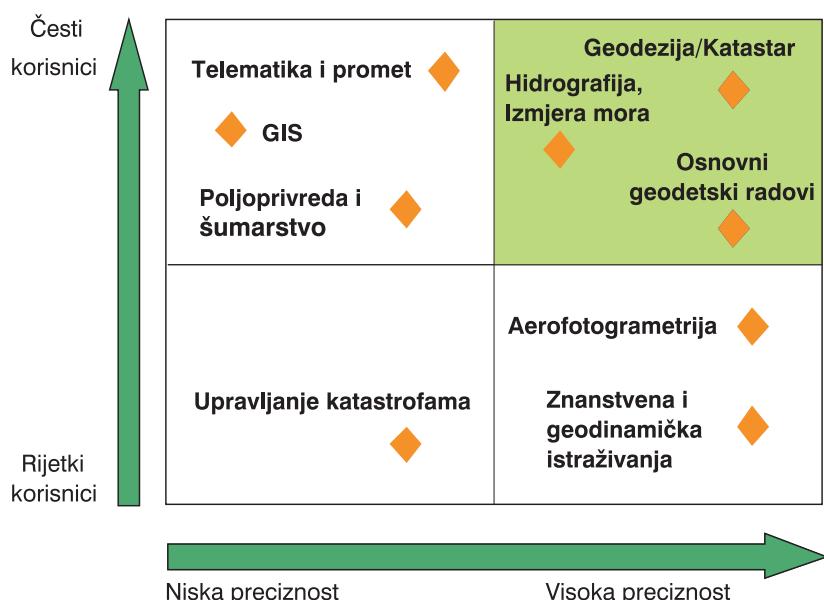
2. CROPOS

Hrvatska je uspostavila mrežu referentnih stanica koja će biti osnovna infrastruktura za obavljanje mnogih geodetskih zadaća na području osnovnih geodetskih radova, katastra i inženjerske geodezije. CROPOS sustav čini 30 referentnih GNSS stanica na međusobnoj udaljenosti od cca 70 km raspoređenih tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske u svrhu prikupljanja podataka satelitskih mjerena i računanja korekcijskih parametara.

Sve referentne stanice uspostavljene se prema identičnom modelu tako da nisu uspostavljene tzv. "master" stanice koje bi bile osnova za najpreciznije radove i istraživanja. Pregled položaja referentnih stanica prikazan je na slici 2.1.



Slika 2.1. Dizajn mreže CROPOS



Slika 2.2. Prikaz korisnika u ovisnosti s učestalošću korištenja usluga

Iz iskustava onih zemalja koje već imaju uspostavljen sustav referentnih stanica zajedničko je to da im usluge koristi vrlo širok spektar korisnika i izvan geodetske struke, slika 2.2.

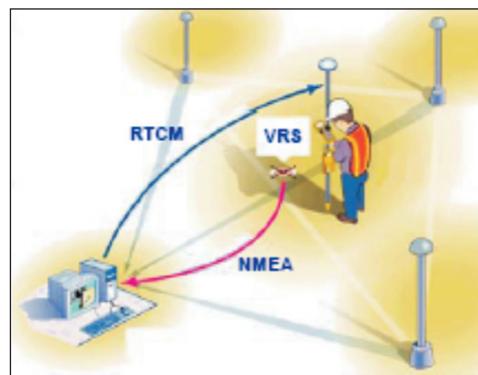
3. Virtualne referentne stanice

RTK metoda GNSS pozicioniranja je danas jedna od najčešće korištenih metoda izmjere u razvijenim zemljama. Međutim, GNSS izmjera u realnom vremenu ograničena je utjecajima ionosfere i troposfere koji se manifestiraju u obliku sustavnih pogrešaka u originalnim podacima opažanja. Eliminiranje utjecaja tih pogrešaka odnosno njihovo umanjivanje podrazumjevalo je da se u načinu rada koriste kratke udaljenosti GNSS rovera od baze. U većem broju europskih država danas postoje mreže referentnih GNSS stanica koje osiguravaju podatke individualnim korisnicima. Izmjera u realnom vremenu RTK metodom zahtijeva kratke udaljenosti GPS rovera od bazne točke, ili gustu mrežu referentnih stanica. U većini zemalja mreža je dovoljno gusta da bi zadovoljila metarski nivo preciznosti, ali nedovoljno dobra za RTK, točnost od 1 do 2 cm. U slučaju velikih udaljenosti od bazne stanice, kada su područja nepokrivena podacima za RTK izmjeru, korisnik je prisiljen sam uspostaviti svoju baznu točku. U najgorem slučaju se situacija još dodatno pogoršava, a to je u vrijeme perioda visoke solarne aktivnosti koje karakteriziraju značajne nestabilnosti u atmosferi.

3.1. Princip rada VRS-a

Mogućnosti primjene RTK metode signifikantno se proširuju konceptom VRS-a. Ukoliko se koristi VRS sustavne pogreške u podacima referentnih stanica se mogu umanjiti ili potpuno eliminirati, čime se ne samo omogućuje povećanje udaljenosti GNSS rovera od baze nego i povećanje ukupne pouzdanosti sustava i skraćenje vremena potrebnog za automatsku inicijalizaciju On The Fly (Wanninger, 2002). Princip rada VRS-a koristi se u uspostavljanju novih mreža ali u isto vrijeme i za poboljšanje performansi već uspostavljenih mreža referentnih stanica. VRS koncept temeljen je na mreži referentnih stanica međusobno povezanih telefonskim linijama s kontrolnim (komandnim) centrom. Svaka pojedina referentna stanica opremljena je GNSS prijamnikom, antenom, napajanjem i modemom koji služi za komunikaciju s kon-

trolnim centrom. Računalo u kontrolnom centru kontinuirano preuzima podatke svih GNSS prijamnika mreže referentnih stanica i na osnovu njih kreira bazu podataka regionalnih korekcija. Ti podaci koriste se za kreiranje VRS-a, koji je u suštini imaginarna točka nekoliko metara udaljena od GNSS rovera. Rover prima i interpretira podatke kao da se oni zaista odnose na fizičku referentnu stanicu koja se nalazi u njegovoj neposrednoj blizini. Kao rezultat dobije se evidentan porast performansi RTK izmjere (Landau, Vollath, 2002).



Slika 2.1.1. Princip rada VRS-a

Izračun opažanja VRS-a može se svagdje provesti gdje se raspolaže približnim položajem korisnika, korekcijama opažanja i korekcijskim modelima (Wanninger, 1998).

Pozicioniranje mobilne rover stanice rezultira korištenjem kratke bazne linije prema VRS-u, koja je oslobođena od izvora pogrešaka ovisnih o udaljenosti. Koordinate koje nastaju kao rezultat pozicioniranja pomoću VRS-a ne razlikuju se od rezultata koji se može ostvariti izjednačenjem mreže ukoliko se primjenjuju isti modeli pogrešaka.

VRS sustav funkcioniра tako da GPS rover odašilje svoju približnu poziciju kontrolnom centru putom standardne NMEA poruke, kao što je GGA, slika 3.1.1.. Taj format je izabran budući je zastupljen kod gotovo svih prijamnika. Kontrolni centar prihvata poziciju i odgovara roveru slanjem RTK ili DGPS korekcija u formatu RTCM. Odmah po prijemu korekcija GNSS rover računa preciznu poziciju te je nakon toga odašilje u kontrolni centar. Pomoću softvera u kontrolnom centru računaju se nove RTCM korekcije tako da izgleda kao da ih je emitirala baza stanica postavljena u neposrednoj blizini rovera te ih odašilje putom iste GSM veze.

Tehnika kreiranja sirovih podataka za nevidljivu referentnu stanicu daje ovom principu rada ime – koncept virtualne referentne stanice. Koristeći tu tehniku moguće je ostvariti kudikamo bolje rezultate RTK pozicioniranja unutar cijele mreže referentnih stanica. Očekivana horizontalna preciznost iznosi od 1 do 2 cm u slučaju kada su referentne stanice međusobno udaljene do 70 km.

4. Veliki projekti i CROPOS

U okviru redovite djelatnosti institut pokreće velike projekte iz domene osnovnih geodetskih radova, sukladno Zakonu o državnoj izmjeri i katastru nekretnina.

U posljednjih nekoliko godina institut je dovršio radove na osnovnoj gravimetrijskoj mreži te započeo radove na gravimetrijskoj mreži II. reda. Takav sveobuhvatni projekt podrazumijeva uspostavljanje polja gravimetrijskih točaka normirane gustoće, koja čine osnovu gra-

vimetrijskog referentnog sustava jednoznačno određenog u odnosu na svjetski referentni sustav. Osim toga, u svrhu integriranja velikih otoka u jedinstveni visinski sustav obavljeni su radovi prijenosa visina s kopna na otoke sjevernog Jadrana te se započelo s prijenosom visina na otoke srednjeg Jadrana.

Obzirom na činjenicu da se radi o enormno velikim projektima i da po svom opsegu oni nerijetko pokrivaju cijeli teritorij države od presudne važnosti je kako što efikasnije i uz što manje troškova obaviti terenske radove. Upravo zahvaljujući servisima CROPOS-a ostvarena je velika ušteda u finansijskim izdacima što je po logici stvari omogućilo da se pokrene i obavi više poslova na raznim projektima.

4.1. Prijenos visina na otoke

Jedna od najvažnijih zadaća državne izmjere su osnovni geodetski radovi. Između ostalog to podrazumijeva uspostavu referentnog visinskog sustava koji se realizira mrežom stalnih visinskih točaka (repera).

Pri prijenosu visina na otoke uspostavljene su mikromreže na mjestima gdje je otok najbliži kopnu, slika 4.1.1. i 4.1.2. Formirane mikromreže sastoje se od dvije točke sa strane kopna i dvije sa strane otoka, a kao osiguranje postavljen je jedan pomoći reper sa svake strane. Sva mjerena duljina u mikromrežama obavljena su istovremeno s mjeranjem pravaca, istim instrumentarijem i priborom, u istom vremenskom razdoblju. Korištena je metoda dvostrukih mjeranja, a broj ponavljanja mjerena duljina u istom smjeru podudaran je s brojem ponavljanja mjerena pravaca.

Prijenos visina obavljen je i pomoći 4 GNSS uređaja R7 s pratećom opremom, koji su primarno poslužili za precizno određivanje udaljenosti u slučaju kada one nisu mjerene s totalnim stanicama zbog prevelike udaljenosti, odnosno za kontrolu mjereneh udaljenosti. Jednako tako obavljen je prijenos visina GNSS nivelmanom te je kao takav uspoređen sa vrijednostima dobivenim trigonometrijskim nivelmanom.



Slika 4.1.1. Prijenos visina na otoke srednjeg Jadrana



Slika 4.1.2. Prijenos visina na otoke sjevernog Jadrana

Za prijenos visina s kopna na otoke nije nužno korištenje CROPOS servisa ali ukoliko se želi točke iz pojedinih mikromreža koristiti u budućnosti u raznim inženjerskim zadaćama važno je da osim definiranja visinske komponente one budu i položajno određene. Osim toga, u slučaju kada su točke prostorno određene moguća je usporedba rezultata iz različitih nivelmanских metoda mjerena.

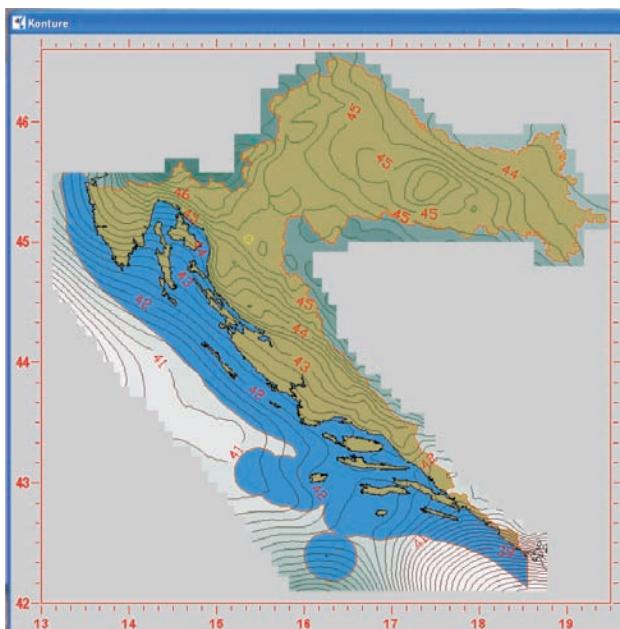
4.2. Model geoida

Pri određivanju visina nailazi se na temeljne probleme koji su u direktnoj korelacijskoj preciznošći mjernog postupka i visinskim referentnim sustavom. Pomoću GNSS metode dobivaju se elipsoidne visine koje se same po sebi ne mogu dalje upotrebljavati, nego se moraju korištenjem modela geoida pretvoriti u neki od postojećih sustava visina. Modeli geoida su u posljednje vrijeme značajno poboljšani i evidentno je da će u bliskoj budućnosti doći do daljnog poboljšanja preciznosti. Iz te perspektive promatrajući određivanje visina GNSS metodom će sve više s vremenom dobivati na značaju. U geometrijskom nivelmanom sukladno zakonu o prirastu varijanci ovisno o duljini dolazi do sumiranja raznorodnih izvora pogrešaka u rezultatima mjerena. Međutim, to nije slučaj pri određivanju visina GNSS metodom. Na većim udaljenostima određivanje visina GNSS metodom je preciznije, brže i ekonomičnije.

Projektnim zadaćama definirano je određivanje i izračun visina točaka za raznorodne potrebe, u pravilu sa svim elementima kojih se proizvođač u procesu izrade konačnog proizvoda mora pridržavati. Takve točke određuju se geodetskim metodama mjerena i instrumentarijem koji mjernom nesigurnošću zadovoljava postavljene zahtjeve točnosti. U procesu izrade geodetskih i kartografskih proizvoda su do sada proizvođači u pravilu računali normalno-ortometrijske visine iz modela geoida. Uočeni su brojni nedostaci u praksi pri primjeni modela geoida u izračunu normalno-ortometrijskih visina prema unaprijed postavljenim zahtjevima preciznosti u ovisnosti o pojedinom proizvodu.

Normalno-ortometrijske visine točaka računane su iz podataka undulacija geoida, pri čemu je korišten model geoida za područje Republike Hrvatske HRG2000, slika 4.2.1, ali se nije vodilo računa o činjenici da se model geoida, s vrlo visokom unutarnjom točnosti u iznosu 1-2

cm (Bašić 2001), treba prethodno apsolutno orijentirati za konkretno područje određivanjem normalno-ortometrijskih visina geometrijskim nivelmanom nekoliko, po području projektne zadaće, pravilno raspoređenih točaka.



Slika 4.2.1. HRG2000 model geoida

Primjena modela geoida u postupku računanja (normalnih) ortometrijskih visina novih točaka uz postavljene zahtjeve preciznosti moguća je samo uz prethodno povezivanje na repere državne visinske mreže.

Upravo zbog uočene slabosti apsolutne orijentacije HRG2000 modela geoida pokrenuti su sveobuhvatni radovi na području cijele države kojima je bio cilj odrediti sukladno rasteru od cca 10 km GNSS/nivelmane točke u kojima će biti određene elipsoidne i normalno-ortometrijske visine. Preko 500 točaka, u kojima će iz razlike visina biti poznata undulacija geoida, primarno će poslužiti kreiranju novog modela geoida u kojem će se zahvaljujući gustom rasteru točaka u velikoj mjeri otkloniti slabost apsolutne orijentacije. U svrhu položajnog i visinskog definiranja točaka korišteni su servisi CROPOS-a. Obzirom na veličinu projekta dobiveni su reprezentativni podaci o pokrivenosti Republike Hrvatske VIP signalom te na taj način i dostupnosti CROPOS-a putem tog mrežnog operatera. Zahvaljujući točkama GPS mreže II. reda koje su mjerene u okviru ovog projekta može se donijeti ocjena usklađenosti CROPOS-a sa postojećim GPS točkama.

4.2.1. Mjerenja rasterskih točaka

Osnovni kriterij za lokacije GNSS/nivelmanских točaka pri uspostavi cca 10km rastera je da točka bude u neposrednoj blizini postojećeg repera. U tu svrhu su priređeni položajni opisi repera po lokacijama. Za svaku lokaciju je predviđeno više rezervnih repera u slučaju da prvi planirani ne bude pronađen ili je uništen.

Uvijek kada je to moguće korištene su postojeće stalne točke geodetske osnove, fundamentalni repere, točke GPS mreže I. i II. reda, vertikalni repere itd., jer to pridonosi smanjivanju obujma terenskih radova a pridonosi kontroli kvalitete određivanja točaka odnosno za

repere bitno doprinosi pouzdanosti njihovog položajnog određivanja a time i naknadnog pronalaženja naročito kada se radi o vertikalnim reperima.

Nove točke stabilizirane su običnom ili prokrom bolcnom te je svaka lokacija točke fotografirana iz krupnog kadra (svrha prepoznatljivost tipa stabilizacije) i sitnog kadra (svrha odnos točke s neposrednim okružjem).

Za položajno definiranje točaka korištena je RTK metoda s dvostrukim zaposjedanjem točke prije i nakon nивeliranja te promijenjenom visinom antene. Broj epoha jednog zaposjedanja točke je 200, a korištena elevacijska maska bila je 10° . Podatke o RTK mjeranjima upisivani su u za to priređene obrasce. U slučaju kada servisi CROPOS-a nisu bili dostupni korištena je statička metoda s 15-minutnim vremenskim intervalom prikupljanja satelitskih signala. Za te točke predviđeno je naknadno procesiranje korištenjem VRS-a.

Sve točke su pohranjene u ETRS89 referentnom sustavu (φ, λ) dok će se njihove koordinate u novom položajnom datumu HTRS96 te ravninske GK koordinate odrediti korištenjem T7D transformacijskog modela.

5. Analiza rezultata

Zahvaljujući projektu novog modela geoida obavljeno je niz različitih vrsta mjerena koje mogu poslužiti za analizu dostupnosti CROPOS-a putem VIP signala, analiza položajnog i visinskog definiranja točaka određenih RTK metodom, analiza položajnog i visinskog definiranja točaka određenih statikom te analiza usklađenosti mreže referentnih stanica s postojećom mrežom stalnih geodetskih točaka.

5.1. Analiza položajnog i visinskog definiranja točaka

Nakon obavljenih terenskih mjerena i prikupljanja RINEX VRS podataka s CROPOS servisa za točke koje su određene statikom pristupilo se obradi. Procesiranje i izjednačenje referentnih točaka obavljeno je komercijalnim softverima Trimble Total Control (TTC), v. 2.73, i Trimble Business Center (TBC). Procesiranje i izjednačenje je obavljeno u referentnom ETRS89 sustavu, 1989.0.

Obrada se vršila za svaku pojedinu točku u odnosu na tri VRS stanice, pri tome su za svaku točku uneseni precizni efemeridi satelita sa službenih IGS stranica ([URL 1](#)).

Kao definitivne koordinate rasterskih točaka koje su mjerene RTK metodom s dvostrukim ili trostrukim zaposjedanjem uzeta je aritmetička sredina.

Procesiranje baznih linija i analiza podataka obavljena je sukladno sljedećim kriterijima:

- **ELEVACIJSKA MASKA:** 10°
- **INTERVAL PROCESIRANJA** 15s
- **KORIŠTENE EFEMERIDE:** Precizne efemeride
- **MODEL TROPOSFERE:** Niell ili Hopfield

Procesiranjem svih vektora unutar projekta pristupilo se izjednačenju. Za sve točke mjerene statikom obavljeno je prisilno izjednačenje (biased) na tri fiksirane VRS točke. Nakon izjednačenja proveden je statistički Tau test (nivo signifikasnosti 1%) za otkrivanje grubih pogrešaka (outlier), te su određene standardne pogreške težine na temelju matrice varijance-kovarijance rezultata procesiranih baznih linija koje su korištene za računanje standardne devijacije.

Tablica 5.1. Minimalna, maksimalna i srednja standardna odstupanja koordinata mjerene statikom

	N [mm]	E [mm]	h [mm]
MIN.	0.0	0.0	0.1
MAKS.	3.5	4.5	7.0
SREDNJE	0.4	0.5	0.7

Korištenje VRS usluge za određivanje položaja i visine točaka na osnovu skupa od 80-ak točaka govori u prilog izuzetno visoke pouzdanosti i preciznosti određivanja nepoznanica pod uvjetom da je vremenski interval prikupljanja satelitskih mjerena dovoljno dug.

Budući da je većina točaka, njih preko 400, određena RTK metodom mjerena u dvije ili više sesija konačne koordinate tih točaka formirane su težinskom sredinom. U tablici 5.2. prikazane su osnovni pokazatelji vrijednosti koordinata dobiveni na temelju težinske sredine.

Tablica 5.2. Minimalna, maksimalna i srednja standardna odstupanja koordinata mjerene statikom na temelju težinskih sredina

	N [mm]	E [mm]	h [mm]
MIN.	0.000	0.000	0
MAKS.	2.9	2.6	50
SREDNJE	0.3	0.3	6.1

Standardna odstupanja nepoznanica na temelju jedne sesije mjerena višestruko nadmašuju vrijednosti standardnih odstupanja dobivena na temelju težinske sredine iz dvije ili više sesija što je i logično jer su ona dobivena na temelju izjednačenja obavljenih mjerena i direktno su preuzimana iz kontrolera. Osnovni parametar koji su mjerena u okviru sesije morala zadowoljiti je da standardna odstupanja položaja i visina točaka mjerene statikom ne prelaze vrijednosti od 2 cm po položaju i 3 cm po visini. Tako dobivena standardna odstupanja nepoznanica iz pojedine sesije poslužila su za formiranje težinske sredine iz kojih su formirane konačne vrijednosti koordinata i visina GNSS/nivelmanskih točaka.

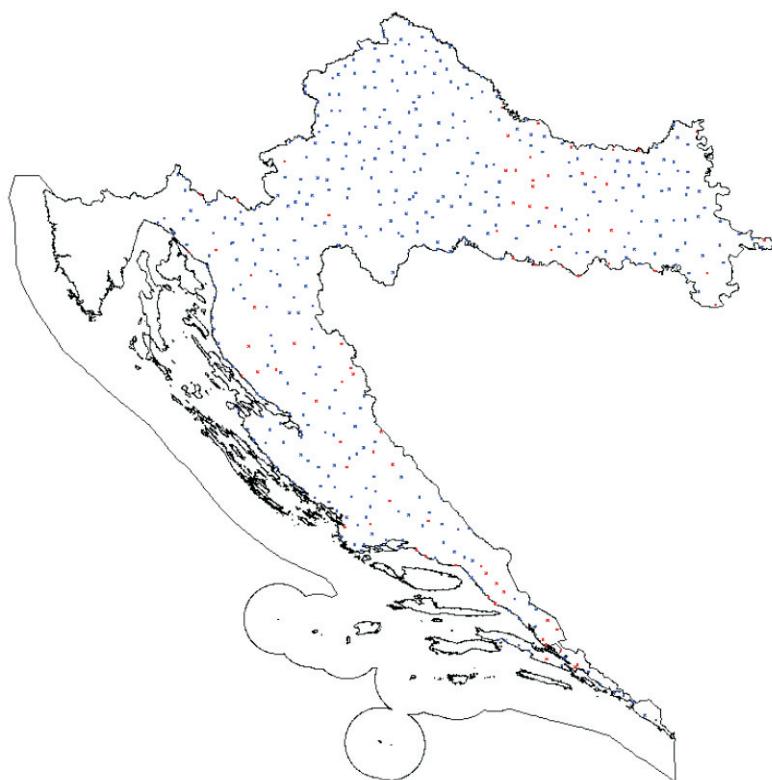
Analiza dobivenih standardnih odstupanja po pojedinim sesijama, jednako kao i na temelju težinske sredine, te na temelju raspršenosti točaka po cijelom području države ukazuju na to da usluga CROPOS-a za određivanje položaja i visina točaka u realnom vremenu u potpunosti odgovara osnovnim postavljenim zahtjevima koje je VPPS usluga CROPOS-a trebala ispuniti (URL 2).

5.2. Analiza dostupnosti CROPOS-a putem VIP signala

Ne želeći se upuštati u medijske natpise o slabijoj ili boljoj pokrivenosti Republike Hrvatske signalima mobilnih mreža svoju analizu mogli smo ograničiti isključivo na VIP signal obzirom da se te usluge koriste u dnevnim aktivnostima Instituta.

Sukladno informacijama iz VIP-a prema svim provedenim mjeranjima oni imaju najkvalitetniju mrežu u Hrvatskoj te osiguravaju maksimalnu pokrivenost signalom s obzirom na vrlo zahtjevne uvjete i probleme koje imaju na teritoriju države.

Osim toga mobilni operateri ističu da je dobivanje svih dozvola za postavljanje baznih stanica u nacionalnim parkovima, parkovima prirode i na drugim zaštićenim lokacijama izuzetno složen postupak. Vjerojatno ne samo zbog toga nije očekivati da ćemo u bliskoj budućnosti imati dostupnost CROPOS-a onaku kakva nam je neophodna za obavljanje dnevnih inženjerskih zadaća ne samo na području geodezije.

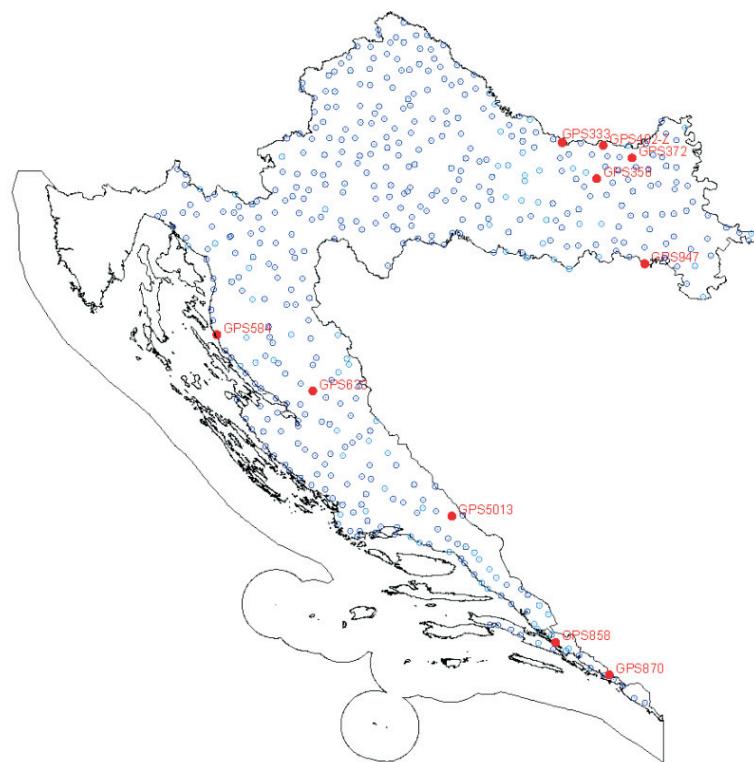


Slika 5.2.1. Točke mjerene RTK (plavo) i točke mjerene statičkom (crveno) metodom

Na temelju preko 500 izmjerениh rasterskih točaka dobivena je reprezentativna slika dostupnosti CROPOS-a putem VIP signala na teritoriju države, slika 5.2.1. Obzirom na činjenicu da je veći broj točaka mjerena statikom, njih oko 80, može se reći da je nužno u svrhu bolje iskoristivosti vrlo skupog sustava CROPOS-a i njegovih servisa čim prije osigurati još kvalitetniju pokrivenost signalima mrežnih operatera. U suprotnom se može desiti da se veliki geodetski projekti, ne samo ovakvi kao što je model geoida nego i oni koji prate nastajanje prometne i druge infrastrukture, ne mogu u potpunosti oslanjati na CROPOS nego je neophodno kombiniranje s dodatnim GNSS instrumentarijem koji će se postavljati kao bazne stanice u svrhu određivanja položaja i visina točaka u prostoru u realnom vremenu.

5.3. Analiza usklađenosti CROPOS-a s postojećom mrežom stalnih geodetskih točaka

Tijekom obrade podataka ispitivana je unutarnja pouzdanost mjerjenja. Unutarnja pouzdanost se odnosi na ispitivanje pouzdanosti mjerenih veličina obzirom na grube pogreške u procesu mjerjenja i računanja a provodi se pomoću statističkih testova. U tu svrhu nakon izjednačenja proveden je statistički Tau test koji su prošli svi vektori.



Slika 5.3.1. Prikaz GNSS/nivelmanskih i kontrolnih točaka

Vanjska pouzdanost, odnosno pouzdanost rezultata mjerjenja dobivenih na osnovu usporedbe s koordinatama kontrolnih točaka provodila se mjerenjem na geodinamičkim točkama te točkama GPS mreže I. i II. reda, slika 5.3.1. Usporedba koordinata prikazana je u tablici 5.3.1.

Tablica 5.3.1. Usporedba koordinata i visina na identičnim točkama

Točka	Standardna odstupanja			Razlike u koordinatama		
	σ_ϕ [mm]	σ_λ [mm]	σ_h [mm]	Δ_h [m]	$\Delta\phi$ [m]	$\Delta\lambda$ [m]
GPS 5013	8	7	7	-0.004	0.04	-0.01
GPS 947	4	22	2	-0.019	-0.01	0.00
GPS 333	5	12	1	-0.020	-0.01	0.01
GPS 402-Z	3	14	13	-0.022	-0.02	0.00
GPS 858	9	6	0	-0.018	-0.05	-0.01
GPS 584	10	11	0	0.055	-0.03	0.01
GPS 633	0.1	0.1	0	0.006	-0.02	0.00
GPS 947	1.5	1.0	2	-0.021	0.00	0.01
GPS 356	0.1	0.1	0	0.029	-0.03	-0.01
GPS 333	0.4	0.5	1	-0.015	-0.01	0.01
GPS 372	0.2	0.1	0	-0.018	-0.02	-0.01
GPS 870	0.1	0.1	0	0.001	-0.04	0.01
GPS 402-Z	0.1	0.1	13	-0.022	-0.02	0.00

Razlika od 2-3 cm je očekivana s obzirom na interval prikupljanja satelitskih signala po točki te na deklariranu preciznost određivanja položaja i visina točaka u slučaju korištenja CROPOS servisa. U slučaju većih razlika od 3 cm moguće je da su one rezultat nevidljivih a prisutnih pogrešaka kao što su pogreška centriranja, pogreška rektificiranja podnožnih ploča korištenih pri uspostavljanju točaka GPS mreže, pogreške mjerjenja visine GNSS antena, itd. Sve razlike na identičnim točkama do 3 cmm reda vrijednosti ukazuju na činjenicu da je osnovna postavka projekta glede preciznosti određivanja položaja i visina točaka zadovoljena.

