

CROPOS kao osnova za Hrvatski terestrički referentni sustav (HTRSYY)

» Željko Hećimović » Marko Pavasović

SAŽETAK. U članku je dan pregled koordinatnih sustava, referentnih sustava i referentnih okvira s obzirom na Hrvatski terestrički referentni sustav (HTRS96). Prikazan je odnos osnovnih referentnih okvira koji se koriste prilikom GNSS mjerenja: geocentrični nebeski (prostorno-fiksni) u kojem su zadane efemeride satelita, terestrički (zemaljski-fiksni, državni) u kojem su zadane koordinate točaka i lokalni astronomski (instrument-fiksni) u kojem se provode mjerenja. Napravljen je osvrt na vremenske promjene koje se javljaju: gibanje točke, vremenske promjene referentnih okvira i transformacijskih parametara. Razmatrane su vremenske promjene koje se javljaju s obzirom na modele gibanja geotektonskih ploča u CROPOS točkama.

KLJUČNE RIJEČI: CROPOS, HTRSYY, koordinatni sustav, referentni sustav, referentni okvir

> 1. Uvod

U Republici Hrvatskoj je za novi položajni referentni sustav uveden Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1995,55 (HTRS96) (NN 110/2004, Bašić 2007). HTRS96 definiran je kao nepromjenjiv i o vremenu neovisan položajni referentni koordinatni sustav. Međutim, Zemlja je dinamičko tijelo koje se mijenja s vremenom te je i referentni sustav podložan promjeni. Da bi referentni sustav prilagodili realnim promjenama, realiziraju se referentni okviri za pojedine epohe. Položaji se mijenjaju s vremenom i ako želimo, na osnovu mjerenja dobivene koordinate dobiti u državnom i vremenski ne promjenjivom referentnom okviru, moramo uzeti u obzir vremenske utjecaje. Pri tome se javljaju pojmovi koordinatni sustav i referentni okvir. Da bismo artikulirali što je koordinatni sustav za HTRS96, što referentni sustav HTRS96, a što referentni okvir za HTRS96, moramo definirati ove pojmove.

> 2. Koordinatni sustav, referentni sustav i referentni okvir

Koordinatni sustav (eng. *Coordinate System*, nj. *Koordinatensystem*) je skup matematičkih zakonitosti koje definiraju kako

će koordinate biti pridružene točkama.

Koordinatnim sustavom definiran je tip koordinatnog sustava (kartezijev, elipsoidni, sferni), njegove dimenzije (1D, 2D, 3D, ili 4D) i osnovne matematičke zakonitosti. On je matematička osnova referentnog sustava.

Koordinatni referentni sustav ili referentni sustav (eng. *Coordinate Reference System* (CRS), njem. *Koordinatenbezugssystem*) je koordinatni sustav koji je vezan za realni svijet pomoću geodetskog datuma. Za zemaljsko-fiksne referentne sustave problem se najčešće svodi na povezivanje koordinatnog sustava sa Zemljom, definiranjem položaja ishodišta, orijentacija osi i mjerila s obzirom na Zemlju.

Koordinatni referentni okvir ili referentni okvir (eng. *Reference Frame*, njem. *Bezugsrahmen*) je realizacija referentnog sustava. Realizacija referentnog sustava ovisi o broju, rasporedu objekata/točaka, tehnikama mjerenja, epohama mjerenja, modelima obrade podataka i slično.

Ukoliko za definiranje točke koristimo neovisan položajni i visinski sustav, javlja se pojam složenog referentnog sustava. **Složeni referentni koordinatni sustav** (eng. *Compound Coordinate Reference System*, CCRS) definira položaj pomoću dva

neovisna referentna koordinatna sustava. Koordinatni sustavi su međusobno neovisni ako se koordinate iz jednog sustava ne mogu transformirati ili konvertirati u koordinate drugog sustava. Karta je primjer složenog referentnog koordinatnog sustava, gdje je položaj definiran u položajnom referentnom sustavu (npr. novi položajni projekcijski sustav - HTRS96/TM), a visine u visinskom referentnom sustavu (npr. novi visinski referentni sustav - HVR571).

Koordinatni sustavi koje koristi HTRS96 su *Geodetic Reference System 1980* (GRS80) nivo-elipsoid, kada položaj predstavljamo u odnosu na elipsoid ili trodimenzionalni (3D) kartezijev koordinatni sustav. Ovo je posljedica definiranja HTRS96 kao realizacije *European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS89) koji koristi ove koordinatne sustave.

Hrvatski terestrički referentni sustav 1996 (HTRS96) dobijemo povezivanjem navedenih koordinatnih sustava (GRS80 i 3D kartezijev) s realnim svijetom pomoću geodetskog datuma. Europa je usvojila ETRS89 referentni sustav i definirala ga tako da koincidira s *International Terrestrial Reference System 1989* (ITRS89) u epohi 1989.

Na taj način je HTRS96 povezan s realnom Zemljom s obzirom na međunarod-

ne kriterije definiranja zemaljski-fiksni referentnih sustava (ITRS): geocentričnost, prostorna orijentacija osi, *International System of Units* (SI) metar kao jedinična duljina.

Glavna razlika između ITRSYY i ETRS89 (HTRS96) referentnih sustava je da su koordinatne osi ETRF89 (HTRS96) fiksne s euroazijskom geotektonskom pločom i gibaju se s njom, a ITRFYY referentni sustavi nisu fiksno vezani za pojedinu geotektonsku ploču, već vremenske promjene uzimaju u obzir primjenom *no-net-rotation*¹ (NNR) uvjeta s obzirom na horizontalna tektonska gibanja duž cijele Zemlje.

Hrvatski terestrički referentni okvir 1996 (HTRO96) dobiven je realizacijom referentnog sustava HTRS96, na osnovu 78 točaka premjerenih u CROREF'96 i CRODYN'96 GPS kampanjama u epohi 1995,55 te korištenih referentnih točaka u modelu izjednačenja.

Na taj način, europski referentni sustav prilagođen je za područje Hrvatske u epohi 1995,55. CROPOS referentne stanice dane su u ETRF00(R05) referentnom okviru (URL-1), a to je nova realizacija ETRF89 okvira.

U svakodnevnom govoru, vrlo često je fluidna granica između pojma referentnog sustava i okvira. Jedan od razloga je i što su ovi pojmovi relativno novijeg datuma. Između novijih referentnih sustava/okvira pravi se jasna distinkcija (npr. ITRSYY/ITRFYY, ETRSYY/ETRFYY i slično). Međutim, za relativno starije referentne sustave/okvire nije uobičajeno da se radi distinkcija. Tako, na primjer, za realizaciju nativnog GPS referentnog sustava *World Geodetic System 1984* (WGS84) teško se može naći termin *World Geodetic Frame 1984* (WGF84). Međutim, za sve praktične radove i kada u praksi koristimo koordinate, radi se o referentnom okviru.

> 3. Vremenske skale referentnih okvira

Da bi referentni sustav bio definiran, osim položaja, mora biti definirana i vremenska skala. Prilikom definiranja skale vremena, u skladu s teorijom relativnosti, razlikujemo koordinatno vrijeme koje se odnosi na ishodište referentnog sustava i vlastito vrijeme mjernika. Primjena atomskih satova uobičajena je za realizaciju vremenske skale. Satovi realiziraju vlastito vrijeme duž trajektorija njihovog gibanja kroz prostor.

