

CROPOS – ON-LINE TRANSFORMACIJSKE USLUGE

Marijan Marjanović¹, Željko Bačić², Tomislav Bašić³

¹Državna geodetska uprava, Zagreb, Republika Hrvatska
(e-mail: marijan.marjanovic@dgu.hr)

²Državna geodetska uprava, Zagreb, Republika Hrvatska
(e-mail: zeljko.bacic@dgu.hr)

³Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb, Republika Hrvatska
(e-mail: tomlav.basic@geof.hr)

Sažetak: Hrvatski pozicijski sustav CROPOS uspostavljen je krajem 2008. godine. Tijekom nešto više od dvije godine rada sustava registrirano je 348 tvrtki kojima je na taj način omogućeno jednostavnije, učinkovitije i pouzdanije korištenje GNSS (Global Navigation Satellite System) tehnologije mjerenja. Kako bi se osigurala što bolja pokrivenost graničnog područja Republike Hrvatske te povećala pouzdanost rada sustava u slučaju neplaniranog prekida rada pojedine referentne stanice CROPOS sustava, uz 30 hrvatskih GNSS stanica u umreženo rješenje i računanje korekcijskih parametara uključeno je i sedam slovenskih, četiri mađarske i dvije crnogorske stanice.

Kako bi se korisnicima omogućilo određivanje koordinata u realnom vremenu tijekom obavljanja terenskih mjerenja u starom koordinatnom sustavu (HDKS) i novom referentnom terestričkom sustavu (HTRS96) te određivanje nadmorskih visina u starom visinskom sustavu (Trst) i novom referentnom visinskom sustavu (HVRS71), razvijen je jedinstveni transformacijski model T7D i novi model geoida HRG2009 i integriran u CROPOS sustav.

U radu je opisan razvoj jedinstvenog transformacijskog modela i računanje novog modela geoida te priprema podataka potrebnih za njihovu integraciju u CROPOS sustav kao i konfiguracija samog sustava za nove on-line transformacijske usluge.

Ključne riječi: CROPOS, referentni okvir, HTRS96, HDKS, HVRS71, HRG2009, T7D

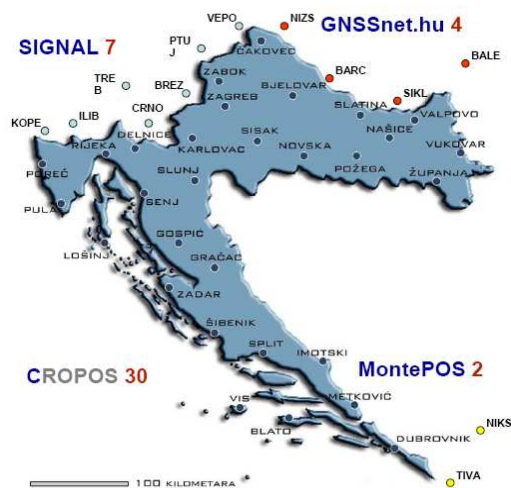
1. CROPOS – HRVATSKI POZICIJSKI SUSTAV

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

održala je korak s razvijenim zemljama u kojima takvi sustavi postoje nekoliko godina čime je omogućeno učinkovitije, jednostavnije i ekonomičnije obavljanje terenskih mjerenja. Primjena CROPOS sustava osigurava određivanje koordinata točaka na cijelom području države s istom točnošću korištenjem jedinstvenih metoda mjerenja te je njegovom uspostavom ispunjen jedan od najvažnijih uvjeta za implementaciju novih geodetskih datuma i kartografskih projekcija Republike Hrvatske.