6. Zaključak

Za ostvarenje homogene točnosti na nacionalnoj razini i boljoj povezanosti s okruženjem, istovremeno u svrhu reduciranja troškova u svakodnevnoj izvedbi geodetskih zadaća uspostavljena je mreža nacionalnih referentnih stanica. Veći dio zapadne Europe je uspostavio modernu infrastrukturu i taj trend je zahvatio i područje istočne i jugoistočne Europe. Države u neposrednom Hrvatskom okružju, s izuzetkom Bosne i Hercegovine, već su prije djelomično ili u potpunosti uspostavile mreže referentnih stanica. Usputavom CROPOS-a naša zemlja uključila se u modernu europsku i svjetsku geodetsku infrastrukturu.

U svrhu bolje iskoristivosti servisa CROPOS-a, na temelju rezultata dobivenih iz projekta kreiranja novog modela geoida, neophodno je osigurati bolju pokrivenost Republike Hrvatske signalima mrežnih operatera kako bi se veliki projekti koji pokrivaju veće područje mogli u potpunosti osloniti na servise CROPOS-a. Dok se to ne dogodi inženjeri će i ubuduće biti prisiljeni koristiti vlastiti GNSS instrumentarij kao baznu stanicu u svrhu trenutnog određivanja položaja i visina točaka u prostoru RTK metodom.

Projekt kreiranja novog modela geoida obuhvatio je i veći broj postojećih geodinamičkih točaka i točaka GPS mreže. Usporedba koordinata dobivenih korištenjem servisa CROPOS-a s poznatim koordinatama tih točaka određenih tijekom pojedinih GPS kampanja ukazuje na dobru usklađenost CROPOS-a s poljem stalnih točaka geodetske osnove.

7. Literatura

Bašić, T. (2001): Detaljni model geoida Republike Hrvatske HRG2000 (Detailed Geoid Model of the Republic of Croatia), Proceedings of the State Geodetic Administration “Reports on Scientific and Professional Projects from the year 2000”, editor Landek I., page 11-22, Zagreb.

GEOHAUS, (2005): Machbarkeitsstudie für das permanente GNSS-Netz – CROPOS, konačna verzija.

Landau, H., Vollath, U. (2002): Virtual Reference Station Systems, Journal of Global Positioning System, Vol. 1, No. 2, 137-143.

Wanninger, L., (1998): Verwendung virtueller Referenzstationen in regionalen GPS-Netzen, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN), 105:113-118, Wichmann Verlag, Heidelberg.

Wanninger, L., (2002): Virtual Reference stations for centimeter-Level Kinematic Positioning, Proc of ION GPS2002, Portland, Oregon, 1400-1407.

<http://www.wasoft.de/lit/ion02f36.pdf>.

URL 1: <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/product/IGS>

URL 2: <http://www.cropos.hr>

Implementacija CROPOS sustava u nastavi na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu

Danijel Šugar¹, Marijan Marjanović², Željko Bačić³

Sažetak

Reformom nastave na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 2005. godine došlo je do uvođenja preddiplomskog i diplomski studija Geodezije i geoinformatike. Novi nastavni program obuhvaća i materiju permanentnih GNSS mreža, odnosno CROPOS sustava, što je obuhvaćeno u više predmeta. Temeljna teorijska znanja o predmetnoj materiji studenti dobivaju u petom semestru preddiplomskog studija iz predmeta "Satelitsko pozicioniranje". Produbljena teorijska i praktična znanja iz predmetne materije studenti dobivaju u drugom semestru diplomskog studija na usmjerenu Geodezija u obveznom predmetu "Navigacija" i trećem semestru diplomskog studija, na usmjerenu Geoinformatika u obveznom predmetu "Integrirani sustavi u geomatici". Obzirom na dvogodišnje iskustvo nastave iz predmeta "Satelitsko pozicioniranje" i prvu godinu u kojoj se predaje predmet "Navigacija" te činjenicu da je CROPOS sustav u punoj funkciji, posebna pažnja posvećena je ovoj tematiki, obzirom da je riječ o sustavu koji donosi značajne prednosti u korištenju GNSS tehnologije za geodetska i druga mjerena te mijenja način provedbe pojedinih geodetskih aktivnosti. Stoga je u radu opisan način na koji je materija permanentnih GNSS mreža ugrađena u preddiplomsku i diplomsku nastavu na Geodetskom fakultetu kako kroz predavanja, tako i vježbe.

Ključne riječi: reforma nastave, preddiplomski i diplomski studij, CROPOS sustav, CORS, VRS, GNSS

1. Uvod

Primjenom metoda satelitske geodezije uvelike se promijenio pristup određivanju koordinata geodetskih točaka. Nekada se geodetska osnova uspostavljala razvijanjem i proglašenjem trigonometrijskih mreža, počevši od mreže prvog reda preko mreža četvrtog reda do mreža poligonskih vlakova. Potaknut razvojem globalnih sustava za pozicioniranje, posebice GPS-a, ali i drugih sustava te njihovom primjenom u geodetskoj praksi, Geodetski fakultet je reformom nastavnog plana i programa 1994. godine uveo nekoliko kolegija koji su pokrivali područje satelitske geodezije. Posljednja reforma nastave se dogodila 2005. godine kada je došlo do uvođenja Preddiplomskog i diplomskog studija geodezije i geoinformatike. Službeno puštanje u rad CROPOS sustava potaknulo je njegovu skoru implementaciju u nastavi kroz predavanja i vježbe kolegija "Navigacija" u drugom semestru Diplomskog studija geodezije i geoinformatike, usmjereno Geodezija.

¹ Mr. sc. Danijel Šugar, dipl. ing. geod., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 1000 Zagreb, e-mail: dsugar@geof.hr

² Dr. sc. Marijan Marjanović, dipl. ing. geod., Državna geodetska uprava, Horvatova 82, 10000 Zagreb, e-mail: marjan.marjanovic@dgu.hr

³ Prof. dr. sc. Željko Bačić, dipl. ing. geod., Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 1000 Zagreb, e-mail: zeljko.bacic@dgu.hr

2. Reforma nastave na Geodetskom fakultetu

Akademске godine 2005/06. na upisana je prva generacija studenata u skladu s tzv. Bolonjskim procesom. Naime, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu je dana 02. lipnja 2005. nakon dobivene pozitivne međunarodne recenzije od nadležnog ministra znanosti, obrazovanja i športa dobio dopusnicu za izvođenje Preddiplomskog i diplomskog sveučilišnog studija geodezije i geoinformatike. Uvažavajući stavove i potrebe geodetske struke te vodeći računa o znanstvenoj djelatnosti usvojen je sustav '3+2+3' tj. preddiplomski studij u trajanju od 3 godine, diplomski studij u trajanju od 2 godine te poslijediplomski studij u trajanju od 3 godine. Preddiplomski studij donosi 180 ECTS bodova, dok diplomski studij donosi 120 ECTS bodova. Završetkom preddiplomskog studija student stječe akademski naziv sveučilišni prvostupnik/ prvostupnica inženjer/inženjerka geodezije i geoinformatike (univ. bacc. ing. geod. i geof.), dok se završetkom diplomskog studija stječe akademski naziv magistar inženjer/inženjerka geodezije i geoinformatike (mag. ing. geod.). Završetkom poslijediplomskog studija pristupnik stječe se akademski stupanj doktora znanosti (dr. sc.).

Akademске godine 2007/2008. polaganjem završnog ispita na preddiplomskom studiju geodezije i geoinformatike diplomiralo je 39 studenata. Od spomenutog broja studenata, 30 ih je upisalo diplomski studij, usmjerenje Geodezija, 6 ih je upisalo diplomski studij, usmjerenje Geoinformatika dok su preostali studenti nastavili obrazovanje u inozemstvu (1) ili su se zaposlili u geodetskoj operativi (2). Studentima koji su završili preddiplomski studij i upisali diplomski studij, usmjerenje Geoinformatika, pridružilo se pet studenata s drugih sveučilišnih studija, dakle u ak. god. 2008/2009 diplomski studij, usmjerenje Geoindormatika je upisalo ukupno 11 studenata.

3. Nastavni program

Usporedno s reformom nastave na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu pristupilo se izradi novog nastavnog programa. Svaki predmet donosi određeni broj ECTS (*European Credit Transfer System*) bodova, a sama provedba nastave kolegija je organizirana kroz nekoliko oblika (predavanja, vježbe u praktikumu, terenske vježbe, laboratorijske vježbe, seminar, auditorne vježbe, projektantske vježbe). Kako bi se u nastavu uključile suvremene metode satelitske geodezije, promjenom nastavnog programa 1994. godine došlo je do uvođenja novih kolegija poput Satelitske geodezije I, Satelitske geodezije II te Satelitske geodezije III. Kasnije se od kolegija Satelitska geodezija I i Satelitska geodezija II formirao jedinstveni predmet pod nazivom Satelitska geodezija kojeg su slušali studenti u 5. i 6. semestru sveučilišnog dodiplomskog studija. Predmet Satelitska geodezija III, kasnije preimenovan u kolegij Integrirani sustavi u navigaciji su slušali studenti 7. semestra na usmjerenu Satelitska i fizikalna geodezija. Novim nastavnim programom problematika vezana za satelitsku geodeziju, ponajprije za primjenu Globalnog Pozicijskog Sustava (GPS) je nastavljena kroz kolegij Satelitsko pozicioniranje u 5. semestru preddiplomskog studija, te kolegij Navigacija (obavezan predmet) u 1. semestru na diplomskom studiju, usmjereno Geodezija i kolegija Integrirani sustavi u geomatici (obavezan predmet) u 5. semestru na diplomskom studiju, usmjereno Geoinformatika. Nositelj svih spomenutih predmeta je prof. dr. sc. Željko Baćić.

Satelitsko pozicioniranje donosi 5 ECTS bodova, a održava se kroz 2 sata predavanja i 2 sata projektantskih vježbi tjedno. Sadržajno, predavanja iz kolegija Satelitsko pozicioniranje uključuju sljedeće cjeline:

1. Osnovni principi satelitskog pozicioniranja
2. Referentni sustavi
3. Orbite satelita

4. Signali satelita i atmosfera
5. GPS
6. GLONASS i drugi sustavi
7. Odašiljanje i prijam signala; opažane veličine
8. Matematički modeli opažanja
9. Relativno pozicioniranje i mjerjenje s GPS-om
10. Izvođenje i obrada mjerena
11. Permanentne GNSS mreže i virtualne stanice; CROPOS sustav
12. Poboljšani GNSS sustavi i GNSS servisi

Projektantske vježbe se sastoje od sljedećih aktivnosti: planiranje opažanja korištenjem *Planning* modula programskog paketa *Trimble Geomatics Office ver 1.63*, upoznavanje s radom GPS uređaja *Trimble 4000 SSi* i *Trimble 5700*, relativno statičko pozicioniranje (Brza statika), obrada podataka mjerena (računanje i optimiranje vektora) i izjednačenje geodetske mreže točaka u te na kraju izrada tehničkog izvješća.

Predmet Navigacija donosi 6 ECTS bodova, održava se kroz 2 sata predavanja i 2 sata projektantskih vježbi tjedno. Sadržajno, predavanja iz kolegija Navigacija uključuju sljedeće cjeline:

1. Navigacija i pozicioniranje, permanentne GNSS mreže, VRS
2. CROPOS sustav
3. Primjena permanentnih GNSS mreža
4. OTF algoritmi
5. Integracija senzora, svrha integracije
6. Koraci u integraciji senzora, integracija senzora GPS+INS
7. Integracija GPS+INS+CCD – Visat
8. Integracija senzora i daljinska istraživanja
9. Integracija GNSS-a i GIS-a
10. Pasivna i aktivna uloga GIS sustava, značaj prostornih podloga
11. Društvo budućnosti: Geo-osposobljeno društvo

Obzirom da je nastava u ljetnom semestru ak. god. 2008/2009 započela 02. veljače 2009., u praktični dio nastave, tj. projektantske vježbe su uključeni VPPS i GPPS servisi CROPOS sustava. Ovdje valja naglasiti da uključenje spomenutih servisa u kolegij Navigacija na diplomskom studiju, usmjerenje Geodezija, predstavlja implementaciju CROPOS sustava u nastavi na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i to nepuna dva mjeseca od njegova službenog puštanja u rad. Naime, CROPOS sustav je svečano pušten u rad dana 09. prosinca 2008. u prostorijama muzeja Mimara u Zagrebu. Obzirom da je CROPOS sustav sa sobom donio novi pristup u primjeni satelitskih mjernih tehnika u geodeziji, projektantske vježbe su koncipirane kroz primjenu CROPOS sustava za geodetska mjerena i usporedbu s klasičnim GNSS tehnikama. Dakle, vježbe su podijeljene su sljedeće cjeline.

1. Primjena CROPOS sustava: VPPS servis
2. Klasična GPS kinematika (*Post Processed Kinematic*)
3. Primjena CROPOS sustava: GPPS servis (podaci opažanja CORS i VRS stanica u RINEX formatu).

Sva terenska mjerena u sklopu projektantskih vježbi iz prije spomenutih kolegija se izvode na srednjoškolskom igralištu između zgrade Fakulteta i muzeja Mimara. Geodetska mreža se sastoji od 6 trajno stabiliziranih točaka. Točke GFP2 i GFP6 se nalaze na zapadnom nasipu, točke GFP3, GFP4 i GFP6 se nalaze na istočnom nasipu, dok se točka GFP1 nalazi uz atletsku stazu. Na slici 1. su prikazane točke geodetske mreže zajedno s ZAGR referentnom točkom CROPOS sustava koja se nalazi na zgradi Geodetskog fakulteta.



Slika 1: Mreža geodetskih točaka (GFP1....GFP6) i referentna točka iz CROPOS mreže (ZAGR).

3. Primjena VPPS servisa CROPOS-a

Za provedbu terenskog dijela nastave, odnosno primjenu VPPS servisa CROPOS sustava od Sektora za državnu izmjjeru, Odjela osnovnih geodetskih radova Državne geodetske uprave posuđena su četiri kompleta GNSS uređaja Trimble R8. Komplet se sastoji od sljedeće opreme:

- Integrirana antena i GNSS prijamnik
- Kontroler TCU s držačem
- Mjerni štap duljine 2 m s doznom libelom
- Držač mjernog štapa

Glavna tehnička specifikacija Trimble R8 GNSS uređaja uključuje sposobnost praćenja sljedećih komponenti signala kroz 72 kanala: *GPS L1 C/A Code, L2C, L1/L2/L5 Full Cycle Carrier, GLONASS L1 C/A Code, L1 P Code, L2 P Code, L1/L2 Full Cycle Carrier* (Trimble, 2008).

U sklopu auditornih vježbi studenti su upoznati sa sklapanjem mjernog uređaja i opreme kao i mogućnostima te načinom provedbe mjernih aktivnosti u sklopu terenskih vježbi. Preko sustava za e-učenje kolegija Navigacija na Geodetskom fakultetu studentima su na raspolaganje dane upute u PDF formatu za korištenje VPPS servisa CROPOS-a.

Zadatak koji je svaki student trebao samostalno obaviti je bilo određivanje koordinata točaka na srednjoškolskom igralištu. Samom opažanju na terenu prethodilo je obavljanje sljedećih radnji:

- Kreiranje novog projekta na TCU kontroleru
- Odabir koordinatnog sustava: Bez projekcije/ bez datuma

Odabirom načina opažanja ‘cropos vrs..’ uređaj se spajao preko GPRS-a na mobilni Internet. Kada je jednom ostvarena Internet konekcija, trebalo se spojiti na tzv. točku montaže CROPOS VRS RTCM3.1. Po ostvarenom primanju korekcije i inicijalizaciji RTK mjerena nastavljeno je s opažanjem na svakoj točki mreže u trajanju od 1 minute. Obzirom da nisu korišteni nikakvi transformacijski parametri, koordinate točaka su određene u referentnom okviru ETRF2000, epoha 2008.83.

Preuzimanje podataka iz TCU kontrolera napravljeno je preko *.DC datoteka koje su kasnije učitane u programski paket za obradu i izjednačenje GPS opažanja TGO ver. 1.63. Iako RTK mjerena nije moguće izjednačiti zbog nepostojanja prekobrojnih mjerena, moguće je dobiti ocjenu točnosti dobivenih koordinata točaka.

4. Primjena klasične kinematičke metode (PPK)

Klasična kinematika kao relativna metoda pozicioniranja poznata je i pod nazivom *Post Processed Kinematic* (PPK). Kako se radi o relativnoj metodi pozicioniranja, potrebno je referentni uređaj postaviti na po koordinatama poznatoj točki dok se pokretnim uređajem prikupljaju opažanja na nepoznatim točkama. Kao poznata poslužila je točka GFP1 koja se nalazi najbliže težištu mreže. Na referentnu točku je postavljen GPS uređaj Trimble 5700-baza. Opažanje na nepoznatim točkama je obavljeno GNSS uređajima Trimble R8. Upute u PDF formatu za rad s GNSS uređajima Trimble R8 pri RTK i kinematičkim opažanjima studentima su stavljene na raspolaganje putem e-learning sustava. Svaki je student u TCU kontroleru formirao zaseban projekt, a opažanja su prikupljena koristeći način mjerena PPK predefiniran u samom kontroleru. Prije samog opažanja potrebno je bilo obaviti statičku inicijalizaciju mjerena. Za Trimble uređaje pri vidljivosti 6 ili više satelita predefinirano trajanje statičke inicijalizacije iznosi 8 minuta. Na svakoj točki je opažanje trajalo 1 minutu. U slučaju gubitka prijema signala od najmanje četiri satelita, na sljedećoj točki je trebalo obaviti ponovnu inicijalizaciju.

5. Primjena GPPS servisa CROPOS-a

GPPS servis CROPOS-a omogućava preuzimanje datoteka opažanja s referentnih (CORS ili VRS) stanica uz prethodno definiranje traženog intervala vremena, kao i intervala pohrane podataka. Podaci opažanja svake stanice daju se u RINEX formatu podataka kako bi se obrada podataka mogla obaviti u programskim paketima različitih proizvođača. Osim sirovih podataka opažanja s web-stranica CROPOS-a (URL 7) moguće je i preuzeti broadcast efemeride kako GPS tako i GLONASS satelita. Podaci opažanja GPS i GLONASS satelita dolaze u RINEX datotekama s nastavkom *.09o, podaci GPS broadcast efemerida daju se u datotekama s nastavkom *.09n, dok se GLONASS efemeride nalaze u datotekama nastavkom *.09n.

Katedra za satelitsku geodeziju raspolaže s pet GPS uređaja: tri uređaja Trimble 4000 SSI i dva uređaja Trimble 5700 (bazni i rover uređaji). Spomenuti uređaji se koriste i u nastavi iz kolegija Satelitsko pozicioniranje na Preddiplomskom studiju geodezije i geoinformatike.

S uređajima Trimble 4000 SSi koriste se antene *L1/L2 w/ground plane*, s baznim uređajem Trimble 5700 koristi se antena *Zephyr geodetic*, dok se s rover prijamnikom Trimble 5700 koristi *Zephyr antenna*. Obzirom na veličinu zaštitne ploče antene L1/L2 w/ground plane njezina visina se mjerila na četiri različita mjesta (utora), na Zephyr geodetic anteni na tri, dok se na Zephyr anteni visina mjerila na jednom mjestu. Sva su se očitanja pri određivanju visina antene mogla najviše razlikovati za 1 mm, što je predstavljalo potvrdu ispravnog horizontiranja i centriranja antene.

Svakom je studentu dodijeljen jedan GPS uređaj i točka iz geodetske mreže na srednjoškolskom igralištu na kojem je obavljeno opažanje. Opažanje je obavljeno u trajanju od 70 minuta i intervalom registracije od 5 sekundi, iako je vrijeme potrebno za opažanje pri određivanju vektora brzom statičkom metodom bilo 58 minuta ($10 \text{ min} + 1 \text{ min/km} = 10 \text{ min} + 48 = 58 \text{ min}$). Posebna se pozornost posvetila mjerenu visine antene i ispunjavanju terenskih zapisnika.

Kao referentne točke iz CROPOS mreže odabранe su CORS stanice ZAGReb, SISAk i ZABOk. Razlog odabira tih točaka leži u činjenici da se opažana mreža nalazi u trokutu zatvorenom spomenutim točkama. Udaljenosti težišta mreže od CORS stanica je kako slijedi:

CROPOS CORS stanica	Udaljenost [km]
ZAGReb	0,2
SISAk	48
ZABOk	25

Osim podataka CORS stanica, korišteni su i podaci s CROPOS VRS stanica. Kako bi bila očuvani kutovi presjeka vektora, na približnoj udaljenosti 2 km od težišta mreže, a u smjeru prethodno odabranih CORS stanica, određene su točke s cjelobrojnim sekundama po elipsoidnim koordinatama (φ, λ). Točke su nazvane VirA, VirB, VirC, a njihov međusobni raspored zajedno s točkama mreže je vidljiv na slici 2.



Slika 2: Referentne točke CROPOS VRS mreže

6. RINEX datoteke i efemeride

Datoteke koje se preuzimaju sa servera GPPS servisa CROPOSA su dane u RINEX formatu ver. 2.11. Prijedlog za uvođene RINEX datoteka je dao *Astronomski institut Sveučilišta u Bernu u cilju lakšeg razmjene GPS podataka prikupljenih tijekom Europske GPS kampanje EU-REF89 (URL8)*. U kampanju je tada bilo uključeno više od 60 prijamnika od 4 različita proizvođača.

Općenito RINEX format uključuje 7 tipova ASCII datoteka:

1. Datoteka opažanja (*Observation file*)
2. Datoteka navigacijske poruke (*Navigation Message file*)
3. Datoteka meteoroških podataka (*Meteorological file*)
4. Datoteka GLONASS navigacijske poruke (*GLONASS Navigation Message file*)
5. Datoteka GEO navigacijske poruke (*GEO Navigation Message file*)
6. Datoteka s podacima satova satelita i prijamnika (*Satellite and Receiver Clock Data file*)
7. Datoteka SBAS odaslanih podataka (*SBAS Broadcast Data file*)

RINEX datoteke se imenuju sukladno pravilu *ssssdddf.yyt* gdje je:

- *ssss* ime točke
- *dd* dan u godini (DOY)
- *yy* zadnje dvije znamenke tekuće godine (npr. za 2009. godinu je to '09')
- *t* tip datoteke (*o* – opažanja; *n* – GPS navigacijska poruka; *g* – GLONASS navigacijska poruka; *d* – Hatanaka kompresija)
- *f* označava sat početka opažanja (npr. *a* – početak opažanja u razdoblju 00-01)

Ovdje vrijedi naglasiti da se datoteke opažanja komprimirane Hatanaka kompresijom koriste za slanje podataka putem Interneta ili e-maila, a moguća je konverzija u običan RINEX format primjenom zasebnih programskih alata. RINEX datoteke verzije veće od 2.10, dakle od verzije 2.11 nadalje, a koje se trenutno koriste u sklopu CROPOS GPPS servisa prilagođene su za uvođenje novih opažanih veličina GALILEO sustava kao i novih opažanih veličina GPS satelita.

Opažane veličine GPS signala su dane u sljedećoj tablici.

Tablica 1: Opažane veličine GPS signala

Sustav	Frekvencijski opseg	Frekvencija	Pseudoudaljenost	Nosač faze	Dopplerovska frekvencija	Jakost signala
GPS	L1	1575.42	C1, P1	L1	D1	S1
	L2	1227.60	C2, P2	L2	D2	S2
	L5	1176.45	C5	L5	D5	S5

Zaglavljne RINEX datoteke opažanja verzije 2.11 dano je u tablici 2 iz koje je vidljivo da datoteka sadrži 10 opažanih veličina. Programski paket Trimble Geomatics Office ver 1.63 ne prepoznaje pseudoudaljenosti dobivene iz podataka kodova na L2 nosaču faze (L2C). U zaglavljiju datoteke ta je opažana veličina označena s C2. Podaci civilnim korisnicima dostupnog koda na L2 nosaču emitiraju se s Block II R-M GPS satelita (Van Sickle, 2008). Trenutna konstelacija GPS satelita (URL 9) sastoji se od 32 satelita od kojih njih šest pripada tipu Block II R-M.

Tablica 2: Zaglavje RINEX datoteke opažanja (*.09o), verzija 2.11, svi podaci

2.11	OBSERVATION DATA	M (MIXED)	RINEX VERSION / TYPE
GPServer 2.62	3098 Rinex Merge	17-Apr-09 14:52:35	PGM / RUN BY / DATE
<hr/>			
10	C1 P1 P2 C2 L1 L2 S1 S2 D1#	/ TYPES OF OBSERV	
D2		# / TYPES OF OBSERV	

Kako bi obrada vektora na osnovi podataka iz CROPOS mreže opažačkih stanica (CORS ili VRS) bila moguća bilo je potrebno iz RINEX datoteke opažanja ukloniti L2C podatke. U tu svrhu je korišten je program TEQC. Riječ je o programskom alatu za rješavanje mnogih problema koji se javljaju pri obradi GPS, GLONASS, GALILEO i SBAS podataka (URL 10). Učitavanjem RINEX datoteke u obliku kakvom je preuzeta sa servera CROPOS sustava te postavljanjem odgovarajućih parametara započinje obrada u TEQC programu. Izlazne datoteke sadrže iste opažane veličine kao i ulazne datoteke osim kodnih pseudoudaljenosti na osnovi podataka L2C. Primjer zaglavja takve RINEX datoteke dan je u tablici 3 iz koje je vidljivo da datoteka ne sadrži C2 podatke.

Tablica 3: Zaglavje RINEX datoteke opažanja (*.09o), verzija 2.11, bez podataka C2

2.11	OBSERVATION DATA	M (MIXED)	RINEX VERSION / TYPE
teqc 2008Oct2		20090417 15:40:59UTCPGM	/ RUN BY / DATE
<hr/>			
9	C1 P1 P2 L1 L2 S1 S2 D1	D2#	/ TYPES OF OBSERV

Pri obradi vektora korištene su odaslane (broadcast), ali i precizne efemeride. Ove posljednje su preuzete s web stranica NGS-a (National Geodetic Service). Referentni okvir korišten pri računanjima preciznih efemerida je IGS05 tj. realizacija posljednjeg ITRF2005 (*International Terrestrial Reference Frame 2005*) samo na osnovi GPS opažanja (URL11). Precizne efemeride su preuzete u obliku ASCII datoteke formata SP3. Korištene precizne efemeride sadrže konačne podatke orbita GPS satelita (Final Orbit), a dostupne su nakon 8 – 10 dana od dana opažanja (ibid.).

7. Obrada vektora

U obradi vektora primjenom programskog paketa Trimble Geomatics Office ver 1.63 korišteni su sljedeći podaci opažanja:

- Podaci opažanja prikupljeni GPS prijamnicima u geodetskoj mreži točaka
- Podaci opažanja prikupljeni na CORS stanicama iz CROPOS mreže (ZAGR, SISA, ZABO)
- Podaci opažanja kreirani na VRS stanicama CROPOS sustava
- Broadcast i precizne efemeride

Obzirom da su na jednom kraju svake bazne linije podaci prikupljeni GPS uređajima, vektori su računani koristeći sljedeće kombinacije podataka efemerida i podataka s drugog kraja bazne linije (modeli podataka):

- RINEX podaci s CORS stanicama + Broadcast efemeride
- RINEX podaci s VRS stanicama + Broadcast efemeride

- RINEX podaci s CORS stanica + Precizne efemeride
- RINEX podaci s VRS stanica + Precizne efemeride.

Po završenom računanju vektora (tzv. nulti prolaz) pristupilo se njihovu optimiranju s ciljem povećanja točnosti i pouzdanosti kao i poboljšavanju statističkih veličina kao što su RATIO, referentna varijance i RMS. Ovdje valja naglasiti da su se kao valjana rješenja prihvataća samo ona s riješenim (fiksiranim) cjelobrojnim valnim duljinama – ambiguitetima.

Nakon provedenog postupka optimiranja vektora pristupilo se izjednačenju mreže koje ima višestruke ciljeve: računanje konačnih koordinata nepoznatih točaka, ocjena točnosti koordinata te ocjena točnosti mjerjenih veličina – vektora.

Obradom podataka (računanje i optimiranje) obuhvaćeni su samo tzv. nekolerirani vektori, a vektori između po koordinatama poznatih točaka nisu uzimani u razmatranje.

8. Izjednačenje mreže

U prvom koraku se mreža geodetskih točaka izjednačila kao slobodna mreža, tj. fiksirane su koordinate samo jedne točke mreže. Od tri po koordinatama poznate CORS točke iz CROPOS mreže, odabrana je točka ZAGR zbog najmanje udaljenosti od točaka geodetske mreže. Pri izjednačenju je korištena razina vjerojatnosti od 95% što u slučaju 1D iznosi 1.96σ , u slučaju 2D 2.45σ . Koordinate fiksnih točaka dane su u referentnom okviru ETRF2000, epoha 2008.83 i prikazane su u tablici 4. U zaglavlju RINEX datoteka opažanja nalaze se prostorne pravokutne Kartezijeve koordinate točaka CORS ili VRS točaka. Za potrebe izjednačenja koordinate točaka su konvertirane u prostorne elipsoidne koordinate koristeći geometrijske parametre elipsoida GRS 80. (NN br. 110).

Tablica 4: Elipsoidne koordinate CROPOS CORS točaka (ellipsoid GRS 80)

Točka	X [m]	Y [m]	Z [m]	ϕ [$^{\circ} \text{ ' } \text{ ''}$]	λ [$^{\circ} \text{ ' } \text{ ''}$]	h [m]
ZAGR	4282038.1397	1224885.8997	4550534.3034	45 48 28.68661	15 57 47.83532	194.4015
ZABO	4266157.3369	1215990.9832	4567726.4867	46 01 48.15202	15 54 33.27476	222.2348
SISA	4297852.3412	1262317.6036	4525445.7195	45 29 07.47213	16 22 04.74438	158.8991

Pri provedbi izjednačenja trebalo je težiti da veličina NRF (*Network Reference Factor*) bude što bliža vrijednosti 1.00 te da bude zadovoljen Chi-kvadrat test. Ukoliko neki vektor ne zadovolji Tau-test velika je vjerojatnost da je to mjerjenje otvoreno grubom pogreškom te ga stoga treba isključiti iz daljnog izjednačenja. Isključuje se ono mjerjenje koje ima najveću standardiziranu pogrešku (*StdRes*). Postupak se ponavlja dok ne budu zadovoljeni Tau-test kao i Chi-kvadrat test. Općenito, kada su zadovoljena spomenuta dva testa, NRF se razlikuje od željene vrijednosti 1.00 pa se njegovo suočenje na željenu vrijednost postiže uvođenjem alternativnih vrijednosti težina. Naime, standardne pogreške dobivene obradom vektora su općenito preoptimistične za faktor 3 – 10. Zbog toga se matrica težina sastavljena od optimističnih vrijednosti mora skalirati kako bi se došlo do ispravne procjene pogrešaka mreže (Hofmann-Wellenhof et al., 2001.).

Nakon uspješnog izjednačenja slobodne mreže, fiksirane su koordinate i preostalih točaka te je provedeno konačno izjednačenje. Rezultat konačnog izjednačenja su koordinate točaka, njihove ocjene točnosti, izjednačena mjerena i njihove standardizirane popravke zajedno s histogramima te elipse pogrešaka.