Za definiranje skale vremena mogu

se koristiti i signali ekstralaktičkih objekata. Pulsari titraju vrlo pravilno. Oni definiraju vlastito vrijeme duž trajektorija gibanja njihovog signala (Klioner 1991). Referentni sustav može biti definiran s obzirom na ishodište u geocentru, selenocentru, baricentru, u točki mjerenja, pomičnoj platformi (auto, avion, brod, satelit i slično). Koristi se više vremenskih skala, a najvažnije su:

- **Međunarodno atomsko vrijeme** (eng. *International Atomic Time*, fr. *Temps Atomique International*, TAI) je referentno koordinatno vrijeme definirano od *Bureau International de l'Heure* na osnovu očitavanja atomskih satova. TAI je skala koordinatnog vremena definirana u geocentričnom referentnom okviru sa SI sekundom kao jedinicom vremena, a koja je realizirana na rotirajućem geoidu (Karttunen i dr. 2007).

- **Univerzalno vrijeme** (eng. *Universal Time*, fr. *Temps universel*, UT1) je vrijeme ovisno o rotaciji Zemlje. Distribuira ga IERS kao razliku UT1-UTC u *IERS Bulletins A* i B i drugim datotekama s podacima.

- **Koordinatno univerzalno vrijeme** (eng. *Coordinated Universal Time*, fr. *Temps universel coordonné*, UTC) dobije se kao razlika cijelog broja prijelaznih sekundi u odnosu na TAI.

- **Baricentričko koordinatno vrijeme** (eng. *Barycentric Coordinate Time*, fr. *Temps-coordonnée barycentrique*, TCB) je koordinatno vrijeme u baricentru Solsarnog sustava.

- **Baricentričko dinamičko vrijeme** (eng. *Barycentric Dynamical Time*, TDB) je vremenska skala u odnosu na baricentar Sunčeva sustava, definirana s obzirom na teoriju relativnosti. TDB je linearna transformacija TCB, da bi bila usklađena s TT vremenskom skalom.

- **Geocentričko koordinatno vrijeme** (eng. *Geocentric Coordinate Time*, fr. *Temps-coordonnée géocentrique*, TCG) je koordinatno vrijeme u centru masa Zemlje.

- **Terestričko dinamičko vrijeme** (eng. *Terrestrial Dynamical Time*, fr. *Temps Dynamique Barycentrique*, TDT) je vremenska skala za prividne geocentrične efemeride definirane *International Astronomical Union* (IAU) rezolucijom 1979., a 1991. godine je zamijenjen s *Terrestrial Time* (TT).

- **Terestričko vrijeme** (eng. *Terrestrial Time*, TT) je vrijeme mjernika. TT je koordinatno vrijeme čija je srednja vremen-

ska skala blizu srednje vremenske skale vlastitog vremena mjernika smještenog na rotacijskom geoidu.

Preciznost i stabilnost atomskih satova omogućuju mjerenje relativističkih utjecaja u svakodnevnim aktivnostima².

Vremenska skala definira se u nacionalnim laboratorijima za definiranje vremena i uglavnom se koriste cezijevi satovi. Stabilnost sata definiramo njegovim odstupanjem od referentnog vremena [ns] i stabilnošću frekvencije u promatranom vremenskom razdoblju [ns/dan]. Cezijum satovi mjere frekvenciju s točnošću od 2 do $3 \cdot 10^{-14}$. To odgovara točnosti od 2 nanosekunde dnevno; odnosno, jedne sekunde u 1.400.000 godina (URL-2). Točniji hidrogen maser satovi imaju stabilnost od 10^{15} , ali u kratkom razdoblju od 10.000 s.

Novi standard određivanja skale vremena će definirati ESA-in projekt *Atomic Clock Ensemble in Space* (ACES), što će biti prva upotreba laserski ohlađenih atomskih satova u svemir. ACES se sastoji od *Project d'Horloge Atomique Par Refroidissement d'Atomes En Orbite* (PHARAO) atomskog cezijeva sata zasnovan na hlađenju atoma koji će biti uspostavljen na *International Space Station* (ISS) 2013. godine (Noël 2007). Očekuje se stabilnost frekvencije od 10^{-15} na Zemlji i 10^{-16} u orbiti u periodu od pola dana (URL-3).

> 4. Zadavanje položaja s obzirom na vremenske promjene

Koordinate su skup n brojeva koji određuju položaj točke u n-dimenzionalnom prostoru. Točka kao jedan od temeljnih pojmova može se definirati na više načina. Tako je **točka prema ISO standardu** 0-dimenzionalna geometrijska primitiva koja predstavlja položaj (ISO/DIS 2003., 2007.). **U matematici se pod pojmom točke** najčešće podrazumijeva bezdimenzionalna veličina definirana svojim koordinatama u zadanom koordinatnom sustavu. **U geodeziji** se pod točkom podrazumijeva objekt zadan koordinatama, brzinama gibanja (neki autori bi željeli i ubrzanja), njihovom procjenom kvalitete i epohama na koje se odnose u zadanom referentnom okviru. **U teoriji relativnosti** točka je događaj. Zbog gibanja u prostoru, točka ima jedinstvenu putanju kroz prostor i vrijeme - nikada se ne nalazi dvaput na istom mjestu i opisuje prostornu krivulju koja se naziva svjetska linija.

Da bi točka bila definirana u geodeziji, s obzirom na vremenske promjene,

1 - *No-net-rotation* (NNR) je referentni okvir modela gibanja geotektonskih ploča koji opisuje prosječnu brzinu gibanja globalnog sustava geotektonskih ploča.

2 - Godine 1971. mjereni su relativistički utjecaji na četiri cezijeva atomska sata; na putu oko svijeta u avionu NPL (2005). Prvo su putovali od istoka prema zapadu, a zatim od zapada prema istoku. U smjeru istok-zapad predviđena, računaska vrijednost za 14 sati leta na srednjoj visini od 10 km je, zbog slabijeg gravitacijskog polja, iznosila 53 ns (satovi će u slabijem gravitacijskom polju ići brže), a utjecaj zbog gibanja aviona u odnosu na površinu Zemlje je 16,1 ns (satovi koji se gibaju će ići sporije). Oduzimanjem ovih vrijednosti dobiven je konačan iznos od cca. 37,9 ns. Izmjeren je relativistički utjecaj na satove od 38,9 ns. Mjerna nesigurnost, zbog ne stabilnosti satova i mjernog šuma, je procijenjena na ± 2 ns.

treba između ostalog, zadati referentni okvir s epohom njegovog definiranja (npr. HTRO96), epohu na koju se odnose koordinate (npr. HTRO96(2009,4)), referentni okvir i njegovu epohu u kojem su zadane brzine gibanja točke (npr. ITRF05) te epohu na koju se brzine odnose (npr. ITRF05(2008,2)).

Ako su koordinate zadane u Hrvatskom terestričkom referentnom okviru 1996 (HTRO96), epoha 2009,4, a brzine u *International Terrestrial Reference Frame 2005* (ITRF05), epoha 2008,2, definiranje točke prikazano je u tablicama 1a i b.