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

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



Slika 1: Referentne stanice uključene u mrežno rješenje CROPOS sustava

2. GEODETSKI DATUMI I PROBLEM TRANSFORMACIJE

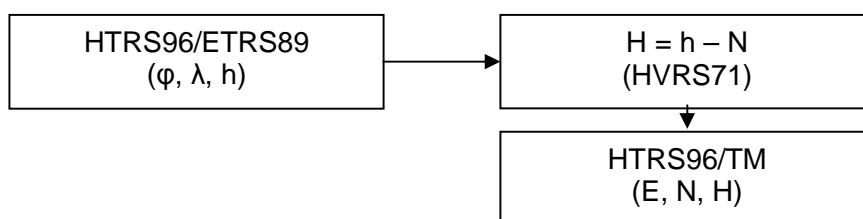
Na temelju zakona o Državnoj izmjeri i katastru nekretnina, 4. kolovoza 2004. godine Vlada Republike Hrvatske donijela je Odluku o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske (NN 110/2004 i 114/2004). Realizaciju novog terestričkog referentnog sustava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

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

- ETRF00 (R05), 1989.0 (HTRS96/ETRS89) – prostorne koordinate u Hrvatskom terestričkom referentnom sustavu 1996 (Europskom terestričkom referentnom sustavu 1989):
 - elipsoid GRS80,
 - φ, λ ,
 - elipsoidna ili geometrijska visina: h .
- HTRS96/TM – ravninske koordinate poprečne Mercatorove projekcije u Hrvatskom terestričkom referentnom sustavu 1996:
 - elipsoid GRS80,
 - E, N,
 - nadmorska visina (HVRS71): H .
- HDKS – ravninske koordinate Gauss-Krügerove projekcije u Hrvatskom državnom koordinatnom sustavu:
 - elipsoid Bessel,
 - y, x ,
 - nadmorska visina (Trst): H .

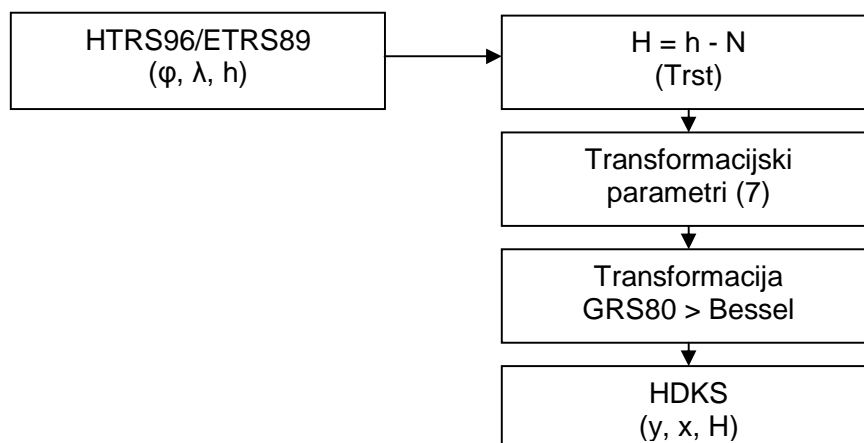
Korištenjem CROPOS usluga za određivanje koordinata točaka u realnom vremenu (VPPS usluga) ili RINEX (RINEX VRS) podataka za naknadnu obradu podataka mjerenja (GPPS usluga) dobivamo prostorne koordinate u HTRS96/ETRS89 sustavu. Ukoliko su nam za rad potrebne ravninske koordinate u novoj poprečnoj

Mercatorovoj projekciji HTRS96/TM treba prostorne koordinate dobivene CROPOS-om reducirati za vrijednost undulacije geoida u novom visinskom sustavu HVRS71 i obaviti jednoznačno preračunavanje koordinata u ravninu (Slika 2).



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

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



Slika 3: Postupak transformacije koordinata HTRS96/ETRS89 > HDKS

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

Problem razlika koordinata na graničnim područjima moguće je riješiti primjenom modela "globalne" transformacije koji bi vrijedio na području cijele države. S obzirom na postavljeni zahtjev točnosti transformacije, od raspoloživih rješenja prihvatljiv je model tzv. GRID transformacije koji osigurava točnost transformacije od 0.1 do 0.3 m ovisno o broju, rasporedu i gustoći identičnih točaka na pojedinom području koje su korištene za računanje transformacijskog modela (Tablica 1).