9. Ocjene točnosti koordinata na osnovi statičkih opažanja

Kako bi se dobila ocjena kvalitete postignutih rezultata provedena je usporedba koordinata, ali i njihove ocjene točnosti. Kao referentne usvojene su one koordinate dobivene na osnovi obrade i izjednačenja podataka iz CROPOS VRS stanica i preciznih efemerida. Odluci o referentnom modelu prethodila je usporedba položajne i visinske ocjene točnosti svih modela. Položajna ocjena točnosti izračunana je sukladno modelu kod kojeg se kutne ocjene točnosti u smjeru meridijskog ugla $\Delta\phi$ ["] i u smjeru paralele $\Delta\lambda$ ["] kroz točku promatranja preračunavaju u linearne jedinice [m] uzimajući u obzir radijus tangencijalne sfere koja elipsoid GRS80 najbolje aproksimira u točki težišta geodetske mreže. Računanje položajne točnosti je provedeno po izrazu

$$\text{polozajna točnost} = \sqrt{(\Delta\phi[m]^2 + (\Delta\lambda[m])^2)} . \quad (1)$$

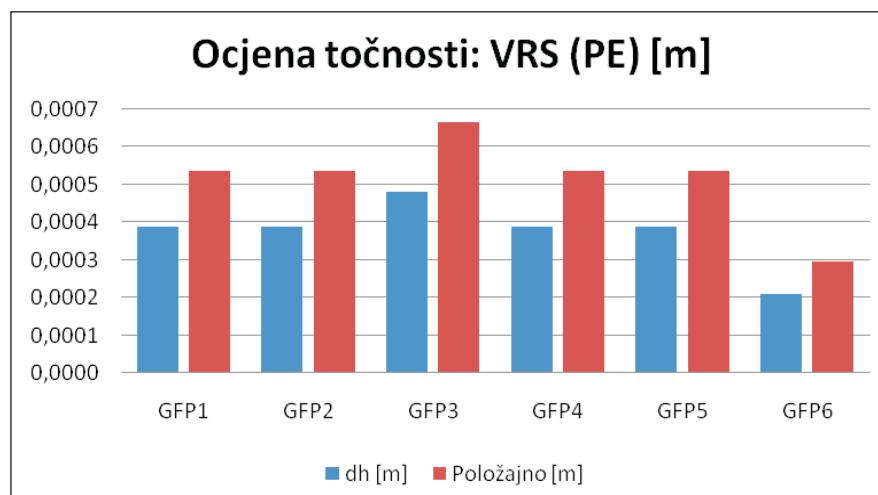
Za primjetiti je da su vrijednosti položajnih točnosti uvijek nenegativne i da su uglavnom lošije od ocjene točnosti po visini. Uzrok treba potražiti u činjenici da su jednodimenzionalne ocjene točnosti dane s vjerojatnošću 95% tj. 1.96σ dok ovako iskazanoj položajnoj točnosti odgovara veća razina vjerojatnosti. Prednost ovakvog iskazivanja položajne točnosti je davanje samo jedne veličine koja uzima u obzir ocjene točnosti po smjerovima elipsoidne širine i elipsoidne dužine.

Ocjena točnosti koordinata točaka dobivenih izjednačenjem mreže vektora izračunanih iz podataka CROPOS VRS stanica i preciznih efemerida prikazan je na slici 3. Ocjene položajne točnosti su u rasponu 0.0003 – 0.0007 m, ocjena visinske točnosti je u rasponu 0.0002 – 0.0005 m. Ovdje su kao i u nastavku vrijednosti raspona iskazani na četiri decimalna mjesta (10^{-4} m).

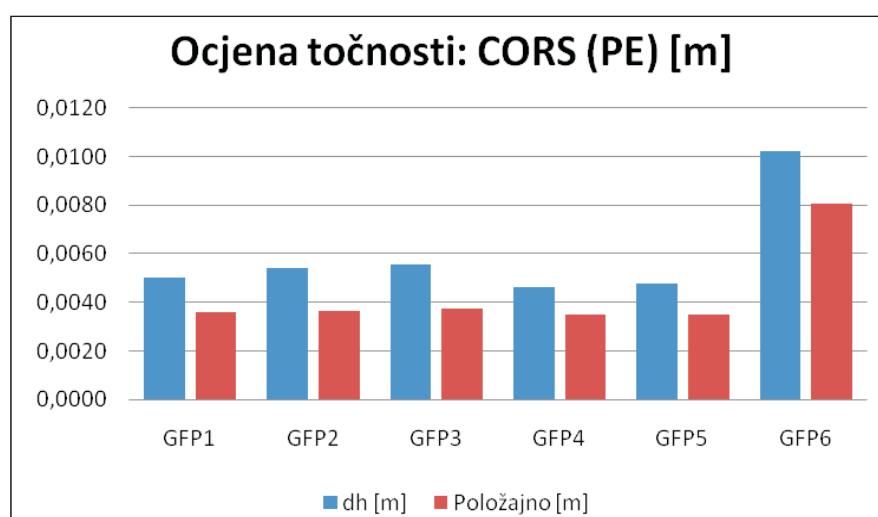
Sukladno očekivanjima ocjena točnosti koordinata dobivenih izjednačenjem mreže vektora izračunanih iz podataka CROPOS CORS stanica i broadcast efemerida je nešto lošija od one dobivene iz preciznih efemerida. Naime, ovdje se položajna ocjena točnosti nalazi u rasponu 0.0035 – 0.0081 m, raspon visinske ocjene točnosti je 0.0046 – 0.0102 m. Ocjena točnosti koordinata točaka dobivenih izjednačenjem mreže vektora izračunanih iz podataka CROPOS CORS stanica i preciznih efemerida prikazan je na slici 4.

Usporedbom ocjene točnosti iz podataka CROPOS VRS s preciznim efemeridama i ocjene točnosti iz podataka CROPOS VRS s broadcast efemeridama dolazi se do zaključka da je ocjena točnosti u posljednjem slučaju neznatno lošija od prvog slučaja. Položajna ocjena točnosti je u rasponu 0.0003 – 0.0007 m, visinska ocjena točnosti se nalazi u rasponu 0.0002 – 0.0005 m. Usporedbom ocjene točnosti CROPOS VRS podataka s preciznim i s broadcast efemeridama dolazi se do zaključka da primjena preciznih efemerida kod kratkih vektora (u prikazanom slučaju duljine svega 2 km) ne donosi poboljšanje ocjene točnosti. Dakle, dovoljno je računanje vektora izvesti korištenjem broadcast efemerida.

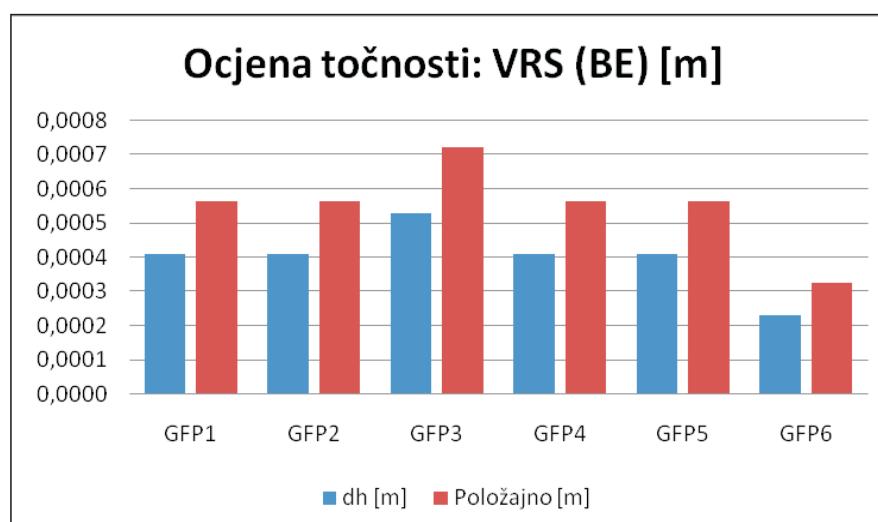
Kao što je bilo i za očekivati, najlošije rezultate ocjene položajne i visinske točnosti pokazuju rezultati dobiveni izjednačenjem iz podataka CROPOS CORS stanica i broadcast efemerida. Položajna ocjena točnosti se kreće u rasponu 0.0036 – 0.0083 m, dok se ocjena točnosti po visini nalazi u rasponu 0.0050 – 0.0117 m.



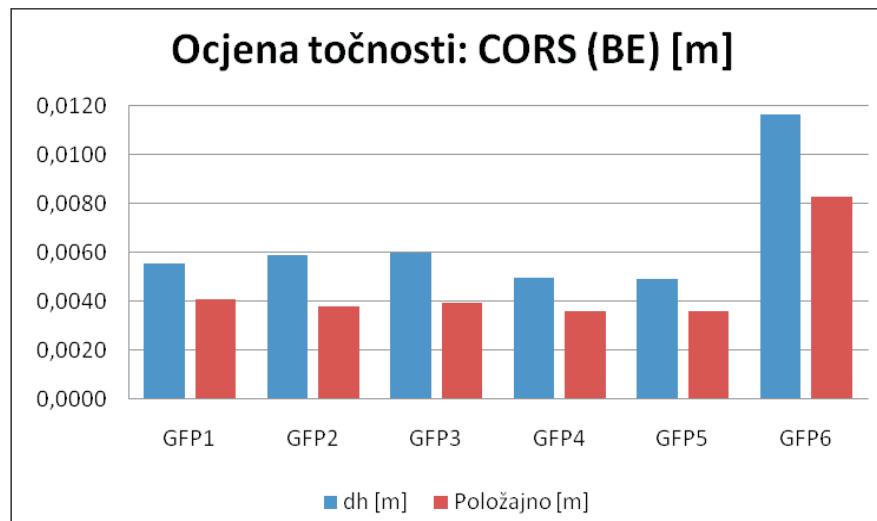
Slika 3: Ocjena položajne i visinske točnosti – VRS CROPOS i precizne efemeride



Slika 4: Ocjena položajne i visinske točnosti – CROPOS CORS i precizne efemeride



Slika 5: Ocjena položajne i visinske točnosti točnosti – VRS CROPOS i broadcast efemeride



Slika 6: Ocjena položajne i visinske točnosti iz podataka CROPOS CORS stаница i broadcast efemerida

Na osnovi prikazanih ocjena točnosti vidljivo je da najbolje rezultate daju koordinate dobivene izjednačenjem iz podataka CROPOS VRS stаница i preciznih efemerida. Iz tog razloga se koordinate dobivene iz spomenutog izjednačenja smatraju referentnima.

10. Analiza i usporedba koordinata iz statičkih opažanja

Da bi se dobio uvid u kvalitetu koordinata svih četiri modela računanja i izjednačenja podataka dobivenih statičkim opažanjima, u ovom je poglavlju dana usporedba referentnih koordinata sa svim ostalima. Dakle, dana su sljedeće usporedbe koordinata:

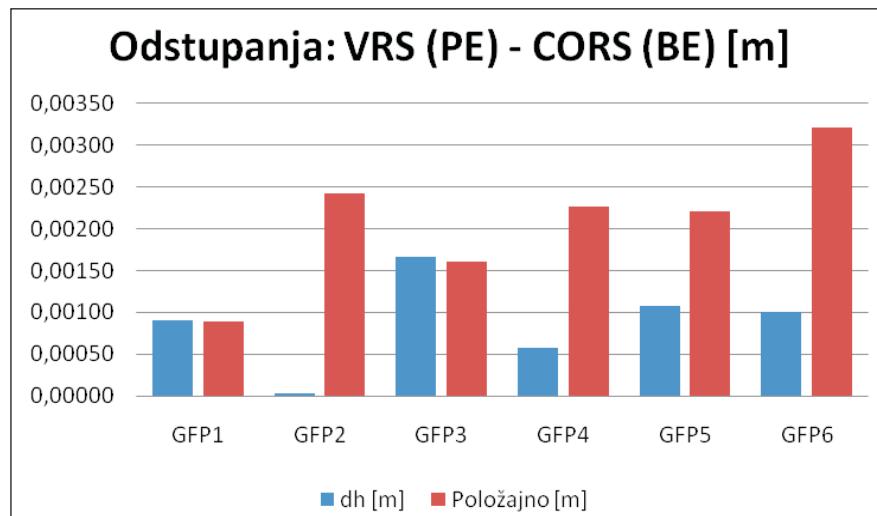
- VRS (Precizne efemeride) i CORS (Broadcast efemeride)
- VRS (Precizne efemeride) i CORS (Precizne efemeride)
- VRS (Precizne efemeride) i VRS (Broadcast efemeride)

Odstupanja imaju karakter pogreške tj. iskazana su kao (IMA – TREBA) vrijednosti. Izračunane razlike $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda$ po elipsoidnim koordinatama su preračunate u linearne jedinice mjere te je iz njih izračunano položajno odstupanje.

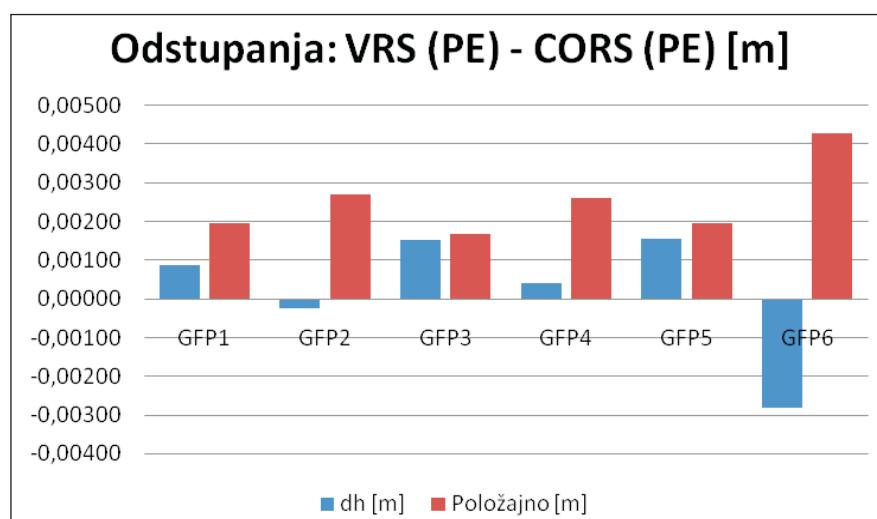
Na slici 7 dana su odstupanja referentnog modela od onog dobivenog iz podataka CROPOS CORS stаница i broadcast efemerida. Vrijednosti položajnih odstupanja se nalaze u rasponu 0,0009 – 0,0032 m, visinska odstupanja se nalaze u rasponu 0,0000 – 0,0017 m.

Slika 8 prikazuje odstupanja referentnog modela od onog dobivenog iz podataka CROPOS CORS stаница i preciznih efemerida. Položajna odstupanja ovog i referentnog modela se nalaze u rasponu vrijednosti 0,0017 – 0,0043 m, visinska odstupanja se kreću u rasponu -0,0028 – 0,0016 m.

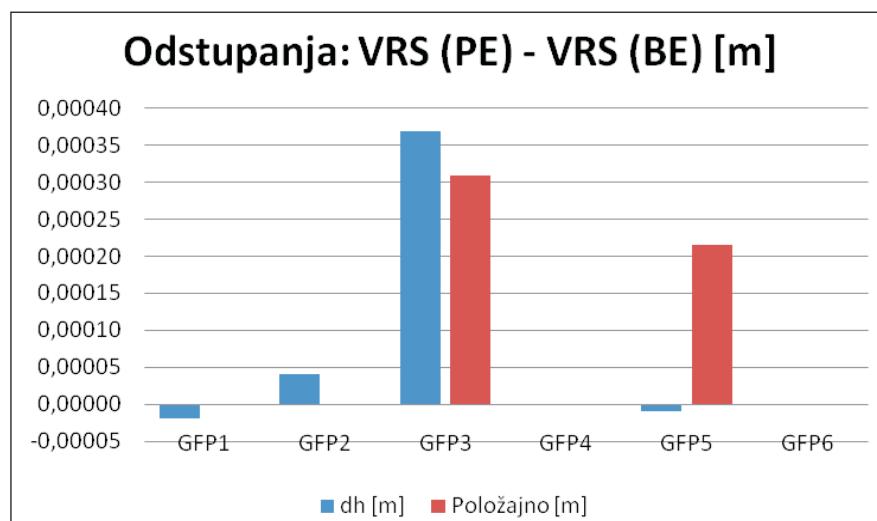
Odstupanja referentnog i modela iz podataka CROPOS VRS stаница i broadcast efemerida je dano na slici 9. Kako je riječ o modelima koji se razlikuju samo za podatke efemerida, očekivana je i njihova neznatna razlika. Odstupanja po položaju se nalaze u rasponu vrijednosti 0,0000 – 0,0003 m, dok je raspon odstupanja po visini -0,0000 – 0,0004 m. Iz prikazanih raspona je vidljivo da su odstupanje iz dva prikazana modela značajno ispod razine 1 mm.



Slika 7: Položajna i visinska odstupanja referentnog i CORS (Broadcast efemeride) modela



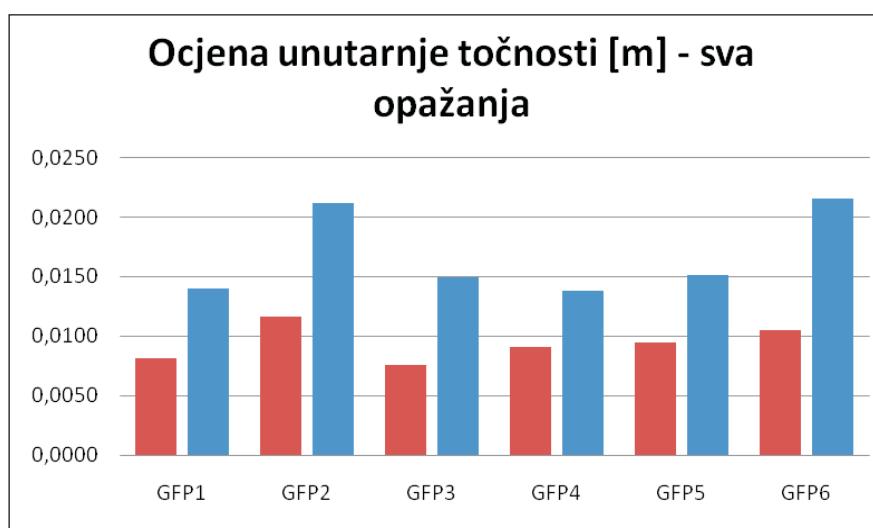
Slika 8: Položajna i visinska odstupanja referentnog i CORS (precizne efemeride) modela



Slika 9: Položajna i visinska odstupanja referentnog i VRS (broadcast efemeride) modela

11. Analiza unutarnje i vanjske točnosti rezultata RTK CROPOS (VPPS) opažanja

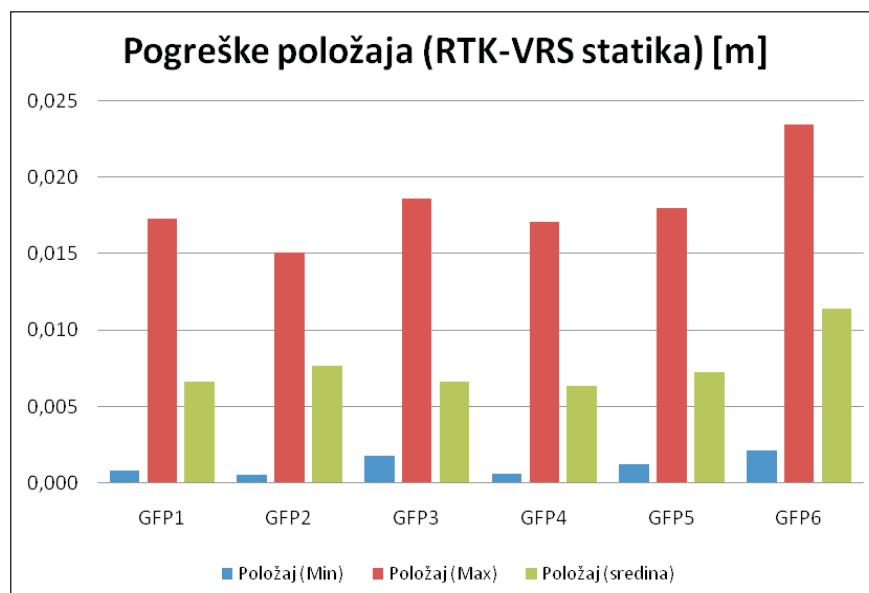
U sklopu vježbi svaki je student primjenom VPPS servisa CROPOS-a samostalno odredio koordinate svih šest točaka geodetske mreže (GFP1....GFP6). Dakle, koordinate svake točke su određene 30 puta što je predstavlja vrijedan skup podataka za analizu unutarnje, ali i vanjske točnosti samih koordinata. Unutarnja točnost je ovdje iskazana ocjenom točnosti dobivenom iz programskog paketa Trimble Geomatics Office ver 1.63. Za svaku je točku mreže odabrana najlošija ocjena položajne i visinske točnosti. Te su vrijednosti prikazane na slici 10. Raspon unutarnje položajne ocjene točnosti je 0,0076 – 0,0116 m dok je raspon visinske ocjene točnosti 0,0138 – 0,0211 m. Razlike koje se pojavljuju kod vrijednosti unutarnje ocjene točnosti su moguća posljedica konstelacije satelita u trenutku opažanja kao i stanja čistoće horizonta na pojedinoj točki.



Slika 10: Ocjena unutranje položajne i visinske točnosti iz RTK CROPOS (VPPS) opažanja

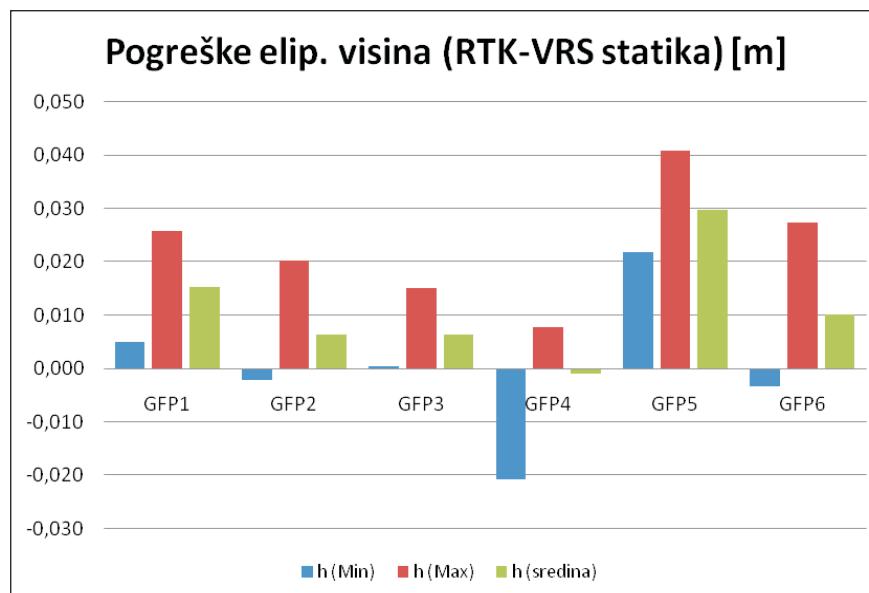
Da bi se dobio bolji uvid u točnost koordinata točaka dobivenih primjenom RTK CROPOS metode potrebno je dati i vanjsku ocjenu točnosti. Vanjska je točnost iskazana kao razlika koordinata dobivenih RTK opažanjima i referentnih koordinata dobivenih iz podataka CROPOS VRS stanica i preciznih efemerida. Referentne koordinate se smatraju bespogrešnim stoga odstupanja imaju karakter pogrešaka.

Položajne pogreške koordinata iz RTK opažanja su prikazane na Slika 11. Kako se ocjena vanjske točnosti temelji na analizi 30 opažanja svake točke, u priloženom grafičkom prikazu su zasebno iskazane maksimalne, minimalne i srednje položajne pogreške za svaku pojedinu točku mreže. Tako se minimalne položajne pogreške nalaze u rasponu 0,0005 – 0,0022 m, maksimalne u rasponu 0,0151 – 0,0235 m, dok su srednje položajne pogreške 0,0064 – 0,0114 m. Navedena maksimalne pogreške samo neznatno premašuju deklariranu 2D točnost VPPS servisa od 2 cm (URL12).



Slika 11: Vanjska ocjena položajne točnosti iz RTK CROPOS opažanja

Vanjska ocjena točnosti visina je dana na slici 12. Slično kao i kod pogrešaka položaja ovdje je su prikazane maksimalne, minimalne i srednje vrijednosti za svaku točku. Raspon maksimalnih porešaka je -0,0207 – 0,0219 m, maksimalne imaju raspon 0,0079 – 0,0408, dok su srednje pogreške u rasponu -0,0010 – 0,0298 m.



Slika 12: Vanjska ocjena visinske točnosti iz RTK CROPOS opažanja

Iz promjenjivih predznaka pogrešaka jasno je uočljiv njihov slučajan karakter. Maksimalna pogreška po visini od 0,0408 m se podudara s deklariranim 3D točnošću VPPS servisa od 4 cm (URL12.).

Ostvariva položajna, ali i visinska točnost primjenom RTK metode uvelike ovisi o konstelaciji satelita. Da bi opažanje bilo provedeno u vremenskim intervalima s boljom i pouzdanimanjem

konstelacijom satelita potrebno je obaviti planiranje opažanja. Programski paketi za obradu i izjednačenje GPS opažanja redovito imaju uključene i zasebne programske module namijenjene planiranju opažanja. Kod statičkih mjerena zbog duljine trajanja samog opažanja planiranje nije od presudne važnosti, no kod kinematičkih tehnika, gdje se trajanje opažanja svodi na nekoliko epoha, potrebnu pozornost treba posvetiti planiranju opažanja. Osnovna veličina koja se sagledava prilikom planiranja opažanja je PDOP. Što je njezina vrijednost manja to je konstelacija satelita povoljnija, a uvijek mora biti ispod 6. Kako se danas RTK metoda pozicioniranja sve više izvodi GNSS uređajima koji primaju signale i GLONASS satelita, vremenski prozori s visokim vrijednostima PDOP-a su postali vrlo rijetki. Značaj prijema signala GLONASS satelita za RTK opažanja se ne ogleda samo u čvršćoj konstelaciji nego i boljoj pokrivenosti signalom posebice sjeverne strane horizonta točke opažanja.

Kako bi se pokazao utjecaj trenutne konstelacije satelita na ostvarivu točnost primjenom RTK metode provedeno je ispitivanje koje je imalo za cilj ukazati na povezanost broja 'vidljivih' satelita i PDOP vrijednosti s ocjenom točnosti koordinata. Temeljem iskustva je poznato empirijsko pravilo da je točnost visinske komponente rezultata dobivenih GPS-om 1.5 do 2 puta lošija od položajne. Stoga se u razmatranje uzela samo visinska komponenta.

Terenska opažanja su provedena dana 19. veljače 2009. u terminu projektantskih vježbi. Opažanjima nije prethodilo planiranje opažanja zbog unaprijed zadanog termina u kojem je svaki student trebao samostalno opažati svaku točku geodetske mreže.

Kako su vježbe organizirane u dva turnusa, najprije je 15 studenata opažalo u jutarnjem turnusu, dok su preostali opažali u popodnevnom turnusu. U sljedećoj tablici je dan pregledni prikaz trenutaka početka i kraja opažanja iskazan u vremenskoj skali UTC kao i duljina trajanje opažanja. Oznakom 'X' je označena točka na kojoj je unutarnja ocjena točnosti elipsoidne visine $\geq 10 \text{ mm}$.

Tablica 5: Pregled točaka i vremenskih intervala s unutarnjom ocjenom visine $\geq 10 \text{ mm}$

Početak [UTC]	Kraj [UTC]	Trajanje [min]	STUDENT	GFP1	GFP2	GFP3	GFP4	GFP5	GFP6	Inicijalizacija
7:35	8:12	37	1	A	X	X	X	X	X	GFP2
8:20	8:43	23	2	B	X	X				GFP2
8:48	9:06	18	3	C						X GFP2
9:12	9:30	18	4	D	X	X	X			X GFP2
7:34	8:18	44	5	E	X	X	X	X	X	GFP3
7:44	8:40	56	6	F			X	X		GFP3
7:48	9:07	19	7	G			X			GFP3
8:46	9:26	40	8	H		X	X	X	X	GFP1
8:02	8:28	26	9	I	X	X		X	X	GFP5
8:35	8:58	23	10	J						GFP5
9:04	9:24	20	11	K	X	X			X	GFP5
9:21	9:36	15	12	L		X			X	GFP5
7:36	8:09	33	13	M	X	X	X	X	X	GFP6
8:16	8:41	25	14	N			X		X	GFP6
8:44	9:08	24	15	O					X	GFP6
12:22	12:42	20	16	P						GFP2
12:49	13:06	17	17	Q						GFP2
13:10	13:28	18	18	R				X	X	GFP2
13:32	13:49	17	19	S						GFP2
12:26	12:45	19	20	T						GFP3
12:52	13:09	17	21	U						GFP3
13:36	13:49	13	22	V						GFP3
13:15	13:31	16	23	W					X	GFP3
12:29	12:49	20	24	X						GFP5
12:55	13:12	17	25	Y						GFP5
13:15	13:32	17	26	Z	X	X		X	X	GFP5
13:37	13:51	14	27	AA						GFP5
12:50	13:05	15	28	AB						GFP6
13:11	13:26	15	29	AC				X	X	GFP6
12:29	12:42	13	30	AD						GFP6

Opažanje u jutranjem turnusu je trajalo od 07:34 – 09:36 UTC. U tom je vremenskom intervalu bilo vidljivo 8-10 GPS i 3-6 GLONASS satelita. Dakle, ukupno je u svakom trenutku bilo vidljivo 11-15 satelita, a PDOP vrijednost se kretala od 1.22 do 2.02. Opažanje u popodnevnom turnusu je trajalo od 12:22 do 13:49 UTC kada je bilo vidljivo 7-9 GPS satelita i 4-6 GLONASS satelita. U svakom je trenutku bilo vidljivo 12-15 satelita što je rezultiralo PDOP vrijednostima 1.25 do 1.57.

Iz gore navedenog slijedi da je bolja konstelacija satelita u popodnevnom turnusu kada je bilo vidljivo više satelita i manje su vrijednosti PDOP-a. Ta se činjenica odrazila na učestalost pojavljivanja lošije ocjene točnosti elipsoidnih visina. Naime, od ukupnog broja opažanja po točkama (15 studenata x 6 točaka = 90) za njih 49 tj. 54% je ostvarena unutarnja ocjena točnosti elipsoidnih visina ≥ 10 mm. U popodnevnom turnusu je taj broj svega 9 od ukupno 90, dakle 10%. U tablici 5 zelenom bojom su označene sesije opažanja u kojima je ocjena točnosti visina < 10 mm. Takvih sesija u jutarnjem turnusu ima 1/15 (7%), a u popodnevnom 11/15 (73%).