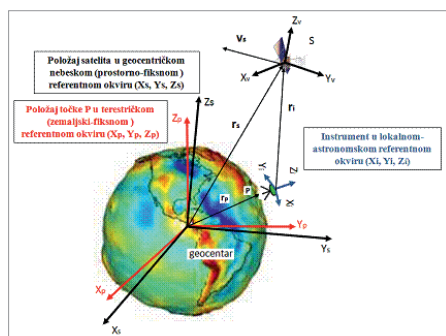
Da bismo mogli na osnovu zadanih brzina računati vremenske promjene položaja, koordinate i brzine moraju biti konzistentno zadane, tj. odnositi se na isti referentni okvir i istu epohu. U gornjem primjeru to nije slučaj, a što je vrlo čest slučaj u praksi. Zbog toga treba provesti transformacije brzina za referentni okvir i epohu da bismo ih mogli koristiti za vremenske transformacije.

Da li je potrebno uzimati u obzir epohu koordinata i brzina gibanja točaka kod radova manje točnosti, saznati ćemo ako dobijemo grubu procjenu vremenskog pomicanja točaka. Euroazijska geotektonska ploča ima horizontalno gibanje cca. 3 mm godišnje (ETRF89, HTRS96). **Ako smo mjerovali primjenom GNSS sustava (ITRFYY) u 2009. godini i želimo položaj izraziti u novom državnom HTRS96 sustavu.** Od epohe za koju je definiran HTRS96 (1996) do epohe naših mjerenja (2009) prošlo je 13 godina. Množenjem s godišnjim gibanjem točke, dobivamo da se točka pomakla 39 mm. Ova razlika se povećava što je veća razlika epoha. Da bi referentni okvir što bolje odgovarao realnim odnosima, uvode se nove realizacije referentnih sustava (npr. ETRF00 za CROPOS koordinate).

> 5. Referentni okviri korišteni prilikom GNSS mjerenja

Primjenom GNSS mjerenja koristi se više referentnih okvira (Slika 1):

- geocentrični nebeski (prostorno-fiksni) referentni okvir u kojem je definiran



Slika 1. Referentni okviri prilikom GNSS mjerenja

HTRO96(2009,4)						
Točka	X [m]	σ_X [m]	Y [m]	σ_Y [m]	Z [m]	σ_Z [m]
T1	4031947,362	0,0024	370150,868	0,0033	4911905,864	0,0050

ITRF05(2008,2)						
Točka	v_x [m/god]	σ_{v_x} [m/god]	v_y [m/god]	σ_{v_y} [m/god]	v_z [m/god]	σ_{v_z} [m/god]
T1	-0,016	0,00090	0,0206	0,00044	0,0116	0,00014

Tablica 1a i b. Zadanje točke

položaj satelita,

- lokalni astronomski (instrument-fiksni) referentni okvir u kojem je definiran mjerni instrument,
- terestrički (zemaljsko-fiksni) okvir u kojem su definirane koordinate stajališta.

Svaki od ovih referentnih okvira definiran je s obzirom na drugi skup objekata ili parametara. Razlikuju se po svojoj prirodi i vremenskim utjecajima. Da bi se očuvala visoka preciznost GNSS mjerenja, ove referentne sustave treba konzistentno povezati.

5.1 MEĐUNARODNI NEBESKI (PROSTORNO-FIKSNI) REFERENTNI OKVIRI

Zbog gibanja Zemlje oko Sunca za primjenu prostornih geodetskih tehnika mjerenja (GNSS, VLBI, SLR, LLR) potrebni su: Baricentrični nebeski referentni sustav (*Barycentric Celestial Reference System*, BCRS) u kojem se izražavaju efemeride nebeskih objekata i satelita i Geocentrični nebeski referentni sustav (*Geocentric Celestial Reference System*, GCRS) koji služi za povezivanje nebeskih objekata i satelita s mjernikom na Zemlji. Mjernik na Zemlji prilikom terestričkih mjerenja koristi TT, UTC ili TAI skalu vremena, a za prostorne geodetske metode (VLBI, GNSS, LLR, LSR) koriste se TCB ili TDB.

Nebeski referentni sustav (*Celestial Reference System*, CRS) definira smjerove osi koordinatnog sustava s obzirom na udaljenu materiju ekstragalaktičkih objekata, uglavnom kvazara. Kvazari su radioizvori, na velikim udaljenostima od Zemlje, čije je prividno gibanje zanemarivo te su gotovo fiksni, tj. definiraju kvazi-inercijalni referentni sustav. Položaj kvazara je poznat s točnošću boljom od tisućinke lučne seksagezimalne sekunde³.

Usporedbe godišnjih realizacija ICRS-a daju odstupanja manje od 0,02 mas između pojedinih rješenja. Ograničavajući faktor da bi se položaj ekstra-

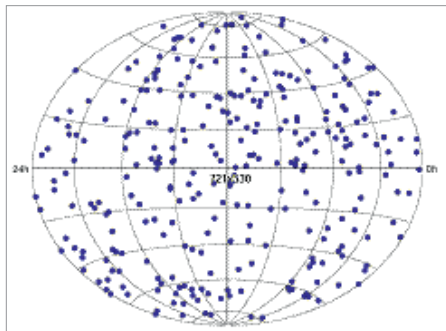
galaktičkih radioizvora odredio s većom pouzdanošću je nestabilnost radioizvora. Ovako definiran ICRS, definiran je s većom pouzdanošću od ranijih optičkih referentnih okvira, definiranih na osnovu *Fundamental Katalog 5* (FK5) /i/ ili HIPPARCOS kataloga. Usklađivanje podataka HIPPARCOS kataloga s ICRF-om ukazuje na standardnu pogrešku od $\pm 0,6$ mas za orijentaciju u epohi 1991,25 i $\pm 0,25$ mas/god. za rotaciju. Nepouzdanost određivanja FK5 ishodišta desnog uzlaza referentnog okvira je ± 80 mas (Fricke 1982., Schwan 1988.). Sličan rezultat dobio je (Lindgren i dr. 1995) na osnovu podataka HIPPARCOS kataloga na osnovu kojih je utvrđeno da FK5 katalog ima sustavnu pogrešku od 100 mas, a ovo je potvrđeno povezivanjem HIPPARCOS kataloga s ICRS-om (Mignard i Froeschle 2000).

Preporuke *International Astronomical Union* (IAU) (McCarthy 2000.) specificiraju da je ishodište nebeskog referentnog sustava u baricentru Sunčevog sustava, a smjerovi koordinatnih osi definirani su s obzirom na položaje kvazara. *International Earth Rotation System* (IERS) realizira međunarodno standardiziran CRS koji se naziva Međunarodni nebeski referentni sustav (*International Celestial Reference System*, ICRS). On je definiran s obzirom na IERS konvencije: ishodište je u baricentru Solarnog sustava, orijentacija koincidira s ICRF za 1991,25, paralelna s osima FK5 (± 8 mas), srednji ekvator je definiran za J2000,0, os X prolazi proljetnom točkom za J2000,0, vrijeme je baricentričko dinamičko vrijeme (TDB). Točnost realizacije orijentacije ICRF koordinatnih osi je 20 mas (Ma i Feissel 1997.).