Tablica 1: Modeli i točnost modela "globalne" transformacije (Bašić, 2009)

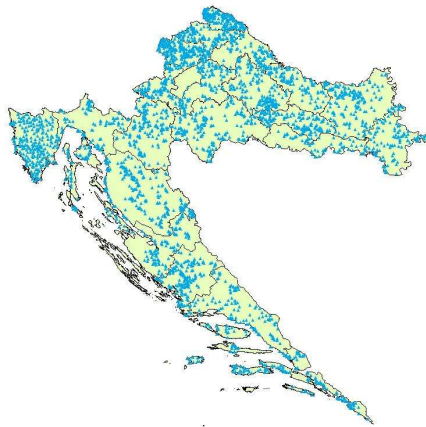
METODA TRANSFORMACIJE	TOČNOST
Metoda pomaka bloka	10 m
Molodensky – 5 parametara	5 m
3D – 7 parametara	1 m
GRID	0.1 – 0.3 m

3. JEDINSTVENI TRANSFORMACIJSKI MODEL I NOVI MODEL GEOIDA

Sredinom 2005. godine započeo je znanstveno-stručni projekt u suradnji Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Državne geodetske uprave koji je imao za cilj definirati postupak transformacije između starog i novog geodetskog datuma (Bašić i dr., 2006). Nakon definiranja i izrade transformacijskog modela i prikupljanja podataka o identičnim točkama u oba koordinatna sustava, utvrđeno je da je broj identičnih točaka nedovoljan te da su točke neravnomjerno raspoređene na području države, pa je trebalo obaviti dodatna terenska mjerenja. Uspostavljanje CROPOS sustava omogućilo je brzo i ekonomično GNSS mjerenje

trigonometrijskih točaka u svrhu povećanja broja identičnih točaka za izradu jedinstvenog transformacijskog modela HTRS96/HDKS tako da je obavljeno mjerenje na dodatne 2994 trigonometrijske točke (Slika 4, Marjanović i dr., 2009). U Bazu podataka stalnih točaka geodetske osnove unijete su i vrijednosti koordinata trigonometrijskih točaka koje su određene GNSS metodom mjerenja u okviru izvođenja radova katastarskih izmjera i izmjera poljoprivrednog zemljišta, tako da je ukupan broj identičnih točaka korišten za izradu novog jedinstvenog transformacijskog modela 5200 (Bašić, 2009).

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



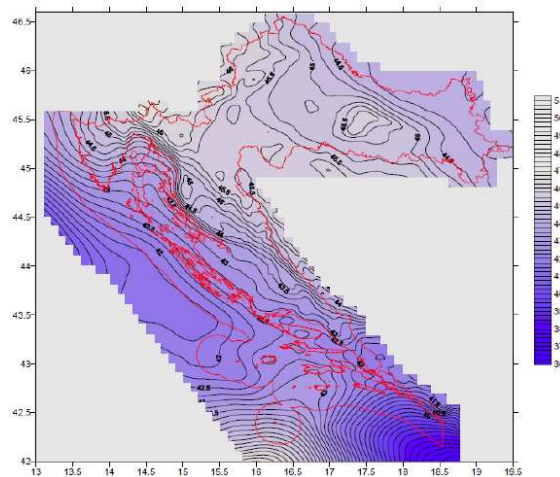
Slika 4: Identične točke korištene za računanje jedinstvenog transformacijskog modela

Prednosti jedinstvenog transformacijskog modela su sljedeće:

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

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

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



Slika 5: Model geoida HRG2009 (Bašić, 2009)