Budući da se stanje otvorenost horizonta svake opažane točke nije promijenilo između jutarnjeg i popodnevnog turnusa, tada je jasno da su bolji rezultati ocjene točnosti visina opažanih u popodnevnom turnusu direktna posljedica bolje konstelacije satelita.

12. Zaključak

Nakon samo mjesec dana od službenog puštanja u rad CROPOS sustava počela je njegova implementacija u nastavi na Geodetskom fakultetu. Kako se uvođenje CROPOS-a vremenski poklopilo s početkom II. semestra na diplomskom studiju, usmjereno Geodezija, studenti su kroz nastavu u sklopu kolegija Navigacija stekli potrebno teorijsko znanje i praktične vještine za rad s CROPOS sustavom. Završetkom studija prve generacije studenata Diplomskog studija geodezije i geoinformatike što se očekuje sredinom 2010. godine na tržištu rada će pojaviti geodetski stručnjaci koji su spremni za punu primjenu CROPOS sustava u geodetskoj operativi. Iako se sustav sastoji od tri servisa – DSP, VPPS i GPPS – u nastavi je implementirana samo dva koja su od posebnog značaja i primjene u obavljanju svakodnevnih geodetskih zadaća. Kroz nastavu su studenti upoznati s RTK opažanjima, ali i obradom opažanja relativnom statičkom metodom. Vektori su obrađivani s RINEX podacima CORS, ali i VRS CROPOS stanica iz čega je jasno došla do izražaja mogućnost kraćih trajanja opažanja što vodi povećanju produktivnosti. Uspravedljivo rezultata dobivenih na osnovi podataka CROPOS VRS stanica i broadcast efemerida te podataka CROPOS CORS stanica i preciznih efemerida utvrđene su zanemarive položajne i visinske razlike ispod razine 1 mm. Razlike između koordinata dobivenih iz podataka CROPOS CORS stanica i broadcast efemerida te između koordinata dobivenih iz podataka CROPOS VRS stanica i preciznih efemerida su za promatrane vektore do 50 km ispod razine 1 cm kako po položaju tako i po visini. Uspravedljivo koordinata dobivenih RTK metodom s referentnim koordinatama određenih relativnom statičkom metodom potvrđena je 2D točnost VPPS servisa od 2 cm. Planiranjem opažanja kod kinematickih metoda, posebice kod danas vrlo raširene RTK metode, te odabirom vremenskih prozora s dobrom konstelacijom i povoljnim PDOP vrijednostima se može utjecati na ostvarivu točnost koordinata.

13. Literatura

- Baćić, Ž., Bašić, T. (1999): Satelitska geodezija II, skripta, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb
- Geodetski fakultet (2004): Godišnjak Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 2002-2004., Geodetski fakultet, Zagreb

1. CROPOS konferencija · ZBORNIK RADOVA

Geodetski fakultet (2005): Godišnjak Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 2004-2005., Geodetski fakultet, Zagreb

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. (2001): GPS Theory and practice, 5th, revised edition, Springer-Verlag, Wien, New York

Narodne novine (2007): Zakon o akademskim i stručnim nazivima i akademskom stupnju, Narodne novine br. 107 od 19.10.2007

Trimble Navigation Limited Engineering and Construction group (2008): Trimble R8 GNSS receiver User Guide, Trimble Navigation Limited Engineering and Construction group, Dayton, Ohio, SAD

Van Sickle, J. (2008): GPS for Land Surveyors, 3rd edition, CRC Press Taylor & Francis Group, Broken Sound Parkway, New York, SAD

Vlada RH (2004): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Narodne novine br. 110, 11.08.2004.

URL 1: http://www.geof.hr/dokumenti/pdi_dopusnica.pdf (01.09.2009.)

URL 2: http://www.geof.hr/dokumenti/dip_dopusnica.pdf (01.09.2009.)

URL 3: <http://www.isvu.hr/javno/hr/vu7/nasprog/2008/pred32877.shtml> (01.09.2009.)

URL 4: <http://www.isvu.hr/javno/hr/vu7/nasprog/2008/pred50375.shtml> (01.09.2009.)

URL 5: http://www.geof.hr/dokumenti/dip_program.pdf (01.09.2009.)

URL6: http://www.cropos.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=27%3Apusten-u-rad-cropos-novi-servis-e-hrvatske&catid=1%3Anovosti&Itemid=13&lang=hr (01.09.2009.)

URL 7: <http://195.29.118.122/>

URL 8: <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/rinex/rinex211.txt> (01.09.2009.)

URL 9: <http://www.navcen.uscg.gov/navinfo/Gps/ActiveNanu.aspx> (01.09.2009.)

URL 10: <http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html> (04.09.2009.)

URL 11: <http://www.ngs.noaa.gov/orbits/> (04.09.2009.)

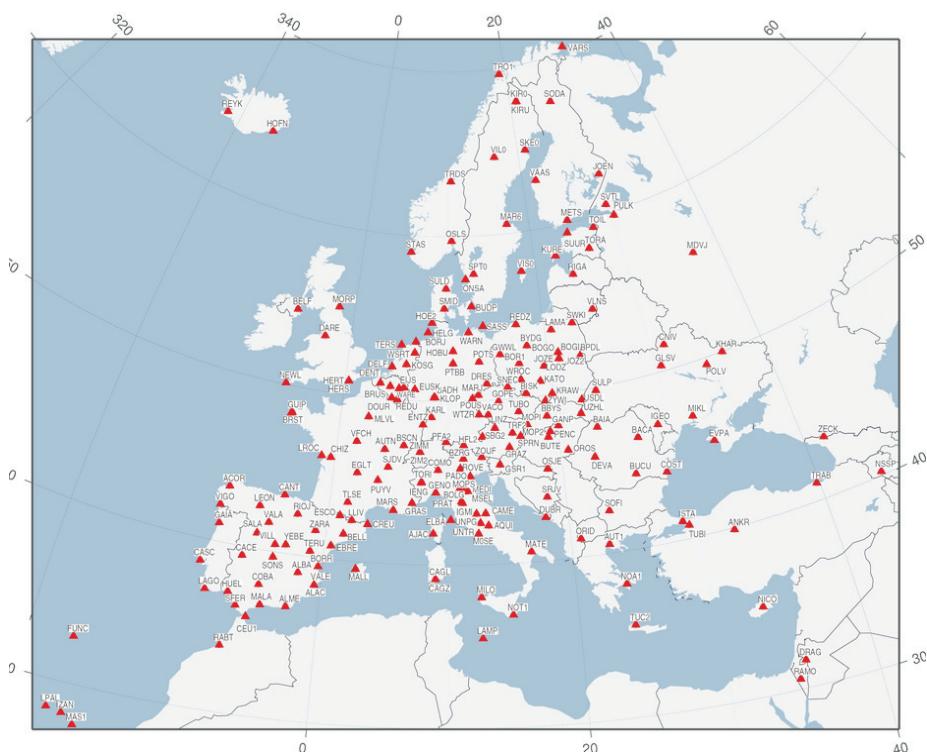
URL 12: http://www.cropos.hr/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=2&Itemid=3&lang=hr (04.09.2009.)

Izvješće o radu permanentnih EPN GNSS stanica u Republici Hrvatskoj

Maro Lučić*, Ilija Grgić*, Marija Repanić*, Olga Bjelotomić*

1. Uvod

Europski terestrički referentni sustav 89 (ETRS89) je standardni i precizni GPS koordinatni sustav u Europi. Uz podršku EuroGeographics-a i Europske Unije, ovaj referentni sustav je osnova svih geodetskih, geodinamičkih i geografskih projekata na europskom teritoriju. Za održavanje ETRS89 zadužen je IAG (International Association of Geodesy), a realizira se preko EPN-a (EUREF Permanent Network), mreže permanentnih GNSS referentnih točaka sa precizno određenim koordinatama u ETRS89 prikazanih na slici 1.1.



Slika 1.1. Mreža EPN GNSS referentnih točaka

* Hrvatski geodetski institut, Savska cesta 41/XVI, 10144 Zagreb, p.p. 19, Croatia, tel: +385 1 6312 400, fax: +385 1 6312 410, e-mail: hgi@cgi.hr, web: www.cgi.hr

Sudjelovanje u EPN-u je na volonterskoj osnovi, a uključuje više od 100 europskih agencija, sveučilišta i instituta, među kojima je od 2007. i Hrvatski geodetski institut (HGI). Stabilnost i pouzdanost provodi se kroz opširne smjernice, koje garantiraju kvalitetu sirovih GNSS podataka i krajnjih rezultata odnosno koordinata. Zbog svoje ključne uloge u održavanju ETRS89, podaci iz EPN-a se široko koriste za različite znanstvene projekte kao što je praćenje deformacija, morskih razina, izradu modela za praćenje i predikciju vremenske prognoze i dr. (URL1)

Od siječnja 2007. HGI je preuzeo nadzor i održavanje dviju permanentnih GNSS stanica u sklopu EPN-a. Riječ je o stanicama u Dubrovniku (*DUBR*) i Osijeku (*OSJE*). Pri tome HGI je odgovaran za održavanje, praćenje rada te pohranu i osiguranje sirovih podataka mjerjenja kao što je navedeno u pravilima EPN-a (*Guidelines for EPN Stations and Operational Centres*). U realnom vremenu opažanja se proslijeđuju u regionalni operativni centar (*Operational Centre*), koja je za oba dvije stanice FSW (*Bundesamt fuer Kartographie und Geodesie Fundamentalstation Wettzell*), odnosno u dva lokalna centra za prikupljanje podataka (*Local Data Centre*): BKGE (*Bundesamt fuer Kartographie und Geodesie Federal Office for Cartography and Geodesy*) i OLG (*Austrian Academy of Sciences Space Research Institute*).

Izvješće donosi pregled rada dviju permanentnih stanica *DUBR* i *OSJE*, poteškoće koje su se naišle tijekom održavanja te rezultate i koordinate, u razdoblju od studenog 2007. do siječnja 2009.

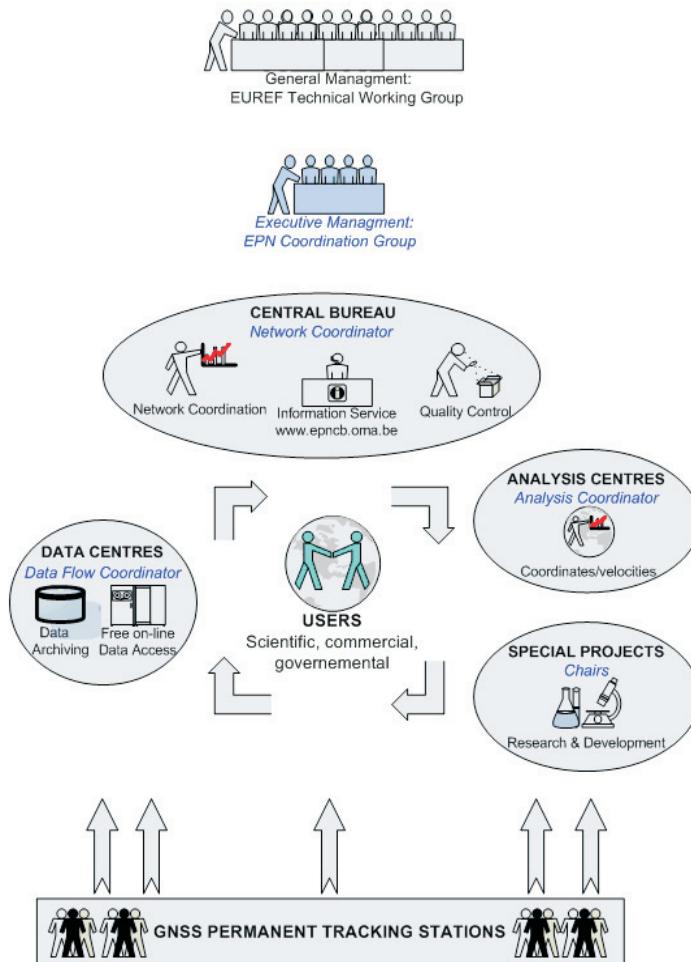
2. EUREF mreža permanentnih stanica

Referentni okvir EUREF je gotovo u potpunosti realiziran koristeći GNSS (*Global navigation satellite system*) mjerjenja. Prva kampanja, koja je pokrivala zapadnu Europu, započeta je 1989. godine i od tada sve slijedeće GNSS kampanje poboljšavale su rezultate prethodnih ali i proširivale opseg mjerjenja na istočnu Europu. Velika prednost kod održavanja Europskog referentnog okvira došla je uspostavljanjem sve većeg broja permanentnih GPS/GNSS točaka u Europi, što je vodstvo EUREF-a prepoznalo (Rezolucija br. 2. na EUREF-ovom simpoziju u Helsinkiju), te je stvorena kralježnica EUREF mreže permanentnih točaka koja se proglaščavala lokalnim GPS kampanjama (URL1). Struktura EPN-a prikazana je na slici 2.1.

EPN se sastoji od 223 GNSS stanice (rujan 2009.) od kojih je 39% prima GPS i GLONASS signale satelita, dok je 38% stanica uključeno ujedno i u IGS mrežu permanentnih stanica. Koja će stanica biti i dio IGS mreže ovisi o potrebama IGS-a te instrumentariju i lokaciji (Bruyninx 2008).

Sve stanice su obavezne pohranjivati i prosljeđivati dnevne RINEX podatke (interval registracije 30 s). Većina stanica omogućava i satne RINEX podatke (30 s) koji se koriste za određivanje *Zenith path delays* u svrhu dobivanja preciznije vremenske prognoze. Također, 42% stanica omogućava i protok RTCM podataka u realnom vremenu koristeći NTRIP tehnologiju. Na osnovu toga EPN omogućava i RINEX podatke (1 s) u 15min intervalima koje nastaju konverzijom iz RTCM podataka. Zbog konverzije iz podataka u realnom vremenu mogući su i manje rupe u RINEX podacima. Podaci se čuvaju za svaku stanicu za zadnja 3 mjeseca nakon čega se brišu (URL1).

Proizvodi koje EPN omogućuje su precizne koordinate stanica izražene u različitim realizacijama ITRS-a i ETRS89 te parametri troposfere.



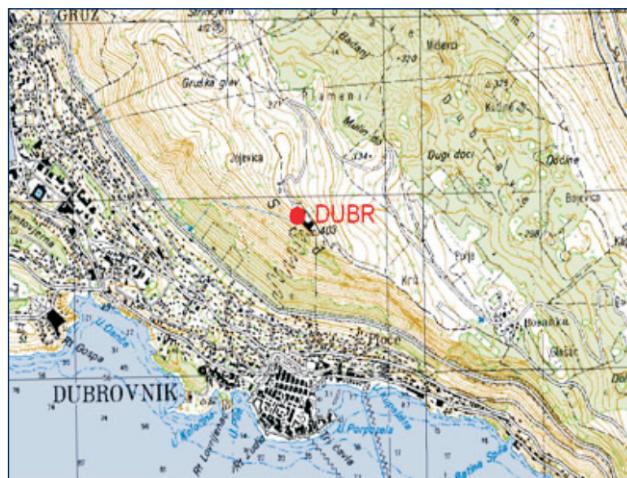
Slika 2.1. Struktura EPN-a

3. Lokacije EPN permanentnih stanica u Republici Hrvatskoj

Hrvatski Geodetski Institut (*HGI*) započeo je 2007. godine praćenje rada i održavanje EPN permanentnih stanica *DUBR* i *OSJE*. Treba napomenuti da su obje stанице bile u funkciji i u sustavu EPN mreže i prije toga, u razdoblju od rujna 2000. do prosinca 2005. godine kada je njihovo održavanje vršio Geodetski fakultet u Zagrebu. U razdoblju od kraja 2005. do početka 2007. stанице su bile neaktivne. S obzirom na to lokacije točaka su već bile određene kada je *HGI* uključio rad stаницa u EPN mrežu.

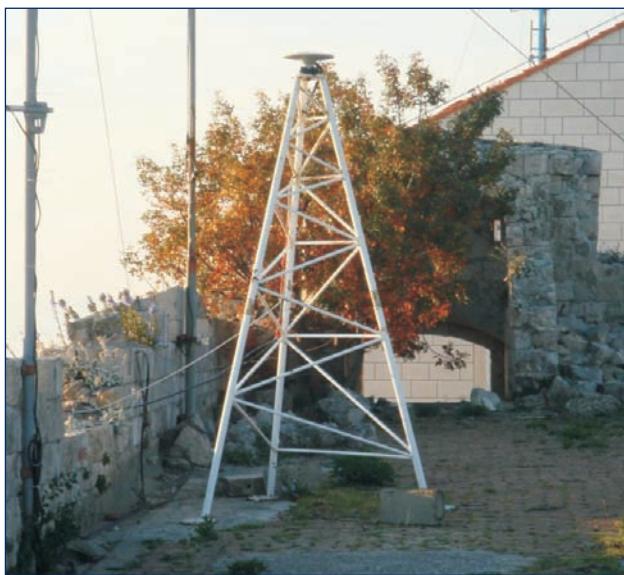
3.1. Lokacija Dubrovnik

Uzimajući u obzir vrlo nepovoljnu konfiguraciju terena, za točku u Dubrovniku odbранa je lokacija na brdu Srđ iznad samog Grada. Odabrana lokacija zadovoljava sve uvjete za nesmetanim prijemom GNSS signala, a objekti u blizini lokacije imaju potrebne priključke za električnu struju i internet vezu. Iako se u blizini nalaze TV odašiljač i druge antene, ispitivanja uz pomoć stručnjaka iz *BKG*-a su pokazala da lokacija zadovoljava sve propisane uvjete koje za EPN GNSS stаницa mora zadovoljiti da bi se uključila u EUREF mrežu.



Slika 3.1. Karta TK25 sa ucrtanim položajem EPN permanentne stanice *DUBR*

Kao prva lokacija za uređaje permanentne GNSS stanice bila je predviđena zgrada Hrvatske radio televizije, međutim zbog nemogućnosti dogovora odabran je susjedni objekt – tvrđava *Imperijal*, koja je u vlasništvu grada Dubrovnika (Medak 2001). Tijekom 2003. godine s gradom Dubrovnikom ugovorno su regulirani odnosi o korištenju tog prostora. Antena je stabilizirana na metalnoj piramidalnoj konstrukciji na gornjoj terasi tvrđave dok se komunikacijski centar, instrument i ostali uređaji nalaze u prostoriji na prvom katu, gdje je izvršena i montaža specijalnih metalnih vrata te čeličnih rešetki na prozoru. Na taj način prostorija je zaštićena od provale i eventualne krađe.



Slika 3.2. Antena na metalnoj konstrukciji

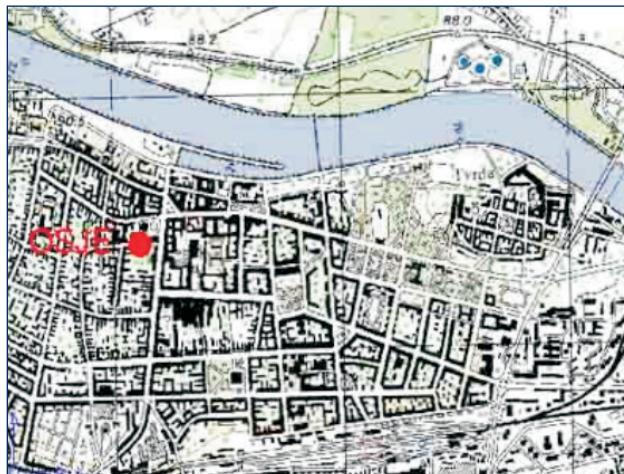


Slika 3.3. Komunikacijski ormar

3.2. Lokacija Osijek

U Osijeku je odabrana lokacija u zgradbi *Geodetskog zavoda Osijek d.d.* u ulici Lorenza Jägera 4. Naime, pored ostalih uvjeta koje lokacija mora zadovoljavati, vrlo je važan i element sigurnosti. Kako stanice rade automatski, bez nazočnosti operatera, poželjno je da su objekti u kojima se nalazi skupocjena oprema čuvani. Odabrana lokacija u Osijeku pruža potpunu sigurnost od možebitnog oštećenja ili otuđivanja opreme. Kao i kod lokacije u Dubrovniku testna mjerjenja su pokazala zadovoljavajuće uvjete.

Antena je stabilizirana na metalnom stupu na krovu zgrade. Pristup anteni je omogućen kroz obližnji ulaz do glavnih vrata Geodetskog zavoda. Komunikacijski centar, instrument i ostali uređaji nalaze u prostoriji na prvom katu.



Slika 3.4. Karta TK25 sa ucrtanim položajem permanentne EPN stanice OSJE



Slika 3.5. Antena na metalnoj konstrukciji



Slika 3.6. Komunikacijski ormar

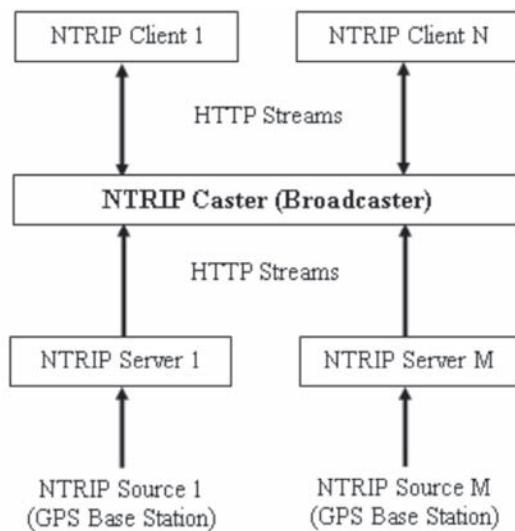
4. Uređaji i oprema

Na obje lokacije je, u suradnji sa Državnim geodetskom upravom (*DGU*), instalirana identična oprema koja je prikazana u tablici 4.1. Treba napomenuti da je vlasnik opreme *DGU* dok instalaciju i održavanje opreme izvršava Hrvatski geodetski institut.

Podaci EPN GNSS permanentnih stanica prosleđuju se između stanica i centara za skupljanje i analizu podataka putem internet veze. Od 2004. u tu svrhu koristi se NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) koji korisnicima (stacionarnim ili u pokretu) osim RTCM može prosleđivati bilo koju drugu vrstu GNSS podataka korisnicima. Zbog korištenja TCP/IP protokola podržava i mobilni bežični internet pristup putem GSM, GPRS ili UMTS veze. NTRIP ima veliku prednost u odnosu na ostale načine prijenosa podataka zbog toga što

se simultano stotine RTCM podataka mogu prosljeđivati tisućama korisnika. NTRIP sustav se sastoji od slijedećih komponenti:

- *NTRIP izvor* – predstavlja izvor GNSS podataka, odnosno GNSS prijemnik koji vrši opažanja i generira korekcije
- *NTRIP server* – preuzima podatke NTRIP izvora te ih prosljeđuje NTRIP casteru
- *NTRIP caster* – simultano raspoređuje podatke NTRIP servera prema klijentima. Služi kao veza između NTRIP servera i NTRIP klijenta.
- *NTRIP klijent* – stacionarni ili mobilni korisnici GNSS podataka biraju NTRIP izvor (GNSS stanicu) preko pripadajućeg identifikacijskog broja sa liste (*Source Table*) (URL2)



Slika 4.1. Prosljeđivanje GNSS podataka EPN stanica putem NTRIP-a

S obzirom na takve tehnološke zahtjeve koje EPN stanica mora zadovoljiti, osim samog GNSS uređaja bilo je potrebno instalirati dodatnu komunikacijsku opremu. Pri tome treba napomenuti da su GNSS uređaji (*Trimble NETR5*) koji se nalaze na lokacijama u Dubrovniku i Osijeku ujedno i NTRIP serveri.

Tablica 4.1. Popis uređaja

Uredaj / oprema	Opis	Slika
GNSS prijemnik <i>Trimble NETR5</i> + Antena <i>Trimble Geodetic Model 2</i>	GNSS prijemnik / referentna stanica sa 72 kanala, omogućuje prijem GPS i GLONASS satelita sa preciznošću faznih mjerena od 1mm kod valnih duljina od 1Hz.	
Router	Cisco 1800 (CISCO SYST.)	
Switch	Catalyst express 500	
PDU	Power Distribution Unit MGEUPS SYSTEMS switched PDU (RSNM-RS-E02)	
UPS	HP UPS (T750 INTL)	
Modem	Kasda ADSL router	

GNSS uređaj NETR5 omogućuje prijem GPS/GLONASS signala na više kanala (72) te je posebno dizajniran za funkciju permanentne stanice. Postavke instrumenta su u skladu sa EPN pravilima za permanentne stanice. Neke od njih prikazane su u tablici 4.2.

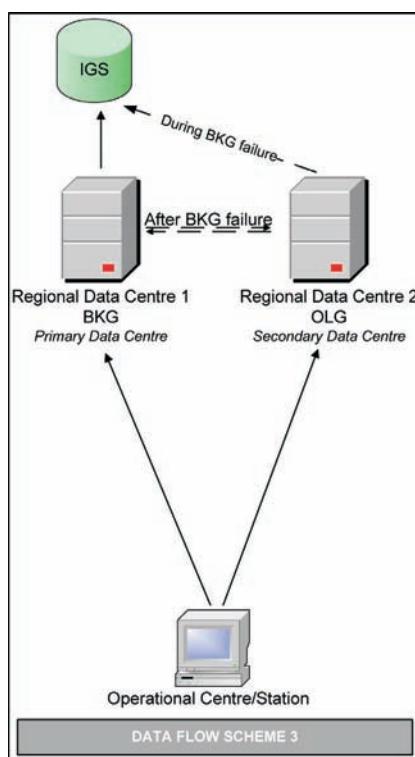
Tablica 4.2. Konfiguracija GNSS prijemnika

Postavke	DUBR	OSJE
Elevation Mask:	0°	0°
Antenna ID:	185	185
Antenna Type:	Zephyr Geo Mdl 2	Zephyr Geo Mdl 2
Antenna Height:	0.058 [m]	0.063 [m]
RTK Mode:	Low Latency	Low Latency
Motion:	Static	Static
Reference Latitude:	42° 38' 59.92937"N	45° 33' 38.79706"N
Reference Longitude:	18° 06' 37.55071"E	18° 40' 49.75833"E
Reference Height:	454.315 [m]	155.193 [m]
RTCM 2.x ID:	0	0
RTCM 3.x ID:	0	0
Station Name:	DUBR	OSJE
Serial Number:	4644K59159	4643K02941
Firmware Version:	3.60	3.60

5. Analiza rada permanentnih stanica

Radni centar (EUREF *Operational centre* – OC) za permanentne stanice *DUBR* i *OSJE* je FSW (*Bundesamt fuer Kartographie und Geodesie Fundamentalstation Wettzell*). Veza između opažačke stanice i OC ostvarena je internet vezom (ruter – modem DSL – internet) koristeći NTRIP tehnologiju. Pri tome OC pohranjuje sirove (raw) podatke sa instrumenta. Podaci su u formatu *T01* koji je standardan za *Trimble* instrumente. Nakon arhiviranja podaci se transformiraju u RINEX format (softver *GPSBase*) te se provodi kontrola kvalitete podataka koristeći *Unavco TEQC* softver. Podaci se zatim kompresiraju u Hatanaka format te prosljeđuju primarnim i sekundarnim centrima za prikupljanje podataka (*Data Centre* – DC) BKGE i OLG.

Satne datoteke opažanja (*hourly data file*) prosljeđuju se prema radnom centru 2 minute nakon što se generiraju, dok su dnevne datoteke spremne za korištenje u 0:45 UT za prethodni dan (URL1).



Slika 5.1. Transfer podataka između OC i DC

5.1. Izvješće o radu permanentne stanice *DUBR*

Zadaća Hrvatskog geodetskog instituta je nadziranje rada permanentne stanice i otklanjanje mogućih poteškoća u radu. Protok podataka osigurano je putem NTRIP-a u realnom vremenu 24/7/365, pa funkcioniranje sustava ovisi o internet vezi. Drugim riječima da bi se omogućio nesmetan transfer podataka u realnom vremenu, a samim time i funkcioniranje stanice, treba imati sigurnu i stabilnu internet vezu.

S obzirom na lokaciju i smještaj permanentne stanice u Dubrovniku, u proteklom razdoblju nailazilo se na dosta poteškoća. Naime, komunikacijski centar smješten je u tvrđavi *Imperijal* na brdu Srđ iznad Dubrovnika. Objekt je prilično devastiran nakon Domovinskog rata te su uređaji smješteni u neadekvatnoj vlažnoj prostoriji. Također telekomunikacijski i električni

kabeli su u prilično lošem stanju. Zbog toga je internet veza u proteklom razdoblju bila prilično nesigurna te su ispadni, blokade i zagušenja internet veze bila česta, što je ipak i karakteristično za cijelo područje u okolini Dubrovnika. Da bi se otklonio problem potrebno je fizički doći na mjesto i ručno restartati modem-ruter što je također još jedna poteškoća budući da se radi o izdvojenoj usamljenoj lokaciji, udaljenoj od centra Dubrovnika (područne uprave za katastar) desetak kilometara.

Rješenje se prvo pokušalo naći u zamjeni modema, pa je na lokaciji u proteklom razdoblju postavljeno i zamijenjeno tri ADSL modema različitih proizvođača. Zbog CISCO rutera koji je instaliran unutar komunikacijske mreže svi ADSL modemi su bili postavljeni u *bridge* modu. Također, zbog promjene napona električne energije modemi su bili spojeni na UPS. Sve to ipak nije dalo veće rezultate, internet veza je i dalje stvarala probleme. Treba napomenuti da se na lokaciji nalazi PDU (*Power Distribution Unit*) kojemu je glavna zadaća gašenje ili resetiranje uređaja koji su na njega spojeni (GNSS prijemnik, ruter, switch) preko udaljenog računala (*interface*). Međutim, problem je u tome da je komunikacija sa PDU-om omogućena jedino putem internet veze preko iste ADSL linije. Tako kada dođe do prekida internet veze njegova funkcija ostaje neiskorištena.

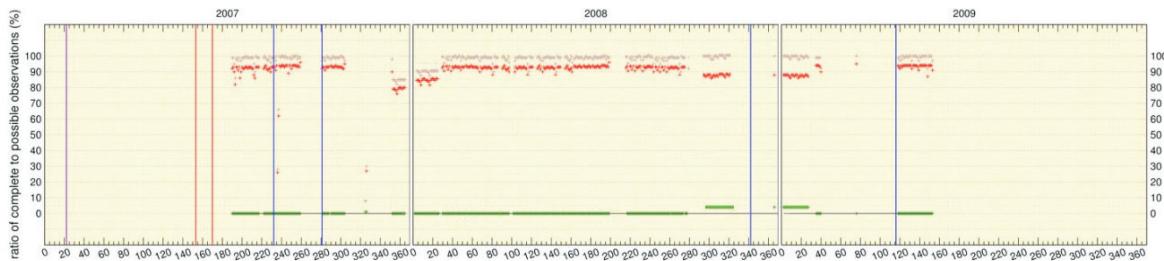
Slijedeća stvar koja se napravila krajem listopada 2008. Godine bila je promjena svih telekomunikacijskih vodova. Dotadašnje zastarjele instalacije zamijenjene su novim UTP kabelom su postavljeni novi osigurači. Nove instalacije, uz provedeno novo uzemljenje, donekle su smanjile poteškoće i prekide internet veze. Međutim, puna funkcionalnost, a samim time i pravi rezultati mogući su samo ako stanica prosljeđuje GNSS podatke radnom centru (FSW) bez čestih i dužih prekida.