IERS je prilagodio svoje proizvode novom precesijsko-nutacijskom modelu (IAU2000A). Ovaj pristup omogućuje točnije predstavljanje gibanja međunarodnog nebeskog pola.

Određivanje položaja kvazara VLBI tehnikom je kvalitetnije od optičkog opa-

³ Tisućiti dio lučne seksagezimalne sekunde (eng. milliarcsecond, mas) iznosi 1 mas = 0,001" = 4.8481368 nrad.



Slika 2. Radioizvori korišteni za definiranje ICRF2 (Fey i Gordon 2009.)

žanja zvijezda. Zbog toga su za drugu realizaciju *International Celestial Reference Frame* (ICRF2) korištena samo VLBI mjerenja (Fey i Gordon 2009.). Na slici 2 su radioizvori korišteni za definiranje ICRF2.

Barycentric Coordinate Time (TCB) služi za definiranje relativističkih efemerida Solarnog sustava. Fundamentalne efemeride *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) za tijela Solarnog sustava izražene su u BCRS-u s obzirom na relativističku Einstein-Infeld-Hoffmann jednadžbu gibanja (Standnish 1998.). Relativistički utjecaji na okruženje oko Zemlje u BCRS prouzrokovani su brzinom putanje Zemlje oko Sunca i gravitacijskim potencijalom u promatranoj točki na Zemlji. Ova oba utjecaja su istog reda veličine 10^{-8} . GCRS je koncipiran tako da Newtonovi i relativistički utjecaji prouzrokovani ostalim tijelima Sunčevog sustava imaju utjecaj kao plimni valovi. U GCRS relativistički utjecaji su reda veličine 10^{-9} , tj. jedan red veličine manji nego u BCRS.

Brzina gibanja Zemlje oko Sunca je oko 106.000 km/h, što je brzina relativnog gibanja GCRS u odnosu na BCRS. Brzina svjetlosti je 299.792.458 m/s. Primjenom ovih vrijednosti dobivamo za koeficijent smanjenja duljine u smjeru gibanja Zemlje oko Sunca:

$$1/\gamma = 0,999999995183 \quad (1)$$

Ako promatramo dužinu duljine 100 km na Zemlji, njena duljina će biti nepromijenjena u GCRS-u s kojim se zajedno giba kroz prostor. Ako istu dužinu promatramo u BCRS, ona će imati duljinu:

$$L = \frac{L_0}{\gamma} = 100000m \cdot 0,999999995183 = 99999,99952m \quad (2)$$

Iz toga proizlazi da je duljina od 100 km na fizičkoj površini Zemlje, koja se pruža u smjeru rotacije Zemlje oko Sunca, kada se promatra iz baricentra Sunčevog sustava (BCRS), kraća za 0,5 milimetara zbog relativnog gibanja GCRS.

5.1.1 TRANSFORMACIJE IZMEĐU BCRS I GCRS

BCRS i GCRS povezani su složenim prostorno-vremenskim transformacijama koje su generalizirani oblik Lorenzovih transformacija i jednostavna translacija iz baricentra u geocentar, koja se koristi u praksi, najčešće ne daju zadovoljavajuću točnost. Transformacija se može rastaviti na transformaciju vremena i transformaciju položajnih koordinata:

$$\begin{aligned} T &= t \left(1 - \frac{\beta^2}{2} - \frac{\beta^4}{8} \right) - \left(1 + \frac{\beta^2}{2} \right) \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}}{c^2} + O(c^{-6}) \\ X &= \mathbf{r} + \frac{1}{2} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}) \frac{\mathbf{v}}{c^2} + O(c^{-4}) \end{aligned} \quad (3)$$

gdje je: c brzina svjetlosti, $\mathbf{r} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_E(t)$, $\beta = \mathbf{v}/c = \text{const}$ i $O(c^{-4})$ red veličine ostatka koji se zanemaruje.

5.2 MEĐUNARODNI TERESTRIČKI (ZEMALJSKO-FIKSNI) REFERENTNI OKVIRI

Terestrički referentni sustav (*Terrestrial Reference System*, TRS) je referentni sustav koji rotira zajedno sa Zemljom u njenom dnevnom gibanju. Koriste se za pozicioniranje, navigaciju, kao osnova za kartografske projekcije (karte, katastarski

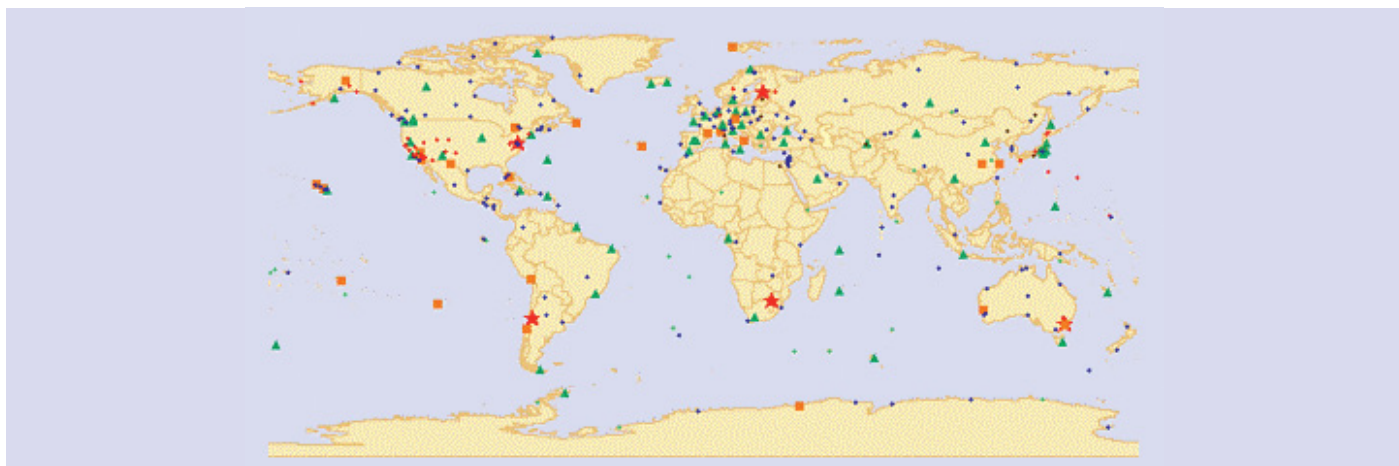
planovi i slično), za opisivanje geofizičkih procesa (gravitacijsko polje, magnetsko polje, meteorološki parametri) i druge potrebe.