4. NADOGRADNJA CROPOS SUSTAVA

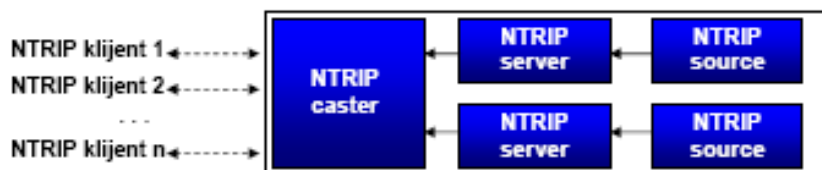
Za primjenu jedinstvenog transformacijskog modela T7D i novog modela geoida HRG2009 u realnom vremenu tijekom obavljanja terenskih mjerenja, CROPOS sustav je nadograđen i korisnicima su stavljene na raspolaganje dvije nove usluge:

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

U CROPOS sustav instaliran je Trimble Transformation Generator (TTG) program koji na temelju pripremljenih podataka i koordinata prijemnika korisnika računa transformacijske parametre. U okviru jedne instalacije TTG programa moguće je obavljati jednu vrstu transformacije tj. jednu on-line transformacijsku uslugu. Važno je naglasiti da se transformacijski parametri mogu slati korisnicima samo u okviru RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) 3.1 formata pošto su u tom formatu predviđene transformacijske poruke 1021 i 1023.

Za rad TTG programa pripremljeni su sljedeći podaci:

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

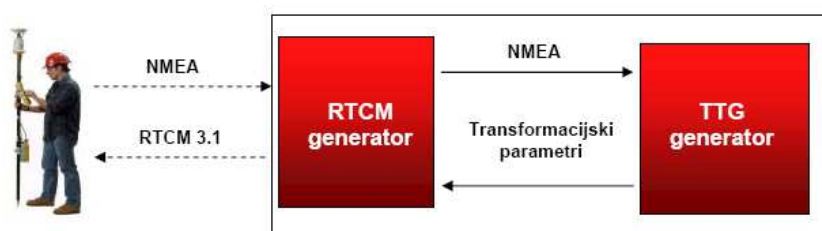


Slika 6: Konfiguracija CROPOS sustava

S obzirom da je CROPOS sustav nadograđen s dvije nove on-line transformacijske usluge, TTG program je instaliran na dva servera za transformaciju koji ovisno o konfiguraciji i podacima pripremaju transformacijske parametre za slanje korisnicima. Ovisno o odabranoj usluzi, NTRIP (Networked Transport of RTCM

via Internet Protocol) caster šalje korisnicima podatke pripremljene na odgovarajućem serveru (Slika 6).

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



Slika 7: Tijek podataka obavljanja terenskih mjerenja CROPOS sustavom

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

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



Slika 8: Proces transformacije

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

5. ZAKLJUČAK

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

LITERATURA

- Bašić, T. (2001): Detaljni model geoida Republike Hrvatske HRG2000, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima iz 2000. godine, Državna geodetska uprava, Zagreb, 2001.
- Bašić, T., Šljivarić, M., Buble, G. (2006): Jedinstveni transformacijski model HTRS96/HDKS, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima iz 2004.-2005. godine, Državna geodetska uprava, Zagreb, 2006.
- Bašić, T. (2009): Jedinstveni transformacijski model i novi model geoida Republike Hrvatske, Izvješća o znanstveno-stručnim projektima 2006.-2008. godine, Državna geodetska uprava, 2009.
- Marjanović, M. (2002): Izjednačenje i analiza EUREF i CROREF GPS kampanja u Republici Hrvatskoj, Magistarski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2002.
- Marjanović, M., Link, H.-P. (2009): CROPOS – Priručnik za korisnike, Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, ISBN: 978-953-293-100-6, Zagreb, 2009.
- Marjanović, M., Premužić, M., Slevka, B. (2009): GNSS mjerenja točaka trigonometrijske mreže u svrhu izrade jedinstvenog transformacijskog modela, 1. CROPOS konferencija, Zbornik radova, 8.-9. lipnja 2009. god., Zagreb.
- Narodne novine (110/2004, 114/2004): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Službeni list Republike Hrvatske, Zagreb, 2004.