Također, u tom razdoblju dogodila su se dva kvara na samom GNSS uređaju. U oba slučaja bilo je riječ o kvaru mrežne kartice u instrumentu. Instrument je pri tom mogao registrirati i pohranjivati podatke u svoju internu memoriju, ali ih nije mogao dalje proslijeđivati. Budući da se kvar mogao otkloniti jedino kod ovlaštenog servisera u Njemačkoj, stanica je u tom razdoblju bila neaktivna (slika 5.1). S obzirom na to da je promjenom mrežne kartice trebalo promijeniti cijelu matičnu ploču unutar instrumenta možemo reći da je u proteklom razdoblju dva puta zamijenjen GNSS uređaj.

U ožujku 2009. zamijenjen je CISCO ruter jer je bilo primijećeno da je kod većine slučajeva bilo potrebno ponovno pokrenuti samo ruter dok je ADSL modem bio u funkciji. Također je uvedena dodatna prednaponska zaštita za modem i zaštita od udara groma za antenu. Od tada pa do rujna 2009. nije se bilo prekida Internet veze niti problema sa uređajima. S obzirom na to može se zaključiti da su dotadašnje poteškoće u radu EPN stanice najvjerojatnije bile izazvane problemima rutera te oscilacijama u naponu mreže.

Osim toga ovakva lokacija stanice zbog udaljenosti, tehničkih problema ali i instalirane opreme (PDU) zahtjeva dodatnu (*back-up*) internet liniju, što je uostalom i slučaj kod CROPOS-ovih permanentnih stanica. To se može osigurati promjenom ADSL linije u ISDN liniju koja osim digitalnog transfera podataka veze omogućuje i analogni. U daljnjoj budućnosti treba voditi računa da je prostornim urbanističkim planom u okolini predviđena gradnja golf terena te će se unutar tvrđave obnoviti ugostiteljski objekt (kao i prije Domovinskog rata), što može uzrokovati promjenu pozicije antene na terasi tvrđave.

Na slici 5.2 prikazan je omjer mogućih i ostvarenih opažanja. Crvenom bojom su prikazana opažanja kod elevacijske maske postavljene na 0°, dok su smeđom bojom prikazana opažanja kod elevacijske maske od 15°. Zahtjev EUREF-a je da sve EPN stanice ostvaruju 100% opažanja kod elevacijske maske od 15°. Zelena boja prikazuje nekvalitetna mjerena izbačena upotrebom programa za kontrolu kvalitete GNSS mjerjenja TEQC.

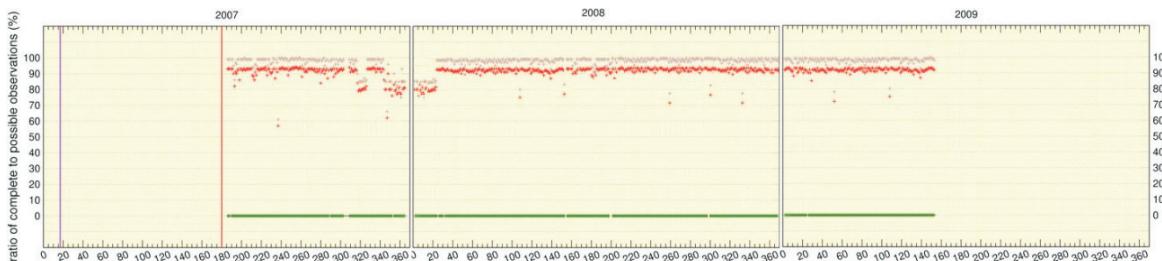


Slika 5.2. Omjer mogućih i ostvarenih opažanja EPN stanice *DUBR*

5.2. Izvješće o radu permanentne stanice OSJE

S obzirom na lokaciju i smještaj permanentne stанице u Osijeku, u proteklom razdoblju nije se nailazilo na poteškoće. Pojedinačni ispadи internet veze mogli su se pripisati problemima koje je u pojedinim trenucima imao lokalni pružatelj internet usluga, a koji su izvan utjecaja HGI-a. Budući da je komunikacijski centar smješten u server sobi *Geodetskog zavoda d.d. Osijek* ručna resetiranja ruter-modema mogla su se obaviti odmah prilikom uočavanja prekida internet veze. Stanica je u proteklom razdoblju bila neaktivna 8 dana što je zanemarivo.

Na slici 5.3 prikazan je omjer mogućih i ostvarenih opažanja u proteklom razdoblju. Može se primijetiti da je krajem 2007. i početkom 2008. smanjen broj opažanja. Uzrok tome su velike padaline snijega u to vrijeme te zadržavanje naslaga na vrhu antene. Da bi se izbjegli slični problemi u slijedećem razdoblju, prije početka zime, na stanicu će se postaviti zaštita antene od snijega (*radomes*).



Slika 5.3. Omjer mogućih i ostvarenih opažanja EPN stanice *OSJE*

5.3. Dobiveni rezultati

Glavni produkt EPN-a su tjedna rješenja koordinata (*weekly coordinate estimates*) permanentnih stаница i njihove kovarijance u SINEX formatu. Te su koordinate rezultati takozvanog "tjednog kombiniranog rješenja", a bazirano je na lokalnim mrežnim rješenjima koje donose lokalni centri za analizu (LAC). Ona se prikazuju kroz ITRS referentne okvire preko određenog broja "pouzdanih" (*fiducial*) EPN točaka.

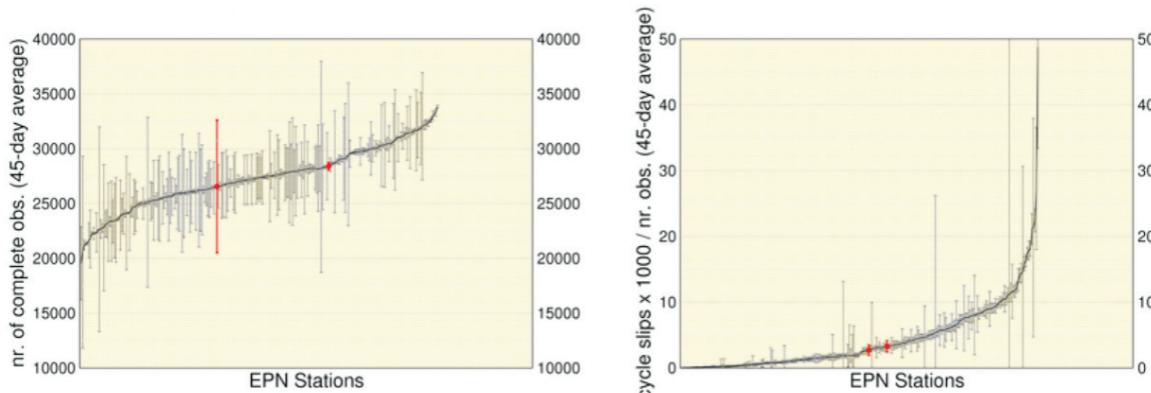
Razvoj koordinata pojedine EPN stанице uključenih u kombinirana tjedna prikazan je kroz:

- ITRS koordinate iz tjednih rješenja
- ITRS koordinate iz tjednih rješenja te transformirane u ETRS89

Svrha ovog projekta je ocjena utjecaja različitih ITRS/ETRS89 realizacija na koordinate EPN točaka. Procedura za dobivanje ITRS koordinata je da se tjedna rješenja koordinata (X, Y,

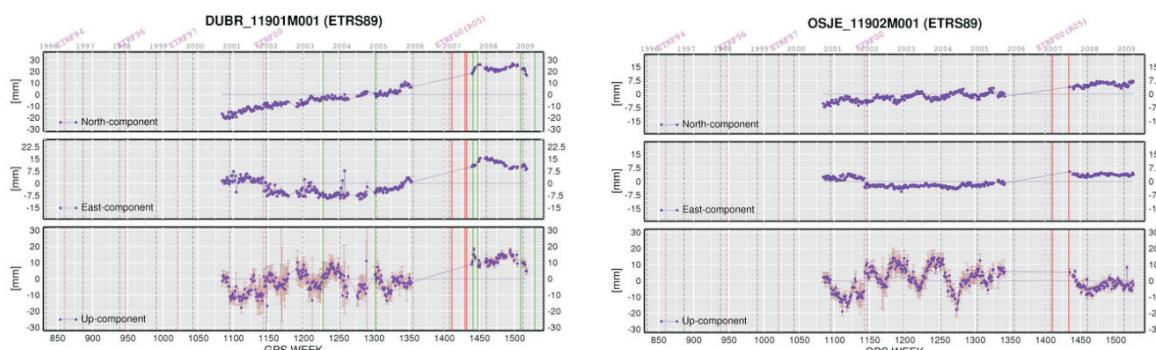
Z) transformiraju u lokalni referentni sustav (N, E, U), dok se za ETRS vremenski slijed tjedna rješenja transformiraju u ETRS89 referentni sustav (koristeći *Boucher-Altamimi* formulu za transformaciju) te se zatim transformiraju u lokalni referentni sustav (N, E, U) (URL1).

Na slici 5.4 prikazana je kvaliteta rada stanica DUBR i OSJE u odnosu na ostale EPN stanice.



Slika 5.4. Dnevni broj opažanja i broj *cycle-slipova* u odnosu na ostale EPN stanice

Glavni proizvod EPN-a su koordinate stanica koje se realiziraju preko tjednih rješenja. Na slici 5.5. prikazana su tjedna rješenja (ITRS) transformiranih u ETRS.



Slika 5.5. Tjedna rješenja točaka **DUBR** i **OSJE** kroz različite ITRF realizacije referentnih okvira

Osim tjednih rješenja računaju se koordinate i brzine točaka kao rezultat višegodišnjih izjednačenja svih tjednih rješenja bez eliminiranih *outlier*a.

Tablica 5.3. ITRF2005 koordinate i brzine za točke **DUBR** i **OSJE**

	epoha	X [m]	Y [m]	Z [m]
		V _x [m/god]	V _y [m/god]	V _z [m/god]
DUBR	ITRF2005, 2000.0	4465940.1610 ± 0.0010	1460594.3910 ± 0.0010	4299291.3680 ± 0.0010
		-0.0198 ± 0.0002	0.0173 ± 0.0001	0.0119 ± 0.0001
OSJE	ITRF2005, 2000.0	4237753.3290 ± 0.0010	1432791.6150 ± 0.0000	4531310.2240 ± 0.0010
		-0.0181 ± 0.0001	0.0171 ± 0.0001	0.0100 ± 0.0001

6. Zaključak

Referentni okvir EUREF je gotovo u potpunosti realiziran koristeći GNSS (*Global navigation satellite system*) mjerena 223 EPN permanentne stanice diljem Europe. Od siječnja 2007. HGI je preuzeo nadzor i održavanje dviju permanentnih GNSS stanica u sklopu EPN-a. Riječ je o stanicama u Dubrovniku (*DUBR*) i Osijeku (*OSJE*). Pri tome HGI je odgovaran za održavanje, praćenje rada te pohranu i osiguranje sirovih podataka mjerena u realnom vremenu kao što je navedeno u pravilima EPN-a.

Permanentne stanice *DUBR* i *OSJE* dio su EPN i IGS mreže permanentnih GNSS stanica što je najveći rang koje stanica može dobiti. Stanice su uključene u razne međunarodne i domaće projekte. Stanica *OSJE* je uključena u izjednačenje mreže CROPOS-ovih referentnih stanica. Unatoč navedenim poteškoćama HGI je uspio u proteklom razdoblju osigurati protok podataka prema EPN serverima u realnom vremenu korištenjem NTRIP tehnologije. U budućnosti će biti potrebno dodatno osigurati nesmetan rad stanica (npr. uvođenje još jedne Internet linije kao osiguranje) te će uključiti stanice u druge EUREF/IGS projekte (IGS-IP projekt).

Stanice *DUBR* i *OSJE* ne bi mogle biti u funkciji niti bi bili ostvareni navedeni rezultati da nije bilo pomoći kolega iz Geodetskog zavoda d.d. Osijek i PUK Dubrovnik.

7. Literatura

Bruyninx, C., Legrand, J., Roosbeek (2008): *GNSS Network Management Procedures: Application to the EPN*; IGS Analysis Workshop 2008, Miami; prezentacija

Medak, D., Pribičević, B. (2001): *Croatian permanent stations within International GPS-service for Geodynamics*

URL1: <http://www.epncb.oma.be/>

URL2: http://igs.bkg.bund.de/index_ntrip.htm

Status i perspektive postojećih i planiranih satelitskih navigacijskih sustava

Asim Bilajbegović*

Sažetak

U zadnje dvije godine učinjeni su značajni koraci u izgradnji, moderniziranju postojećih i te koncipiranju i testiranju novih navigacijskih satelitskih sustava. Zgog toga, u ovom radu opisan je status i perspektive postojećih i planiranih satelitskih navigacijskih sustava: GPS-a, GLONASS-a, Galileo-a, COMPASS-a, QZSS-a, IRNSS-a, WASS-a, MSAS-a, EGNOS-a, GAGAN 3-a, SDCM-a, SNAS-a. Za postojeće sustave (GPS) koncipirana i naručena je treća generacija satelita, a za GLONASS očekuje se potpuna konstelacija u 2010. godini. Višebrojnost satelitskih navigacijskih sustava zahtijeva od proizvođača GNSS prijamnika hibridnost (prijam svih signala), a ispitivanja autora pokazuju da se softveri za obradu hibridnih satelitskih mjerena moraju osvremeniti novim matematičkim modelima.

Zbog opširnosti teme odnosno brojnosti navigacijskih satelitskih sustava opisat će se samo najbitnije karakteristike statusa i peprsketive pojedinačnih satelitskih sustava.

Ključne riječi: GPS, GLONASS, Galileo, COMPASS, QZSS, IRNSS, WASS, MSAS, EGNOS, GAGAN, SDCM, SNAS.

1. Uvod

Kako su u zadnje dvije godine učinjeni su značajni koraci u izgradnji, moderniziranju postojećih i te koncipiranju i testiranju novih navigacijskih satelitskih sustava u sljedećim poglavljima opisani su prvenstveno status i nove komponente satelitskih sustava, zatim kvaliteta i poboljšanja satelitskih signala, perspektive i koncept budućih prijamnika i softvera za integriranu obradu budućih GNSS-a. Pregled postojećih i planiranih navigacijskih sustava prikazan je u tablici 1, Becker, M. (2009).

Tablica 1: Postojeći i planirani navigacijski sustavi

Satelitski sustav	Postojeći odn. planirani broj satelita	Vrsta sustava: Globalni/Regionalni Augmentation	Zemlja izgradnje sustava
GPS	24+	Globalni	USA
GLONASS	24	Globalni	Rusija
Galileo	27	Globalni	Evropa
COMPASS	35	Globalni	Kina

* Dresden, University of Applied Sciences Dresden Faculty of Geoinformation

Satelitski sustav	Postojeći odn. planirani broj satelita	Vrsta sustava: Globalni/Regionalni Augmentation	Zemlja izgradnje sustava
QZSS	3	Regionalni	Japan
IRNSS	7	Regionalni	Indija
WASS	3	Augmentation	USA
MSAS	2	Augmentation	Japan
EGNOS	3	Augmentation	Evropa
GAGAN 3	3	Augmentation	Indija
SDCM	2?	Augmentation	Rusija
SNAS	?	Augmentation	Kina

Sukladno tablici 1 u slijedećim poglavljima opisat će se ukratko navedeni navigacijski satelitski sustavi.

2. GPS segmenti i modernizacija

2.1. Kosmički segment

Trenutačno (03.09.2009.) u upotrebi su 31 satelita od toga 11 GPS IIA, 12 GPS IIR, 8 GPS IIR-M i u pripremi je jedan satelit GPS II-F s trećom civilnom frekvencijom L5. Sateliti IIR-M emitiraju novi civilni signal L2C, a osim toga sateliti IIR-20 (M7, SVN 49) i IIR-21 (M8, SVN 50) opremljeni su za emitiranje test verzije L5 signala. SAD morale su do 26. kolovoza 2009. u putanju lansirati satelit koji emitira L5 frekvenciju da bi zadržale pravo na dodjeljenu frekvenciju. Pregled GPS signala, blokova satelita s godinom lansiranja ili planiranog lansiranja dat je u tablici 2. i prikazan na sl.1.

Tablica 2: GPS evolucija (modernizacija)

GPS Blok	IIA i IIR	IIR-M	IIF	III
Godina	1978.-2005.	2005.	2009.-2011.	2014.
S i g n a l i	L1 C/A	L1 C/A	L1 C/A	L1 C/A
	L1 P(Y)	L1 P(Y)	L1 P(Y)	L1 P(Y)
		L1 M	L1 M	L1 M
				L1 C
	L2 P(Y)	L2 P(Y)	L2 P(Y)	L2 P(Y)?
		L2 C	L2 C	L2 C
		L2 M	L2 M	L2 M
			L5	L5

USA DOD (Demartment of Defense) najavilo je da će od jeseni 2009. uspostaviti nove navigacijske vijesti (CNAV) na L2C-frekvenciji. To će ostvariti instaliranjem novog softvera na 8 GPS IIR-M satelita. Nove navigacijske vijesti sadrže niz poboljšanja u odnosu na Broadcast-Messages na frekvenciji L1, snaga emitiranja signala je jača i dekodiranje signala je robusnije. Novost je fleksibilnija struktura podataka s promjenljivim duljinama bloka i varijabilnim intervalima odašiljanja. Struktura bloka je objasnjena u (ICD-GPS-200D) i sadrži ukupno 65 vrsti

vijesti. U početku će se primjenjivati 15 CNAV-okvira s podacima. Npr. message Typ 0, sadržavat će broj satelita (PRN) i podatke o vremenu u intervalima od 12 sekundi.

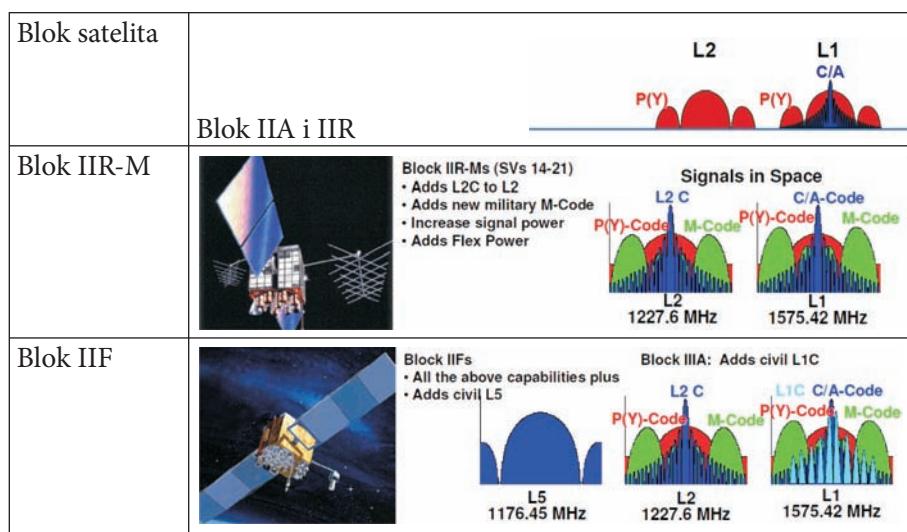
Novi signal na frekvenciji L5 na budućim satelitima GPS IIF i GPS III sadržavat će CNAV-message. Ovi službeni podaci mogu se naći na internet stranici "<http://navcen.uscg.gov/pubs>".

Firma Lockheed Martin je razradila osnovna tehička svojstva, a procjenjeni su troškovi, vremenski plan izgradnje i lansiranja bloka III GPS satelita. Prva dva satelita bloka III trebalo bi zgotoviti do 2014. god., onda bi slijedila izgradnja 8 satelita bloka IIIB i 16 satelita bloka IIIC. Blok III sateliti bi emitirali četvrti civilni signal L1C. Ovi sateliti će moći međusobno komunicirati i dovoljno je s jedne kontrolne stanice poslati podatke vidljivim satelitima a oni ih dalje dostavljaju preostalim. To omogućava brže dostavljanje aktuelnih efemerida i upozorenja o pogreškama satelita, što povećava pouzdanost satelitskih vijesti i podataka.

Povezano s modernizacijom GPS satelita prijeti opasnost isključivanja dosadašnjih signala na L2 frekvenciji. Onda uporaba P-coda na frekvenciji L1 i L2 od 31.12. 2020. ne bi bila moguća, zbog premalog broja starih satelita. A to znači, da se ne garantira primjena GPS prijamnika iz 1980-ih, 1990-ih kao i današnjih prijamnika. Kako u svijetu ima instaliranih preko 10000 dvofrekvenčskih prijamnika na permanentnim stanicima, modernizaciju GPS treba se uzeti u obzir, da izbjegnu pogrešne investicije.

Vrlo važno svojstvo je intergrititet satelitskog sustava, poglavito tijekom slijetanja zrakoplova neophodna je potpuna pouzdanost GPS signala. Prema ispitivanjima Enge (2008) od 1993. do 2008. bilo je ukupno tri slučaja pogrešnih efemerida satelita, dva do tri slučaja pogrešnih satova satelita s velikim hodom sata i oko 24 malih anomalija. Npr. od 8. do 10. listopada 2007. pet satelita bloka IIR i jedan satelit IIR-M su od 2 do 12 sati emitirali koruptirane podatke. Oni su prenosili C/A codove na L1 frekvenciji koji nisu bili uporabivi. Uzrok je bila pogreška pohrane prenesenih podataka od kontrolnih stanica. Zapravo, softver za prijenos podataka imao je pogrešku u pohrani podataka na satelitima. Neki prijamnici su sa starim almanahom slijedili sataelite a drugi nisu uopće mjerili pseudoudaljenosti. Pogreške pseudoudaljenosti su bile između 10 do 100 km. Zbog toga, bitno je imati više od 30 satelita istog sustava ili iz koperativnih različitih sustava.

Slično Galileo-u GPS sateliti bloka III imat će servis traženja i spašavanja kojeg trenutačno razvija NASA.

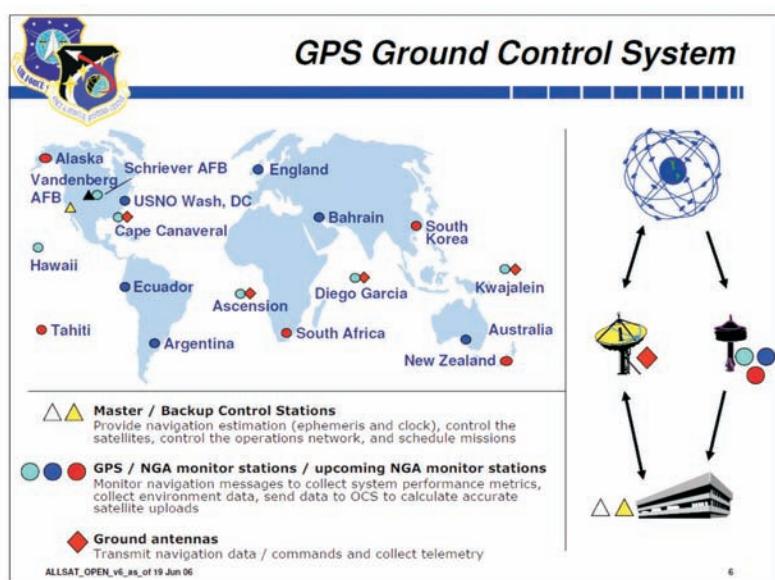


Slika 1: Prikaz razvoja GPS Signala, prema Reaser, C. R. (2006)

2.2. Kontrolni (zemaljski) segment GPS

Globalna mreža kontrolnih stanica imat će 17 monitornih postaja i dvije redundante glavne operativne centrale. Cilj je mogućnost opažanja svakog satelita s tri monitoring (opažačke) postaje.

Zapravo stara Master Control Station je 14. rujna 2007. predala svoju nadležnost novom operacijskom centru Schriever Air Force Base in Colorado Springs u Coloradu. Znatno poboljšanje je novi kompjuter i softver za računajnja navigacijskih vijesti, novi program za kontrolu satelita i više antena za komunikaciju. Mogućnost komunikacije sa satelitima je sa 92,7% povećana na 94,5%. Povećani broj GPS-prijamnika na monitoring stanicama omogućuje 100% nadziranje signala satelita i u 99,8% redundanciju putanja satelita, sl. 2.



Slika 2: Kontrolni (zemaljski) segment GPS, <http://navcen.uscg.gov/pubs>.

3. GLONASS modernizacija

3.1. Kosmički segment

Već sedmu godinu GLONASS se nalazi u procesu modernizacije koja je planirana u trajanju od 11 godina. GLONASS sustav 03.09.2009. ima 17 odnosno 18 (na jednom satelitu samo je u operativna L1 frekvencija) operativnih satelita. Krajem 2009. trebalo bi biti aktivno 22, krajem 2010. 24, a krajem 2011. 30 satelita. Prvi start GLONASS-K satelita planiran krajem 2010, (v. <http://www.glonass-ianc.rsa.ru>).

Ruska vlada je 15. veljače 2008. objavila promjenu FDMA (Frequency Division Multiple Acces) modulacije u CDMA (Code Division Multiple Acces) na frekvencijama L1 i L2. Signali će imati binarnu Offset-Carrier strukturu BOC (2,2) sa srednjom frekvencijom od 1575,42 MHz i BOC (4,4) strukturu na frekvenciji 1176,45 MHz. (Ove frekvencije odgovaraju L1 i L5 GPS-a, i približno odgovaraju Galileo-vim i COMPASS-ovim signalima).

Dodatni FDMA signal bit će moduliran na L3 frekvenciji (1197,648-1212,255 MHz, nešto ispod L2 GPS frekvencije). Time se postiže kompaktibilnost satelita novih generacija: GLONASS-M, GLONASS-K i GLONASS-KM sa GPS i Galileom. GLONASS-M (2003.-2015.) sa-

teliti imaju produljen vijek trajanja na 7 godina, imaju civilni G2C signal i stabilizirane satove satelita, te poboljšanu opskrbu energijom satelita pomoću solarnih panela.

GLONASS-K (2010.-2025.) imaju produljen vijek trajanja satelita na 10 godina, treću civilnu frekvenciju, kod njih se uvode GNSS informacije integriteta, imat će search and rescue servis i korekcije u realnom vremenu.

GLONASS-KM je u fazi definiranja i njihovo uvođenje planirano je od 2015. godine.

Broadcast efemeride GLONASS satelita od 20. rujna 2007. su date u Sustavu PZ-90.02, te su se tako odstupanja u odnosu na ITRF 2000 smanjila od 50 m na svega 5-7 m. UERE – sustavna pogreška duljina smanjena je od 3,3 na 1,8 m. Za transformaciju koordinata između ITRF 2000 i PZ-90.02 dovoljne su za sada tri translacije $\Delta X=-0,36$ m, $\Delta Y=0,08$ m i $\Delta Z=0,18$ m.

Stabilnost GLONASS-M cezijum-satova kreće se u području od $0,2\text{--}0,8 \times 10^{-13}$. Problemi pri obradi hibridnih mjerena GPS+GLONASS-a u bućnosti će se smanjiti. Zbog različitih frekvencija G1 i G2 na satelitima (kanalima) pogreška sata satelita ovisna je o kanalima istog satelita, a to izaziva smetnje, odnosno poteškoće pri obradi podataka mjerena.

3.2. Kontrolni segment

Kontrolni segment sastoji se od 10 stanica i to: jedne master kontrolne stanice, tri kombinirane stanice za: monitoring, telemetriju koje posjeduju atomske satove i uplink funkciju, dvije od ovih stanica izvode i laserska mjerena do satelita. Segmet ima još šest monitoring stanica, a u planu je proširenje kontrolnog segmenta na područja izvan Rusije.

3.3. Prednosti GPS-a + GLONASS-a danas?

Ovdje se mogu susresti brojne publikacije pune optimizma. Ispitivanja autora (Bilajbegović et al. 2008.) o poboljšanju pouzdanosti i točnosti upotreboom GPS i GLONASS-a sa 14 satelita u HEPS-u (visokoprecizni servis u realnom vremenu) za različite zaklone horizonta dao je poboljšanja od svega 13%, tablica 3.

Tablica 3: Rezultati mjerena na točkama sa različitim zaklonima horizonta sa samo GPS satelitima (R8 GPS) i sa GPS+GLONASS satelitima (R8 GNSS), Bilajbegović i dr. (2008)

Tim prijamnika	Ukupni broj mjerena	Mjerena sa standardnim odstupanjima unutar izvan granice tolerancije				Broj neuspjelih mjerena	Prednosti R8 GNSS, zbrojene u %
		unutar	izvan	granice tolerancije			
Mjerena na točkama s malim zaklonima horizonta							
R8 GNSS	76	100,0 %	72	94,7 %	2	2,6 %	+13,1 %
R8 GPS	76	100,0 %	67	88,2 %	8	10,5 %	
Bilanz für R8 GNSS				+6,5 %		+7,9 %	
Mjerena na točkama s srednjim zaklonima horizonta							
R8 GNSS	96	100,0 %	85	88,5 %	11	11,5 %	+14,6 %
R8 GPS	96	100,0 %	78	81,2 %	18	18,8 %	
Bilanz für R8 GNSS				+7,3 %		+7,3 %	
Mjerena na točkama s velikim zaklonima horizonta							
R8 GNSS	80	100,0 %	20	25,0 %	25	31,2 %	+12,5 %
R8 GPS	80	100,0 %	15	18,8 %	22	27,5 %	
Bilanz für R8 GNSS				+6,2 %		-3,7 %	
Analiza iz svih mjerena (na točkama s malim, srednjim i velikim zaklonima horizonta)							
R8 GNSS	252	100,0 %	177	70,3 %	38	15,1 %	+13,6 %
R8 GPS	252	100,0 %	160	63,5 %	48	19,1 %	
Bilanz für R8 GNSS				+6,8 %		+4,0 %	

Planiranim prelaskom sa FDMA (Frekvency Division Multiple Acces) na CDMA (Code Division Multiple Access) kao kod GPS i to na frekvencijama L1 i L5, i potpunom izgradnjom GLONASS sustava za očekivati su znatnija poboljšanja.

Isto tako ispitivanja autora tijekom svibnja 2009. o prednosti hybridnih sustava GPS i GLONASS-a (danasa sa 17 satelita) korištenjem rapidne statičke metode i novog Trimbla softvera TBC V. 2.0 nisu dala znatnije prednosti u odnosu korištenje samo GPS signala.

Ovdje problem leži i u algoritmu softvera tj. računanja dvostrukih faznih razlika samo unutar jednog satelitskog sustava. Zbog toga softveri za obradu hibridnih podataka mjerjenja moraju se osjetno poboljšati.