U takvom referentnom sustavu položaj točaka koje su vezane za fizičku površinu Zemlje, podložne su malim promjenama zbog geofizičkih utjecaja (tektonskih i plimnih deformacija) (Kovalovsky i dr. 1989, Boucher 2001). Idealni terestrički referentni sustav definiran je kao referentni tripl koordinatnih osi koji rotira sa Zemljom. *Conventional Terrestrial Reference Frame* (CTRF) realizacija je idealnog TRS-a. Matematička osnova ITRS referentnih sustava je Euklidski afin prostor s tri dimenzije. Standardna transformacija između dva takva referentna sustava je zasnovana na Euklidskoj sličnosti. ITRS zadovoljava uvjete:

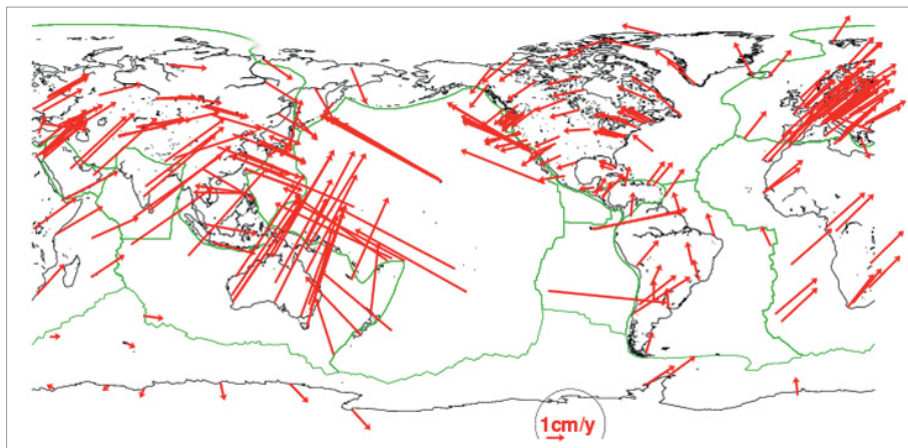
- geocentričnosti (centar masa definiran je s obzirom na cijelu Zemlju, uključujući oceane i atmosferu),
- jedinična duljina je SI metar koja je konzistentna s TCG koordinatnim vremenom koje se dobije relativističkim modeliranjem,
- orijentacija je izvorno definirana Bureau International de l'Heure (BIH) orijentacijom u 1984.0,
- vremenske promjene orijentacije su osigurane primjenom uvjeta no-net-rotation s obzirom na horizontalno tektoničko gibanje duž cijele Zemlje.

Ishodište referentnih sustava ITRS, ETRS i ITRS je u geocentru, os Z definirana je s obzirom na *Conventional Terrestrial Pole* (CTP) ili IERS referentni pol (IRP). Os X definirana je pravcem presjeka ekvatorske ravnine i ravnine početnog meridijana kroz *Greenwich*. Os Y definira ortogonalan desnoorijentiran referentni sustav. Koordinatne osi imaju jediničnu duljinu definiranu SI metrom.

Prostorne mjerne tehnike koje se koriste prilikom definiranja ITRS-a i njihovi glavni doprinosi su:



Slika 3. ITRF2005 točke (URL-4)



Slika 4. ITRF2005 vektori brzine (URL-4)

- *Very Long Base Interferometry* (VLBI) - visoka preciznost i dugoperiodična stabilnost,
- *Satellite Laser Ranging* (SLR) - dugoperiodična stabilnost i geocentričnost,
- *Lunar Laser Ranging* (LLR) - geocentričnost, dugoperiodična stabilnost i relativistički utjecaji,
- *Doppler Orbitography by Radio-positioning Integrated on Satellite* (DORIS) sustav za praćenje satelita - globalna pokrivenost točkama,
- *Global Positioning System* (GPS) - gusta globalna mreža, kratkoperiodična stabilnost i visoka preciznost.

Na slici 3 prikazane su točke korištene za definiranje ITRF2005 referentnog okvira.

Za razliku od nebeskih referentnih sustava koji se definiraju u odnosu na gotovo fiksne ekstragalaktičke objekte, terestrički referentni sustavi realiziraju se u odnosu na terestričke točke i ovise o geotektonskim gibanjima. Zbog toga se vremenskim geodinamičkim promjenama u terestričkim referentnim sustavima posvećuje posebna pažnja. ITRS vremenski utjecaji:

- tektonsko gibanje ploča,
- utjecaj Zemljinih plimnih valova na čvrstu Zemlju,
- *ocean loading* (geotektonska gibanja zbog periodičkog pritiska mase oceana),
- *loading atmosphere* (geotektonska gibanja zbog periodičkog pritiska masa atmosfere),
- deformacije rotacije zbog gibanja pola,
- postglacijalno izdizanje.

5.3 LOKALNI ASTRONOMSKI (INSTRUMENT-FIKSNI) REFERENTNI OKVIRI

Lokalni astronomski referentni okvir je fiksiran s mjernim instrumentom. Realiziramo ga prilikom postavljanja in-

strumenta na točku mjerenja s obzirom na lokalna svojstva polja ubrzanja sile teže (npr. GNSS antene, totalne stanice i slično). Ishodište lokalnog astronomskog referentnog okvira je u referentnoj točki instrumenta (npr. u fazonom centru GNSS antene). Pomoću viska centriramo instrument iznad točke mjerenja. Visak pokazuje smjer vektora ubrzanja sile teže, odnosno vertikale, tj. tangente na težišnicu, prostornu krivulju koja je okomita na plohe istog gravitacijskog potencijala. Pozitivan smjer osi Z_i je prema astronomskom zenitu kojeg dobijemo probodištem vertikale s nebeskom sferom. Horizontaliranjem libele definiramo lokalnu ravninu horizonta u kojoj su definirane druge dvije osi. Os X_i u smjeru meridijana s pozitivnim smjerom prema sjeveru. Os Y_i definira ortogonalan sustav lijeve ruke.

Lokalni astronomski referentni okvir ovisi o lokalnoj anomalnosti gravitacijskog polja na stajalištu (visak - vertikala - Z_i os, libele - horizont - X_i i Y_i osi). Za svako stajalište realiziramo jedinstven lokalni astronomski referentni okvir. U lokalnom astronomskom referentnom okviru provode se mjerenja (pravci, azimuti, zenitne udaljenosti i dr.) koja su opterećena lokalnom anomalnošću polja ubrzanja sile teže.

Da bismo mogli povezati lokalni astronomski referentni sustav sa zemaljski-fiksni i prostorno-fiksni sustavima, moramo znati utjecaje lokalnog polja ubrzanja sile teže, tj. moramo prijeći na lokalni geodetski referentni sustav. Za razliku od lokalnog astronomskog, lokalni geodetski referentni okvir definiran je s obzirom na matematičke odnose te ne ovisi o lokalnim anomalnostima gravitacijskog polja. Osi Z su definirane s obzirom na vertikalu (lokalni astronomski) i normalu na elipsoid (lokalni geodetski). Razlika između ovih osi je u odklonu vertikale, odnosno u kutu između vertikale i normale na elipsoid. Ovaj utjecaj se u

praksi redovito ne uzima u obzir jer bi se morala provoditi dodatna mjerenja, a iznos je relativno malen te se o ovim utjecajima vodi računa kod visokopreciznih geodetskih radova (osnovne državne geodetske mreže, tunelogradnja, hidrotehnički radovi i slično).

5.3.1 VRIJEME LOKALNOG ASTRONOMSKOG REFERENTNOG SUSTAVA

Vremensku skalu koja je linearno vezana s TCG, a koja je numerički blizu vlastitom vremenu mjernika na geoidu, definiramo pomoću izraza:

$$TT = (1 - L_G)TCG, L_G = 6,969290134 \times 10^{-10} \quad (4)$$

> 6. Global Geodetic Observing System (GGOS)

Geometrijski oblik Zemlje, njeno gravitacijsko polje i rotacija se za potrebe uspješnog praćenja sustava Zemlje, ne mogu zasebno tretirati. Da bi objedinila ove probleme *International Association of Geodesy* (IAG) pokrenula je projekt *Global Geodetic Observing System* (GGOS) koji ima za cilj uspostavu sustava za globalno nadgledanje Zemlje (Beutler i dr. 2004.).

GGOS će različitim tehnikama mjeriti različite parametre Zemlje kao jedinstvenog sustava te nastoji artikulirati male signale u mjerenjima. Traži se određivanje položaja s većom točnošću od milimetra, a brzine gibanja s točnošću boljom od 0,1 mm/god. Da bi se ovako visoki zahtjev na položajnu točnost mogao realizirati, moraju se uzimati u obzir relativistički utjecaji i mora se definirati konzistentan referentni sustav. GGOS projekt objedinjuje temeljne geodetske probleme: određivanje promjena rotacije Zemlje, određivanja geometrijskog oblika Zemlje i prostorno-vremenske promjene gravitacijskog polja (Plag i dr. 2009c). Da bi se ovi problemi mogli konzistentno rješavati, mora se definirati referentni okvir s obzirom na relativističke utjecaje koji se moraju uzimati u obzir i prilikom obrade rezultata mjerenja (Schuh i dr. 2008, Plag i dr. 2009a, Plag i dr. 2009b).

> 7. Vremenske promjene

Zemlja je dinamičko tijelo koje se mijenja s vremenom te se u zemaljski-fiksni referentni sustav s vremenom mijenjaju:

- referentni okvir,
- položaj točke,
- transformacijski parametri.

Ukoliko provodimo preciznija GNSS

mjerjenja, pogreška zbog neuzimanja vremenskih utjecaja je veća od šuma mjerenja. Uvođenjem referentnog sustava HTRS96 dobivaju na značaju vremenske promjene koje se moraju uzimati u obzir da se ne bi kvarila visokoprecizna GNSS mjerenja.

Klasični oblik statičke trodimenzionalne sedamparametarske Helmertove transformacije vektora položaja X_A iz referentnog okvira A u vektor položaja X_B u referentnom okviru B ima oblik:

$$X_B = X_A + T_{A,B} + D_{A,B} \cdot X_A + R_{A,B} \cdot X_A \quad (5)$$

gdje je:

X_A - vektor položaja točke u referentnom okviru A,

X_B - vektor položaja točke u referentnom okviru B,

$T_{A,B}$ - vektor translacije iz referentnog okvira A u B,

$D_{A,B}$ - promjena mjerila (skalar) pri transformaciji iz referentnog okvira A u B,

$R_{A,B}$ - matrica rotacije pri transformaciji iz referentnog okvira A u B.

Veličine X_A , X_B , T , D , R su funkcije vremena te njihovim diferenciranjem dobivamo:

$$\dot{X}_B = \dot{X}_A + \dot{T}_{A,B} + \dot{D}_{A,B} \cdot X_A + D_{A,B} \cdot \dot{X}_A + \dot{R}_{A,B} \cdot X_A + R_{A,B} \cdot \dot{X}_A \quad (6)$$

Transformacijski parametri D i R su reda veličine 10^{-5} iznose oko 10 cm/god. Zbog toga su izrazi i zanemarivi te gornji izraz dobiva oblik:

$$\dot{X}_B = \dot{X}_A + \dot{T}_{A,B} + \dot{R}_{A,B} \cdot X_A \quad (7)$$

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

7.1 PROMJENA POLOŽAJA TOČKE S VREMENOM

Točke se gibaju prvenstveno zbog geodinamičkih utjecaja. Promjena položaja točke u referentnom okviru ITRFYFYY iz epohe t_0 u epohu t dobije se pomoću izraza:

$$X^{ITRFYFYY}(t) = X^{ITRFYFYY}(t_0) + V^{ITRFYFYY} \cdot (t - t_0) \quad (8)$$

gdje je:

$X^{ITRFYFYY}(t_0)$ - vektor položaja točke u referentnom okviru ITRFYFYY za epohu t_0 , npr. vektor položaja XITRF89(2005,8) definira položaj točke koordinatama (X,

Y, Z) u ITRF89 sustavu za epohu 2005,8,

$V^{ITRFYFYY}$ - vektor brzine gibanja točke u ITRFYFYY referentnom okviru.

7.2 PROMJENE TRANSFORMACIJSKIH PARAMETARA S VREMENOM

Vremenske promjene transformacijskih parametara iz sustava A u sustav B iz epohe t_0 u epohu t_c dobijemo pomoću izraza:

$$T_{A,B}(t_c) = T_{A,B}(t_0) + \dot{T}_{A,B} \cdot (t_c - t_0) \quad (9a)$$

$$D_{A,B}(t_c) = D_{A,B}(t_0) + \dot{D}_{A,B} \cdot (t_c - t_0) \quad (9b)$$

$$R_{A,B}(t_c) = R_{A,B}(t_0) + \dot{R}_{A,B} \cdot (t_c - t_0) \quad (9c)$$

gdje je:

$T_{A,B}$ - vektor vremenskih promjena vektora translacije iz referentnog okvira A u B,

$D_{A,B}$ - vremenska promjena mjerila pri transformaciji iz referentnog okvira A u B,

$R_{A,B}$ - matrica vremenskih promjena rotacija pri transformaciji iz koordinatnog okvira A u B.

Ovim izrazima je latentno uvedena hipoteza da se transformacijski parametri mijenjaju linearno s vremenom.

7.3 VREMENSKE PROMJENE REFERENTNOG OKVIRA

Realizacija referentnog sustava je vezana za određenu epohu. Njegov datum je definiran s obzirom na geotektonski model jedne epohe. Za brzinu gibanja datuma referentnog okvira možemo koristiti izraz:

$$V^{ITRFYFYY} = \dot{R}^D \cdot X^{ITRFYFYY}(t_0) \quad (10)$$

gdje je:

$X^{ITRFYFYY}(t_0)$ - vektor položaja u ITRFYFYY referentnom okviru za epohu t_0 ,

R^D - matrica rotacije zbog gibanja geotektonskih ploča.

7.4 TRANSFORMACIJA VEKTORA BRZINE GIBANJA TOČKE

Transformacija vektora brzine gibanja točaka između referentnih okvira dobije se pomoću izraza:

$$V^{ETRF89} = V^{ITRFYFYY} + R \begin{pmatrix} 0 & -\bar{R}_{3Y} & \bar{R}_{2Y} \\ \bar{R}_{3Y} & 0 & -\bar{R}_{1Y} \\ -\bar{R}_{2Y} & \bar{R}_{1Y} & 0 \end{pmatrix} \cdot X^{ITRFYFYY} \quad (11)$$

gdje je:

V^{ETRF89} - vektor brzine gibanja točke u ETRF89 referentnom okviru,

$V^{ITRFYFYY}$ - vektor brzine gibanja točke u ITRFYFYY referentnom okviru,

$X^{ITRFYFYY}$ - vektor položaja točke u ITRFYFYY referentnom okviru,

\bar{R}_{iy} - elementi matrice rotacije, ($i = 1, 2, 3$).