4. Galileo

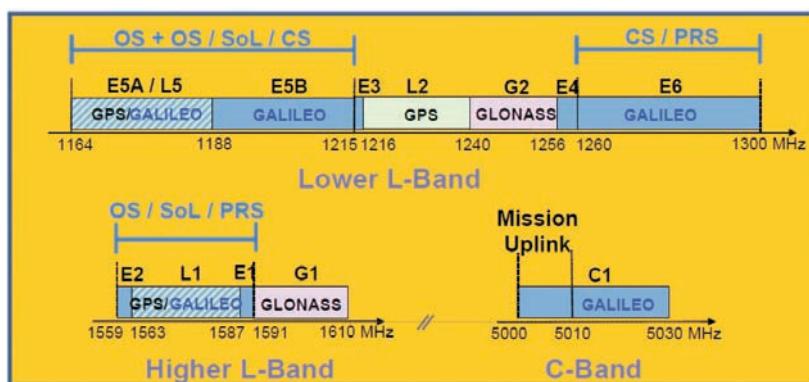
Brojne publikacije opisuju ovaj budući evropski satelitskih sustav. Zbog toga u radu su sažete glavne karakteristike Galileo sustva, prema Weber i dr. (2001):

- nezavisnost od drugih satelitskih navigacijskih sustava,
- interoperabilitet s GPS-om,
- postojanje različitih servisa (npr. otvorenog, sigurnosnokritičkog, reguliranog),
- implementiranje servisa integriteta (na području i izvan Evrope),
- neovisnost servisa integriteta od Galileo kontrolnog sustava (GCS),
- globalni servisi (search & rescue, servis navigacijskih podataka),
- globalno pozicioniranje i globalna dostupnost skale vremena na osnovi globalne konstellacije satelita,
- regionalne komponente sustava (monitoring i up-link stanice),
- intergracija s regionalnim sustavima npr. s EGNOS-om,
- integracija s lokalnim (diferencijalnim) sistemima i
- kompatibilnost s UMTS (mrežama mobilnih telefona).

4.1. Kosmički segment

Prema Benedicto i dr. (2000) Galileo će se sastojati od 30 MEO (Medium Earth Orbit) satelita, zapravo (27/3/1) 27 satelita s 3 satelita u pričuvu. Visina satelita planirana je oko 23260 km s kutem nagiba putanje od 56°.

U okviru razvojne faze prvi Galileo satelit GIOVE-A (Galileo In Orbit Validation Element) razvijen od firme Survey Satellite Technology Limited (SSTL) lansiran je 28. prosinca 2005. sa sojus raketom. Satelit ima masu od 600 kg s volumenom 1,1x1,3x1,4 m³. Drugi satelit GIOVE-B trebao je biti lansiran početkom 2006 god.. Ovaj satelit je radio prijašnji "Galileo Industries" konzorcij koji je imao tehničkih problema s glavnim elementima satelita i lansiran je tek 26.04.2008. s višegodišnjim zakašnjenjem. Satelit ima masu 523 kg s volumenom od 0,955x0,955x2,4 m³. Zbog toga naručen je drugi satelit GIOVE-A2 od engleske Firme SSTL. Radi spora Njemačke i Italije oko industrijske nadležnosti za izgradnju Galileo sustva, te niza drugih problema, potpuna izgradnja sustava očekuje se tek 2013. odnosno 2014. godine, a ne kako je u početku planirano 2008. Dosadašnja opsežna ispitivanja signala i frekvencija Galilea dala su inicijativu za modernizaciju GPS-a, GLONAS-a i putokaz za izgradnju COMPASS-a, sl.3 i 4, tab. 4.



Slika 3: Pregled signala i servisa Gelileo-a

Tablica 4: Pregled Galileo frekvencija i modulacija signala

Signal	Frekvencija [MHz]	Servisi	Modulacija signala	Chiprate [Mcps]	Daterate [sps]
E5a	1176,45	OS	AltBOC(15;10)	10,23	250
E5b	1207,14	OS SoL CS	AltBOC(15;10)	10,23	250
E6	1278,75	CS	BPSK(5)	5,115	1000
E6	1278,75	PRS	BOC(10;5)	5,115	100
E1B	1575,42	OS SoL CS	CBOC(6,1;1/11)	1,023	250
E1A	1575,42	PRS	BOC(15;2,5)	2,5575	100

Značenje skraćenica u tablici 4: OS: Open Service; SoL: Safety of Life; CS: Commercial Service (regulacija trenutačno nepoznata); PRS: Public Regulated Service; Mcps: Megachips per second; sps: symbols per second.

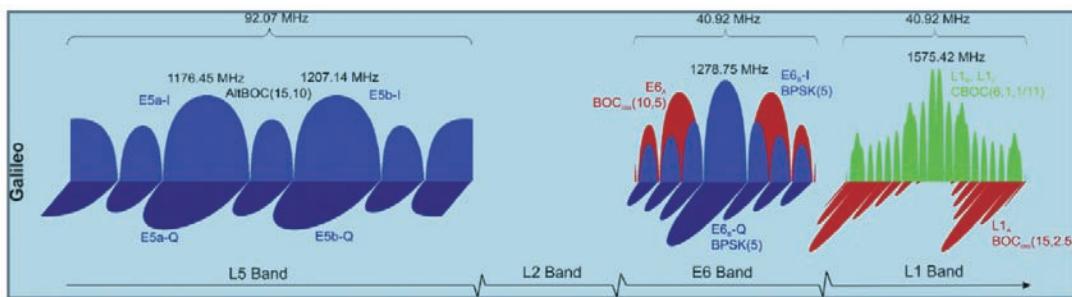
Otvoren servis (*Open Service*) bit će na frekvencijama E1 i E5a/E5b/E5ab s besplatnim korištenjem.

Komercijalni servis (*Commercial service – CS*) bit će zatvorenog karaktera i korištenje servisa će se plaćati. Imat će visoku brzinu prenosa podataka Datenrate 1000 symbols/sec.

Sigurnosni servis (*Safety of Life*) na suprot otvorenom servisu je proširen s upozorenjima o ograničenju točnosti i ispadu satelita.

Regulirani ili državni servis (*Public Regulated Service – PRS*) napmjenjen je isključivo državnim službama: policiji, obalnim stražama (mornarici) službama sigurnosti i vojci.

E5ab je poseban signal sa velikom bandwith što uspješno smanjuje multipath-efekte. Budući prijamnici moći će primati pojedinačne signale E5a i E5b, ali skupi kvalitetni prijamnici moći će primati ukupni E5 (ab) signal.



Slika 4: Shematski prikaz definicija signala Galileo sustava prema Eissfeller et al. (2007b)

Točnost Galilea karakterizira:

- više opažanih veličina tj. 3 (4) frekvencije: L1, E6, E5a, E5b.
- Veći broj satelita 27 (30), odnosno veća redundancija omogućava bolju procjenu pogrešaka i pouzdanije i brže rješenje Ambiguities (brže inicijaliziranje).
- Veća bandwidth signala i nova modulacija. Sve bandwidth su veće od GPS a točnost je proporcionalna s band širinom i zbog manjih multipath-efekata.
- Integritet Galileo-a i integritet informacije kao npr. Signal-in-Space Accuracy (SiSA)
- Bolja geometrija i raspolaganje.
- Galileo je optimiran za veće vertikalne kuteve i bolje raspolaganje satelitima u gradskim područjima.

Da se dobije uvid u snagu signala GPS i Galilea navedimo osnovnu formulu za računanje snage signala:

$$P_r = \frac{P_t \lambda^2}{(4\pi\rho)^2}$$

P_t : snaga emitiranja npr. C/A - code na L1 = 478,63W = 26,8dBW

λ : valna duljina nosećeg vala

P_r : snaga primljenog signala npr. za C/A - code = $1,610^{-16} W = -157,8 dBW$

ρ : udaljenost satelit - prijamnik

$$P[dBW] = 10 \cdot \log_{10} \frac{P[W]}{I[W]}$$

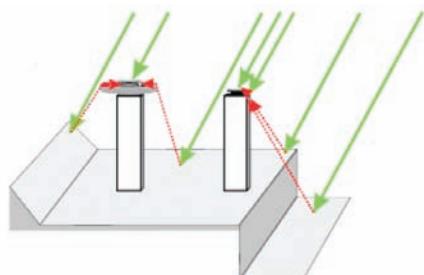
Ispitivanje kvalitete GPS i Galileo signala (posebice šuma) ispitivao je Eissfeller i dr. (2007a) u ovisnosti od bandwitch, tablica 5. Očigledno manje šumove imaju Galileo signali. Najmanji šum od GPS signala ima signal na frekvenciji L5. Ova frekvencija odgovara frekvenciji E5a Galileo-va signala čiji je šum tri do četiri puta manji.

Tablica 5: Pregled šumova za GPS i Galileo kodna mjerena za različite *bandwith* i modulacije signala prema Eissfeller i dr. (2007a)

Signal	Vrsta modulacije	Snaga [dB.W]	B-Bandwitch [MHz]	Signal/ šum odnos S/N [dB.Hz]	Šum [m]
GPS C/A L1	BPSK(1)	-160	24	41,5	0,24
GPS C/A L1	BPSK(1)	-160	8	41,5	0,41
Galileo E1	BOC(1;1)	-155	24	46,5	0,14
Galileo E1	BOC(1;1)	-155	8	46,5	0,23
Galileo E6	BPSK(5)	-155	24	46,5	0,11
GPS L5	BPSK(10)	-154	24	47,5	0,08
E5a ili E5b	AltBOC(15;10)	-155	24	46,5	0,02

4.1.1. Multipath efekti (višestruke refleksije signala)

Odaslani signali satelita mogu direktno doći do antene prijamnika ili kao reflektirani signali. Teorijski, zbog višestrukih refleksija, mjerene udaljenosti od antene do satelita mogu biti maksimalno pogrešne za $\pm 1/4$ valne duljine signala, Bilajbegović i dr. (2007) i sl 5.



Slika 5: Multipath efekti

Poznato je da su Multipath efekti ovisni od Bandwitch (širine pojasa signala). Istraživanja multipath efekata za GPS i Galileo signale pri primjeni "uske" korelacije za redukciju ovih efekata proveli su Eissfeller i dr. (2007), tablica 6.

Tablica 6: Maksimalne i reprezentativne multipath pogreške za kodna mjerena uz primjenu "uske" korelacije za redukciju multipath efekata; Eissfeller i dr. (2007a)

Signal	Modulacija	B [MHz]	Max. Pog. Zbog mult. ef. [m]	Reprezentativna srednja vrijednost mult. ef. [m]	
				za nezaklonjen horizont	u gradu
GPS C/A	BPSK(1)	8	12,0	0,24	4,85
Galileo L1	BOC(1,1)	8	12,0	0,24	4,85
Galileo C/A	BPSK(1)	24	6,9	0,20	3,35
Galileo L1	BOC(1,1)	24	6,9	0,20	3,35
Galileo L1	MBOC(6,1,11/11)	24	5,2	0,17	2,04
Galileo E6	BPSK(5)	24	4,00	0,14	1,97
GPS L5	BPSK(10)	24	4,51	0,15	1,42
E5a ili E6a	AltBOC(15,10)	24	1,62	0,04	0,30
E5ab	AltBOC(15,10)	51	1,62	0,04	0,30

4.2. Zemaljski segment

Zemaljski segment Galileo-a sastojat će se od Kontrolnog segmenta za uravljanje sistemom, koji ima zadaću određivanja putanje i vremena satova satelita (Ground Control Segment-GCS) i segmenta za nadzor integriteta sustava (Integrity Determination System-IDS), Weber (2001). GCS segment sastojat će se od 18 do 20 monitoring stanica, 9 up-link stanica, 5TTC stanice i dva kontrolna centra (jedan u Njemačkoj a drugi u Italiji).

5. BeiDOU-2/COMPASS

COMPASS se sastoji iz dvije komponente:

- od jednog regionalnog navigacijskog sustava, koji služi i za komunikaciju i
- globalnog navigacijskog satelitskog sustava.

U konačnoj verziji sustav bi imao 35 satelita. Kina je ITU (Internationalen Telekomunikations-Union) prijavila 27 satelita na srednjoj visini od 21500 km (MEO-orbit) s kutem inklinacije putanja od 55° s frekvencijama odašiljanja 1207,14, 1268,52, 1561,1 i 1589,74 MHz s QPSK modulacijom i CDMA tehnologijom koja je interoperabilna s GPS-m i Galileo-m.

Planirano je da sustav ima otvoreni (open) i authorised (autorizirani) servis.

Open servis davao bi položajnu točnost od 10 m, brzinu s točnošću od 0.2 m/s i vrijeme s točnošću od 50 ns. Planiran je “authorised service” s visokom točnošću, pouzdanošću odnosno integritetom.

5.1. Kosmički segment

Planirana su i tri geostacionarna satelita s inklinacijom od 55° i poluosom elipse putanje od oko 42160 km koji će prekrivati područje Kine i rubna područja Azije.

Pet već lansiranih geostacionarnih satelita za pozicioniranje i komunikaciju sa duljinom od 58, 75°, 80°, 140°, 110,5° i 160° operativno je od 2004. godine. To je ustvari bidirekcionali sustav sa emitiranim frekvencijama satelita od 2491,75+/-4,08 MHz i frekvencijama prijamnika od 1615,68 MHz.

Kombinacijom regionalnih i globalnih komponenata sustava, (Studija od Huang und Tsai (2008.)), dobit će se PDOP vrijednosti na azijskom području bolje nego sto će pružati GPS+Galileo sustav zajedno. Isto tako specijalnom kombinacijom tri vrste putanja satelita u područjima sa zaklonom horizonta imat će se na raspolaganju, za azijsko područje, više signala satelita nego s GPS-om i Galileo-m zajedno.

Prvi MEO satelit je lansiran 13. travnja 2007. a tim Stanford Universita analizira ove signale. Planirana je potpuna konstelacija operativnih satelita 2013. godine.

Kinezi planiraju i sličan sustav WAAS/EGNOS-u s imenom SNAS (Sino Navigation Augmentation System.)

6. IRNSS

Ovaj indijski regionalni satelitski sustav IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System) je u razvoju od 2006. godine od strane Indijske svemirske agencije (ISRO). Trebao bi biti izgrađen u sljedećih četiri do pet godina. Planirano je ukupno 7 satelita sa zemaljskim kontrolnim stanicama. Indija ne ide u razvoj Globalnog sustava, za tu svrhu misli koristiti kineski COMPASS.

Tri satelita bi imala geostacionarnu putanju a preosatala četiri imala bi geosinkronizirane putanje s nagibom putanja od 29° . Prvi IRNSS satelit trebao bi biti lansiran 2010. god. i trebao bi omogućiti određivanje položaja točaka u Indiji s točnošću od 20 m.

Indijska vlada odlučila je sa 169 milijuna U\$ financirati sustav GAGAN –(GPS-Aided Geo Augmented Navigation), koji je sličan EGNOS- sustavu, a trebao bi biti izgrađen do 2011. godine.

Sustav je koncipirala ISRO i Airports Authority of India a trebao bi biti izgrađen i implementiran od strane Američko-indijskog konsorcija. Sustav bi se prvenstveno koristio za civilnu navigaciju i odašiljao bi signale na L1 i L5 frekvenciji sa dva S-band navigacijska signala i korekciju sata satelita sa 50 bits po sekundi.

7. QZSS

QZSS je Japanski “Quasi-Zenith Satellite System” koji s kombinacijom GPS satelita treba omogućiti opažanja na točkama s zaklonom horizonta u japanskim gradovima i brdima, Solarić (2007). Sustav se sastoji od tri kvasi geostacionarna satelita sa geosinkroniziranim putanjama a lansiranje prvog satelita planirano je u 2009. godini, sl 6. Vertikalni kut jednog od tri satelita bit će uvijek veći od 70° na j području Japana. U japanskim gradovima PDOP<6 je u 60% slučajeva za GPS satelite. Kombinacijom GPS+QZSS sustava ovaj podatak se mijenja i iznosi oko 90%.

QZSS sateliti će imati na frekvenciji L1 novi code L1C, a slat će signale i na frekvencijama L2, L5, i E5/E6 a imat će novi tip Oscilatora tj. hirdogeni maser. Na L1 frekvenciji bit će nova poruka L1- SAIF korekturni signal koji će davati točnost pseudo udaljenosti u dijelovima metra i omogućitiće npr. raspoznavanje trake po kojoj se vozi auto.



Slika 6: Putanja QZSS satelita

7.1. MSAS

Japan gradi i SBAS za nadopunu GNSS s imenom MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) i sa MTSAT 1 i 2 satelita (“Multifunctional Transport Satellite System”) koji objedinjuju meteorološku i komunikacijsku službu. Ova dva satelita se kreću u geostacionarnoj putanji iznad istočnog pacifika i prenose korekcijske i interetitske podatke za sada samo za GPS satelite. Prvi MTSAT-1R je lansiran 26. 02. 2005. i ima duljinu od 140° . Podržava AMSS (Aeronautical Mobile Satellite Service), te zrakoplovi mogu preko njega, pomoću L-banda, poslati podatke stanicama na zemlji. MTSAT-2 lansiran je 18.02. 2006. godine.

8. Kratki pregled SBAS izgrađenih ili s započetom izgradnjom satelitskih sustava

Navedimo ovdje i osnovnu svrhu izgradnje SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) satelita. Ovi sateliti prvenstveno su razvijeni za pružanje informacija o integritetu navigacijskih rezultata i za povećanje pouzdanosti zračnog prometa, tablica 7.

Tablica 7: Pregled SBAS satelitskih sustava

SBAS sustav	Satelit	Putanja-položaj	PRN broj	Opaska	RMS [m]	Median [m]
WASS	Intelsat Galaxy XV	142,2°W	135	L1/L5	4	3
	Telesatz Antik F1R	107,3°W	138	L1/L5	4	3
EGNOS	Inmarsat-3F2/ IOR-E	15,5°W	120	Inicijalno operativan	<10000	<10000
	Artemis	21,5°E	124	U testiranju		
	Inmarsat-3F5/ AOR-W	25,0°E	126	Inicijalno operativan		
MSAS	MTSAT-1R	140,1°E	129	Koris. pov. PRN 137	15	5
	MTSAT-2	145,0°E	137	Koris. pov. PRN 129	15	5
GAGAN	GSAT-4	82,0°E	127	Od 2009 L1/L5		

9. Zaključci

Analizom stanja planova modernizacije postojećih te izgradnje budućih satelitskih navigacijskih sustava može se konstatirati:

- Da je očito je došlo do zastoja u razvoju Galileo-a, ali to je omogućilo brojne analize budućih signala i modullacija te usmjerilo postojeće GNSS na uvođenje novih frekvencija (tri) i modulacija signala.
- Da inteligentni razvoj kombinacije GNSS regionalnih geostacionarnih sustava (Japan, Kina i Indija) omogućava s minimalnim troškovima veliku dostupnost više satelita i u područjima sa zaklonima horizonta, a samim tim i veliku točnost u određivanju koordinata i u navigaciji.
- Da će veliki napredak i razvoj u budućnosti doživit DGNSS i PDGNSS s umreženim postajama na Zemlji, te će se korekcije DGNSS ili PDGNSS emitirati sa satelita ili sa stanica na zemlji.
- Da će kombinacija više GNSS sustava s geostacionarnim satelitima dovesti do smanjenja broja stalnih umreženih stanica.
- Da će se u budućnosti razvoj i primjena posebice osjetiti kod Precise Point Positioning (PPP), te se danas može već ostavariti točnost od 1 dm iz cca jednosatnog opažanja, ili centimetarska točnost iz četverosatnog opažanja. Obrada GNSS sa PPP mjerena u

DHHN 2006.-2011. pokazuje da maksimalne razlike između mjerena različitih dana iznose 8,5 mm u smjeru sjevera, 7,9 mm u smjeru istoka i u visini od 26,2 mm, Feldmann-Westendorff (2009). Primjena PPP metode obrade pored preciznih efemerida satelita i pogrešaka njihovih satova zahtijeva:

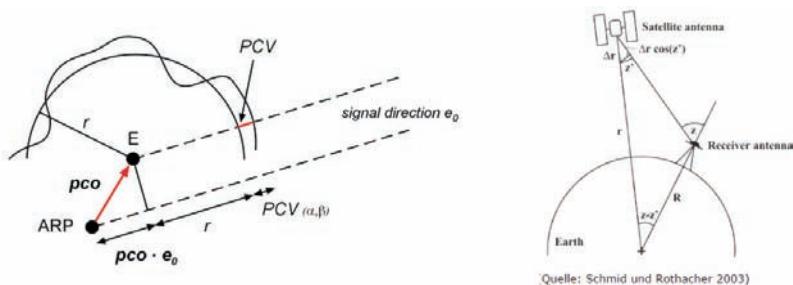
- fazni ekscentricitet antena satelita i varijacije njihovog faznog centra (PCV),
- precizne modele plimnih valova Zemlje,
- poznavanje deformacija kopna pod utjecajem opterećenja plimnim valova oceana, te
- poznavanje parametara rotacije Zemlje tj. gibanja njenih polova.

Na razvoj prijamnika IGS mislila i 2008. je publicirala strategijske zahteve za GNSS prijamnike (Rollo et al. 2008).

Budući prijamnici trebali bi imati jake kompjutere, a dekodiranje i obradu visokofrekvenički signal preuzimat će softveri prijamnika. S velikom ulogom softvera trebala bi padati i cijena prijamnika na svega nekoliko tisuća dolara.

Posebice se očekuje ubrzani razvoj hibridnih prijamnika. Tako je USA vojska razvila nugget-prijamnik čiji je čip veličine nekoliko kvadratnih cm koji integrira softver GPS prijamnika, mikro električni akcelerometar, žiroskop (MEMS) i glavni dio minijaturnog atomskog sata (CSAC, točnosti $1 \cdot 10^{-11}$ /satu). Točni atomski sat omogućava direktni pristup Y- i M vojnom codu, te se ne mora prije toga odrediti pogreška sata prijamnika, a tim se dobije posebice velika točnost koordinata i sa malim brojem satelita. Osim toga, poslije gubljenja signala satelita brzo se uspostave mjerena, a atomski sat prijamnika povećava točnost ofređivanja visina.

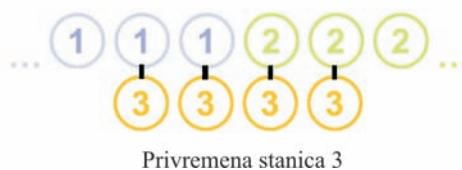
Radi povećanja točnosti GNSS mjerena te cijelog niza novih frekvencijskih satelita (posebice trenutačno kod GLONASS-a), absolutna kalibracija antena prijamnika i satelita u budućnosti će imati veliki značaj, sl. 7.



Slika 7: Varijacije faznog centra antena prijamnika i satelita

Zbog stalnih modernizacija GNSS sustava zamjena prijamnika i antena na permanentnim referentnim stanicama (što se u budućnosti odnosi i na CROPOS) treba se obavljati tzv. "kontroliranim postupkom", Wanninger, L. (2009.), Sl. 8.

Permanentna stara stanica 1 Permanentna stara stanica 2



Slika 8: Kontrolirani postupak zamjene antena i prijanika permanentnih stanica

Kako je ovaj rad iznijet na prvoj CROPOS konferenciji dozvolite mi da ponovim prijedlog za uvođenje besplatnog "of line" servisa obrade GNSS mjerena na području Hrvatske od strane DGU, uz pomoć Geodetskog instituta i Geodetskog fakulteta, a po uzoru na "BaLiBo" servis njemačke pokrajine Saske.

10. Literatura

- Benedicto, J., S. E. Dinwiddie, G. Gatti, R. Lukas, M. Lugert (2000): Satellite Design and Technology Developments: European Space Agency, Noordwijk, November 2000; WWW: http://esamultimedia.esa.int/docs/Galileo_world_paper_Dec_2000.pdf.
- Becker, M. (2009): Status und Perspektiven der Modernisierung von GPS und GLONASS. Beiträge zum 83. DVW-Seminar am 18. und 19. März in Dresden. S. 3-20.
- Bilajbegović, A., Vierus, M. (2007): Untersuchung der Multipath-Effekte verschiedener GPS-Antennentypen und ihrer Einflüsse auf die Genauigkeit der Koordinatenbestimmung. AVN 1/2007, S. 9-18.
- Bilajbegović, A., Leu, E., Vierus, M. (2008): Vorteile hybrider GNSS-Systeme? Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 4/2008, Heidelberg, S.122-129.
- Dvorkin, V., Karutin, S. (2006): GLONASS: Current status and perspectives. Allsat open conference, Hannover, 22.06.2006.
- Huang, Y.-S., Tsai, M.-L. (2008): The Impact of Compass/Beidou-2 on Future GNSS: A Perspective From Asia, Proc. of ION GNSS 2008, 2227-2238.
- Eissfeller, B., M. Irsigler, Avila-Rodriguez, J.-A., Schüler, E., T. Schüler, t. (2007a): Das europäische Satelliten-navigationssystem GALILEO-Entwicklungsstand; AVN, 2/2007, S. 42-55, Februar 2007, Wichmann-Verlag, Heidelberg.
- Eissfeller, B., G. Ameres, Kropp, V., D. Sanroma, D. (2007b): Performance of GPS, GLONASS and Galileo; Beitrag zur 51. Photogrammetrischen Woche, 3.-7. 09. 2007, Stuttgart.
- Feldmann-Westendorff, U. (2009): Von der See bis zu den Alpen: Die GNSS-Kampagne 2008 im DHHN 2006-2011. Beiträge zum 83. DVW-Seminar am 18. und 19. März in Dresden. S. 95-111.
- Rollo, R. (2007): Navigation nugget: new chip-scale atomic clock plus GPS receiver transforms navigation, The Department of the Navy information Technology magazine, CHIPS, April-June, 2007, <http://www.chips.navy.mil>.
- Reaser, C. R. (2006): Navstar Global Positioning System. Allsat open Conference, Hannover, 22.06.2006
- Solarić, M. (2007): Japan's Quasi-Zenith Communication and Position Satellite System. Journal of the Croatian Cartographic Society, Zagreb, Mai/2007
- Wanniger, L. (2009): Code- und Phasenmessungen zu SBAS-Satelliten für Positionsbestimmung. Beiträge zum 83. DVW-Seminar am 18. und 19. März in Dresden. S. 39-50.
- Weber, T., Trautenberg, H. L., Schäfer, Chr. (2001): Galileo system Architecture – Status and Concepts, Proceedings ION GPS 2001, Salt Lake City.

GNSS mjerena trigonometrijskih točaka u svrhu izrade jedinstvenog transformacijskog modela

Marijan Marjanović^{*1}, Margareta Premužić^{*2}, Berto Slevka^{*3}

Sažetak

Uspostavljanje CROPOS sustava omogućilo je brzo i ekonomično GNSS mjerene trigonometrijske točake u svrhu povećanja broja identičnih točaka za izradu jedinstvenog transformacijskog modela Republike Hrvatske HTRS96/HDKS. 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. 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 mjerena. Cilj projekta je dovršetak jedinstvenog transformacijskog modela Republike Hrvatske i njegova implementacija u CROPOS sustav početkom 2010. godine čime će biti omogućeno korisnicima na terenu obavljanje transformacije koordinata iz novog u stari geodetski datum u realnom vremenu. U radu je opisana priprema i planiranje projekta GNSS mjerena trigonometrijskih točaka te aktivnosti Državne geodetske uprave koje su prethodile ovom projektu, a njihov dovršetak je bio neophodan za njegovu realizaciju.

1. Uvod

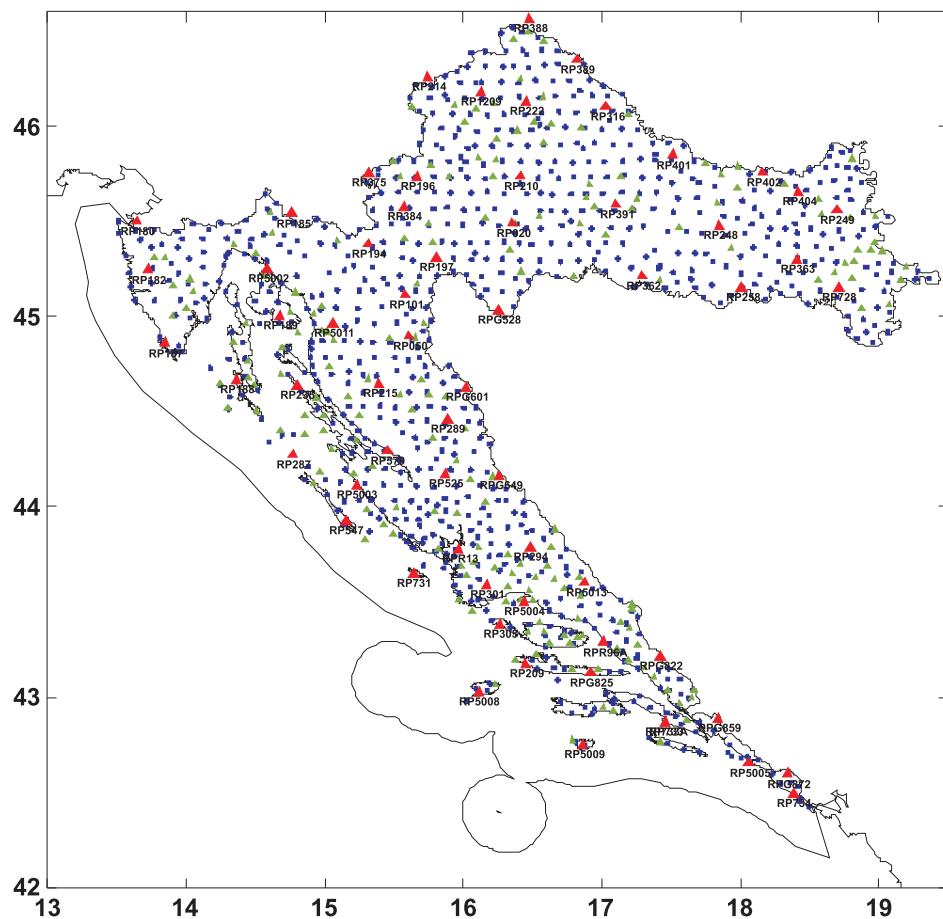
Na temelju zakona o Državnoj izmjeri i katastru nekretnina, 4. kolovoza 2004. godine Vlada Republike Hrvatske donijela je Odluku o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske. Realizaciju novog terestričkog referentnog sustava Republike Hrvatske HTRS96 čini 78 točaka određenih u ETRS89 referentnom okviru na temelju obrade podataka mjerena i izjednačenja GPS kampanja realiziranih u razdoblju 1994.-1996. godine. Implementacija novog geodetskog datuma i kartografskih projekcija u svakodnevnom radu zahtjeva izvođenje geodetskih radova u novom datumu primjenom modernih metoda mjerena, ali i definiranje jednoznačnih postupaka transformacije koordinata između novog i starog geodetskog datuma. Do dovršetka jedinstvenog transformacijskog modela, transformacija koordinata između geodetskih datuma obavlja se računanjem lokalnih transformacijskih parametara na temelju identičnih točaka na čije vrijednosti utječe broj identičnih točaka i njihov izbor. Implementacija jedinstvenog transformacijskog modela Republike Hrvatske u CROPOS sustav omogućit će korisnicima na terenu obavljanje jednoznačne transformacije koordinata između geodetskih datuma.

* Državna geodetska uprava, Gruška 20, 10000 Zagreb

¹ marjan.marjanovic@dgu.hr, ² margareta.premuzic@dgu.hr, ³ berto.slevka@dgu.hr

2. Referentna GNSS mreža Republike Hrvatske

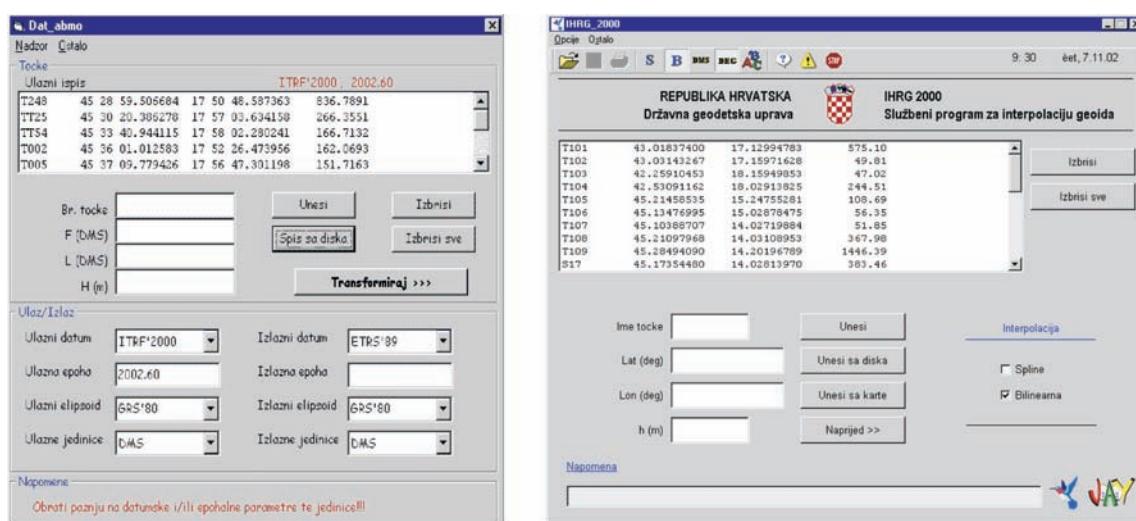
Razvoj državne GNSS mreže Republike Hrvatske započeo je projektom CROSLO 1994. godine koji je imao za cilj uključivanje Republike Hrvatske i Republike Slovenije u jedinstveni europski koordinatni sustav EUREF. Mjerenja su obavljena od 30. svibnja do 3. lipnja na ukupno 18 točaka (10 točaka u Hrvatskoj i 8 točaka u Sloveniji). Godine 1995. u okviru projekta CROREF-1995 od 25. rujna do 2. listopada mjerenja su obavljena na dodatnih 14 točaka u zapadnom dijelu Hrvatske. Godine 1996. realizirana je druga EUREF kampanja CROREF-1996 u Hrvatskoj koja je imala i cilj uspostavu GPS mreže na cijelom području države. Mjerenja su obavljena od 29. kolovoza do 12. rujna na ukupno 76 točaka. Projekt uspostavljanja homogene državne GPS mreže 10 x 10 km započeo je 1997. godine, a dovršen je 2002. godine. Nakon ponovne obrade EUREF i CROREF GPS kampanja 1994.-1996. godine i računanja jednistvenog kombiniranog rješenja u ITRF1996 okviru i srednjoj epohi mjerenja 1995.55 u kojem je određeno 78 točaka koje danas čine referentnu GNSS mrežu 0. i 1. reda, obavljeno je zajedničko izjednačenje GPS mreže 10 x 10 km u ITRF1996 okviru i srednjoj epohi mjerenja 1999.60 čime je uspostavljena referentna GNSS mreža 2. reda koju čini ukupno 1023 točke (Slika 1).



Slika 1: Referentna GNSS mreža Republike Hrvatske

3. Programi za transformaciju koordinata i interpolaciju geoida

Sve šira primjena GPS metode mjerjenja za rješavanje svakodnevnih geodetskih zadaća dovela je do potrebe definiranja jedinstvenih postupaka za obradu podataka mjerjenja i transformaciju koordinata. U tu svrhu je Državna geodetska uprava potpisala ugovor s Geodetskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu za izradu dva računalna programa DAT_ABMO i IHRG2000 (Slika 2). Svrha programa DAT_ABMO je transformacija koordinata između različitih referentnih sustava, različitih epoha mjerjenja te između različitih geodetskih datuma tj. računanje transformacijskih parametara i transformaciju koordinata između ETRS89 sustava i hrvatskog državnog sustava (HDKS). Program IHRG2000 je namijenjen za računanje geoidnih undulacija za prijelaz s elipsoidnih na ortometrijske visine.

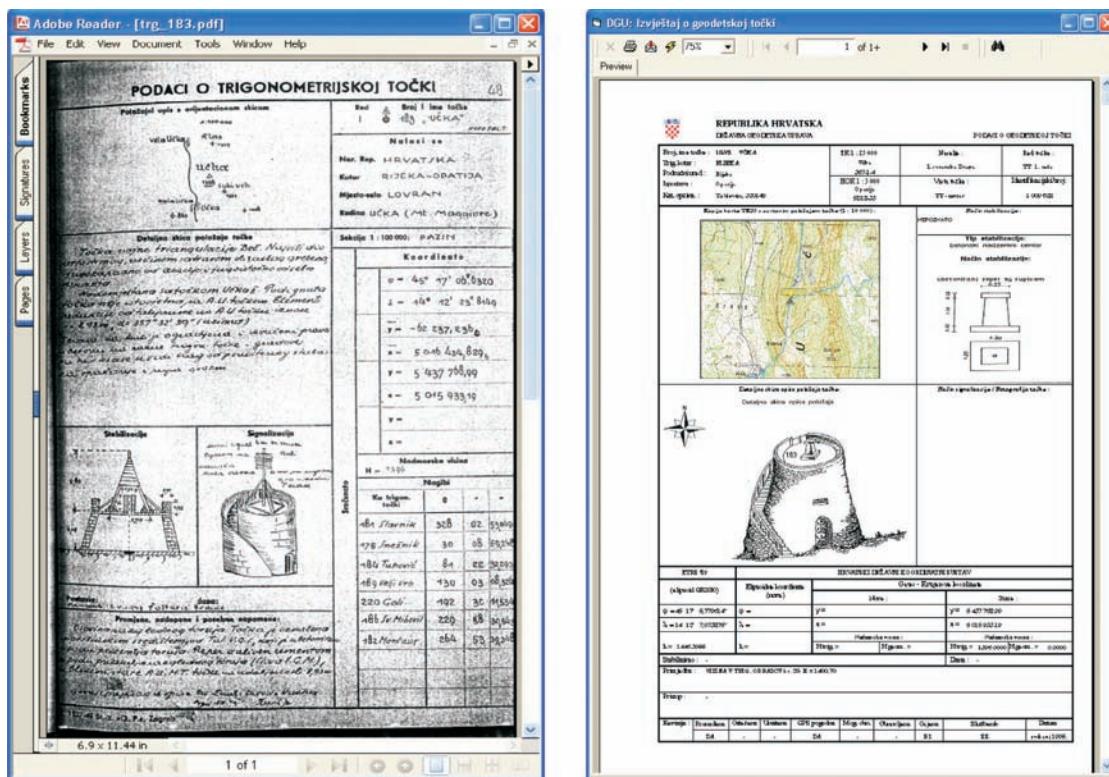


Slika 2: Programi DAT_ABMO i IHRG2000

4. Baza podataka stalnih točaka geodetske osnove

Radovi na izradi Baze podataka stalnih točaka geodetske osnove započeli su 1999. godine. Uspostavljanje Baze podataka bilo je neophodno zbog sređivanja postojeće arhive stalnih točaka geodetske osnove u Državnoj geodetskoj upravi, ali i uspostavljanja sustava nadzora i održavanja stalnih točaka geodetske osnove (Slika 3). Nakon strukturiranja podataka koji čine bazu podataka, tj. izrade modela podataka s obzirom na tip podataka i uspostavljanja odgovarajućih odnosa između podataka, definiran je projektni zadatak te se je pristupilo izradi Baze podataka i pojedinih aplikacija. Za rad s Bazom podataka izrađene su četiri aplikacije:

- Aplikacija za unos i ažuriranje podataka,
- Aplikacija za unos i izdavanje velike količine podataka,
- Aplikacija za izdavanje podataka korisnicima – opisi položaja točaka,
- Aplikacija za izdavanje podataka korisnicima putem Interneta.



Slika 3: Prikaz starog i novog opisa položaja geodetske točke

5. Revizija stalnih točaka geodetske osnove

Godine 2003. započela je terenska revizija referentne GNSS mreže Republike Hrvatske s ciljem utvrđivanje stanja novopostavljenih točaka u svrhu planiranja budućih aktivnosti vezanih uz obnovu postojećih točaka i postavljanja novih točaka, a nakon gotovo punih 50 godina, 2004. godine započela je sustavna terenska revizija trigonometrijskih točaka svih redova, dok je prva revizija točaka visinske mreže obavljena u razdoblju od 1992. do 2000. godine.

Tablica 1: Prikaz obavljene revizije u razdoblju od 2003.-2008. godine

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

Reviziju stalnih točaka geodetske osnove obavili su djelatnici Državne geodetske uprave te je od 2003. do 2008. godine ukupno obavljena revizija 34597 stalnih točaka geodetske osnove (Tablica 1).

6. Obnova stalnih točaka geodetske osnove

Projekt obnove trigonometrijskih točaka I. reda započeo je 2006. godine. U tu svrhu izrađena je projektna dokumentacija u suradnji s Institutom građevinarstva Hrvatske (IGH) kako bi se što bolje definirale procedure obnove točaka s obzirom na njihov položaj, oblik i izloženost utjecaju vremenskih prilika. U razdoblju od 2006. do 2008. godine ukupno je obnovljeno 29 točaka, a u 2009. godini planira se obnoviti 5 točaka (Slika 4).



Slika 4: Primjer obnove trigonometrijske točke I. reda Kapavac

7. Projekt GNSS mjerenja trigonometrijskih točaka

Cilj projekta je povećati broj identičnih točaka potrebnih za izradu jedinstvenog transformacijskog modela te osigurati njihov ravnomjeran raspored na cijelom području države. Za izradu prvog jedinstvenog transformacijskog modela 2006. godine korišteno je 1780 identičnih točaka koje nisu bile ravnomjerno raspoređene (Slika 5). Uspostavom CROPOS sustava omogućeno je ekonomično i brzo mjerenje trigonometrijskih točaka, tako da se u okviru ovog projekta planira obaviti mjerenje oko 3500 dodatnih trigonometrijskih točaka (Slika 6).

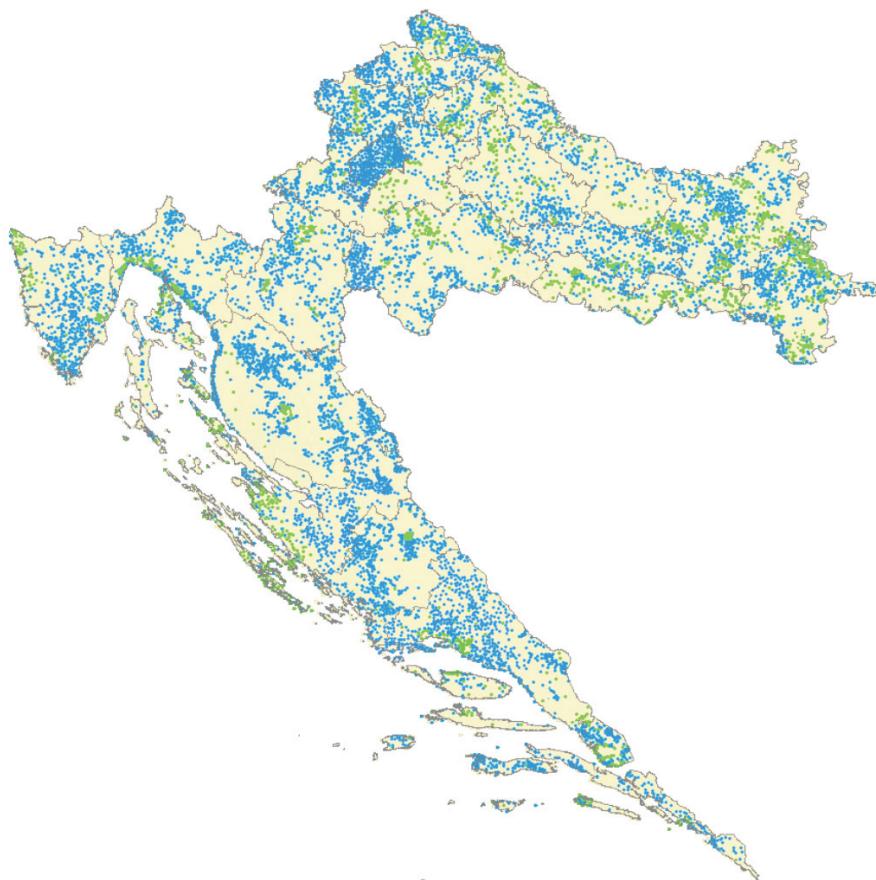
Projekt GNSS mjerenja trigonometrijskih točaka podijeljen je na tri dijela:

1. Priprema projekta: siječanj-ožujak 2009. godine,
2. Obavljanje terenskih GNSS mjerena: ožujak-lipanj 2009. godine,
3. Obrada i unos podataka: ožujak-rujan 2009. godine.

Tijekom pripreme projekta izrađene su upute za obavljanje GNSS mjerena trigonometrijskih točaka te dostavu podataka i izradu mjesecnih izvješća te je organizirana obuka djelatnika Državne geodetske uprave za obavljanje GNSS mjerena. Na temelju podataka o obavljenoj reviziji iz Baze podataka stalnih točaka geodetske osnove pripremljeni su podaci trigonometrijskih točaka za GNSS mjerena.



Slika 5: Prikaz postojećih identičnih trigonometrijskih točaka (ETRS89/HDKS)



Slika 6: Prikaz trigonometrijskih točaka planiranih za GNSS mjerjenje

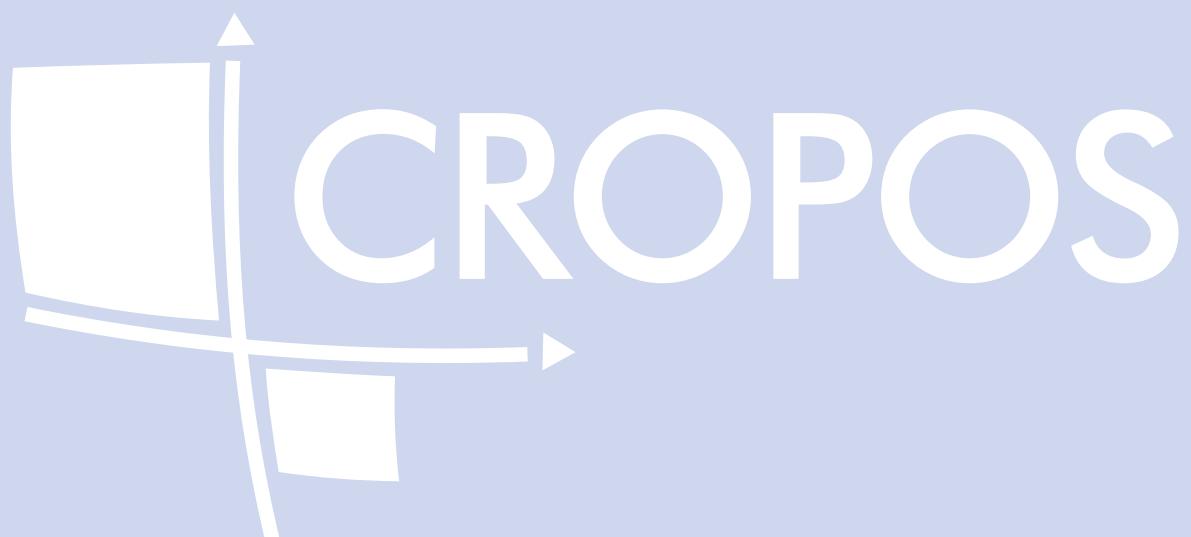
Terenska GNSS mjerena obavlja 10 ekipa Državne geodetske uprave korištenjem VPPS i GPPS servisa CROPOS sustava. Nakon pregleda i obrade pristiglih podataka, obavlja se priprema podataka i njihov unos u Bazu podataka stalnih točaka geodetske osnove. Na temelju podataka svih identičnih trigonometrijskih točaka bit će izrađen novi jedinstveni transformacijski model koji će svojom implementacijom u CROPOS sustav omogućiti korisnicima na terenu obavljanje transformacije koordinata iz novog u stari geodetski datum u realnom vremenu.

8. Zaključak

Uspostavom CROPOS sustava i izradom jedinstvenog transformacijskog modela učinjen je značajan tehnološki iskorak čime je omogućena primjena suvremenih metoda mjerena u rješavanju svakodnevnih geodetskih zadaća koji međutim ne bi bio moguć bez dovršetka sustavnih aktivnosti Državne geodetske uprave koje se provode od 1994. godine do danas.

9. 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. (2003): Uslužni programi za korištenje podataka službenog hrvatskog geoida i transformaciju koordinata između HDKS-a i ETRS-a, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima iz 2001. godine, Državna geodetska uprava, Zagreb, 2003.
- 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.
- Marjanović, M. (2002): Izjednačenje i analiza EUREF i CROREF GPS kampanja u Republici Hrvatskoj, Magistarски 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.
- Narodne novine (110/2004, 114/2004): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Službeni list Republike Hrvatske, Zagreb, 2004.



Implementacija novih službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija RH

Marinko Bosiljevac*

1. Uvod

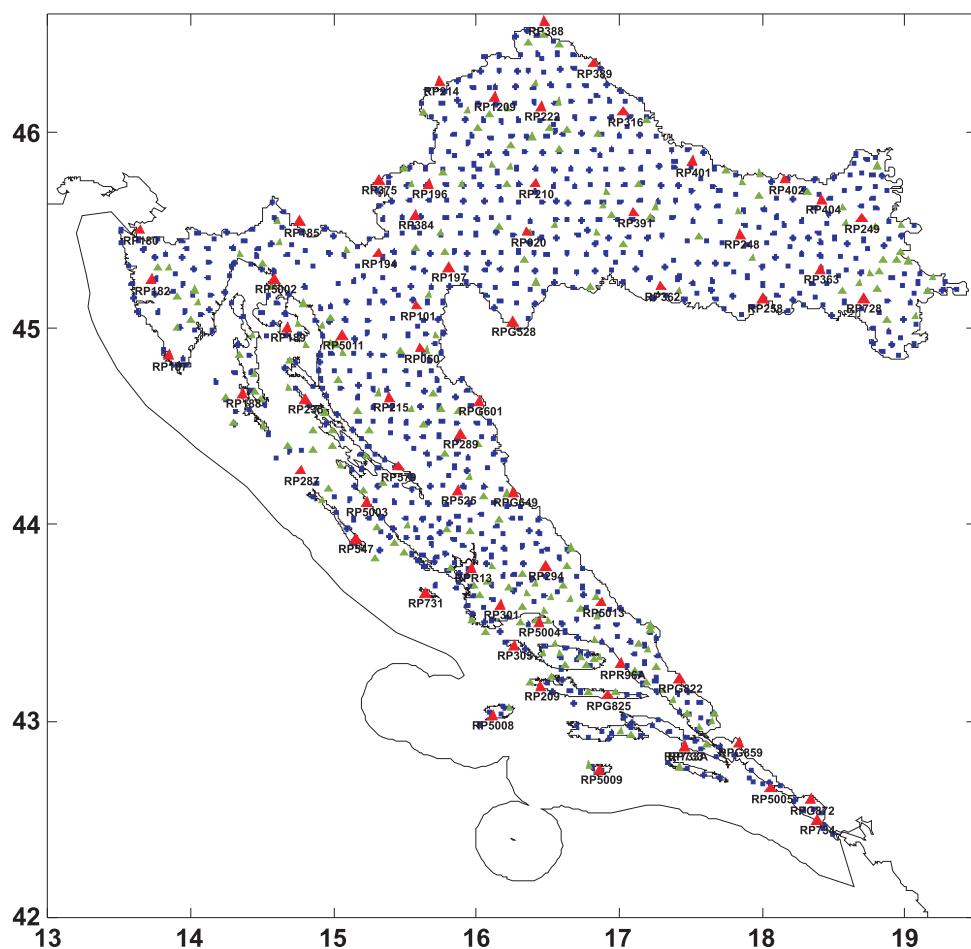
Temeljem Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (NN 116/99), 04. kolovoza 2004. godine Vlada Republike Hrvatske donijela je Odluku o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske. (NN 110704 i 117/04). Razlozi zbog kojih je uveden novi službeni geodetski referentni sustav su sljedeći:

- nedovoljna točnost i velike pogreške u postojećim datuma što ih ne čini podatnim u okviru korištenja nove mjerne tehnologije i suvremenim zahtjevima korisnika,
- postojeća rješenja usvojena su i prilagođena bivšim državama u kojima je Hrvatska bila samo jedan od sastavnih dijelova,
- uklanjanje postojećih zapreka efikasnoj uporabi modernih mjernih i GIS tehnologija te time državi, gospodarstvu i građanima ponuditi jednoznačan, racionalan i jednostavno primjenjiv referentni sustav i okvir,
- uvesti službene geodetske datume i ravninske kartografske projekcije zasnovane na modernim dostignućima znanosti i uskladene s Europskim preporukama i trendovima,
- u dijelu koji se odnosi na prostorne podatke, stvoriti preduvijete za razvoj informatičkog društva u Hrvatskoj (e-government, one-stop-shop) i omogućiti dalji razvoj geodetske i svih drugih geo struka.

* Državna geodetska uprava, Horvatova 82, 10000 Zagreb

2. Položajni datum – HTRS96

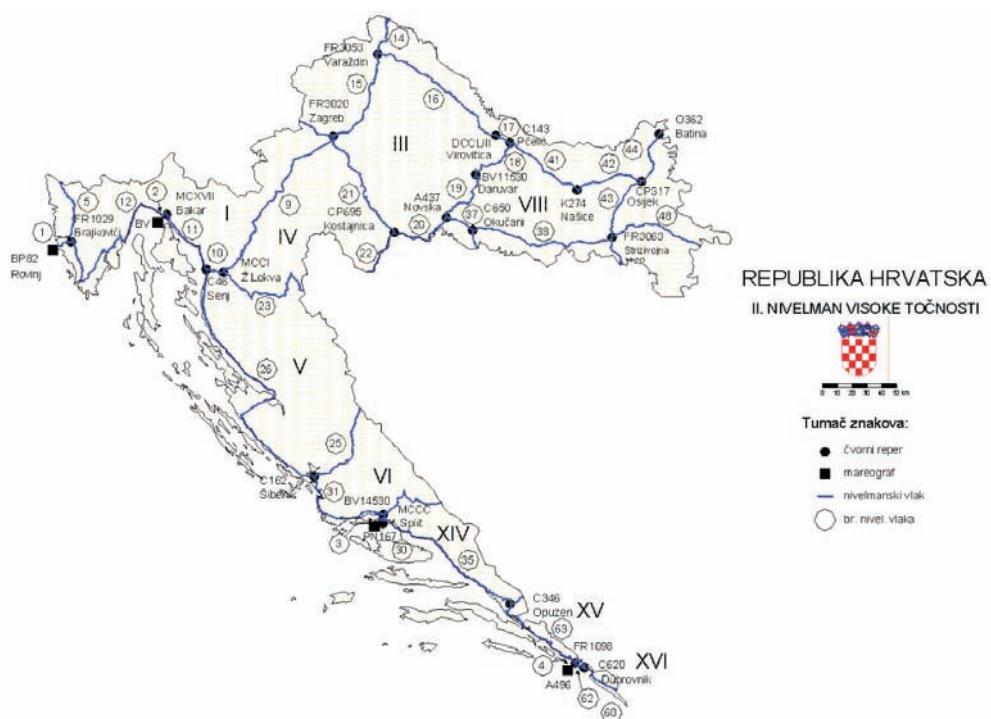
Točkom I. Odluke definiran je položajni datum Republike Hrvatske, za koji je preuzet Europski terestrički referentni sustav za epohu 1989,0 (*European Terrestrial Reference System 1989*) – skraćeno ETRS89, a kojeg je sukladno preporukama EUREF-a i EuroGeographicsa većina europskih država usvojila kao svoj položajni datum. Kao matematički model za zemljino tijelo taj referentni sustav koristi tzv. GRS80 elipsoid koji je određen svojim konstantama. Materijalizaciju tog referentnog sustava predstavlja osnovna položajna koju čini 78 trajno stabiliziranih osnovnih geodetskih točaka čije su koordinate određene u ETRS89 sustavu. Toj našoj realizaciji ETRS89 za područje Republike dodijeljeno je ime – Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1996,55, ili skraćeno – HTS89, s obzirom na vrijeme uspostave sustava.



3. Visinski datum – HVRS71

Visinski datum Republike Hrvatske određen je plohom geoida kao referentnom plohom za određivanje visina, a koja je određena srednjom razinom mora za epohu 1971.5 na pet mareografa jednoliko raspoređenih duž obale Jadranskog mora (Dubrovnik, Split, Bakar, Rovinj i Kopar). Iako se visinski datum uobičajeno definira samo jednom ishodišnom točkom ovaj je naš specifičan pristup definiranja plohe geoida, pokazao vrlo dobre rezultate, jer usporedba mareografskih i geometrijskih mjerena ukazuje na pravilnost plohe geoida duž obale Jadranskog mora, a zahvaljujući takvom pristupu podaci visinskog sustava usklađeni su sa fizikalnim realitetom.

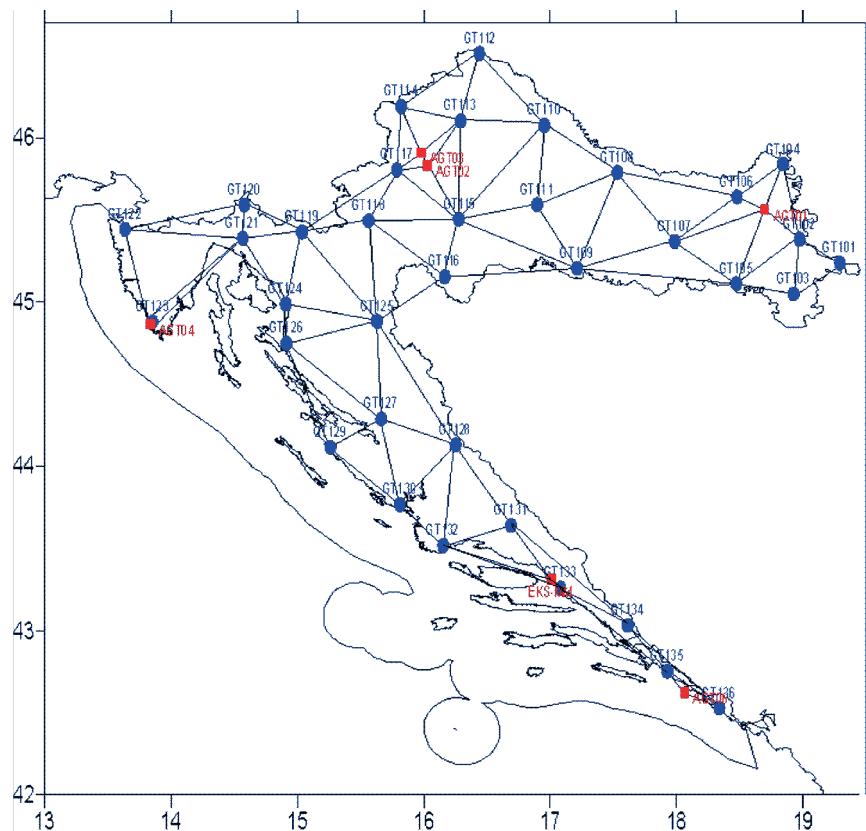
Materijalizaciju visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske čini polje stalnih točaka – repera temeljne nivelmanske mreže poznate pod nazivom II. nivelman visoke točnosti – II. NVT, čije su visine izražene u odnosu na novu definiciju visinskog datum, a sustavu je s obzirom na srednju epohu mareografskih opažanja nadodijeljeno ime Hrvatski visinski referenti sustav za epohu 1971.5, skraćeno – HVRS71.



4. Gravimetrijski datum – HGRS03

Za gravimetrijski datum preuzet je međunarodni gravimetrijski sustav poznat kao IGSN71 – internacionalna standardna gravimetrijska mreža (*International Gravity Standardisation Network 1971*) koji koristi isti matematički model za zemljino tijelo – GRS80 elipsoid, sa dodatnim setom pripadajućih fizikalnih parametara.

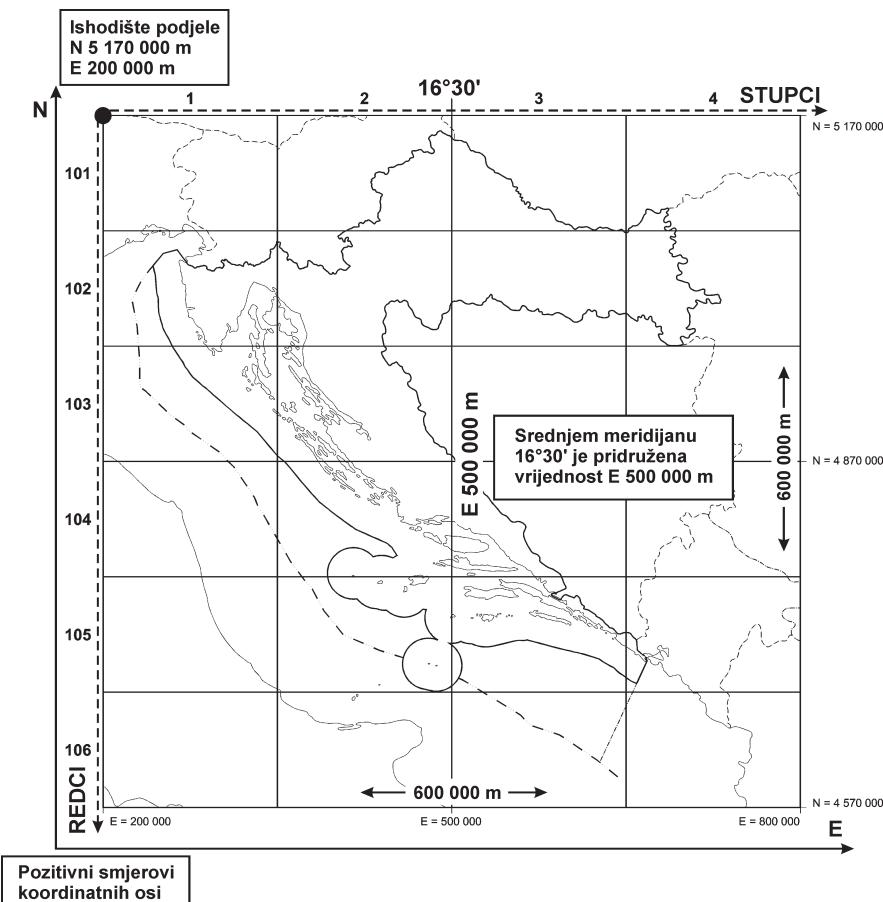
Materijalizaciju gravimetrijskog referentnog sustava čini osnovna gravimetrijska mreža koja se sastoji od 6 apsolutnih gravimetrijskih točaka i 36 točaka gravimetrijske mreže I. reda te je tom referentnom sustavu dodijeljeno ime Hrvatski gravimetrijski referentni sustav 2003, skraćeno – HGRS03, s obzirom na godinu realizacije.