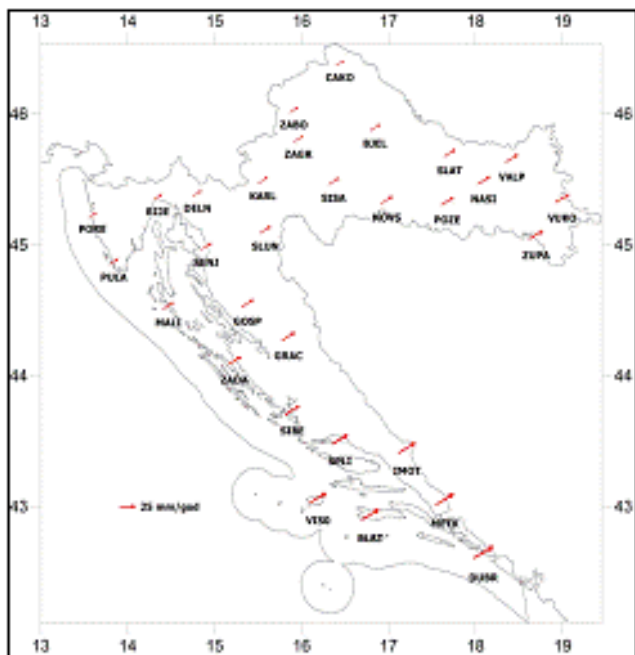
> 8. CROPOS kao osnova za HTRSYY

CROPOS sustav čini 30 referentnih GNSS stanica na međusobnoj udaljenosti od oko 70 km raspoređenih tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske. Prilikom realizacije referentnih sustava za pojedinu epohu, moraju se uzimati u obzir vremenski utjecaji. Pri tome su geodinamička gibanja glavni uzrok vremenskih promjena položaja. Primjenom kontinuiranog automatiziranog GPS sustava mogu se dobiti fine vremenske rezolucije geotektonskih gibanja na lokalnom području. GPS mreža Japana je jedan takav primjer (URL-8). Korelacija između geodetskih i geoloških metoda određivanja pomaka i deformacija vanjskog dijela Zemljine kore može se utvrditi na osnovu GPS-mjerenja (Cigrovski-Detelić 2007). Modelirane brzine gibanja kore duž južnog dijela Jadranske mikroploče i južnog dijela centralnih Dinarida može se naći u (Bennett i dr. 2008), a horizontalni i vertikalni pomaci Jadranske mikroploče na temelju podataka GPS mjerenja obavljenih u razdoblju od 1994. do 2005. mogu se naći u Marjanović 2009.

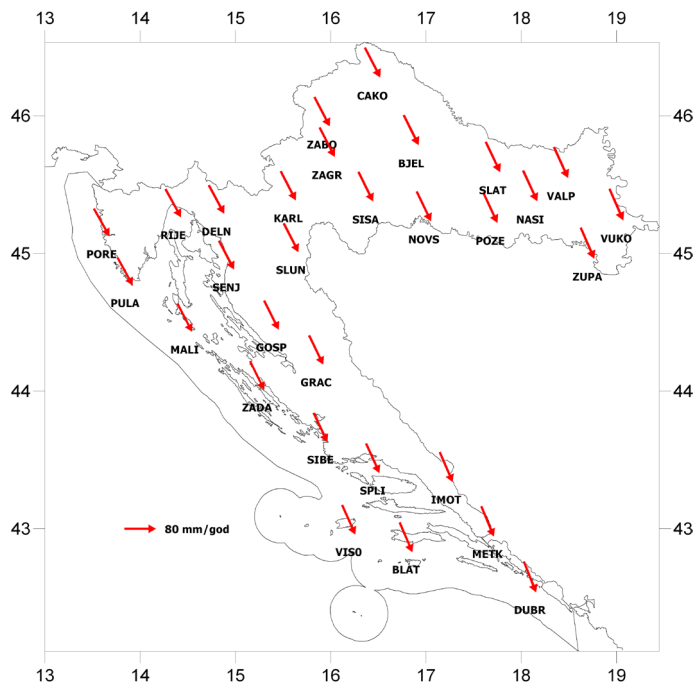
Za određivanje parametara geodetskog datuma (geocentra, orijentacije osi i mjerila) CROPOS točke nisu dostatne jer Hrvatska prekriva mali dio Zemljine površine, a za ove potrebe nužna je globalna pokrivenost točkama. Zbog toga će se u obradi morati koristiti referentne točke ETRFYFYY, odnosno ITRFYFYY sustava, a primjenom GNSS mjerenja u CROPOS točkama referentni sustav će biti modificiran s obzirom na vremenske geodinamičke promjene na teritoriju Hrvatske.

Da bi dobili generalni uvid u gibanja CROPOS točaka, korišteno je više geodinamičkih modela (URL-5, URL-6, URL-7). Na slici 5 su vektori brzina gibanja CROPOS točaka dobiveni na osnovu HS3-NUVEL-1A modela. Gotovo identični rezultati dobiju se i za ostale modele, npr. ITRF2000-D&A(2001.) (Drewes i Angermann 2001).

Mogu se promatrati i odnosi između pojedinih geotektonskih ploča. Afrička ploča graniči s Euroazijskom pločom i učestali potresi na južnom dijelu Balkanskog poluotoka potvrđuju aktivnosti između ove dvije ploče. Također, anomalija geoida u tom dijelu Mediteranskog mora ukazuje na utjecaje između ovih tektonskih ploča. Slika 6 prikazuje relativne vektore brzina CROPOS mreže na Euroazijskoj geotektonskoj ploči u odnosu na



Slika 5. HS3-NUVEL-1A (Gripp, Gordon 2002)



Slika 6. NUVEL-1A gibanje CROPOS točkaca (Euroazijska ploča) u odnosu na fiksnu Afričku ploču

fiksiranu Afričku geotektonsku ploču prema NUVEL-1A modelu. Brzine gibanja pojedinih točkaca CROPOS mreže su oko 80 mm/god. (URL-9).

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

Da bi se dobili lokalni vektori brzina gibanja CROPOS točkaca, treba obraditi CROPOS mjerenja u višegodišnjim epohama. Prilikom korištenja GNSS mjerenja treba imati na umu da je preciznost, koja se postiže primjenom GNSS tehnologije, na granici da bi se mogle koristiti za artikuliranje geodinamičkih signala. Odnosno, treba voditi računa o izvorima pogrešaka, korištenju redukcija i korekcija mjerenih veličina u obradi.