5. Ravninska kartografska projekcija – HTRS96/TM

Točkom IV. Odluke poprečna Mercatorova (Gauss-Kruegerova) projekcija sa srednjim meridijanom preslikavanja 16 i 30, i linernim mjerilom 0.9999 određuje se službenom ravninskog projekcijom Republike Hrvatske za područje katastra i detaljne državne topografije, a za potrebe pregledne državne kartografije utvrđuje se Lambertova konforma konusna projekcija sa definiranim standardnim paralelama. Obje projekcije temelje se na GRS80 elipsoid kao matematičkom modelu, odnosno HTRS96 referentnom sustavu.

Za potrebe oružanih snaga Republike Hrvatske, sukladno preporukama i obvezama prema NATO savezu, usvojena je univerzalna Mercatorova transverzalna projekcija – popularno zvana UTM projekcija.



6. Program uvođenja novih geodetskih datuma i kartografskih projekcija

Svjesni da je uvođenje novih geodetskih datuma i kartografskih projekcija vrlo složen i dugotrajan proces koji zahtjeva vrlo dobru organizaciju i koordinaciju izvršenja cijelog niza zadataka, točkom V. odluke regulirano je njihovo postupno uvođenje u službenu uporabu temeljem Programa uvođenja novih službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija koji je donijet od strane ravnatelja 15. rujna 2005. godine (u dalnjem tekstu Program).

Svrha i ciljevi Programa su sljedeći:

- uvesti nove datume u praktičnu uporabu na cijelom području RH, u sve službene evidencije i baze podataka i obavljanje poslova iz nadležnosti DGU,
- osigurati novi geodetski referentni sustav za uspostavu Nacionalne infrastrukture prostornih informacija (NIPP),
- stvoriti nužne preduvjete i osigurati podršku za uvođenje u sve službene prostorno evidencije i baze podataka tijela državne uprave te osigurati njihovu implementaciju u gospodarstvu i građanstvu,
- razraditi donošenje i primjenu propisa, normi i specifikacija nužnih za provedbu Programa,
- razraditi (uspostaviti) sustav obrazovanja i treninga koji će osigurati provedbu Programa.

U svrhu ostvarenja tih postavljenih ciljeva Program je definirao:

- poslove i zadatke nužne za uvođenje u službenu uporabu,
- načine i rokove njihovog izvršenja,
- nositelje i subjekte u njegovoj provedbi,
- mjere i aktivnosti koje će DGU poduzeti u cilju uvođenja u opću uporabu svih korisnika prostornih informacija, s posebnim naglaskom na tijela državne uprave i javne sustave.

Programom je planirano da će se implementacija novih datuma ostvariti provedbom niza zadataka koji su podijeljenih u zaokružene zakonske, tehnološke i organizacijske cjeline i to na poslove i zadatke vezane za:

- A – Osnovne geodetski radovi i izmjeru državne granice
- B – Topografska izmjeru i izradu državnih zemljovidova
- C – Katastar nekretnina
- D – Registar prostornih jedinica
- E – Katastar vodova i geodetski poslove za posebne namjene
- F – Obrazovanje i izrada normativno-tehničkih propisa

7. Dosadašnje realizacija Programa

A – Osnovni geodetski radovi i izmjera državne granice

A1 – Uspostava permanentne GNSS-mreže RH – CROPOS

Referentni okvir HTRS96 predstavlja osnovna položajna mreža koju čini 78 osnovnih trajno stabiliziranih geodetskih točaka na koju je oslonjena 10-km GPS mreža koja predstavlja osnovu za razvijanje dopunske mreže. Dopunske mreže razvijene su za sve veće gradove, kao i za katastarske općine na kojima se provodi katastarska izmjera.

Taj uspostavljeni referentni okvir nadograđen permanentnom GNSS-mrežom Republike Hrvatske – CROPOS. Takva materijalizacija HTRS96 omogućava jednostavnije, preciznije i nadasve ekonomičnije određivanje koordinata točaka izravno u HTRS96 na cijelom državnom području. Uspostava CROPOS-a bila je planirana za kraj 2007. godine, no zbog složenih procedura i neplaniranih kašnjenja u provedbi PHARE2005 programa u okviru kojeg je i financiran cijeli projekt CROPOS je uspostavljen i pušten u službenu uporabu 9. prosinca 2008. Za nepunih 6 mjeseci sa svojih 210 korisnika i zavidnom minutažom korištenja (u prosjeku preko 200 000 minuta mjesečno korištenja VPPS – servisa) CROPOS je u potpunosti integriran u geodetsko-katastarski sustav Republike Hrvatske te predstavlja najvažniju polugu u implementaciji novog geodetskog referentnog sustava.

A2 – Jedinstveni transformacijski model – T7D

Jedan od najvažnijih zadataka u okviru Programa je svakako i razvoj jedinstvenog transformacijskog modela koji će omogućiti jednostavan i za sve korisnike jednoobrazan postupak transformacije u prvom redu podataka i podloga izrađenih u povijesnom referentnom sustavu u novi službeni geodetski referentni sustav – HTRS96. Transformacijski model, nazvan T7D, razvijen je od strane Geodetskog fakulteta Sveučilišta, a uključuje datumski pomak (7-parametarsku transformaciju) i distorzijsku komponentu, a biti će dostupan korisnicima putem web-aplikacije. Prva verzija programa temeljila se samo na nešto više od 1800 identičnih točaka (s

kojim se u to vrijeme raspolagalo) i to prilično neujednačeno raspoređenih u odnosu na cijeli teritorij Republike Hrvatske. Rezultat toga je bila nedovoljna točnost i pouzdanost modela u područjima sa slabom gustoćom identičnih točaka.

Da bi osigurali primjenu modela i istu točnost transformacije na cijelom području Hrvatske Državna geodetska uprava provela je u prvoj polovici 2009. mjernu kampanju u kojoj je koristeći se CROPOS-om izmjereno preko 3500 trigonometrijskih točaka koje će se ugraditi u model i bitno poboljšati njegovu točnost i pouzdanost u svim dijelovima države i na taj način omogućiti transformaciju katastarskih i kartografskih podloga u novi referentni sustav.

Također se do kraja 2009. isti model planira integrirati u CROPOS s ciljem da se korisnicima CROPOS-a distribuiraju korekcijski parametri u odabranoj kartografskoj projekciji (dosadašnjoj Gauss-Krügerovoj projekciji meridijanskih zona ili novoj HTRS96/TM) i na taj način još više pojednostaviti izvođenje terenskih mjerena pomoću CROPOS-a.

A3 – Izrada novog modela geoida

U svrhu izrade što boljeg i točnijeg prijelaza iz elipsoidnih visina u ortometrijske visine s Geodetskim fakultetom je, u okviru projekta poboljšanja transformacijskog modela T7D, ugovorena i izrada novog poboljšanog modela geoida za RH. Temeljem dodatnog seta visinskih podataka i rezultata gravimetrijskih mjerena te koristeći najnovije podatke mjerena za parametre Zemljina polja ubrzanja sila teže (globalni geopotencijalni modeli, anomalije, satelitsku altimetriju i sl.), očekuje se da će novi model osigurati relativnu točnost plohe geoida od +/- 2 cm / 100 km. Taj model će kao i T7D biti integriran u CROPOS.

A4 – Obnova i sanacija stalnih točaka geodetske osnove i uspostava sustava trajnog održavanja stalnih točaka osnovnih geodetskih mreža

U okviru ovog zadatka uspostavljena je redovno obavljanje revizije stanja stalnih točaka geodetske osnove od strane PUK-ova i njihovih Ispostava. Revizijom je do sada obuhvaćeno oko 70% točaka položajne mreže i preko 90% visinskih točaka. Rezultati revizije unose se u bazu podataka stalnih točaka geodetske osnove koja će krajem ove godine putem web-aplikacije biti dostupna i ostalim korisnicima. Većina trigonometrijskih točaka I. reda su ujedno i osnovne točke novog službenog hrvatskog terestričkog referentnog sustava – HTRS96 te su s tim od izuzetnog značaja za osnovni geodetski referentni sustav naše zemlje.



Najveći dio tih točaka stabiliziran je pedesetih godina prošlog stoljeća te je zbog gotovo nikakvog održavanja u zadnjih pedeset godina, nažalost, fizičko stanje i izgled kod većine točaka prilično loše. Iz razloga sprječavanja daljnog propadanja točaka, odnosno nepovratnog uništenja nekih od njih, 2005. godine pokrenut je projekt obnove svih 78 točka osnovne položajne referentne mreže. Zaključno sa ovom godinom do sada je obnovljeno 36 točaka, a kvaliteta izvršeni radova i estetski izgled obnovljenih točaka najbolje govori o opravdanosti cijelog projekta i satisfakcija je za trud koji je uložen u realizaciju ovog projekta.

A5 – Kontrolna izmjera osnovne mreže koja se provodi sukladno preporukama i uputama EUREF-a

Sukladno preporukama EUREF-a, 2005. godine provedena je CROREF2005 mjerna GPS kampanja kojom je obuhvaćeno 28 točaka osnovne položajne mreže. Na našu inicijativu kampanji su se pridružile i Republika Slovenija sa 7 točaka, kao i Bosna i Hercegovina sa 5 točaka. Dobiveni rezultati ukazuju na opću dobru stabilnost osnovne mreže budući samo par točaka pokazuje znatno odstupanja od očekivanog, a zaključeno je da je razlog tome relativno loše izvedena stabilizacija tih točaka.

A6 – Obnova osnovne visinske mreže u okviru koje će se uspostavom novih vlakova njena geometrijska konfiguracija prilagoditi državnom teritoriju te provesti sustavna gravimetrijska izmjera

Visinsku osnovu novog visinskog referentnog sustava – HVRS71 čini mreža repera II. nivelmana visoke točnosti. Osim što je izvršena je terenska revizija očuvanosti stanja repera kojom je utvrđen visoki postotak uništenosti repera osnovne nivelmanske mreže – II. NVT, a što ukazuje na potrebu njene sustavne obnove. Također u procesu obnove, uspostavom novih nivelmanskih vlakova njenu geometrijsku konfiguraciju potrebno je prilagoditi državnom teritoriju Republike Hrvatske te provesti sustavnu gravimetrijsku izmjera. Izvršenje tog zadataka zbog nedovoljnih kapaciteta DGU i HGI (i nemogućnosti osiguranja potrebnih proračunskih sredstava), kao i izvršenja u ovom trenutku prioritetnijih zadataka (prvenstveno uspostave CROPOS-a) prepušteno je za naredno programsko razdoblje.

A7 – Izrada modela transformacije HVRS71/Trst u svrhu transformacije visina iz povijesnog visinskog sustava u novi službeni visinski referentni sustav i obrnuto

U okviru znanstveno-stručne suradnje DGU sa Geodetskim fakultet razvijen je jedinstveni transformacijski model za transformaciju visina iz starog u novi visinski sustav i obrnuto – Trst/HVRS71, a koji će također biti ugrađen u web-aplikaciju zajedno sa T7D i modelom geoida te tako na jednostavan način biti dostupan širokom krugu korisnika.

A8 – Dovršenje osnovne gravimetrijske mreže koja obuhvaća uspostavu mikro-gravimetrijskih mreža na apsolutnim gravimetrijskim točkama i proširenje osnovne gravimetrijske mreže I. reda na otoke

U suradnji sa Geodetskim fakultetom uspostavljene su mikro-gravimetrijske mreže za sve točke apsolutne gravimetrijske mreže, a proširenje gravimetrijske mreže I. reda dosad je provedeno na dijelu sjevernog i srednjeg dijela Jadrana (ukupno 14 točaka). Proširenje mreže na južnom dijelu, ukupno 9 točaka, planira se dovršiti do kraja 2009. godine. Time će u potpunosti biti dovršena osnovna gravimetrijska mreža. Od 2005. izvođenje svih gravimetrijskih zadataka povjerenovo je Hrvatskom geodetskom institutu, koji to uspješno izvršava.

A9 – Uspostava gravimetrijske mreže II. reda

Paralelno sa dovršenjem osnovne gravimetrijske mreže započeli su radovi na realizaciji gravimetrijske mreže II. reda kojim se planira uspostava oko 250 točaka. Izrađen je projekt mreže, a mreža je već realizirana na području Istre i dijela Slavonije, odnosno na širem području grada Zagreba. Dovršenje radova na mreži, sukladno postojećim kapacitetima i proračunskim mogućnostima, planira se za kraj 2012. godine.

A10 – osiguranje uvjeta za izmjjeru i određivanja koordinata graničnih oznaka u novom službenom geodetskom referentnom sustavu

Trenutno Republika Hrvatska ima utvrđenu i obilježenu graničnu crtu samo sa Mađarskom. Sa drugim susjednim državama poslovi na terenskom utvrđivanju i obilježavanju granične crte tek predstoje. Dinamika tih poslova ovisi o bilateralnim aktivnostima i dogovorima vezanim za definiranje i utvrđivanje državne granice Republike Hrvatske i susjednih država (Crna Gora, Slovenija, Bosna i Hercegovina i Srbija). Uspostavom CROPOS-a i njegovim umreženjem sa istovrsnim GNSS-sustavima susjednih država u potpunosti su ostvareni uvjeti da se koordinate graničnih točaka odrede u novom geodetskom referentnom sustavu.

B – Topografska izmjera i izrada državnih zemljovida

B1 – Transformaciju topografske baze podataka u novi projekcijski koordinatni sustav – HTRS96/TM i izradu novih listova TK25

Državna geodetska uprava 1996. započela je sa projektom izrade TK25 za cijelo područje RH – 594 lista. Pored već oko 90% dovršenih listova, svi preostali listovi su u fazi izrade, a njihovo kompletno dovršenje, a samim tim i uspostava kompletne topološke baze planirana je za travanj 2010. godine. Cijeli posao izrade TK25 povodi se prema podjeli na listove u dosadašnjem projekcijskom sustavu. Po izradi svih listova i uspostavi kompletne baze cijela baza će se transformirati u sustav nove kartografske projekcije te izraditi listovi sukladno novoj podjeli na listove u HTRS96/TM projekcijskom sustav.

B2 – Transformacija listova DOF5 u novi projekcijski koordinatni sustav HTRS96/TM

U okviru projekta LPIS ove godine ugovorena je izrada novog DOF-a za cca 50% državnog teritorija (od ukupno 9756 listova), a izrada je ugovorena izravno u novom geodetsko referentnom sustavu, dovršenje se planira za kraj 2010. Za preostalo područje postojeći listovi transformirat će se u novi geodetski referentni sustav postupkom koji je razvijen od strane Hrvatskog geodetskog instituta, a dovršenje transformacije podudara se s izradom novog DOF-a.

B3 – Transformacija listova HOK5 u novi projekcijski koordinatni sustav HTRS96/TM i izrada novih listova HOK5

Državna geodetska uprava započela je sa projektom vektorizacije HOK5. Svi izrađeni listovi HOK5 su skenirani i georeferencirani u dosadašnjem referentnom, a dosad je vektorizirano cca 10% od ukupnog broja listova – 9756. Po izvršenoj vektorizaciji sadržaja svih listova HOK5 i formiranja baze HOK5 izvršiti će se njena transformacija u HTRS96/TM, primjenjujući pri tom transformacijski model T7D, odnosno model transformacije visina Trst/HVRS71 za transformaciju visinskih podataka.

B4 – Uspostava uvjeta za izradu topografskih karata u ostalim službenim mjerilima izravno u kordinatnom sustavu nove kartografske projekcije

Odlukom ravnatelja Državne geodetske uprave, od 30. srpnja 2009. godine u službenu uporabu stavljeni su "Tehničke specifikacije za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografatskoj projekciji RH – HTRS96/TM" čime su u potpunosti ostvareni uvjeti za izradu službenih topografskih karata u ostalim mjerilima (1:250 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:10 000 i 1:5000).

C – Katastar nekretnina

C1 – Stvaranje uvjeta za provođenje novih katastarskih izmjera u novom službenom geodetskom referentnom sustavu RH

Državna geodetska uprava je u svrhu analiziranja prijedloga i praktične primjene nove kartografske projekcije kao pilot projekt ugovorila izmjeru k.o. Požari (na području PUK-a Virovitica) u novom projekcijskom sustavu. Iskustva dobivena od strane izvoditelja radova ukazuju da će primjena nove projekcije uvelike pojednostaviti izvođenje katastarskih izmjera te povećati homogenost i točnost same izmjere (zato jer nema postupka transformacije između datuma). Stupanjem na snagu "Tehničkih specifikacija za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografatskoj projekciji RH – HTRS96/TM", i uspostavom CROPOS-a ostvareni su svi uvjeti da se nove katastarske izmjere rade izravno u HTRS96/TM projekcijskom sustavu te sukladno tome sve katastarske izmjere ugovorene u 2009. rade se u HTRS96/TM projekciji.

C2 – Transformacija katastarskih planova izrađenih u okviru provedbe Programa državne izmjere i katastra nekretnina za razdoblje 2001.-2005. u novi projekcijski koordinatni sustav – HTRS96/TM

Ovaj zadatak podrazumijeva prevodenje katastarskih izmjera koje su izvršene u okviru Programa državne izmjere i katastra nekretnina za razdoblje 2001.-2005. i nakon u projekcijski koordinatni sustav – HTRS96/TM. Dopunske geodetske osnove za potrebe provođenje izmjera i njihovog nastavnog održavanja uspostavljene su u HTRS96. Na osnovu identičnih točaka izračunati su parametri transformacije temeljem kojih su dopunske geodetske osnove prevedene u koordinatni sustav Gauss-Krueggerove projekcije u kojem je nastavno provedena detaljna izmjera i izrađeni katastarski planovi u vektorskem obliku. Budući je poznat način (transformacijski parametri) na koji je geodetska osnova prevedena u stari koordinatni sustav, to se obrnutim postupkom cijeli katastarski plan (koji je u vektorskem obliku) transformira u HTRS96/TM projekciju. Cijeli postupak transformacije treba detaljno razraditi radi jednoobraznosti u postupanju (budući imamo preko 200 novih katastarskih izmjera) uključujući i testiranje točnosti transformiranih planova. Naravno po izvršenoj transformaciji održavanje tih planova provodit će se isključivo u novom sustavu.

C3 – Transformacija katastarskih planova izrađenih u Gauss-Krūgerovoj projekciji meridijanskih zona u novi projekcijski koordinatni sustav – HTRS96/TM.

Ovaj zadatak podrazumijeva prevodenje katastarskih planova izrađenih u Gauss-Krueggerovoj projekciji meridijanskih zona u sustav nove kartografske projekcije. Te katastarske izmjere oslonjene su na dosadašnju geodetsku osnovu (staru triangulacijsku mrežu). Kako je osnovna pretpostavka za transformaciju katastarskih planova, njihovo prevodenje u digitalni (i to vektorski oblik) u okviru projekata PHARE2005 i LPIS do kraja 2010. planirano je izvršenje

vektorizacije svih preostalih katastarskih planova. Drugi ključni preduvjet koji je potreban za provedbu transformacije te vrste katastarskih planova je dovršen jedinstveni transformacijski model – T7D. Također zbog velikog broja katastarskih planova te vrste koje treba transformirati potrebno je detaljno razraditi postupak transformacije koji će također uključivati i ocjenu točnosti provedene transformacije.

C4 – Transformacija katastarskih planova grafičke izmjere u novi projekcijski koordinatni sustav – HTRS96/TM

Ovaj zadatak se odnosi na transformaciju katastarskih planova izrađenih metodom grafičke izmjere (koji pokrivaju 80% teritorija RH). S obzirom na metodu izmjere i njihovu točnost pored samog matematičkog procesa transformacije ti planovi sukladno Zakonu o državnoj izmjeri i katastru nekretnina moraju proći i kroz proces homogenizacije katastarskog plana. U tu svrhu Državna geodetska uprava je sa Geodetskim fakultetom ugovorila suradnju na projektu "Homogenizacija katarskog plana" rezultat kojeg će biti razrada procesa i metoda za provođenje homogenizacije katastarskog plana koji će omogućiti standardizirani pristup homogenizaciji katastarskih planova na području Republike Hrvatske. Kao i kod prethodnog zadatka druga dva temeljna preduvjeta za uspješnu transformaciju te vrste katastarskih planova su provedena vektorizacija katastarskih planova i transformacijski model – T7D.

D – Registar prostornih jedinica

D1 – Transformacija rasterskih i vektorskih podataka baze središnjeg registra prostornih jedinica u projekcijski koordinatni sustav HTRS96/TM

Državna geodetska uprava zadužena je za vođenje središnjeg registra prostornih jedinica. Podaci o granicama svih prostornih jedinica vektorizirani su u starom Gauss-Krueggeroveom sustavu na rasterskim podlogama TK25 koje je potrebno transformirati u novi sustav.

D2 – Zamjena dosadašnjih rasterskih podataka TK25 podacima topografske baze podataka

Po izradi i uspostavi nove topografske baze dosadašnja rasterska podloga zamijenit će se odgovarajućim setom podataka topografske baze.

E – Katastar vodova i geodetski poslovi za posebne namjene

E1 – Informiranje javnosti na nacionalnoj i regionalnoj razini o uvođenju i primjeni novih službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija

Dobro vođena i pravovremeno provedena kampanja informiranja potencijalnih CROPOS korisnika uvelike je doprinijela tome da je sustav CROPOS u manje od šest mjeseci nakon puštanja u službenu uporabu u potpunosti integriran u naš geodetsko-katastarski sustav. Dobro funkcioniranje od samog početka i već samo nakon 3 mjeseca respektabilan broj korisnika – preko 130 korisnika bili su glavni pokretači organizacije 1. CROPOS konferencije u okviru koje su prezentirana ponuđena rješenja na području transformacije kao i ostali postignuti rezultati u ostvarenju Programa. Početkom 2008. godine Državna geodetska uprava je sa Geodetskim fakultetom i Hrvatskim geodetskim institutom potpisala Sporazum na aktivnostima istraživanja i razvoja u svrhu provedbe Program u okviru kojeg je kao jedna od aktivnosti definirana i podrška Geodetskog fakulteta u edukaciji i osposobljavanju geodetskih i GIS stručnjaka za

izvršavanje kako zadatka Programa tako i za rad u novom geodetskom referentnom sustavu. Intenziviranje ovih aktivnosti očekujemo po usvajanju transformacijskih modela te zaokruživanja donošenja svih potrebnih normativno-tehničkih propisa.

E2 – Pružanje znanstveno-stručne pomoći tijelima državne uprave, javnim sustavima i gospodarstvu u transformaciji njihovih georeferenciranih prostornih evidencija u novi geodetski referentni sustav

Javna poduzeća (HEP, Hrvatske vode, T-com, Jadranski naftovod i dr.), državna tijela i institucije, gradovi i općine imaju za svoje potrebe razvijene kataloge vodova odnosno geografsko-informacijske sustave raznih sadržaja. Svi ti podaci prikupljeni su i obrađeni u dosadašnjem koordinatnom sustavu. Uvođenje novih datuma podrazumijeva i transformaciju tih GIS u novi geodetski referentni sustav. Državna geodetska uprava će u okviru suradnje sa Geodetskim fakultetom, putem program edukacije, pružiti nužnu znanstveno-stručnu pomoć svim državnim institucijama kao i ostalim javnim sustavima u transformacijama njihovih GIS-sustava u novi geodetski referentni sustav. U tu svrhu u djelatnicima tih institucija biti će omogućeno uključivanje u program edukacije, i na taj način osigurati sve potrebne uvjete za izvođenje svih geodetskih radova u novom sustavu

E3 – Osiguravanje uvjeta za izvođenje geodetskih radova u novom geodetskom referentnom sustavu na cijelom području Republike Hrvatske

Uspostavom CROPOS-a osiguran je temeljni preduvjet za izvođenje geodetskih radova u novom geodetskom referentnom sustavu na cijelom području Hrvatske. Kroz organizaciju informativnih radionica, kojima je prisustvovalo preko 800 sudionika, geodetsko-katastarska javnost je upoznata sa načinom i uvjetima korištenja CROPOS-a, a što je bio ključni faktor u njegovoj vrlo brzoj integraciji u sustav. Po dovršenju i usvajanju transformacijskih modela i ostalih normativno-tehničkih propisa putem na isti način, putem edukacijsko-informativnih radionica, osigurat ćemo njihovu jedinstvenu i jednoobraznu primjenu na cijelom području države.

F – Informiranje, obrazovanje i izrada normativno-tehničke regulative

F1 – Informiranje stručne i opće javnosti putem postojećih publikacija i proizvoda Državne geodetske uprave, kao i posebnim brošurama o uvođenju i primjeni novog geodetskog referentnog sustava

Sve gore navedene geodetske poslove sukladno Zakonu o državnoj izmjeri i katastru nekretnina obavljaju obavljaju državni službenici DGU i HGI, odnosno fizičke i pravne osobe ovlaštene za obavljanje poslova državne izmjere i katastra nekretnina. Implementacija novih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija u svakodnevnu uporabu zahtjeva obrazovanje i upoznavanje svih geodetskih stručnjaka sa izvođenjem geodetskih poslova u novom geodetskom referentnom sustavu, modernim metodama izmjere, kao i sa transformacijama između novog i starog referentnog sustava.

Iz tog razloga Državna geodetska uprava pokrenut će proces obrazovanja i osposobljavanja geodetskih stručnjaka za obavljanje geodetskih poslova u geodetskom referentnim sustavima. Obrazovanje će se provoditi putem organiziranih predavanja, mini seminara (tečajeva), informiranjem putem tiskanih publikacija, odnosno Internetom. S obrazovanjem će se započeti odmah po donošenju ovog Programa i nastaviti kroz cijelo vremensko razdoblje trajanja Programa, a svrhu što bolje i kvalitetnije realizacije ovog zadatka uspostavljena je već spomenuta suradnja sa Geodetskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu.

F2 – Razvoj i ugradnja modula o uvođenju i primjeni novog geodetskog referentnog sustava u sustav obrazovanja i osposobljavanja geodetskih, GIS i drugih stručnjaka Državne geodetske uprave

Pravila postupanja, odnosno standardizacija tehničkih procedura (pogotovo transformacija, korištenje modela geoida) od izuzetne su važnosti za uspostavu međusobnog povjerenja i suradnje između proizvođača geodetskih podataka (ovlaštenika) i državnih tijela koja službeno verificiraju i evidentiraju te podatke (DGU, HGI). Samo sa potpunim i dobro definiranim propisima, odnosno standardiziranim tehničkim procedurama koje prate modernu tehnologiju osigurat ćemo učinkovitu primjenu geodetskog referentnih sustava u svakodnevnoj praksi.

F3 – Izradu i usvajanje Pravilnika o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova koji će poduprijeti novi geodetski referentni sustav zajedno sa novim prihvatljivim i učinkovitim metodama izvođenja osnovnih geodetskih radova

Propisi na području osnovnih geodetskih radova bili su zastarjeli i u pojedinim dijelovima više se gotovo ne primjenjuju. Novi Pravilnik o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (NN br. 87/09) podupire novi geodetski referentni sustav zajedno sa novim prihvatljivim i učinkovitim metodama izvođenja osnovnih geodetskih radova. Pravilnikom je obrađena nova kategorizacija geodetskih mreža (položajne, visinske, gravimetrijske i magnetometrijske) kao i tehnički kriteriji za pojedine redove mreža te standardi za iskazivanje ocjene točnosti konačnih rezultata. Pored toga, Pravilnikom su obrađene metode mjerjenja GNSS tehnologijom uključujući tu i primjenu CROPOS-a – Hrvatskog pozicijskog sustava prilikom uspostave osnovnih geodetskih mreža. Detaljno je opisan i postupak *uspostavljanja i održavanja stalnih točaka geodetske osnove primjenom tih metoda, kao i izrada tehničkog izvješća i elaborata dopunskih mreža stalnih geodetskih točaka te sukladno tome možemo konstatirati da je predmetnim Pravilnikom uključujući i priloge u potpunosti zaokružena podzakonska regulativa i tehnički standardi iz područja osnovnih geodetskih radova.*

F4 – Izradu tehničkih specifikacija za praktičnu primjenu nove ravninske kartografske projekcije Republike Hrvatske – HTRS96/TM

Odlukom ravnatelja od 30.srpnja 2009. u službenu uporabu stavljene su “Tehničke specifikacije za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografskoj projekciji Republike Hrvatske – HTRS96/TM”. Tehničke specifikacije sadrže opis i algoritme za rješavanje osnovnih zadataka, podjelu na detaljne listove i imena listova službenih topografskih karata u projekcijskom sustavu HTRS96/TM.

8. Zaključak

Za Republiku Hrvatsku utvrđeni su novi geodetski datumi i njihove realizacije, a Državna geodetska uprava kao nositelj provedbe Programa ulaze velike napore kako bi u okviru izvršavanja geodvišnjih programa osigurala dostatna sredstva i ostale kapacitete potrebne za izvršenje pojedinih zadataka Programa. U tome je podržavaju i svi ostali partneri u provedbi programa prvenstveno Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatski geodetski institut.

Dosadašnjom realizacijom Programa, do kraja 2009. godine gotovo će se u potpunosti uspostaviti svi preduvjeti za njihovu daljnju implementaciju u svakodnevnu praksu, a što je i krajnji cilj Programa. Da bi to ostvarili potrebno je na temelju postignutih rezultata do kraja ove godine donijeti novi Program za sljedeće programsko razdoblje kako bi i dalje na sustavan način upravljali implementacijskim procesom.

Iz dosadašnjeg petogodišnjeg razdoblja mogli smo se svi zajedno uvjeriti da je uvođenje novog geodetskog referentnog sustava izuzetno visokozahhtjevan, složen i dugotrajan proces i kao takav predstavlja veliki izazov, a ujedno i veliku priliku za naš cjelokupni geodetsko katastarski sustav da se dokažemo i da hrvatskom društву pružimo moderan geodetski referentni sustav koji će biti u mogućnosti ispuniti zahtjeve korisnika.