> 9. Zaključak

Da bi se GNSS mjerenja mogla obraditi s zadovoljavajućom točnošću, treba konzistentno povezati prostorno-fiksni, zemaljsko-fiksni i instrument-fiksni referentne okvire koji se koriste prilikom GNSS mjerenja. Također, treba posvetiti pažnju zadavanju položaja s obzirom na vremenske promjene. S vremenom se mijenja položaj točke, referentni okvir i transformacijski parametri, o čemu treba voditi računa prilikom povezivanja referentnih okvira ako se želi očuvati visoka točnost GNSS mjerenja. Prilikom realizacije referentnih sustava moraju se uzima-

ti u obzir vremenski utjecaji, pri čemu su geodinamička gibanja dominantni uzrok vremenskih promjena položaja. Da bi se GNSS mjerenja na CROPOS točkama mogle koristiti kao osnova za definiranje Hrvatskog terestričkog referentnog sustava (HTRSYY), moraju se koristiti dodatne, datumske točke zbog prekrivanja relativno malog područja Zemlje, a primjenom CROPOS mjerenja uzimaju se u obzir lokalne geodinamičke, vremenske promjene na teritoriju Hrvatske.

> Literatura

- » Bačić, T. (2007): Introduction and implementation of ESRs in Croatia, *Geodetski vestnik*, 51 (2007), 4; str. 751-762.
- » Bennett, A. R., Hreinsdottir, S., Buble, G., Bačić, T., Bačić, Ž., Marjanović, M., Casale, G., Gendaszek, A., Cowan, D. (2008): Eocene to present subduction beneath the Dinarides, *Geology*. 36 (2008), 1; pp. 3-6.
- » Beutler, G., Drewes, H., Verdun, A. (2004): The Integrated global geodetic observing system (IGGOS) viewed from the perspective of history. *J. Geodynam.* 40:414.
- » Boucher, C. (2001): Terrestrial coordinate systems and frames, *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, Version 1.0, Nature Publishing Group, and Bristol: Institute of Physics Publishing, pp. 3289-3292.
- » Cigrovski-Detelić, B. (2007): Prinjena GPS mjerenja u određivanju tektonskih pomaka zemljine kore, *Simpozij o inženjerskoj geodeziji / SIG2007*.

- » Fey, A., Gordon, D. (Eds.) (2009): The Second Realization of the International Celestial Reference Frame by Very Long Baseline Interferometry, *IERS Technical Note No. 35*, Observatoire de Paris.
- » Fricke, W. (1982): Determination of the Equinox and Equator of the FK5, *Astron. Astrophys.*, 107, pp. L13-L16.
- » Gripp, A. E., Gordon, R. G. Y. (2002): Young tracks of hotspots and current plate velocities, *Geophys. J. Int.*, 150, 321-361.
- » Drewes, H., Angermann, D. (2001): The Actual Plate Kinematic and Crustal Deformation Model 2000 (APKIM2000) as a Geodetic Reference System, *AIG 2001 Scientific Assembly*, Budapest, 2-8 Sept 2001.
- » ISO/DIS 19104 (2003): Terminology.
- » ISO/DIS 6709 (2007): Standard representation of geographic point location by coordinates.
- » Karttunen, H., P. Kroeger, H. Oja, M. Poutanen, K. J. Donner (Ed.)(2007): *Fundamental astronomy*. Springer.
- » Klioner, S. (1991): Angular velocity of rotation of extended bodies in general relativity. U: Ferraz-Mello, S., B. Morando, J-E. Arlot (Eds): *Dynamic, ephemerides, and astrometry of the solar system*. Proceedings of the 172nd Symposium of the IAU. Kluwer, Dordrecht, p. 309.
- » Klioner, S. A. (2007): Relativistic time scales and relativistic time synchronization, *Problems of Modern Astrometry*, Moscow.
- » Kovalevsky, J., Mueller, I. I., Kolaczek, B., (Eds.) (1989): *Reference Frames in Astronomy and Geophysics*, Kluwer

Academic Publisher, Dordrecht, 474 pp.

- » Lindegren, L., Roser, S., Schrijver, H., Lattanzi, M. G., van Leeuwen, F., Perryman, M. A. C., Bernacca, P. L., Falin, J. L., Froeschl' e, M., Kovalevsky, J., Lenhardt, H., Mignard, F. (1995): A comparison of ground-based stellar positions and proper motions with provisional Hipparcos results, *Astron. Astrophys.*, 304, pp. 44–51.
- » Ma, C., Feissel, M. (Eds.)(1997): *Definition and Realization of the International Celestial Reference System by VLBI Astrometry of Extragalactic Objects*, IERS Technical Note No 23, Observatoire de Paris.
- » Marjanović, M. (2009): *Primjena GPS mjerenja za određivanje horizontalnih i vertikalnih pomaka Jadranske mikroploče*, doktorska disertacija, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- » McCarthy, D. D. (2000): *IERS Conventions (2000)*, IERS Technical Note, U.S. Naval Observatory.
- » Mignard, F., Froeschl' e, M. (2000): Global and local bias in the FK5 from the Hipparcos data, *Astron. Astrophys.*, 354, pp. 732–739.

- » NN (2004): Decree on establishing new official geodetic datums and map projections of the Republic of Croatia. *Narodne novine*, 110/2004.
- » Noël, D. (2007): Status of the ACES/ PHARAO mission. *Rencontres de Moriond – La Thuile*, 11-18 march 2007. *Gravitational Waves and Experimental Gravity*.
- » NPL (2005): *Demonstrating Relativity by Flying Atomic Clocks*. National Physical Laboratory. News from the National Physical Laboratory. Zima 2005, Issue 18.
- » Plag, H.-P., Rothacher, M., Pearlman, M. (2009a): *The Global Geodetic Observing System - The System*. *Geomatics World*, Mar./Apr., 22-25.
- » Plag, H.-P., Rothacher, M., Neilan, R. (2009b): *The Global Geodetic Observing System - The Organization*. *Geomatics World*, Jan./Feb., 26-28.
- » Plag, H.-P., Rothacher, M., Pearlman, M., Neilan, R., Ma, C. (2009c): *The Global Geodetic Observing System*. *Advances in geoscience*, in press.
- » Schuh, H., Rothacher, M., Neilan, R. E., Plag, H.-P. (2008): *IAG's Global Geodetic Observing System (GGOS) and*

its Relation to IAG Commission 3. Jena, Germany.

- » Schwan, H. (1988): Precession and galactic rotation in the system of FK5, *Astron. Astrophys.*, 198, pp. 116–124.
- » Standish, E. M. (1998): *JPL planetary and lunar ephemerides*, ED405/LE405. *Interface Memo*. 312F-98-048. JPL, Pasadena.
- » URL-1: <http://www.cropos.hr> (18.12.2009.).
- » URL-2: <http://tycho.usno.navy.mil/cesium.html> (28.6.2009.).
- » URL-3: <http://www.spaceflight.esa.int> (28.6.2009.).
- » URL-4: <http://itrf.ensg.ign.fr> (18.11.2009.).
- » URL-5: http://sps.unavco.org/crustal_motion/ (20.12.2009.).
- » URL-6: <http://www.ldeo.columbia.edu/~menke/plates2.html> (17.11.2009.).
- » URL-7: <http://ofgs.ori.u-tokyo.ac.jp/~okino/calc.html> (17.11.2009.).
- » URL-8: <http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/work/geodynamics.htm> (12.01.2010.).
- » URL-9: http://ofgs.ori.u-tokyo.ac.jp/~intridge/public_html_hidden/pmc/nuvel1a.html (01.02.2010.). ■



igsM
CROATIA 2010

Zagreb, 2. - 8. May